

設計及び工事計画認可申請書

（ 玄海原子力発電所第4号機
核燃料物質の取扱施設
及び貯蔵施設の
変更の工事 ）

原発本第151号
令和2年8月28日

原子力規制委員会 殿

福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号
九州電力株式会社
代表取締役 池辺和弘
社長執行役員

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3
の9第1項の規定により設計及び工事の計画の認可を受けたいので申請
します。

本資料のうち、枠囲みの内容は、
商業機密あるいは防護上の観点
から公開できません。

目 次

	頁
1. 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名	(4) - 1
2. 工事計画	(4) - 2
3. 工事工程表	(4) - 48
4. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム	(4) - 49
5. 変更の理由	(4) - 62
6. 添付書類	(4) - 63

1. 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名

名 称 九州電力株式会社

住 所 福岡市中央区渡辺通二丁目 1 番 82 号

代表者の氏名 代表取締役 社長執行役員 池辺 和弘

2. 工事計画

1. 発電用原子炉を設置する工場又は事業所の名称及び所在地

名 称	玄海原子力発電所
所 在 地	佐賀県東松浦郡玄海町大字今村

2. 発電用原子炉施設の出力及び周波数

出 力	3,478,000kW
第 1 号機	559,000kW
第 2 号機	559,000kW
第 3 号機	1,180,000kW
第 4 号機	1,180,000kW (今回申請分)
周 波 数	60Hz

【申請範囲】（変更の工事に該当するものに限る。）

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

1 燃料取扱設備

(3) 使用済燃料運搬用容器及び放射線遮蔽材

6 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の基本設計方針、適用基準及び適用規格
（申請に係るものに限る。）

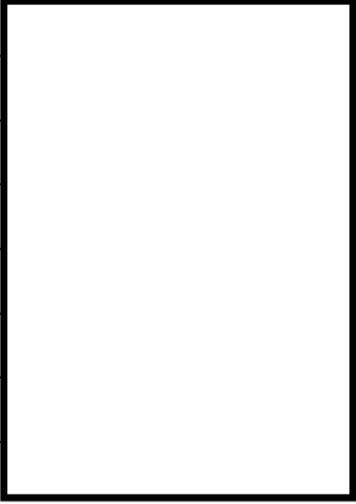
7 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る工事の方法

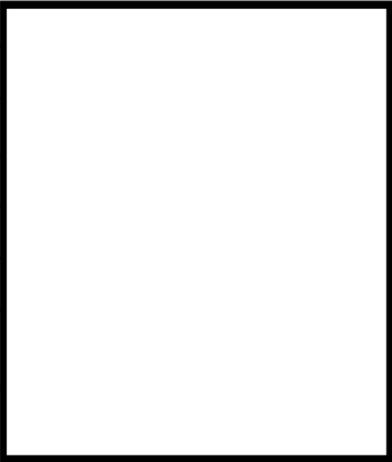
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

加圧水型発電用原子炉施設に係るものにあつては、次の事項

1 燃料取扱設備に係る次の事項

(3) 使用済燃料運搬用容器の名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法、材料及び個数並びに放射線遮蔽材の種類、主要寸法、冷却方法及び材料

			変更前	変更後													
名	称		—	使用済燃料運搬用容器													
種	類	—		密封式円筒型[NFT-14P型]													
容	量	—		17×17燃料集合体 14体 (濃縮度 : 4.9wt%以下 ^(注1) 冷却日数 : <input type="text"/> 日以上 ^(注1) 平均燃焼度 : <input type="text"/> 以下 ^(注1) 崩壊熱量 : 容器当たり 54kW 以下 放射能強度 : 容器当たり <input type="text"/> 以下)													
最	高	使		用	圧	力	MPa	1.70									
最	高	使		用	温	度	℃	180									
主 要 寸 法	全	長		mm	5,318 ^(注2)												
	内	筒		内	径	mm											
	内	筒		厚	さ	(胴	部	ガ	ン	マ	線	遮	蔽)	mm
	中	間		筒	内	径		mm									
	中	間		筒	厚	さ		(胴	部	ガ	ン	マ	線	遮	蔽)
	外	筒	内	外	径	mm											
	外	筒	厚	さ	(胴		部	ガ	ン	マ	線	遮	蔽)	mm	
	底	板	厚	さ	(底		部	ガ	ン	マ	線	遮	蔽)	mm	
	ふ	た	板	厚	さ	mm											
	フ	ィ	ン	外	径	mm											
ふ	た	板	径	mm	2,498 ^(注2)												
					<input type="text"/>												

				変更前	変更後
主要寸法	バスケット	全長	mm	—	4,255 ^(注2)
		外径	mm		1,331 ^(注2)
		チャンネル内寸	mm		225 ^(注2)
		チャンネル板厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm		245 ^(注2)
	下部緩衝体カバープレート厚さ (底部ガンマ線遮蔽)	mm	9.8 (10 ^(注2))		
	ふた膨張室底板厚さ (ふた部ガンマ線遮蔽)	mm	11 (11 ^(注2))		
	上部緩衝体カバープレート厚さ (ふた部ガンマ線遮蔽)	mm	4.6 (6 ^(注2))		
	胴部ガンマ線遮蔽体厚さ	mm			
	ふた部ガンマ線遮蔽体厚さ	mm	4.6 (6 ^(注2))		
	胴部中性子遮蔽体厚さ	mm			
材料	内筒	—	—	SUS304	
	中間筒	—			
	外筒	—			
	底板	—			
	ふた板	—			
	フィン	—			
	バスケットチャンネル板	—			
	下部緩衝体カバープレート	—			
	ふた膨張室底板	—			
	上部緩衝体カバープレート	—			
	胴部ガンマ線遮蔽体	—			
	胴部中性子遮蔽体	—			
	冷却方法	—			ボロン添加ステンレス鋼
個数		—	—	鉛	
		—	—	レジン	
		—	—	自然冷却	
		—	—	2	

(注1) 本運搬用容器に収納する燃料集合体の仕様毎の最大値又は最小値を記載。なお、冷却日数については収納する燃料集合体の平均燃焼度により設定する。

(注2) 公称値

(注3) ステンレスクラッド鋼 ()

ボロン添加ステンレス鋼規格表

材 料 名	機械的強度		化学的成分(%)		
	耐力 (N/mm ²)		Ni	Cr	B
ボロン添加 ステンレス鋼	≥255 (20°C)	≥225 (200°C)	9.00 ~ 15.00	18.00 ~ 23.00	1.00 ~ 1.30

6 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の基本設計方針、適用基準及び適用規格（申請に係るものに限る。）

(1) 基本設計方針

変更前	変更後
<p>用語の定義は「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」の第2条（定義）による。</p> <p>それ以外の用語については以下に定義する。</p> <p>1. 設置許可基準規則第12条第2項に規定される「安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するもの」（解釈を含む）を重要施設とする。（以下「重要施設」という。）</p> <p>2. 設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものを安全施設とする。（以下「安全施設」という。）</p> <p>3. 安全施設のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものを重要安全施設とする。（以下「重要安全施設」という。）</p>	<p>変更なし</p>
<p>第1章 共通項目</p> <p>核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の共通項目である「1. 地盤等、2. 自然現象、3. 火災、4. 溢水等、5. 設備に対する要求（5.5 安全弁等、5.7 内燃機関及びガスタービンの設計条件を除く）、6. その他」の基本設計方針については、原子炉冷却系統施設の基本設計方針「第1章 共通項目」に基づく設計とする。</p>	<p>第1章 共通項目</p> <p>変更なし</p>
<p>第2章 個別項目</p> <p>1. 燃料取扱設備</p> <p>燃料取扱設備（「一部1,2,4号機共用」、「3号機設備、一部3,4号機共用」（以下同じ。））は、新燃料を発電所に搬入してから使用済燃料（4号機は1,2号機の燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tのものを含む。（以下同じ。））を発電所外に搬出するまで、燃料体等を安全に取り扱うことができる設計とする。</p> <p>新燃料は、燃料取扱棟内において、新燃料の輸送容器から燃料取扱設備により新燃料貯蔵設備又は4号機燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（設計基準対象施設としてのみ一部1,2,4号機共用（以下同じ。））に移し、ここから燃料取扱設備により、原子炉格納容器内に搬入する。燃料取替えは、原子炉上部の原子炉キャビティに水張りし、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で行う。</p> <p>使用済燃料は、遮蔽に必要な水深を確保した状態で、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で燃</p>	<p>第2章 個別項目</p> <p>1. 燃料取扱設備</p> <p>燃料取扱設備（「一部1,2,4号機共用」、「3号機設備、一部3,4号機共用」（以下同じ。））は、新燃料を発電所に搬入してから使用済燃料（4号機は1,2号機の燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tのものを含む。（以下同じ。））を発電所外に搬出するまで、燃料体等を安全に取り扱うことができる設計とする。</p> <p>新燃料は、燃料取扱棟内において、新燃料の輸送容器から燃料取扱設備により新燃料貯蔵設備又は4号機燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（設計基準対象施設としてのみ一部1,2,4号機共用（以下同じ。））に移し、ここから燃料取扱設備により、原子炉格納容器内に搬入する。燃料取替えは、原子炉上部の原子炉キャビティに水張りし、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で行う。</p> <p>使用済燃料は、遮蔽に必要な水深を確保した状態で、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で燃</p>

変更前	変更後
<p>料取扱棟内へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備のほう酸水中に貯蔵するとともに、7年以上冷却した4号機の使用済燃料については、必要に応じて3号機燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（3号機設備、設計基準対象施設としてのみ一部3,4号機共用（以下同じ。））のほう酸水中に貯蔵する。</p> <p>使用済燃料を発電所外に搬出する際、使用済燃料はキャスクピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料運搬用容器に収納し、除染場ピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料運搬用容器の除染を行う。</p> <p>燃料取扱設備は、燃料体等を1体ずつ取り扱う構造とし、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。</p> <p>燃料取扱設備は、使用済燃料の移送をすべて水中で行うことで、崩壊熱により燃料体等が溶融せず、使用済燃料からの放射線に対し適切な遮蔽能力を有する設計とする。</p> <p>使用済燃料ピットクレーン（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」（以下同じ。））及び燃料取扱棟クレーン（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」（以下同じ。））は、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化し、フック部外れ止めを有し、燃料取扱中に燃料体等が外れて落下することのないようなインターロックを設けることで、燃料体等の落下を防止できる設計とするとともに、想定される使用済燃料ピット（「設計基準対象施設としてのみ1,2,4号機共用」、「3号機設備、設計基準対象施設としてのみ3,4号機共用」（以下同じ。））内への落下物によって使用済燃料ピット内の燃料体等が破損しないことを計算により確認する。</p> <p>なお、ワイヤ、フックはそれぞれクレーン構造規格、日本クレーン協会規格の規定を満たす安全率を有する設計とする。</p> <p>燃料取替クレーンは、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化して保持する構造とし、架台及び移送台車の駆動並びにグリッパチューブの昇降を安全かつ確実に</p>	<p>料取扱棟内へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備のほう酸水中に貯蔵するとともに、7年以上冷却した4号機の使用済燃料については、必要に応じて、使用済燃料の再処理工場への輸送に使用する使用済燃料輸送容器に入れて3号機燃料取扱棟内へ運搬し、3号機燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（3号機設備、設計基準対象施設としてのみ一部3,4号機共用（以下同じ。））のほう酸水中に貯蔵する。</p> <p>使用済燃料を発電所外に搬出する際、使用済燃料はキャスクピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料輸送容器に収納し、除染場ピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料輸送容器の除染を行う。</p> <p>燃料取扱設備は、燃料体等を1体ずつ取り扱う構造とし、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。また、使用済燃料運搬用容器は、内部に使用済燃料を入れた場合に臨界に達するおそれがない設計とする。</p> <p>燃料取扱設備は、使用済燃料の移送をすべて水中で行うことで、崩壊熱により燃料体等が溶融せず、使用済燃料からの放射線に対し適切な遮蔽能力を有する設計とする。また、使用済燃料運搬用容器は、内部に使用済燃料を入れた場合に崩壊熱により使用済燃料が溶融しない設計とする。</p> <p>使用済燃料ピットクレーン（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」（以下同じ。））及び燃料取扱棟クレーン（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」（以下同じ。））は、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化し、フック部外れ止めを有し、燃料取扱中に燃料体等が外れて落下することのないようなインターロックを設けることで、燃料体等の落下を防止できる設計とするとともに、想定される使用済燃料ピット（「設計基準対象施設としてのみ1,2,4号機共用」、「3号機設備、設計基準対象施設としてのみ3,4号機共用」（以下同じ。））内への落下物によって使用済燃料ピット内の燃料体等が破損しないことを計算により確認する。</p> <p>なお、ワイヤ、フックはそれぞれクレーン構造規格、日本クレーン協会規格の規定を満たす安全率を有する設計とする。</p> <p>燃料取替クレーンは、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化して保持する構造とし、架台及び移送台車の駆動並びにグリッパチューブの昇降を安全かつ確実に</p>

変更前	変更後
<p>うために、各装置にはインターロックを設ける。</p> <p>新燃料エレベータは、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化することにより新燃料の落下を防止する構造とする。</p> <p>燃料取替クレーン及び使用済燃料ピットクレーンは、取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するインターロックを設けて、過荷重による燃料体等の落下を防止できる設計とする。燃料取扱棟クレーンで新燃料を取り扱う際は、荷重監視を行うことで過荷重による落下を防止することとする。</p> <p>燃料取替クレーン及び使用済燃料ピットクレーンは、地震時にも転倒することがないように、また燃料取扱棟クレーンは地震時にも脱輪することがないように走行部はレールを抱え込む構造とする。</p> <p>燃料移送装置の移送台車及びリフティング機構には、燃料体等の受渡しを安全かつ確実にできるようにインターロックを設ける。</p> <p>燃料取扱棟クレーンは、使用済燃料ピット上部に一部走行レールがあるが、ピット上部を走行させないために走行範囲を制限する措置として使用済燃料ピットの手前にリミットスイッチを設置し燃料取扱棟クレーンを自動停止させる。また、その先にストッパを設けることにより、吊り上げられた使用済燃料運搬用容器等重量物が使用済燃料ピットへの落下物とならない設計とする。</p> <p>燃料体等を封入し、構内運搬に使用できる容器は保有しない。</p> <p>燃料取扱設備は、動力源である電源又は空気が喪失した場合でも燃料体等を保持できる設計とする。</p> <p>燃料取替クレーンのグリッパチューブ下部にあるグリッパは空気作動式とし、燃料体等をつかんだ状態で空気が喪失しても、安全側に働いて燃料体等を落とすことのない構造とする。</p>	<p>うために、各装置にはインターロックを設ける。</p> <p>新燃料エレベータは、定格荷重を保持でき、必要な安全率を有するワイヤを二重化することにより新燃料の落下を防止する構造とする。</p> <p>燃料取替クレーン及び使用済燃料ピットクレーンは、取扱中に過荷重となった場合に上昇を阻止するインターロックを設けて、過荷重による燃料体等の落下を防止できる設計とする。燃料取扱棟クレーンで新燃料を取り扱う際は、荷重監視を行うことで過荷重による落下を防止することとする。</p> <p>燃料取替クレーン及び使用済燃料ピットクレーンは、地震時にも転倒することがないように、また燃料取扱棟クレーンは地震時にも脱輪することがないように走行部はレールを抱え込む構造とする。</p> <p>燃料移送装置の移送台車及びリフティング機構には、燃料体等の受渡しを安全かつ確実にできるようにインターロックを設ける。</p> <p>燃料取扱棟クレーンは、使用済燃料ピット上部に一部走行レールがあるが、ピット上部を走行させないために走行範囲を制限する措置として使用済燃料ピットの手前にリミットスイッチを設置し燃料取扱棟クレーンを自動停止させる。また、その先にストッパを設けることにより、吊り上げられた使用済燃料運搬用容器等重量物が使用済燃料ピットへの落下物とならない設計とする。</p> <p>使用済燃料運搬用容器は、取扱中において衝撃、熱及び容器に加わる負荷に耐え、かつ、容易に破損しない設計とする。また、内部に燃料体等を入れた場合に放射線障害を防止するための遮蔽を有する設計とする。</p> <p>燃料取扱設備は、動力源である電源又は空気が喪失した場合でも燃料体等を保持できる設計とする。</p> <p>燃料取替クレーンのグリッパチューブ下部にあるグリッパは空気作動式とし、燃料体等をつかんだ状態で空気が喪失しても、安全側に働いて燃料体等を落とすことのない構造とする。</p>

変更前	変更後
<p>燃料取替クレーン、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーン、新燃料エレベータ及び燃料移送装置は、駆動電源の喪失に対しても、燃料体等を保持できる性能を有する設計とする。</p>	<p>燃料取替クレーン、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーン、新燃料エレベータ及び燃料移送装置は、駆動電源の喪失に対しても、燃料体等を保持できる性能を有する設計とする。</p>
<p>5. 主要対象設備 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の対象となる主要な設備について、「表 1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の主要設備リスト」に示す。</p>	<p>5. 主要対象設備 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の対象となる主要な設備について、「表 1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の主要設備リスト」に示す。</p>

表 1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の主要設備リスト

設備区分		変更前					変更後					
		機器区分	名称	設計基準対象施設 ^(注)		重大事故等対処設備 ^(注)		名称	設計基準対象施設 ^(注)		重大事故等対処設備 ^(注)	
				耐震重要度分類	機器クラス	設備分類	重大事故等機器クラス		耐震重要度分類	機器クラス	設備分類	重大事故等機器クラス
燃料取扱設備	使用済燃料運搬用容器		—				使用済燃料運搬用容器	—	クラス3		—	

(注) 表 1 に用いる略語の定義は「付表 1」による。

付表 1 略語の定義(1/3)

		略語	定義
設計基準対象施設	耐震重要度分類	S	耐震重要度分類における S クラス(津波防護機能を有する設備(以下「津波防護施設」という。)、浸水防止機能を有する設備(以下「浸水防止設備」という。))及び敷地における津波監視機能を有する施設(以下「津波監視設備」という。)を除く)
		S*	S クラスの施設のうち、津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備 なお、基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能をいう。)を保持するものとする。
		B	耐震重要度分類における B クラス(B-1,B-2 及び B-3 を除く)
		B-1	B クラスの設備のうち、共振のおそれがあるため、弾性設計用地震動 Sd に 2 分の 1 を乗じたものによる地震力に対して耐震性を保持できる設計とするもの
		B-2	B クラスの設備のうち、波及的影響によって、耐震重要施設がその安全機能を損なわないように設計するもの
		B-3	B クラスの設備のうち、基準地震動による地震力に対して、使用済燃料ピットの冷却、給水機能を保持できる設計とするもの
		C	耐震重要度分類における C クラス(C-1,C-2 及び C-3 を除く)
		C-1	C クラスの設備のうち、波及的影響によって、耐震重要施設がその安全機能を損なわないように設計するもの
		C-2	C クラスの設備のうち、基準地震動による地震力に対して火災感知及び消火の機能並びに地震時の溢水の伝ばを防止する機能を保持できる設計とするもの
		C-3	C クラスの設備のうち、屋外重要土木構造物であるため、基準地震動による地震力に対して安全機能を保持できる設計とするもの
		—	当該施設において設計基準対象施設として使用しないもの

付表1 略語の定義(2/3)

		略語	定義
設計基準対象施設	機器クラス	クラス1	技術基準規則第二条第二項第三十二号に規定する「クラス1容器」、「クラス1管」、「クラス1ポンプ」、「クラス1弁」又はこれらを支持する構造物
		クラス2	技術基準規則第二条第二項第三十三号に規定する「クラス2容器」、「クラス2管」、「クラス2ポンプ」、「クラス2弁」又はこれらを支持する構造物
		クラス3	技術基準規則第二条第二項第三十四号に規定する「クラス3容器」又は「クラス3管」
		クラス4	技術基準規則第二条第二項第三十五号に規定する「クラス4管」
		格納容器 ^(注)	技術基準規則第二条第二項第二十八号に規定する「原子炉格納容器」
		炉心支持構造物	原子炉圧力容器の内部において燃料集合体を直接に支持するか又は拘束する部材
		火力技術基準	発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの
		Non	上記以外の容器、管、ポンプ、弁又は支持構造物
		—	当該施設において設計基準対象施設として使用しないもの又は上記以外のもの

付表 1 略語の定義(3/3)

		略語	定義
重大事故等対処設備	設備分類	常設／防止	技術基準規則第四十九条第一号に規定する「常設重大事故防止設備」
		常設耐震／防止	技術基準規則第四十九条第一号に規定する「常設耐震重要重大事故防止設備」
		常設／緩和	技術基準規則第四十九条第三号に規定する「常設重大事故緩和設備」
		常設／その他	常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備
		可搬／防止	重大事故防止設備のうち可搬型のもの
		可搬／緩和	重大事故緩和設備のうち可搬型のもの
		可搬／その他	可搬型重大事故防止設備及び可搬型重大事故緩和設備以外の可搬型重大事故等対処設備
		—	当該施設において重大事故等対処設備として使用しないもの
	重大事故等機器クラス	SAクラス2	技術基準規則第二条第二項第三十八号に規定する「重大事故等クラス2容器」、「重大事故等クラス2管」、「重大事故等クラス2ポンプ」、「重大事故等クラス2弁」又はこれらを支持する構造物
		SAクラス3	技術基準規則第二条第二項第三十九号に規定する「重大事故等クラス3容器」、「重大事故等クラス3管」、「重大事故等クラス3ポンプ」又は「重大事故等クラス3弁」
		火力技術基準	発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の規定を準用するもの 又は使用条件を踏まえ、十分な強度を有していることを確認できる一般産業品規格を準用するもの
		—	当該施設において重大事故等対処設備として使用しないもの又は上記以外のもの

(注) 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)における「クラスMC」である。

共通項目の基本設計方針として、原子炉冷却系統施設（蒸気タービンを除く。）の共通項目の基本設計方針を以下に示す。

変更前	変更後
<p>用語の定義は「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」の第2条（定義）による。</p> <p>それ以外の用語については以下に定義する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 設置許可基準規則第12条第2項に規定される「安全機能を有する系統のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するもの」（解釈を含む。）を重要施設とする。（以下「重要施設」という。） 2. 設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものを安全施設とする。（以下「安全施設」という。） 3. 安全施設のうち、安全機能の重要度が特に高い安全機能を有するものを重要安全施設とする。（以下「重要安全施設」という。） 4. 設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生じるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きい施設を耐震重要施設とする。（以下「耐震重要施設」という。） 5. 重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設については、自重や運転時の荷重等に加え、その供用中に大きな影響を及ぼすおそれがある地震動を基準地震動とする。（以下「基準地震動」という。） 	<p>変更なし</p>
<p>第1章 共通項目</p> <p>5. 設備に対する要求</p> <p>5.3 材料及び構造等</p> <p>5.3.1 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備</p> <p>設計基準対象施設（圧縮機、補助ボイラー、蒸気タービン（発電用のものに限る。）、発電機、変圧器及び遮断器を除く。）並びに重大事故等対処設備に属する容器、管、ポンプ若しくは弁若しくはこれらの支持構造物又は炉心支持構造物の材料及び構造は、施設時において、各機器等のクラス区分に応じて以下のとおりとし、その際、日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（JSME 設計・建設規格）又は「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（JSME CCV 規格）等に従い設計する。</p> <p>但し、重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造であって、以下によらない場合は、当該機器及び支持構造物が、その設計上要求される強度を確保できるよう JSME 設計・建設規格又は JSME CCV 規格を参考に同等以上であることを確認する。また、重大事故等クラス3機器であって、完成品は、以下によらず、消防法に基づく</p>	<p>第1章 共通項目</p> <p>5. 設備に対する要求</p> <p>5.3 材料及び構造等</p> <p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>技術上の規格等一般産業品の規格及び基準に適合していることを確認し、使用環境及び使用条件に対して、要求される強度を確保できる設計とする。</p> <p>重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2管のうち主要な耐圧部の溶接部の耐圧試験は、母材と同等の方法、同じ試験圧力にて実施する。</p> <p>なお、各機器等のクラス区分の適用については、「主要設備リスト」による。</p> <p>5.3.1.1 材料について</p> <p>(1) 機械的強度及び化学的成分</p> <p>a. クラス1機器、クラス1支持構造物及び炉心支持構造物は、その使用される圧力、温度、水質、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分（使用中の応力その他の使用条件に対する適切な耐食性を含む。）を有する材料を使用する。</p> <p>b. クラス2機器、クラス2支持構造物、クラス3機器、クラス4管、重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2支持構造物は、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用する。</p> <p>c. 原子炉格納容器であって、鋼製部のみで原子炉格納容器の構造及び強度を持つ部分（以下「鋼製耐圧部」という。）及びコンクリート製原子炉格納容器の鋼製内張り部等は、その使用される圧力、温度、湿度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用する。</p> <p>d. 格納容器再循環サンプスクリーンは、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用する。</p> <p>e. 重大事故等クラス3機器は、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して日本工業規格等に適合した適切な機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用する。</p> <p>f. コンクリート製原子炉格納容器は、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な圧縮強度を有するコンクリートを使用する。</p> <p>g. コンクリート製原子炉格納容器は、有害な膨張及び鉄筋腐食を起こさないよう、長期の耐久性を有するコンクリートを使用する。</p> <p>h. コンクリート製原子炉格納容器のコンクリート部に強度部材として使用する鉄筋並びに緊張材及び定着具（以下「鉄筋等」という。）は、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度、化学的成分及び形状寸法を有する材料を使用する。</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>(2) 破壊じん性</p> <p>a. クラス 1 容器は、当該容器が使用される圧力、温度、放射線、荷重その他の使用条件に対して適切な破壊じん性を有する材料を使用する。また、破壊じん性は、寸法、材質又は破壊じん性試験により確認する。</p> <p>原子炉容器については、原子炉容器の脆性破壊を防止するため、中性子照射脆化の影響を考慮した最低試験温度を確認し、適切な破壊じん性を維持できるよう、1 次冷却材温度及び圧力の制限範囲を設定することを保安規定に定めて管理する。</p> <p>b. クラス 1 機器（クラス 1 容器を除く。）、クラス 1 支持構造物（クラス 1 管及びクラス 1 弁を支持するものを除く。）、クラス 2 機器、クラス 3 機器（工学的安全施設に属するものに限る。）、鋼製耐圧部、コンクリート製原子炉格納容器の鋼製内張り部等、炉心支持構造物及び重大事故等クラス 2 機器は、その最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有する材料を使用する。また、破壊じん性は、寸法、材質又は破壊じん性試験により確認する。</p> <p>重大事故等クラス 2 機器のうち、原子炉容器については、重大事故等時における温度、放射線、荷重その他の使用条件に対して損傷するおそれがない設計とする。</p> <p>c. 格納容器再循環サンプスクリーンは、その最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有する材料を使用する。また、破壊じん性は、寸法、材質又は破壊じん性試験により確認する。</p> <p>(3) 非破壊試験</p> <p>クラス 1 機器、クラス 1 支持構造物（棒及びボルトに限る。）、クラス 2 機器（鋳造品に限る。）、炉心支持構造物及び重大事故等クラス 2 機器（鋳造品に限る。）に使用する材料は、非破壊試験により有害な欠陥がないことを確認する。</p> <p>5.3.1.2 構造及び強度について</p> <p>(1) 延性破断の防止</p> <p>a. クラス 1 機器、クラス 2 機器、クラス 3 機器、鋼製耐圧部、コンクリート部が強度を負担しない圧力又は機械的荷重に対するライナプレート、炉心支持構造物、重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 3 機器は、最高使用圧力、最高使用温度及び機械的荷重が負荷されている状態（以下「設計上定める条件」という。）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>b. クラス 1 支持構造物は、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、全体的な変形を弾性域</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>に抑える設計とする。</p> <p>c. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ及び附属物（以下「貫通部スリーブ等」という。）が取り付く部分に限る。）、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱ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>また、ライナアンカについては、全ての荷重状態において、全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。</p> <p>d. クラスⅠ支持構造物であって、クラスⅠ容器に溶接により取り付けられ、その損壊により、クラスⅠ容器の損壊を生じさせるおそれがあるものは、b.にかかわらず、設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑える設計とする。</p> <p>e. クラスⅠ容器（オメガシールその他のシールを除く。）、クラスⅠ管、クラスⅠ弁、クラスⅠ支持構造物、鋼製耐圧部（著しい応力が生ずる部分及び特殊な形状の部分に限る。）、コンクリート部が強度を負担しない圧力又は機械的荷重に対するライナプレート及び炉心支持構造物は、運転状態Ⅲにおいて、全体的な塑性変形が生じない設計とする。</p> <p>また、応力が集中する構造上の不連続部等については、補強等により局所的な塑性変形に止まるよう設計する。</p> <p>f. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ等が取り付く部分に限る。）、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅲにおいて、全体的な塑性変形が生じない設計とする。また、応力が集中する構造上の不連続部等については、補強等により局所的な塑性変形に止まるよう設計する。</p> <p>g. クラスⅠ容器（オメガシールその他のシールを除く。）、クラスⅠ管、クラスⅠ支持構造物、鋼製耐圧部（著しい応力が生ずる部分及び特殊な形状の部分に限る。）、コンクリート部が強度を負担しない圧力又は機械的荷重に対するライナプレート及び炉心支持構造物は、運転状態Ⅳにおいて、延性破断に至る塑性変形が生じない設計とする。</p> <p>h. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ等が取り付く部分に限る。）、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅳにおいて、延性破断に至る塑性変形が生じない設計とする。</p> <p>i. クラスⅣ管は、設計上定める条件において、延性破断に至る塑性変形を生じない設計とする。</p> <p>j. クラスⅠ容器（ボルトその他の固定用金具、オメガシールその他のシールを除く。）、クラスⅠ支持構造物（クラスⅠ容器に溶接により取り付けられ、その損壊により、クラスⅠ容器の損壊を生じさせるおそれがあるものに限る。）及び鋼製耐圧部（著しい応力</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>が生ずる部分及び特殊な形状の部分に限る。)は、試験状態において、全体的な塑性変形が生じない設計とする。また、応力が集中する構造上の不連続部等については、補強等により局所的な塑性変形に止まるよう設計する。</p> <p>k. 格納容器再循環サンプスクリーンは、運転状態Ⅰ、運転状態Ⅱ及び運転状態Ⅳ（異物付着による差圧を考慮）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>l. クラスⅡ支持構造物であって、クラスⅡ機器に溶接により取り付けられ、その損壊によりクラスⅡ機器に損壊を生じさせるおそれがあるものは、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、延性破断が生じないよう設計する。</p> <p>m. 重大事故等クラスⅡ支持構造物であって、重大事故等クラスⅡ機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラスⅡ機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあつては、設計上定める条件において、延性破断が生じない設計とする。</p> <p>(2) 進行性変形による破壊の防止</p> <p>a. クラスⅠ容器（ボルトその他の固定用金具を除く。）、クラスⅠ管、クラスⅠ弁（弁箱に限る。）、クラスⅠ支持構造物、鋼製耐圧部（著しい応力が生ずる部分及び特殊な形状の部分に限る。）及び炉心支持構造物は、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、進行性変形が生じない設計とする。</p> <p>b. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ等が取り付く部分に限る。）、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱにおいて、進行性変形が生じない設計とする。</p> <p>(3) 疲労破壊の防止</p> <p>a. クラスⅠ容器、クラスⅠ管、クラスⅠ弁（弁箱に限る。）、クラスⅠ支持構造物、クラスⅡ管（伸縮継手を除く。）、鋼製耐圧部（著しい応力が生ずる部分及び特殊な形状の部分に限る。）及び炉心支持構造物は、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、疲労破壊が生じない設計とする。</p> <p>b. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱにおいて、疲労破壊が生じない設計とする。</p> <p>c. クラスⅡ機器、クラスⅢ機器及び重大事故等クラスⅡ機器の伸縮継手は、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊が生じない設計とする。</p> <p>d. 重大事故等クラスⅡ管（伸縮継手を除く。）は、設計上定める条件で応力が繰り返し</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>加わる場合において、疲労破壊が生じない設計とする。</p> <p>(4) 座屈による破壊の防止</p> <p>a. クラス 1 容器（胴、鏡板及び外側から圧力を受ける円筒形又は管状のものに限る。）、クラス 1 支持構造物及び炉心支持構造物は、運転状態Ⅰ、運転状態Ⅱ、運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳにおいて、座屈が生じない設計とする。</p> <p>b. クラス 1 容器（胴、鏡板及び外側から圧力を受ける円筒形又は管状のものに限る。）及びクラス 1 支持構造物（クラス 1 容器に溶接により取り付けられ、その損壊により、クラス 1 容器の損壊を生じさせるおそれがあるものに限る。）は、試験状態において、座屈が生じない設計とする。</p> <p>c. クラス 1 管、クラス 2 容器、クラス 2 管、クラス 3 機器、重大事故等クラス 2 容器、重大事故等クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 支持構造物（重大事故等クラス 2 機器に溶接により取り付けられ、その損壊により重大事故等クラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがあるものに限る。）は、設計上定める条件において、座屈が生じない設計とする。</p> <p>d. 鋼製耐圧部は、設計上定める条件並びに運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳにおいて、座屈が生じない設計とする。</p> <p>e. コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ等が取り付く部分に限る。）、貫通部スリーブ及び定着金具（ライナアンカを除く。）は、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ、荷重状態Ⅲ及び荷重状態Ⅳにおいて、座屈が生じない設計とする。</p> <p>f. クラス 2 支持構造物であって、クラス 2 機器に溶接により取り付けられ、その損壊によりクラス 2 機器に損壊を生じさせるおそれがあるものは、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、座屈が生じないよう設計する。</p> <p>(5) 圧縮破壊の防止</p> <p>コンクリート製原子炉格納容器のコンクリートは、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅲにおいて、圧縮破壊が生じず、かつ、荷重状態Ⅳにおいて、コンクリート製原子炉格納容器が大きな塑性変形に至る圧縮破壊が生じない設計とする。</p> <p>(6) 引張破断の防止</p> <p>コンクリート製原子炉格納容器の鉄筋等は、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅲにおいて、降伏せず、かつ、荷重状態Ⅳにおいて、破断に至るひずみが生じない設計とする。</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>(7) せん断破壊の防止 コンクリート製原子炉格納容器のコンクリート部は、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅲにおいて、せん断破壊が生じず、かつ、荷重状態Ⅳにおいて、コンクリート製原子炉格納容器が大きな塑性変形に至るせん断破壊が生じない設計とする。</p> <p>(8) ライナプレートにおける荷重及びコンクリート部の変形等による強制ひずみの制限 コンクリート製原子炉格納容器のライナプレート（貫通部スリーブ等が取り付く部分を除く。）は、荷重状態Ⅰ及び荷重状態Ⅱにおいて、著しい残留ひずみが生じず、かつ、荷重状態Ⅲ及び荷重状態Ⅳにおいて、破断に至らない設計とする。</p> <p>(9) 破断前漏えいの配慮について 構造及び強度については、破断前漏えい（LBB）概念を適用した荷重を適切に考慮した設計とする。</p> <p>5.3.1.3 主要な耐圧部の溶接部（溶接金属部及び熱影響部をいう。）について クラス1容器、クラス1管、クラス2容器、クラス2管、クラス3容器、クラス3管、クラス4管、原子炉格納容器、重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2管のうち主要な耐圧部の溶接部は、次のとおりとし、使用前事業者検査により適用基準及び適用規格に適合していることを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 不連続で特異な形状でない設計とする。 ・ 溶接による割れが生ずるおそれがなく、かつ、健全な溶接部の確保に有害な溶込み不良その他の欠陥がないことを非破壊試験により確認する。 ・ 適切な強度を有する設計とする。 ・ 適切な溶接施工法、溶接設備及び技能を有する溶接士であることを機械試験その他の評価方法によりあらかじめ確認する。 	<p style="text-align: center;">変更なし</p>
<p>6. その他</p> <p>6.2 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため、区域の設定、人の容易な侵入を防止できる柵、鉄筋コンクリート造りの壁等の障壁による防護、巡視、監視、出入口での身分確認や持込み点検、施錠管理及び情報システムへの外部からのアクセス遮断措置を行うこ</p>	<p>6. その他</p> <p>6.2 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止</p> <p style="text-align: center;">変更なし</p>

変更前	変更後
<p>とにより、接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行える設計とする。</p> <p>核物質防護上の措置が必要な区域については、探知施設を設け、警報、映像等を集中監視するとともに、核物質防護措置に係る関係機関等との通信連絡を行う設計とする。さらに、防護された区域内においても、施錠管理により、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムへの不法な接近を防止する設計とする。</p> <p>また、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件の持込み（郵便物等による発電所外からの爆破物及び有害物質の持込みを含む。）を防止するため、持込み点検を行える設計とする。</p> <p>さらに、不正アクセス行為（サイバーテロを含む。）を防止するため、発電用原子炉施設及び特定核燃料物質の防護のために必要な設備又は装置の操作に係る情報システムが、電気通信回線を通じた不正アクセス行為を受けることがないように、当該情報システムに対する外部からのアクセスを遮断する設計とする。</p> <p>これらの対策については、核物質防護規定に定める。</p>	<p>変更なし</p>

(2) 適用基準及び適用規格

変更前	変更後
<p>第 1 章 共通項目</p> <p>核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に適用する共通項目の基準及び規格については、原子炉冷却系統施設、火災防護設備の「(2) 適用基準及び適用規格 第 1 章 共通項目」に示す。</p>	<p>第 1 章 共通項目</p> <p>変更なし</p>
<p>第 2 章 個別項目</p> <p>核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に適用する個別項目の基準及び規格は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none">● 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)	<p>第 2 章 個別項目</p> <p>変更なし</p>

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に適用する共通項目の基準及び規格として、原子炉冷却系統施設の共通項目の適用基準及び適用規格を次頁以降に示す。なお、火災防護設備の適用基準及び適用規格のうち、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に適用する共通項目の基準及び規格に該当するものはない。

原子炉冷却系統施設の共通項目の適用基準及び適用規格のうち、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に適用する基準及び適用規格を以下に示す。

変更前	変更後
第1章 共通項目 • JSME S NC1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格	第1章 共通項目 変更なし

7 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る工事の方法

変更前	変更後
<p>核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る工事の方法は、「原子炉本体」における「9 原子炉本体に係る工事の方法」(1.3 燃料体に係る工事の手順と使用前事業者検査、2.1.3 燃料体に係る検査及び3.2 燃料体の加工に係る工事上の留意事項を除く。)に従う。</p>	<p>変更なし</p>

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の工事の方法として、原子炉本体に係る工事の方法を以下に示す。

変更前	変更後
<p>発電用原子炉施設の設置又は変更の工事並びに主要な耐圧部の溶接部における工事の方法として、原子炉設置（変更）許可を受けた事項、及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準」という。）の要求事項に適合するための設計（基本設計方針及び要目表）に従い実施する工事の手順と、それら設計や工事の手順に従い工事が行われたことを確認する使用前事業者検査の方法を以下に示す。</p> <p>これらの工事の手順及び使用前事業者検査の方法は、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に定めたプロセス等に基づいたものとする。</p> <p>1. 工事の手順</p> <p>1.1 工事の手順と使用前事業者検査</p> <p>発電用原子炉施設の設置又は変更の工事における工事の手順を使用前事業者検査との関係を含め図 1 に示す。</p> <p>1.2 主要な耐圧部の溶接部に係る工事の手順と使用前事業者検査</p> <p>主要な耐圧部の溶接部に係る工事の手順を使用前事業者検査との関係を含め図 2 に示す。</p> <p>1.3 燃料体に係る工事の手順と使用前事業者検査</p> <p>燃料体に係る工事の手順を使用前事業者検査との関係を含め図 3 に示す。</p> <p>2. 使用前事業者検査の方法</p> <p>構造、強度及び漏えいを確認するために十分な方法、機能及び性能を確認するために十分な方法、その他設置又は変更の工事がその設計及び工事の計画に従って行われたものであることを確認するために十分な方法により、使用前事業者検査を図 1、図 2 及び図 3 のフローに基づき実施する。使用前事業者検査は「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に記載したプロセスにより、抽出されたものの検査を実施する。</p> <p>また、使用前事業者検査は、検査の時期、対象、方法、検査体制に加えて、検査の内容と重要度に応じて、立会、抜取り立会、記録確認のいずれかとするを要領書等で定め実施する。</p>	<p>変更なし</p>

変更前

変更後

2.1 構造、強度又は漏えいに係る検査

2.1.1 構造、強度又は漏えいに係る検査

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

表1 構造、強度又は漏えいに係る検査（燃料体を除く。）^(注1)

検査項目	検査方法		判定基準
「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に記載したプロセスにより、当該工事における構造、強度又は漏えいに係る確認事項として次に掲げる項目の中から抽出されたもの。 ・材料検査 ・寸法検査 ・外観検査 ・組立て及び据付け状態を確認する検査（据付検査） ・状態確認検査 ・耐圧検査 ・漏えい検査 ・原子炉格納施設が直接設置される基盤の状態を確認する検査 ・建物・構築物の構造を確認する検査	材料検査	使用されている材料の化学成分、機械的強度等が工事計画のとおりであることを確認する。	設工認のとおりであること、技術基準に適合するものであること。
	寸法検査	主要寸法が工事計画のとおりであり、許容寸法内であることを確認する。	設工認に記載されている主要寸法の計測値が、許容寸法を満足すること。
	外観検査	有害な欠陥がないことを確認する。	健全性に影響を及ぼす有害な欠陥がないこと。
	組立て及び据付け状態を確認する検査（据付検査）	組立て状態並びに据付け位置及び状態が工事計画のとおりであることを確認する。	設工認のとおりに組立て、据付けされていること。
	状態確認検査	評価条件、手順等が工事計画のとおりであることを確認する。	設工認のとおりであること。

変更なし

変更前

変更後

表 1 構造、強度又は漏えいに係る検査（燃料体を除く。）^(注1)

検査項目	検査方法	判定基準
^(注2) 耐圧検査	技術基準の規定に基づく検査圧力で所定時間保持し、検査圧力に耐え、異常のないことを確認する。耐圧検査が構造上困難な部位については、技術基準の規定に基づく非破壊検査等により確認する。	検査圧力に耐え、かつ、異常のないこと。
^(注2) 漏えい検査	耐圧検査終了後、技術基準の規定に基づく検査圧力により漏えいの有無を確認する。なお、漏えい検査が構造上困難な部位については、技術基準の規定に基づく非破壊検査等により確認する。	著しい漏えいのないこと。
原子炉格納施設が直接設置される基盤の状態を確認する検査	地盤の地質状況が、原子炉格納施設の基盤として十分な強度を有することを確認する。	設工認のとおりであること。
建物・構築物の構造を確認する検査	主要寸法、組立方法、据付位置及び据付状態等が工事計画のとおり製作され、組み立てられていることを確認する。	設工認のとおりであること。

変更なし

(注 1) 基本設計方針のうち適合性確認対象に対して実施可能な検査を含む。

(注 2) 耐圧検査及び漏えい検査の方法について、表 1 によらない場合は、基本設計方針の共通項目として定めた「耐圧試験等」の方針によるものとする。

変更前	変更後
<p>2.1.2 主要な耐圧部の溶接部に係る検査</p> <p>主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査は、技術基準第 17 条第 15 号、第 31 条、第 48 条第 1 項及び第 55 条第 7 号、並びに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（以下「技術基準解釈」という。）に適合するよう、以下の(1)及び(2)の工程ごとに検査を実施する。</p> <p>(1) あらかじめ確認する事項</p> <p>次の①及び②については、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 溶接規格(JSME S NB1-2007)又は(JSME S NB1-2012/2013)」(以下「溶接規格」という。)第 2 部 溶接施工法認証標準及び第 3 部 溶接士技能認証標準に従い、表 2-1、表 2-2 に示す検査を行う。その際、以下のいずれかに該当する特殊な溶接方法は、その確認事項の条件及び方法の範囲内で①溶接施工法に関することを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 12 年 6 月以前に旧電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和 45 年通商産業省令第 81 号）第 2 条に基づき、通商産業大臣の認可を受けた特殊な溶接方法 ・平成 12 年 7 月以降に、一般社団法人日本溶接協会又は一般財団法人発電設備技術検査協会による確性試験により適合性確認を受けた特殊な溶接方法 <p>① 溶接施工法に関すること</p> <p>② 溶接士の技能に関すること</p> <p>なお、①又は②について、既に、以下のいずれかにより適合性が確認されているものは、主要な耐圧部の溶接をしようとする前に表 2-1、表 2-2 に示す検査は要さないものとする。</p> <p>① 溶接施工法に関すること</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 12 年 6 月 30 日以前に電気事業法（昭和 39 年法律第 170 号）に基づき国の認可証又は合格証を取得した溶接施工法 ・平成 12 年 7 月 1 日から平成 25 年 7 月 7 日に、電気事業法に基づく溶接事業者検査において、各設置者が技術基準への適合性を確認した 	<p style="text-align: center;">変更なし</p>

変更前	変更後
<p>溶接施工法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 25 年 7 月 8 日以降、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 年法律第 166 号）に基づき、各設置者が技術基準への適合性を確認した溶接施工法 ・前述と同等の溶接施工法として、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 年法律第 166 号）における他の施設にて、認可を受けたもの、溶接安全管理検査、使用前事業者検査等で溶接施工法の確認を受けたもの又は客観性を有する方法により確認試験が行われ判定基準に適合しているもの。ここで、他の施設とは、加工施設、試験研究用等原子炉施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、特定第一種廃棄物埋設施設、特定廃棄物管理施設をいう。 <p>② 溶接士の技能に関すること</p> <ul style="list-style-type: none"> ・溶接規格第 3 部 溶接士技能認証標準によって認定されたものと同等と認められるものとして、技術基準解釈別記-5 に示されている溶接士が溶接を行う場合 ・溶接規格第 3 部 溶接士技能認証標準に適合する溶接士が、技術基準解釈別記-5 の有効期間内に溶接を行う場合 	<p style="text-align: center;">変更なし</p>

変更前		変更後
表 2-1 あらかじめ確認すべき事項（溶接施工法）		
検査項目	検査方法及び判定基準	
溶接施工法の内容確認	計画している溶接施工法の内容が、技術基準に適合する方法であることを確認する。	
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。	
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。	
溶接作業中確認	溶接施工法及び溶接設備等が計画どおりのものであり、溶接条件等が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。	
外観確認	試験材について、目視により外観が良好であることを確認する。	
溶接後熱処理確認	溶接後熱処理の方法等が技術基準に基づき計画した内容に適合していることを確認する。	変更なし
浸透探傷試験確認	技術基準に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面における開口した欠陥の有無を確認する。	
機械試験確認	溶接部の強度、延性及び靱性等の機械的性質を確認するため、継手引張試験、曲げ試験及び衝撃試験により溶接部の健全性を確認する。	
断面検査確認	管と管板の取付け溶接部の断面について、技術基準に適合する方法により目視検査及びのど厚測定により確認する。	
(判定) (注)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接施工法は技術基準に適合するものとする。	
(注) () 内は検査項目ではない。		

変更前		変更後
表 2-2 あらかじめ確認すべき事項 (溶接士)		
検査項目	検査方法及び判定基準	
溶接士の試験内容の確認	検査を受けようとする溶接士の氏名、溶接訓練歴等、及びその者が行う溶接施工法の範囲を確認する。	
材料確認	試験材の種類及び機械的性質が試験に適したものであることを確認する。	
開先確認	試験をする上で、健全な溶接が施工できることを確認する。	
溶接作業中確認	溶接士及びその溶接士が行う溶接作業が溶接検査計画書のとおりであり、溶接条件が溶接検査計画書のとおり実施されることを確認する。	
外観確認	目視により外観が良好であることを確認する。	
浸透探傷試験確認	技術基準に適合した試験の方法により浸透探傷試験を行い、表面に開口した欠陥の有無を確認する。	変更なし
機械試験確認	曲げ試験を行い、欠陥の有無を確認する。	
断面検査確認	管と管板の取付け溶接部の断面について、技術基準に適合する方法により目視検査及びのど厚測定により確認する。	
(判定) ^(注)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接士は技術基準に適合する技能を持った者とする。	
(注) () 内は検査項目ではない。		

変更前	変更後
<p>(2) 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項</p> <p>発電用原子炉施設のうち技術基準第 17 条第 15 号、第 31 条、第 48 条第 1 項及び第 55 条第 7 号の主要な耐圧部の溶接部について、表 3-1 に示す検査を行う。</p> <p>また、以下の①又は②に限り、原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器に対してテンパービード溶接を適用することができ、この場合、テンパービード溶接方法を含む溶接施工法の溶接部については、表 3-1 に加えて表 3-2 に示す検査を実施する。</p> <p>① 平成 19 年 12 月 5 日以前に電気事業法に基づき実施された検査において溶接後熱処理が不要として適合性が確認された溶接施工法</p> <p>② 以下の規定に基づく溶接施工法確認試験において、溶接後熱処理が不要として適合性が確認された溶接施工法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成 12 年 6 月以前に旧電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令（昭和 45 年通商産業省令第 81 号）第 2 条に基づき、通商産業大臣の許可を受けた特殊な溶接方法 ・平成 12 年 7 月以降に、一般社団法人日本溶接協会又は一般財団法人発電設備技術検査協会による確性試験による適合性確認を受けた特殊な溶接方法 	<p style="text-align: center;">変更なし</p>

変更前		変更後
表 3-1 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項		
検査項目	検査方法及び判定基準	
適用する溶接施工法、溶接士の確認	適用する溶接施工法、溶接士について、表 2-1 及び表 2-2 に示す適合確認がなされていることを確認する。	
材料検査	溶接に使用する材料が技術基準に適合するものであることを確認する。	
開先検査	開先形状、開先面の清浄及び継手面の食違い等が技術基準に適合するものであることを確認する。	
溶接作業検査	あらかじめの確認において、技術基準に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。	
熱処理検査	溶接後熱処理の方法、熱処理設備の種類及び容量が、技術基準に適合するものであること、また、あらかじめの確認において技術基準に適合していることを確認した溶接施工法の範囲により実施しているかを確認する。	
非破壊検査	溶接部について非破壊試験を行い、その試験方法及び結果が技術基準に適合するものであることを確認する。	変更なし
機械検査	溶接部について機械試験を行い、当該溶接部の機械的性質が技術基準に適合するものであることを確認する。	
耐圧検査 ^(注1)	規定圧力で耐圧試験を行い、これに耐え、かつ、漏えいがないことを確認する。規定圧力で行うことが著しく困難な場合は、可能な限り高い圧力で試験を実施し、耐圧試験の代替として非破壊試験を実施する。 (外観の状況確認) 溶接部の形状、外観及び寸法が技術基準に適合することを確認する。	
(適合確認) ^(注2)	以上の全ての工程において、技術基準に適合していることが確認された場合、当該溶接部は技術基準に適合するものとする。	
<p>(注 1) 耐圧検査の方法について、表 3-1 によらない場合は、基本設計方針の共通項目として定めた「材料及び構造等」の方針によるものとする。</p> <p>(注 2) () 内は検査項目ではない。</p>		

変更前						変更後
<p>表 3-2 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項 (テンパービード溶接を適用する場合)</p>						
検査項目	検査方法及び判定基準	同種材の溶接	クラッド材の溶接	異種材の溶接	バタリング材の溶接	
材料検査	1. 中性子照射 10^{19}nvt 以上受ける設備を溶接する場合に使用する溶接材料の銅含有量は、0.10%以下であることを確認する。	適用	適用	適用	適用	
	2. 溶接材料の表面は、錆、油脂付着及び汚れ等がないことを確認する。	適用	適用	適用	適用	
開先検査	1. 当該施工部位は、溶接規格に規定する溶接後熱処理が困難な部位であることを図面等で確認する。	適用	適用	適用	適用	
	2. 当該施工部位は、過去に当該溶接施工法と同一又は類似の溶接後熱処理が不要な溶接方法を適用した経歴を有していないことを確認する。	適用	適用	適用	適用	
	3. 溶接を行う機器の面は、浸透探傷試験又は磁粉探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	適用	適用	適用	適用	
	4. 溶接深さは、母材の厚さの2分の1以下であること。	適用	—	適用	—	
	5. 個々の溶接部の面積は 650cm^2 以下であることを確認する。	適用	—	適用	—	
	6. 適用する溶接施工法に、クラッド材の溶接開先底部とフェライト系母材との距離が規定されている場合は、その寸法が規定を満足していることを確認する。	—	適用	—	—	
	7. 適用する溶接施工法に、溶接開先部がフェライト系母材側へまたがって設けられ、そのまたがりの距離が規定されている場合は、その寸法が規定を満足していることを確認する。	—	—	適用	—	
						変更なし

変更前						変更後
<p>表 3-2 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項 (テンパービード溶接を適用する場合)</p>						
検査項目	検査方法及び判定基準	同種材の溶接	クラッド材の溶接	異種材の溶接	バタリング材の溶接	
溶接作業検査	<p>自動ティグ溶接を適用する場合は、次によることを確認する。</p> <p>1. 自動ティグ溶接は、溶加材を通電加熱しない方法であることを確認する。</p> <p>2. 溶接は、適用する溶接施工法に規定された方法に適合することを確認する。</p>	適用	適用	適用	適用	変更なし
	<p>①各層の溶接入熱が当該施工法に規定する範囲内で施工されていることを確認する。</p>	適用	適用	適用	適用	
	<p>②2層目端部の溶接は、1層目溶接端の母材熱影響部(1層目溶接による粗粒化域)が適切なテンパー効果を受けるよう、1層目溶接端と2層目溶接端の距離が1mmから5mmの範囲であることを確認する。</p>	適用	—	適用	—	
	<p>③予熱を行う溶接施工法の場合は、当該施工法に規定された予熱範囲及び予熱温度を満足していることを確認する。</p>	適用	適用	適用	適用	
	<p>④当該施工法にパス間温度が規定されている場合は、温度制限を満足していることを確認する。</p>	適用	適用	適用	適用	
	<p>⑤当該施工法に、溶接を中断する場合及び溶接終了時の温度保持範囲と保持時間が規定されている場合は、その規定を満足していることを確認する。</p>	適用	適用	適用	適用	
	<p>⑥余盛り溶接は、1層以上行われていることを確認する。</p>	適用	—	適用	—	
<p>⑦溶接後の温度保持終了後、最終層ビードの除去及び溶接部が平滑となるよう仕上げ加工されていることを確認する。</p>	適用	—	適用	—		

変更前						変更後
表 3-2 主要な耐圧部の溶接部に対して確認する事項 (テンパービード溶接を適用する場合)						
検査項目	検査方法及び判定基準	同種材の溶接	クラッド材の溶接	異種材の溶接	バタリング材の溶接	
非破壊検査	溶接部の非破壊検査は、次によることを確認する。					
	1. 1層目の溶接終了後、磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	適用	-	-	-	
	2. 溶接終了後の試験は、次によることを確認する。					
	①溶接終了後の非破壊試験は、室温状態で48時間以上経過した後に実施していることを確認する。	適用	適用	適用	適用	
	②予熱を行った場合はその領域を含み、溶接部は磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	適用	適用	適用	適用	
	③超音波探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	-	適用	適用	-	
④超音波探傷試験又は2層目以降の各層の磁粉探傷試験若しくは浸透探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	適用	-	-	-		
⑤放射線透過試験又は超音波探傷試験を行い、これに合格することを確認する。	-	-	-	適用		
3. 温度管理のために取り付けた熱電対がある場合は、機械的方法で除去し、除去した面に欠陥がないことを確認する。	適用	適用	適用	適用		
						変更なし

変更前	変更後
<p>2.1.3 燃料体に係る検査</p> <p>燃料体については、以下(1)～(3)の加工の工程ごとに表 4 に示す検査を実施する。なお、燃料体を発電用原子炉に受け入れた後は、原子炉本体として機能又は性能に係る検査を実施する。</p> <p>(1) 燃料材、燃料被覆材その他の部品については、組成、構造又は強度に係る試験をすることができる状態になった時</p> <p>(2) 燃料要素の加工が完了した時</p> <p>(3) 加工が完了した時</p> <p>また、燃料体については構造、強度又は漏えいに係る検査を実施することにより、技術基準への適合性が確認できることから、構造、強度又は漏えいに係る検査の実施をもって工事の完了とする。</p>	<p style="text-align: center;">変更なし</p>

変更前

変更後

表 4 構造、強度又は漏えいに係る検査（燃料体）^{（注）}

検査項目	検査方法		判定基準
(1) 燃料材、燃料被覆材その他の部品の化学成分の分析結果の確認その他これらの部品の組成、構造又は強度に係る検査	材料検査	使用されている材料の化学成分、機械的強度等が工事計画のとおりであることを確認する。	設工認のとおりであること、技術基準に適合するものであること。
	寸法検査	主要寸法が工事計画のとおりであり、許容寸法内であることを確認する。	
(2) 燃料要素に係る次の検査 一 寸法検査 二 外観検査 三 表面汚染密度検査 四 溶接部の非破壊検査 五 圧力検査 六 漏えい検査（この表の(3)三に掲げる検査が行われる場合を除く。）	外観検査	有害な欠陥等がないことを確認する。	
	表面汚染密度検査	表面に付着している核燃料物質の量が技術基準の規定を満足することを確認する。	
	溶接部の非破壊検査	溶接部の健全性を非破壊検査等により確認する。	
	漏えい検査	漏えい試験における漏えい量が、技術基準の規定を満足することを確認する。	
	圧力検査	初期圧力が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	
	質量検査	燃料集合体の総質量が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	
(3) 組み立てられた燃料体に係る次の検査 一 寸法検査 二 外観検査 三 漏えい検査（この表の(2)六に掲げる検査が行われる場合を除く。） 四 質量検査	寸法検査	初期圧力が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	
	外観検査	初期圧力が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	
	漏えい検査	初期圧力が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	
	質量検査	初期圧力が工事計画のとおりであり、許容値内であることを確認する。	

変更なし

（注）基本設計方針のうち適合性確認対象に対して実施可能な検査を含む。

変更前	変更後						
<p>2.2 機能又は性能に係る検査</p> <p>機能又は性能を確認するため、以下のとおり検査を行う。</p> <p>但し、表 1 の表中に示す検査により機能又は性能を確認できる場合は、表 5、表 6 又は表 7 の表中に示す検査を表 1 の表中に示す検査に替えて実施する。</p> <p>また、改造、修理又は取替の工事であって、燃料体を挿入できる段階又は臨界反応操作を開始できる段階と工事完了時が同じ時期の場合、工事完了時として実施することができる。</p> <p>構造、強度又は漏えいを確認する検査と機能又は性能を確認する検査の内容が同じ場合は、構造、強度又は漏えいを確認する検査の記録確認をもって、機能又は性能を確認する検査とすることができる。</p> <p>2.2.1 燃料体を挿入できる段階の検査</p> <p>発電用原子炉に燃料体を挿入することができる状態になったとき表 5 に示す検査を実施する。</p> <p style="text-align: center;">表 5 燃料体を挿入できる段階の検査^(注)</p> <table border="1" data-bbox="281 1052 1460 1554"> <thead> <tr> <th>検査項目</th> <th>検査方法</th> <th>判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要なものを確認する検査及び工程上発電用原子炉に燃料体を挿入する前でなければ実施できない検査</td> <td>発電用原子炉に燃料体を挿入するにあたり、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る機能又は性能を試運転等により確認するほか、発電用原子炉施設の安全性確保の観点から、発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要な工学的安全施設、安全設備等の機能又は性能を当該各系統の試運転等により確認する。</td> <td>原子炉に燃料体を挿入するにあたり、確認が必要な範囲について、設工認のとおりであり、技術基準に適合するものであること。</td> </tr> </tbody> </table> <p>(注) 基本設計方針のうち適合性確認対象に対して実施可能な検査を含む。</p>	検査項目	検査方法	判定基準	発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要なものを確認する検査及び工程上発電用原子炉に燃料体を挿入する前でなければ実施できない検査	発電用原子炉に燃料体を挿入するにあたり、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る機能又は性能を試運転等により確認するほか、発電用原子炉施設の安全性確保の観点から、発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要な工学的安全施設、安全設備等の機能又は性能を当該各系統の試運転等により確認する。	原子炉に燃料体を挿入するにあたり、確認が必要な範囲について、設工認のとおりであり、技術基準に適合するものであること。	<p style="text-align: center;">変更なし</p>
検査項目	検査方法	判定基準					
発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要なものを確認する検査及び工程上発電用原子炉に燃料体を挿入する前でなければ実施できない検査	発電用原子炉に燃料体を挿入するにあたり、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に係る機能又は性能を試運転等により確認するほか、発電用原子炉施設の安全性確保の観点から、発電用原子炉に燃料体を挿入した状態において必要な工学的安全施設、安全設備等の機能又は性能を当該各系統の試運転等により確認する。	原子炉に燃料体を挿入するにあたり、確認が必要な範囲について、設工認のとおりであり、技術基準に適合するものであること。					

変更前

変更後

2.2.2 臨界反応操作を開始できる段階の検査

発電用原子炉の臨界反応操作を開始することができる状態になったとき、表6に示す検査を実施する。

表6 臨界反応操作を開始できる段階の検査^(注)

検査項目	検査方法	判定基準
発電用原子炉が臨界に達する時に必要なものを確認する検査及び工程上発電用原子炉が臨界に達する前でなければ実施できない検査	発電用原子炉の出力を上げるにあたり、発電用原子炉に燃料体を挿入した状態での確認項目として、燃料体の炉内配置及び原子炉の核的特性等を確認する。また、工程上発電用原子炉が臨界に達する前でなければ機能又は性能を確認できない設備について、機能又は性能を当該各系統の試運転等により確認する。	原子炉の臨界反応操作を開始するにあたり、確認が必要な範囲について、設工認のとおりであり、技術基準に適合すること。

(注) 基本設計方針のうち適合性確認対象に対して実施可能な検査を含む。

変更なし

2.2.3 工事完了時の検査

全ての工事が完了したとき、表7に示す検査を実施する。

表7 工事完了時の検査^(注)

検査項目	検査方法	判定基準
発電用原子炉の出力運転時における発電用原子炉施設の総合的な性能を確認する検査、その他工事の完了を確認するために必要な検査	工事の完了を確認するために、発電用原子炉で発生した蒸気を用いる施設の試運転等により、当該各系統の機能又は性能の最終的な確認を行う。 発電用原子炉の出力を上げた状態における確認項目として、プラント全体での最終的な試運転により発電用原子炉施設の総合的な性能を確認する。	当該原子炉施設の供用を開始するにあたり、原子炉施設の安全性を確保するために必要な範囲について、設工認のとおりであり、技術基準に適合すること。

(注) 基本設計方針のうち適合性確認対象に対して実施可能な検査を含む。

変更前

変更後

2.3 基本設計方針検査

基本設計方針のうち「構造、強度又は漏えいに係る検査」及び「機能又は性能に係る検査」では確認できない事項について、表 8 に示す検査を実施する。

表 8 基本設計方針検査

検査項目	検査方法	判定基準
基本設計方針検査	基本設計方針のうち表 1、表 4、表 5、表 6、表 7 では確認できない事項について、基本設計方針に従い工事が実施されたことを工事中又は工事完了時における適切な段階で確認する。	「基本設計方針」のとおりであること。

2.4 品質マネジメントシステムに係る検査

実施した工事が、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に記載したプロセス、「1. 工事の手順」並びに「2. 使用前事業者検査の方法」のとおり行われていることの実施状況を確認するとともに、使用前事業者検査で記録確認の対象となる工事の段階で作成される製造メーカー等の記録の信頼性を確保するため、表 9 に示す検査を実施する。

変更なし

表 9 品質マネジメントシステムに係る検査

検査項目	検査方法	判定基準
品質マネジメントシステムに係る検査	工事が設工認の「工事の方法」及び「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に示すプロセスのとおり実施していることを品質記録や聞取り等により確認する。この確認には、検査における記録の信頼性確認として、基となる記録採取の管理方法の確認やその管理方法の遵守状況の確認を含む。	設工認で示す「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」及び「工事の方法」のとおりに行われていること。

変更前	変更後
<p>3. 工事上の留意事項</p> <p>3.1 設置又は変更の工事に係る工事上の留意事項</p> <p>発電用原子炉施設の設置又は変更の工事並びに主要な耐圧部の溶接部における工事の実施にあたっては、発電用原子炉施設保安規定を遵守するとともに、従事者及び公衆の安全確保や既設の安全上重要な機器等への悪影響防止等の観点から、以下に留意し工事を進める。なお、工事の手順と使用前事業者検査との関係については、図 1、図 2 及び図 3 に示す。</p> <p>a. 設置又は変更の工事をを行う発電用原子炉施設の機器等について、周辺資機材、他の発電用原子炉施設及び環境条件からの悪影響や劣化等を受けないよう、隔離、作業環境維持、異物侵入防止対策等の必要な措置を講じる。</p> <p>b. 工事にあたっては、既設の安全上重要な機器等へ悪影響を与えないよう、現場状況、作業環境及び作業条件を把握し、作業に潜在する危険性又は有害性や工事用資機材から想定される影響を確認するとともに、隔離、火災防護、溢水防護、異物侵入防止対策、作業管理等の必要な措置を講じる。</p> <p>c. 設置又は変更の工事をを行う発電用原子炉施設の機器等について、必要に応じて、供用後の施設管理のための重要なデータを採取する。</p> <p>d. プラントの状況に応じて、検査・試験、試運転等の各段階における工程を管理する。</p> <p>e. 設置又は変更の工事をを行う発電用原子炉施設の機器等について、供用開始後に必要な機能性能を発揮できるよう製造から供用開始までの間、管理する。</p> <p>f. 放射性廃棄物の発生量低減に努めるとともに、その種類に応じて保管及び処理を行う。</p> <p>g. 現場状況、作業環境及び作業条件を把握し、放射線業務従事者に対して防護具の着用や作業時間管理等適切な被ばく低減措置と、被ばく線量管理を行う。また、公衆の放射線防護のため、気体及び液体廃棄物の放出管理については、周辺監視区域外の空気中・水中の放射性物質濃度が「核原料物質又は核燃料物質の精錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」に定める値を超えないようにするとともに、放出管理目標値を超えないように努める。</p> <p>h. 修理の方法は、基本的に「図 1 工事の手順と使用前事業者検査のフロー（燃料体を除く。）」の手順により行うこととし、機器等の全部又は一部に</p>	<p>変更なし</p>

変更前	変更後
<p>ついて、撤去、切断、切削又は取外しを行い、据付、溶接又は取付け、若しくは同等の方法により、同等仕様又は性能・強度が改善されたものに取り替を行う等、機器等の機能維持又は回復を行う。また、機器等の一部撤去、一部撤去の既設端部について閉止板の取付け、蒸気発生器、熱交換器又は冷却器の伝熱管への閉止栓取付け若しくは同等の方法により適切な処置を実施する。</p> <p>i. 特別な工法を採用する場合の施工方法は、技術基準に適合するよう、安全性及び信頼性について必要に応じ検証等により十分確認された方法により実施する。</p> <p>3.2 燃料体の加工に係る工事上の留意事項</p> <p>燃料体の加工に係る工事の実施にあたっては、以下に留意し工事を進める。</p> <p>a. 工事対象設備について、周辺資機材、他の加工施設及び環境条件から波及的影響を受けないよう、隔離等の必要な措置を講じる。</p> <p>b. 工事を行うことにより、他の供用中の加工施設が有する安全機能に影響を与えないよう、隔離等の必要な措置を講じる。</p> <p>c. 工事対象設備について、必要に応じて、供用後の施設管理のための重要なデータを採取する。</p> <p>d. 加工施設の状況に応じて、検査・試験等の各段階における工程を管理する。</p> <p>e. 工事対象設備について、供用開始後に必要な機能性能を発揮できるよう維持する。</p> <p>f. 放射性廃棄物の発生量低減に努めるとともに、その種類に応じて保管及び処理を行う。</p> <p>g. 放射線業務従事者に対する適切な被ばく低減措置と、被ばく線量管理を行う。</p>	<p>変更なし</p>

変更前

変更後

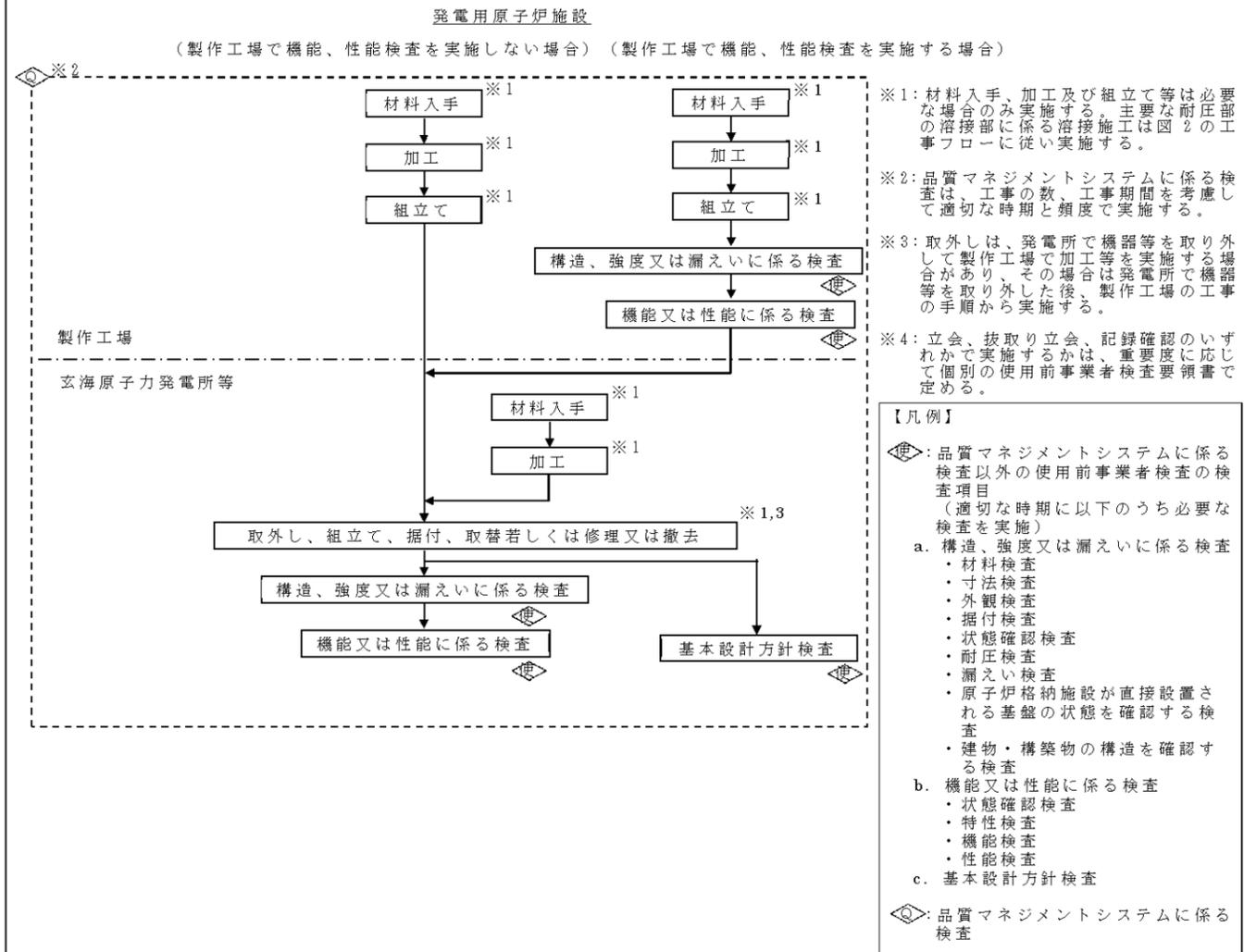


図1 工事の手順と使用前事業者検査のフロー (燃料体を除く。)

変更なし

変更前

変更後

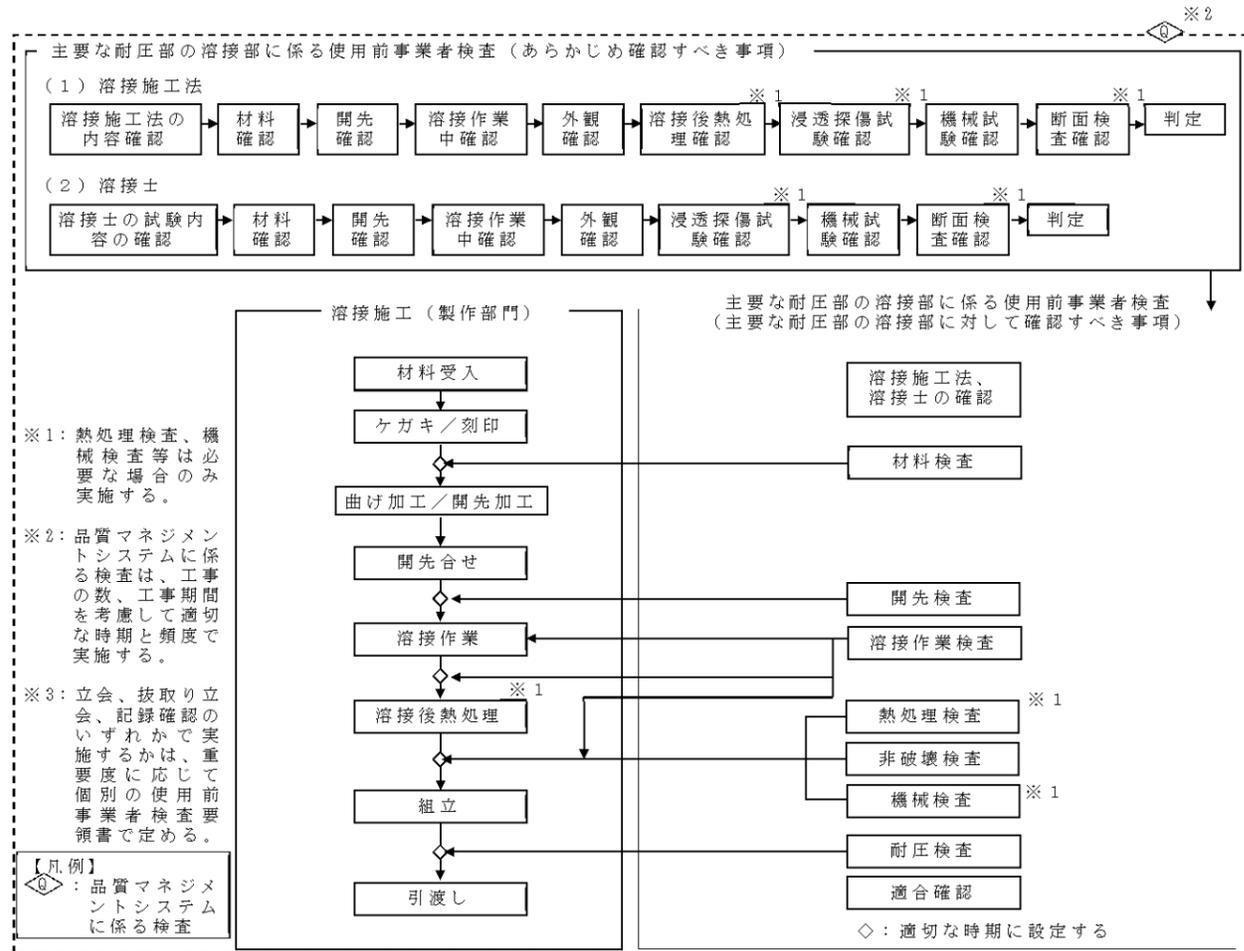


図2 主要な耐圧部の溶接部に係る工事の手順と使用前事業者検査のフロー

変更なし

変更前

変更後

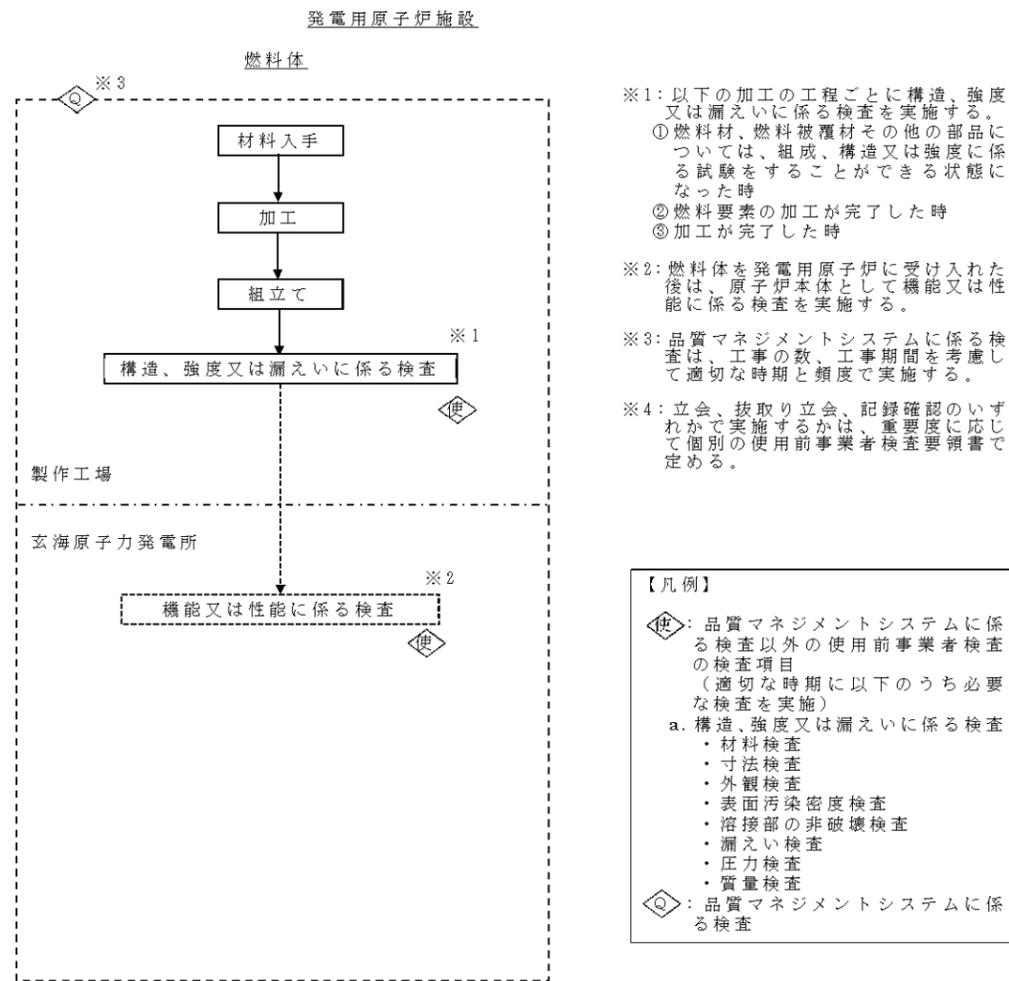


図3 工事の手順と使用前事業者検査のフロー（燃料体）

変更なし

3. 工事工程表

第1表 工事工程表

年 月 項 目	令和3年				
	3	4	5	6	7
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設				□○ ◎	

—：現地工事期間

□：構造、強度又は漏えいに係る検査

○：工事完了時の検査

◎：品質マネジメントシステムに係る検査

※ 設計及び工事の計画の進捗により変更となる可能性がある。

4. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム

1. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム

当社は、原子力の安全を確保するための品質マネジメントシステムを構築し、「玄海原子力発電所原子炉施設保安規定」（以下「保安規定」という。）に品質マネジメントシステム計画を定めている。

「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」（以下「設工認品管計画」という。）は品質マネジメントシステム計画に基づき、設計及び工事に係る具体的な品質管理の方法、組織等の計画された事項を示したものである。

2. 適用範囲・定義

2.1 適用範囲

設工認品管計画は、玄海原子力発電所第4号機の原子炉施設の設計、工事及び検査に係る保安活動に適用する。

2.2 定義

設工認品管計画における用語の定義は、以下を除き品質マネジメントシステム計画に従う。

(1) 実用炉規則

実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）をいう。

(2) 技術基準規則

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）をいう。

(3) 実用炉規則別表第二対象設備

実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）の別表第二「設備別記載事項」に示された設備をいう。

(4) 適合性確認対象設備

設計及び工事の計画（以下「設工認」という。）に基づき、技術基準規則への適合性を確保するために必要となる設備

3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等

設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理は、品質マネジメントシステムに基づき以下のとおり実施する。

3.1 設計、工事及び検査に係る組織

設計、工事及び検査は、品質マネジメントシステム計画に示す、本店組織及び発電所組織で構成する体制で実施する。

設計、工事及び検査に係る組織は、担当する設備に関する設計、工事及び検査について責任と権限を持つ。

3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査

3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用

品質マネジメントシステムにおいて、設工認に係る設計・開発のグレード分けを以下のとおり定めている。

グレード	工事区分	設計区分
グレード1	原子力発電所の安全上重要な設備及び構築物等に関する工事	実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計
グレード2		実用炉規則別表第二対象設備以外の原子炉施設の工事のための設計
グレード3	上記以外の原子炉施設に関する工事	

設工認におけるグレードは、原子炉施設の安全上の重要性に応じて以下のとおり適用する。

(1) 実用炉規則別表第二対象設備に係る管理

実用炉規則別表第二対象設備に係る設計は、「実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計」を適用し、グレード1として管理する。

(2) 主要な耐圧部の溶接部に係る管理

主要な耐圧部の溶接部に係る設計は、当該溶接部が含まれる設備に応じたグレードを適用し管理する。

3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査

設工認における設計、工事及び検査の各段階を第 3.2-1 表に示す。

原子力部門は、設計の各段階におけるレビューを、第 3.2-1 表に示す段階において実施するとともに、記録を管理する。このレビューについては、原子力部門で当該設備の設計に関する専門家を含めて実施する。

(1) 実用炉規則別表第二対象設備に対する管理

設工認のうち、実用炉規則別表第二対象設備に対する設計、工事及び検査の管理を第 3.2-1 表に示す。

なお、実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認申請（届出）が不要な工事を行う場合は、設工認品管計画のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準規則に適合していることを確認する。

(2) 主要な耐圧部の溶接部に対する管理

設工認のうち、主要な耐圧部の溶接部に対する必要な設計、工事及び検査の管理は、「3.4 工事に係る品質管理の方法」、「3.5 使用前事業者検査」及び「3.6 設工認における調達管理の方法」に示す事項（第 3.2-1 表における「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」～「3.6 設工認における調達管理の方法」）のうち、必要な事項を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準規則に適合していることを確認する。

第 3.2-1 表 設工認における設計、工事及び検査の各段階

各段階		
設計	3.3	設計に係る品質管理の方法で行った管理の実績に係る計画
	3.3.1※	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化
	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定
	3.3.3(1)※	設計（設計 1、2）の実施
	3.3.3(2)	設計開発の結果に係る情報に対する検証
	3.3.4※	設計における変更
工事及び検査	3.4.1※	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）
	3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施
	3.5.1	使用前事業者検査での確認事項
	3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり の明確化
	3.5.3	使用前事業者検査の計画
	3.5.4	検査計画の管理
	3.5.5	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理
3.5.6	使用前事業者検査の実施	
調達	3.6	設工認における調達管理の方法

※「3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査」でいう、レビュー対応項目

3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画

原子力部門は、設工認における設計を実施するための設計開発計画を策定し、この計画に基づき設計を以下のとおり実施する。

3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化

原子力部門は、設工認における技術基準規則等への適合性を確保するために必要な要求事項を明確にする。

3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定

原子力部門は、設工認に関連する工事において、追加・変更となる適合性確認対象設備（運用を含む。）のうち、対象となる適合性確認対象設備（運用を含む。）の要求事項への適合性を確保するために、実際に使用する際の系統・構成で必要となる運用を考慮し選定する。

3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証

原子力部門は、適合性確認対象設備の技術基準規則等への適合性を確保するための設計を以下のとおり実施する。

(1) 設計（設計 1、2）の実施

- a. 「設計 1」として、技術基準規則等の適合性確認対象設備に必要な要求事項を基に、必要な設計を漏れなく実施するための基本設計方針を明確化する。
- b. 「設計 2」として、「設計 1」で明確にした基本設計方針を用いて適合性確認対象設備に必要な詳細設計を実施する。

なお、詳細設計の品質を確保する上で重要な活動となる、「調達による解析」及び「手計算による自社解析」について、その重要度に応じて個別に管理事項を計画し信頼性を確保する。

(2) 設計開発の結果に係る情報に対する検証

設計 1 及び設計 2 の結果について、原設計者以外の者に検証を実施させる。

3.3.4 設計における変更

原子力部門は、設計の変更が必要となった場合、各設計結果のうち、影響を受けるものについて必要な設計を実施し、設計結果を必要に応じ修正する。

3.4 工事に係る品質管理の方法

原子力部門は、工事段階において、設工認に基づく設備の具体的な設計（設計3）、その結果を反映した設備を導入するために必要な工事を以下のとおり実施する。

なお、実用炉規則別表第二対象設備外の設備の主要な耐圧部の溶接部については、設計3の実施に先立ち該当設備の抽出を工事段階で実施する。

また、これらの活動を調達する場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」を適用して実施する。

3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）

原子力部門は、工事段階において、設工認に基づく製品実現のための設備の具体的な設計（設計3）（主要な耐圧部の溶接部については溶接部に係る設計が設工認対象となる。）を実施する。

3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施

原子力部門は、設工認に基づく設備を設置するための工事を「工事の方法」並びに「3.6 設工認における調達管理の方法」に従い実施する。

設工認に基づく設備のうち、新たな工事を伴わない設工認申請（届出）時点で設置されている設備がある場合には、使用前事業者検査により技術基準規則に適合していることを確認する。

3.5 使用前事業者検査

原子力部門は、適合性確認対象設備が設工認のとおりに行われていること、技術基準規則に適合していることを確認（設工認のうち、設工認品管計画については、認可（届出後 30 日経過）された内容から設計、工事及び検査プロセスが変更されている場合には、品質マネジメントシステム計画に従い変更した後の設計、工事及び検査プロセスに従っていることを確認する。）するため、保安規定に基づく使用前事業者検査を計画し、原子力部門に属する工事を主管する組織（以下「工事を主管する組織」という。）からの独立性を確保した検査体制のもと実施する。

3.5.1 使用前事業者検査での確認事項

原子力部門は、以下の項目について使用前事業者検査を実施する。

I 実設備の仕様の適合性確認

II 実施した工事が、「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」及び「3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施」に記載したプロセス並びに「工事の方法」のとおり行われていること。

これらの項目のうち、I を第 3.5-1 表に示す検査として、II を品質マネジメントシステムに係る使用前事業者検査（以下「QA 検査」という。）として実施する。

II については工事全般に対して実施するものであるが、「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」を実施する場合は、工事を主管する組織が実施する溶接に関するプロセス管理が適切に行われていることの確認を QA 検査に追加する。

また、QA 検査では上記 II に加え、上記 I のうち工事を主管する組織（供給者含む。）が検査記録を採取する場合には記録の信頼性の確認を行い、設工認に基づく工事の信頼性を確保する。

なお、主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査では、供給者が作成する検査項目毎の記録を用いるが、検査を主管する組織（供給者含む。）が「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」に基づく管理を行うため工事を主管する組織（供給者を含む。）が実施する検査項目毎の記録の信頼性は確保済みであるため、この範囲は QA 検査の対象外とする。

3.5.2 設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり の明確化

原子力部門は、使用前事業者検査の実施に先立ち、設計 1～3 の結果と適合性確認対象の繋がり を明確化する。

3.5.3 使用前事業者検査の計画

原子力部門は、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び第 3.5-1 表に定める要求種別ごとに確認項目、確認視点及び主な検査項目をもとに使用前事業者検査の計画を策定する。

適合性確認対象設備のうち、技術基準規則上の措置（運用）に必要な設備についても、使用前事業者検査を計画する。

個々に実施する使用前事業者検査に加えてプラント運転に影響を及ぼしていないことを総合的に確認するため、定格熱出力一定運転時の主要パラメータを確認することによる使用前事業者検査（負荷検査）の計画を必要に応じて策定する。

また、使用前事業者検査の実施に先立ち、設計結果に関する具体的な検査概要及び判定基準を使用前事業者検査の方法として明確にする。

3.5.4 検査計画の管理

原子力部門は、使用前事業者検査を適切な時期で実施するため、関係組織と調整のうえ検査計画を作成し、使用前事業者検査が確実に行われることを管理する。

3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理

原子力部門は、溶接が特殊工程であることを踏まえ、工程管理等の計画を策定し、溶接施工工場におけるプロセスの適切性の確認及び監視を行う。また、溶接継手に対する要求事項は、溶接部詳細一覧表（溶接方法、溶接材料、溶接施工法、熱処理条件、検査項目等）により管理し、これに係る関連図書を含め、業務の実施に当たって必要な図書を溶接施工工場に提出させ、それを確認し、必要な管理を実施する。

3.5.6 使用前事業者検査の実施

原子力部門は、以下のとおり使用前事業者検査を実施する。

(1) 使用前事業者検査の検査要領書の作成

適合性確認対象設備が設工認に適合していることを確認するため「3.5.3 使用前事業者検査の計画」で決定した確認方法を基に、使用前事業者検査実施要領書を作成する。

実施する検査が代替検査となる場合は、代替による使用前事業者検査の方法を決定する。

(2) 使用前事業者検査の体制

使用前事業者検査の体制は、検査要領書で明確にする。

(3) 使用前事業者検査の実施

検査要領書に基づき、確立された検査体制の下で、使用前事業者検査を実施する。

第3.5-1表 要求事項に対する確認項目及び確認の視点

要求種別	確認項目	確認視点	主な検査項目		
設備	設置要求	名称、取付箇所、個数	設計要求のとおり(名称、取付箇所、個数)に設置されていることを確認する。	据付検査 状態確認検査	
	設計要求	系統構成	実際に使用できる系統構成になっていることを確認する。	機能・性能検査	
		機能要求	容量、揚程等の仕様(要目表)	要目表の記載のとおりである事を確認する。	材料検査 寸法検査 外観検査
			上記以外の所要の機能要求事項	目的とする能力(機能・性能)が発揮できることを確認する。	据付検査 耐圧検査 漏えい検査 建物・構築物構造検査 機能・性能検査 特性検査 状態確認検査
		評価要求	評価のインプット条件等の要求事項	評価条件を満足していることを確認する。	状態確認検査
			評価結果を設計条件とする要求事項	内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求として確認する。	内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求の検査を適用
	運用	運用要求	手順確認	手順化されていることを確認する。(保安規定)	状態確認検査

3.6 設工認における調達管理の方法

設工認で行う調達管理は、品質マネジメントシステム計画に基づき以下の管理を実施する。

3.6.1 供給者の技術的評価

原子力部門は、供給者が当社の要求事項に従って調達製品を供給する技術的な能力を判断の根拠として供給者の技術的評価を実施する。

3.6.2 供給者の選定

原子力部門は、設工認に必要な調達を行う場合、原子力安全に対する影響や供給者の実績等を考慮し、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に定める重要度に供給信頼度を加味した品質重要度分類等に従いグレード分けを行い管理する。

3.6.3 調達製品の調達管理

原子力部門は、調達の実施に際し、原子力安全に及ぼす影響に応じたグレード分けを適用し、以下の管理を実施する。

(1) 調達仕様書の作成

業務の内容に応じ、品質マネジメントシステム計画に基づく調達要求事項を含めた調達仕様書を作成し、供給者の業務実施状況を適切に管理する。

(「(2) 調達製品の管理」参照)

(2) 調達製品の管理

調達仕様書で要求した製品が確実に納品されるよう調達製品が納入されるまでの間、製品に応じた必要な管理を実施する。

(3) 調達製品の検証

調達製品が調達要求事項を満たしていることを確実にするために調達製品の検証を行う。また、供給先で検証を実施する場合、あらかじめ調達文書で検証の要領及び調達製品のリリースの方法を明確にした上で、検証を行う。

3.6.4 受注者品質保証監査

原子力部門は、供給者の品質保証活動及び健全な安全文化を育成し維持する

ための活動が適切で、かつ、確実に行われていることを確認するために、受注者品質保証監査を実施する。

3.6.5 設工認における調達管理の特例

原子力部門は、設工認の対象となる適合性確認対象設備のうち、設工認申請（届出）時点で設置されている設備がある場合は、設置当時に調達を終えており、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づく管理は適用しない。

3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ

3.7.1 文書及び記録の管理

原子力部門は、設工認に係る文書及び記録について、以下の管理を実施する。

(1) 適合性確認対象設備の設計、工事及び検査に係る文書及び記録

設計、工事及び検査に係る文書及び記録については、品質マネジメントシステム計画に示す規定文書、規定文書に基づき業務ごとに作成される文書、それらに基づき作成される品質記録であり、これらを適切に管理する。

(2) 供給者が所有する図書を設計、工事及び検査に用いる場合の管理

設工認において供給者が所有する図書を設計、工事及び検査に用いる場合、供給者の品質保証能力の確認、かつ、対象設備での使用が可能な場合において、適用可能な図書として扱う。

(3) 使用前事業者検査に用いる文書及び記録

使用前事業者検査として、記録確認検査を実施する場合に用いる記録は、上記(1)、(2)を用いて実施する。

3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ

原子力部門は、設工認に係る識別及びトレーサビリティの管理を以下のとおり実施する。

(1) 計測器の管理

設計及び工事、検査で使用する計測器については、品質マネジメントシステム計画に従った、校正・検証及び識別等の管理を実施する。

(2) 機器、弁及び配管等の管理

機器類、弁及び配管類は、品質マネジメントシステム計画に従った管理を実施する。

3.8 不適合管理

原子力部門は、設工認に係る設計、工事及び検査において発生した不適合については、品質マネジメントシステム計画に基づき管理を行う。

4. 適合性確認対象設備の保守管理

原子力部門は、設工認に基づく工事を保安規定に基づき管理する。

5. 変更の理由

玄海 4 号機の使用済燃料については、必要に応じて玄海 3 号機へ運搬し、玄海 3 号機の使用済燃料ピットに貯蔵する計画としている。このため、使用済燃料運搬用容器を玄海 4 号機に設置する。

6. 添付書類

(1) 添付資料

(2) 添付図面

(1) 添付資料

- 添付資料 1 発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書
- 添付資料 2 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書
- 添付資料 3 強度に関する説明書
- 添付資料 4 燃料取扱設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
- 添付資料 5 使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明書
- 添付資料 6 使用済燃料運搬用容器の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
- 添付資料 7 設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書

(2) 添付図面

第 1 図 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造図

添付資料目次

添付資料 1	発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書
添付資料 1-1	発電用原子炉の設置の許可（本文（五号））との整合性に関する説明書
添付資料 1-2	発電用原子炉の設置の許可（本文（十一号））との整合性に関する説明書
添付資料 2	設備別記載事項の設定根拠に関する説明書
添付資料 3	強度に関する説明書
添付資料 3-1	強度計算の基本方針
添付資料 3-1-1	強度計算の基本方針の概要
添付資料 3-1-2	クラス 3 容器の強度計算の基本方針
添付資料 3-2	強度計算方法
添付資料 3-2-1	強度計算方法の概要
添付資料 3-2-2	クラス 3 容器の強度計算方法
添付資料 3-3	強度計算書
添付資料 3-3-1	強度計算書の概要
添付資料 3-3-2	クラス 3 容器の強度計算書
添付資料 3 別添	衝撃、熱等に係る強度計算書

- 添付資料 4 燃料取扱設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書
- 添付資料 5 使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明書
- 添付資料 6 使用済燃料運搬用容器の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
- 添付資料 7 設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書
- 添付資料 7-1 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム
- 添付資料 7-2 本設計及び工事の計画に係る設計の実績、工事及び検査の計画

発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 1

玄海原子力発電所第4号機

発電用原子炉の設置の許可（本文（五号））との
整合性に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 1-1

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	1 (4) - 1 - 1
2. 基本方針	1 (4) - 1 - 1
3. 記載の基本事項	1 (4) - 1 - 1
4. 発電用原子炉の設置の許可との整合性	1 (4) - 1 - 2
五、発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備	
ロ．発電用原子炉施設の一般構造	
(3) その他の主要な構造	1 (4) - 1 - 3
(i) a. 設計基準対象施設	
ニ．核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備	
(1) 核燃料物質取扱設備の構造	1 (4) - 1 - 5

1. 概 要

本資料は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）第43条の3の8第1項の許可を受けたところによる設計及び工事の計画であることを、玄海原子力発電所 発電用原子炉設置変更認可申請書（以下「設置変更認可申請書」という。）の「本文（五号）」との整合性により示すものである。

2. 基本方針

設置変更許可申請書との整合性は、設置変更許可申請書「本文（五号）」と設計及び工事の計画のうち「基本設計方針」及び「機器等の仕様に関する記載事項（以下「要目表」という。）」について示す。

設置変更許可申請書並びに設計及び工事の計画のうち、本設計及び工事の計画の変更に伴う変更がない箇所は、既存の設計及び工事の計画にて設置許可申請書との整合性を示しているため、本資料では変更箇所について整合性を示す。

また、設置変更許可申請書「添付書類八」のうち「本文（五号）」に係る設備設計を記載している箇所については参考情報として記載する。

なお、変更の工事において、変更に係る内容が許可の際の申請書等の記載事項でない場合においては、許可に抵触するものでないため、本資料には記載しない。

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「設置変更許可申請書（本文）」、「設置変更許可申請書（添付書類八）」、「設計及び工事の計画」、「整合性」及び「備考」を記載する。
- (2) 説明書の記載順は、「本文（五号）」に記載する順とする。
- (3) 設置変更許可申請書と設計及び工事の計画の記載が同等の箇所には、実線のアンダーラインで明示する。表記等が異なる場合には破線のアンダーラインを引くとともに、設計及び工事の計画が設置変更許可申請書と整合していることを明示する。
- (4) 工事計画は、必要により既工事計画のものを記載する。
- (5) 「本文（五号）」との整合性に関する補足説明は原則として「整合性」欄に記載するが、欄内に記載しきれないものについては別途、二重枠囲みにより記載する。

4. 発電用原子炉の設置の許可との整合性

要目表及び基本設計方針のうち、本資料に記載のない箇所における設置変更許可申請書との整合性は、令和2年3月30日付け原規規発第2003301号にて認可された工事計画の「発電用原子炉の設置の許可との整合性に関する説明書」による。

原子炉設置変更許可申請書と設計及び工事の計画との整合性

設置変更許可申請書（本文）	設置変更許可申請書（添付書類八）該当事項	設計及び工事の計画 該当事項	整合性	備考
<p>五、発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備 ロ．発電用原子炉施設の一般構造 B．4号炉 (3) その他の主要な構造 (i) 本発電用原子炉施設は、(1)耐震構造、(2)耐津波構造に加え、以下の基本的方針のもとに安全設計を行う。 a. 設計基準対象施設 (k) 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設 <u>通常運転時に使用する燃料体又は使用済燃料（以下「燃料体等」という。）の取扱施設（安全施設に係るものに限る。）は、①燃料体等を取り扱う能力を有し、②燃料体等が臨界に達するおそれがなく、③崩壊熱により燃料体等が溶融せず、④使用済燃料からの放射線に対して適切な遮へい能力を有し、燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できる設計とする。</u></p>		<p>【核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設】 （基本設計方針） 第2章 個別項目 1. 燃料取扱設備</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、②使用済燃料運搬用容器は、内部に使用済燃料を入れた場合に臨界に達するおそれがない設計とする。</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、③使用済燃料運搬用容器は、内部に使用済燃料を入れた場合に崩壊熱により使用済燃料が溶融しない設計とする。</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>①使用済燃料運搬用容器は、取扱中において衝撃、熱及び容器に加わる負荷に耐え、かつ、容易に破損しない設計とする。また、④内部に燃料体等を入れた場合に放射線障害を防止するための遮蔽を有する設計とする。</p> <p style="text-align: center;">＜後略＞</p>	<p>設置変更許可申請書（本文）第五号ロ項及びニ項において、設計及び工事の計画の内容は、以下の通り満足している。</p> <p>設計及び工事の計画の①②③④は、設置変更許可申請書（本文）の①②③④の内容を具体的に記載しており、整合している。</p>	

原子炉設置変更許可申請書と設計及び工事の計画との整合性

設置変更許可申請書（本文）	設置変更許可申請書（添付書類八）該当事項	設計及び工事の計画 該当事項	整合性	備考																																																																																																															
		<p>【核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設】 (要目表)</p> <p>1 燃料取扱設備に係る次の事項</p> <p>(3) 処理済燃料運搬用容器の名称、種類、容量、最高使用圧力、最高使用温度、主要寸法、材料及び個数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">変 更 前</th> <th>変 更 後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>名 称</td> <td>—</td> <td>使用済燃料運搬用容器</td> </tr> <tr> <td>種 類</td> <td>—</td> <td>円筒形筒型(NPT-14型)</td> </tr> <tr> <td>容 量</td> <td>—</td> <td>17×17 燃料集合体 14 体 全容積 : 2.8m³以上、4m³以下 冷却水数 : 12以上 平均燃焼深 : 1.0以上、1.5以下 燃焼熱量 : 容器当たり 64kW以下 放射線当量 : 容器当たり 2.0以下</td> </tr> <tr> <td>最 高 使 用 圧 力</td> <td>MPa</td> <td>1.70</td> </tr> <tr> <td>最 高 使 用 温 度</td> <td>℃</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>全 長</td> <td>mm</td> <td>5,318 (注1)</td> </tr> <tr> <td>筒 内 径</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>筒 厚 さ (胴部ガンマ線遮蔽)</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>中間筒内径</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>中間筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>外 筒 内 径</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>外筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>底 盤 厚 さ (底部ガンマ線遮蔽)</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ふ た 板 厚 さ</td> <td>mm</td> <td>2,198 (注2)</td> </tr> <tr> <td>フ ァ イ ン 外 径</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ふ た 板 径</td> <td>mm</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">変 更 前</th> <th>変 更 後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">バスケット</td> <td>全 長</td> <td>4,255 (注1)</td> </tr> <tr> <td>外 径</td> <td>1,331 (注1)</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">下 部 機 構 体 カバ ー プ レ ー ト</td> <td>チャンネル間寸</td> <td>225 (注2)</td> </tr> <tr> <td>チャンネル板厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)</td> <td>246 (注1)</td> </tr> <tr> <td>下部機構体カバープレート厚さ</td> <td>9.8 (10) (注2)</td> </tr> <tr> <td>胴部ガンマ線遮蔽厚さ</td> <td>11.1 (11) (注2)</td> </tr> <tr> <td>ふた部板厚さ</td> <td>4.6 (6) (注2)</td> </tr> <tr> <td>胴部ガンマ線遮蔽厚さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>下部機構体カバープレート厚さ (ふた部ガンマ線遮蔽)</td> <td>4.6 (6) (注2)</td> </tr> <tr> <td>胴部ガンマ線遮蔽厚さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>胴部ガンマ線遮蔽厚さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>胴部中心柱遮蔽体厚さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">材 料</td> <td>内 径</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ト 間 隙</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>外 径</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>底 座 厚 さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>ふ た 板 厚 さ</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>フ ァ イ ン</td> <td>SUS304</td> </tr> <tr> <td>バスケットチャンネル板</td> <td>ボロン添加ステンレス鋼</td> </tr> <tr> <td>下部機構体カバープレート</td> <td>SUS304</td> </tr> <tr> <td>ふた部板厚さ</td> <td>SUS304</td> </tr> <tr> <td>下部機構体カバープレート</td> <td>SUS304</td> </tr> <tr> <td>胴部ガンマ線遮蔽体</td> <td>鉛</td> </tr> <tr> <td>胴部中心柱遮蔽体</td> <td>レジン</td> </tr> <tr> <td>冷 却 方 法</td> <td>—</td> <td>自然冷却</td> </tr> <tr> <td>備 考</td> <td>—</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	変 更 前		変 更 後	名 称	—	使用済燃料運搬用容器	種 類	—	円筒形筒型(NPT-14型)	容 量	—	17×17 燃料集合体 14 体 全容積 : 2.8m³以上、4m³以下 冷却水数 : 12以上 平均燃焼深 : 1.0以上、1.5以下 燃焼熱量 : 容器当たり 64kW以下 放射線当量 : 容器当たり 2.0以下	最 高 使 用 圧 力	MPa	1.70	最 高 使 用 温 度	℃	180	全 長	mm	5,318 (注1)	筒 内 径	mm	—	筒 厚 さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—	中間筒内径	mm	—	中間筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—	外 筒 内 径	mm	—	外筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—	底 盤 厚 さ (底部ガンマ線遮蔽)	mm	—	ふ た 板 厚 さ	mm	2,198 (注2)	フ ァ イ ン 外 径	mm	—	ふ た 板 径	mm	—	変 更 前		変 更 後	バスケット	全 長	4,255 (注1)	外 径	1,331 (注1)	下 部 機 構 体 カバ ー プ レ ー ト	チャンネル間寸	225 (注2)	チャンネル板厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	246 (注1)	下部機構体カバープレート厚さ	9.8 (10) (注2)	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	11.1 (11) (注2)	ふた部板厚さ	4.6 (6) (注2)	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—	下部機構体カバープレート厚さ (ふた部ガンマ線遮蔽)	4.6 (6) (注2)	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—	胴部中心柱遮蔽体厚さ	—	材 料	内 径	—	ト 間 隙	—	外 径	—	底 座 厚 さ	—	ふ た 板 厚 さ	—	フ ァ イ ン	SUS304	バスケットチャンネル板	ボロン添加ステンレス鋼	下部機構体カバープレート	SUS304	ふた部板厚さ	SUS304	下部機構体カバープレート	SUS304	胴部ガンマ線遮蔽体	鉛	胴部中心柱遮蔽体	レジン	冷 却 方 法	—	自然冷却	備 考	—	2	<p>整合性</p>	<p>備考</p>
変 更 前		変 更 後																																																																																																																	
名 称	—	使用済燃料運搬用容器																																																																																																																	
種 類	—	円筒形筒型(NPT-14型)																																																																																																																	
容 量	—	17×17 燃料集合体 14 体 全容積 : 2.8m³以上、4m³以下 冷却水数 : 12以上 平均燃焼深 : 1.0以上、1.5以下 燃焼熱量 : 容器当たり 64kW以下 放射線当量 : 容器当たり 2.0以下																																																																																																																	
最 高 使 用 圧 力	MPa	1.70																																																																																																																	
最 高 使 用 温 度	℃	180																																																																																																																	
全 長	mm	5,318 (注1)																																																																																																																	
筒 内 径	mm	—																																																																																																																	
筒 厚 さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—																																																																																																																	
中間筒内径	mm	—																																																																																																																	
中間筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—																																																																																																																	
外 筒 内 径	mm	—																																																																																																																	
外筒厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	mm	—																																																																																																																	
底 盤 厚 さ (底部ガンマ線遮蔽)	mm	—																																																																																																																	
ふ た 板 厚 さ	mm	2,198 (注2)																																																																																																																	
フ ァ イ ン 外 径	mm	—																																																																																																																	
ふ た 板 径	mm	—																																																																																																																	
変 更 前		変 更 後																																																																																																																	
バスケット	全 長	4,255 (注1)																																																																																																																	
	外 径	1,331 (注1)																																																																																																																	
下 部 機 構 体 カバ ー プ レ ー ト	チャンネル間寸	225 (注2)																																																																																																																	
	チャンネル板厚さ (胴部ガンマ線遮蔽)	246 (注1)																																																																																																																	
	下部機構体カバープレート厚さ	9.8 (10) (注2)																																																																																																																	
	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	11.1 (11) (注2)																																																																																																																	
	ふた部板厚さ	4.6 (6) (注2)																																																																																																																	
	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—																																																																																																																	
	下部機構体カバープレート厚さ (ふた部ガンマ線遮蔽)	4.6 (6) (注2)																																																																																																																	
	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—																																																																																																																	
	胴部ガンマ線遮蔽厚さ	—																																																																																																																	
	胴部中心柱遮蔽体厚さ	—																																																																																																																	
材 料	内 径	—																																																																																																																	
	ト 間 隙	—																																																																																																																	
	外 径	—																																																																																																																	
	底 座 厚 さ	—																																																																																																																	
	ふ た 板 厚 さ	—																																																																																																																	
	フ ァ イ ン	SUS304																																																																																																																	
	バスケットチャンネル板	ボロン添加ステンレス鋼																																																																																																																	
	下部機構体カバープレート	SUS304																																																																																																																	
ふた部板厚さ	SUS304																																																																																																																		
下部機構体カバープレート	SUS304																																																																																																																		
胴部ガンマ線遮蔽体	鉛																																																																																																																		
胴部中心柱遮蔽体	レジン																																																																																																																		
冷 却 方 法	—	自然冷却																																																																																																																	
備 考	—	2																																																																																																																	
		<p>(注1) 本運搬用容器に収納する燃料集合体の仕積毎の最大値又は最小値を記載。なお、冷却工数については取捨する燃料集合体の平均燃焼深により設定する。</p> <p>(注2) 公称値</p> <p>(注3) ステンレスクラッド鋼 []</p> <p>ボロン添加ステンレス鋼規格表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">材 料 名</th> <th colspan="2">機械的強度</th> <th colspan="3">化学的組成(%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">耐力 (N/mm²)</th> <th>Ni</th> <th>Cr</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">ボロン添加 ステンレス鋼</td> <td>≥255</td> <td>≥225</td> <td rowspan="2">9.00 ～ 15.00</td> <td rowspan="2">18.00 ～ 23.00</td> <td rowspan="2">1.00 ～ 1.30</td> </tr> <tr> <td>(20℃)</td> <td>(200℃)</td> </tr> </tbody> </table>	材 料 名	機械的強度		化学的組成(%)			耐力 (N/mm²)		Ni	Cr	B	ボロン添加 ステンレス鋼	≥255	≥225	9.00 ～ 15.00	18.00 ～ 23.00	1.00 ～ 1.30	(20℃)	(200℃)																																																																																														
材 料 名	機械的強度			化学的組成(%)																																																																																																															
	耐力 (N/mm²)		Ni	Cr	B																																																																																																														
ボロン添加 ステンレス鋼	≥255	≥225	9.00 ～ 15.00	18.00 ～ 23.00	1.00 ～ 1.30																																																																																																														
	(20℃)	(200℃)																																																																																																																	

原子炉設置変更許可申請書と設計及び工事の計画との整合性

設置変更許可申請書（本文）	設置変更許可申請書（添付書類八）該当事項	設計及び工事の計画 該当事項	整合性	備考
<p>ニ、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備</p> <p>(1) 核燃料物質取扱設備の構造</p> <p>核燃料物質取扱設備（燃料取扱設備）は、燃料取替装置、燃料移送装置（一部4号炉燃料取扱棟内1号、2号及び4号炉共用、並びに一部3号炉燃料取扱棟内3号及び4号炉共用、既設）及び除染装置（4号炉燃料取扱棟内1号、2号及び4号炉共用、並びに3号炉燃料取扱棟内3号及び4号炉共用、既設）で構成する。</p> <p>新燃料は、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備から燃料取扱設備により、原子炉格納容器内に搬入する。燃料取替は、原子炉上部の原子炉キャビティに水張りし、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で行う。</p> <p>使用済燃料（1号及び2号炉の燃料集合体最高燃焼度55,000MWd/tのものを含む。）は、遮へいに必要な水深を確保した状態で、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で燃料取扱棟内へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備（一部1号、2号及び4号炉共用）のほう酸水中に貯蔵するとともに、⑤7年以上冷却した4号炉の使用済燃料については、必要に応じて3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（一部3号及び4号炉共用、一部既設）のほう酸水中に貯蔵する。</p> <p>燃料取扱設備は、燃料取扱時において燃料が臨界に達することのない設計とするとともに、燃料集合体の落下を防止する設計とする。</p> <p>なお、⑥使用済燃料の搬出には、使用済燃料輸送容器を使用する。</p>	<p>4. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設</p> <p>4.1 燃料取扱及び貯蔵設備</p> <p>4.1.1 通常運転時等</p> <p>4.1.1.1 概要</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>また、⑤使用済燃料は必要に応じて使用済燃料ピットで7年以上冷却し、使用済燃料の再処理工場への輸送に使用する使用済燃料輸送容器に入れて3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットに運搬する。</p> <p style="text-align: center;">＜後略＞</p>	<p>【核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設】</p> <p>（基本設計方針）</p> <p>第2章 個別項目</p> <p>1. 燃料取扱設備</p> <p style="text-align: center;">＜中略＞</p> <p>使用済燃料は、遮蔽に必要な水深を確保した状態で、燃料取扱設備を用いてほう酸水中で燃料取扱棟内へ移送し、同棟内の使用済燃料貯蔵設備のほう酸水中に貯蔵するとともに、⑤7年以上冷却した4号機の使用済燃料については、必要に応じて、使用済燃料の再処理工場への輸送に使用する使用済燃料輸送容器に入れて3号機燃料取扱棟内へ運搬し、3号機燃料取扱棟内の使用済燃料貯蔵設備（3号機設備、設計基準対象施設としてのみ一部3、4号機共用（以下同じ。））のほう酸水中に貯蔵する。</p> <p>⑥使用済燃料を発電所外に搬出する際、使用済燃料はキャスクピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料輸送容器に収納し、除染場ピット（「1,2,4号機共用」、「3号機設備、3,4号機共用」）で使用済燃料輸送容器の除染を行う。</p> <p style="text-align: center;">＜後略＞</p>	<p>設計及び工事の計画の⑤は、設置変更許可申請書（本文）の⑤の内容を具体的に記載しており、整合している。</p> <p>設計及び工事の計画の⑥は、設置変更許可申請書（本文）の⑥の内容を具体的に記載しており、整合している。</p>	

発電用原子炉の設置の許可（本文（十一号））との
整合性に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 1-2

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	1 (4) - 2 - 1
2. 基本方針	1 (4) - 2 - 1
3. 記載の基本事項	1 (4) - 2 - 1
4. 発電用原子炉の設置の許可との整合性	1 (4) - 2 - 2
十一、発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に 関する事項	

1. 概 要

本資料は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）第43条の3の8第1項の許可を受けたところによる設計及び工事の計画であることを、玄海原子力発電所 発電用原子炉設置変更許可申請書（以下「設置変更許可申請書」という。）の「本文（十一号）」との整合性により示すものである。

2. 基本方針

設置変更許可申請書との整合性は、設置変更許可申請書「本文（十一号）」と設計及び工事の計画のうち「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」について示す。

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「設置変更許可申請書（本文）」、「設計及び工事の計画」、「整合性」及び「備考」を記載する。
- (2) 説明書の記載順は、「本文（十一号）」に記載する順とする。
- (3) 設置変更許可申請書と設計及び工事の計画の記載が同等の箇所には、実線のアンダーラインで明示する。

4. 発電用原子炉の設置の許可との整合性

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>十一、発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項 発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項を以下のとおりとする。</p> <p>1. 目的 <u>発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する事項（以下「品質管理に関する事項」という。）は、原子力の安全を確保するため、「原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則」（以下「品管規則」という。）に基づく品質マネジメントシステムを確立し、実施するとともに、その実効性を維持するため、その改善を継続的に行うことを目的とする。</u></p> <p>2. 適用範囲 <u>品質管理に関する事項は、玄海原子力発電所の保安活動に適用する。</u></p> <p>3. 定義 <u>品質管理に関する事項における用語の定義は、次に掲げるものを除き品管規則に従う。</u> (1) 保安に関する組織：当社の品質マネジメントシステムに基づき、原子炉施設を運営管理（運転開始前の管理を含む。）する各部門の総称をいう。 (2) 原子炉施設：核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第43条の3の5に規定する発電用原子炉施設をいう。</p> <p>4 品質マネジメントシステム 4.1 品質マネジメントシステムに係る要求事項 <u>(1) 保安に関する組織は、品質管理に関する事項に従って、品質マネジメントシステムを確立し、実施するとともに、その実効性を維持するため、その改善を継続的に行う。</u></p>	<p>4. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム</p> <p>1. 設計及び工事に係る品質マネジメントシステム <u>当社は、原子力の安全を確保するための品質マネジメントシステムを構築し、「玄海原子力発電所原子炉施設保安規定」（以下「保安規定」という。）に品質マネジメントシステム計画を定めている。「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」（以下「設工認品管計画」という。）は品質マネジメントシステム計画に基づき、設計及び工事に係る具体的な品質管理の方法、組織等の計画された事項を示したものである。</u></p> <p>2. 適用範囲・定義 2.1 適用範囲 <u>設工認品管計画は、玄海原子力発電所第4号機の原子炉施設の設計、工事及び検査に係る保安活動に適用する。</u></p> <p>2.2 定義 <u>設工認品管計画における用語の定義は、以下を除き品質マネジメントシステム計画に従う。</u> (1) 実用炉規則 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）をいう。 (2) 技術基準規則 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）をいう。 (3) 実用炉規則別表第二対象設備 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令第77号）の別表第二「設備別記載事項」に示された設備をいう。 (4) 適合性確認対象設備 設計及び工事の計画（以下「設工認」という。）に基づき、技術基準規則への適合性を確保するために必要となる設備</p> <p>3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等 <u>設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理は、品質マネジメントシステムに基づき以下のとおり実施する。</u></p>	<p>設置変更許可申請書（本文（十一号））において、設計及び工事の計画の内容は以下のとおり満足している。</p> <p>設計及び工事の計画では、設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている原子炉施設保安規定に品質マネジメントシステム計画を定め、その品質マネジメントシステム計画に従い設工認品管計画を定めていることから整合している。（以下、設置変更許可申請書（本文十一号）に対応した設計及び工事の計画での説明がない箇所については、品質マネジメントシステム計画にて対応していることを以て整合している。）</p> <p>設計及び工事の計画の適用範囲は、設置変更許可申請書（本文十一号）の適用範囲に示す玄海原子力発電所の保安活動に包含されていることから整合している。</p> <p>設計及び工事の計画では、設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画の用語の定義に従っていることから整合している。</p> <p>設計及び工事の計画では、設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い品質管理を行うことから整合している。</p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性										
<p>(2) 保安に関する組織は、<u>保安活動の重要度に応じて、品質マネジメントシステムを確立し、運用する。</u>この場合において、次に掲げる事項を適切に考慮する。</p> <p>a. 原子炉施設、組織又は保安活動の重要度及びこれらの複雑さの程度</p> <p>b. 原子炉施設若しくは機器等の品質又は保安活動に関連する原子力の安全に影響を及ぼすおそれのあるもの及びこれらに関連する潜在的影響の大きさ</p> <p>c. 機器等の故障若しくは通常想定されない事象の発生又は保安活動が不適切に計画され、若しくは実行されたことにより起こり得る影響</p> <p>(3) 保安に関する組織は、自らの原子炉施設に適用される関係法令（以下「関係法令」という。）を明確に認識し、品管規則に規定する文書その他品質マネジメントシステムに必要な文書（記録を除く。以下「品質マネジメント文書」という。）に明記する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、品質マネジメントシステムに必要なプロセスを明確にするとともに、そのプロセスを組織に適用することを決定し、次に掲げる業務を行う。</p> <p>a. プロセスの運用に必要な情報及び当該プロセスの運用により達成される結果を明確に定める。</p> <p>b. プロセスの順序及び相互関係を明確に定める。</p> <p>c. プロセスの運用及び管理の実効性の確保に必要な保安に関する組織の保安活動の状況を示す指標（以下「保安活動指標」という。）並びに当該指標に係る判定基準を明確に定める。</p> <p>d. プロセスの運用並びに監視及び測定（以下「監視測定」という。）に必要な資源及び情報が利用できる体制を確保する（責任及び権限の明確化を含む。）。</p>	<p>3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査</p> <p>3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用</p> <p>品質マネジメントシステムにおいて、<u>設工認に係る設計・開発のグレード分けを以下のとおり定めている。</u></p> <table border="1" data-bbox="1210 390 2169 680"> <thead> <tr> <th>グレード</th> <th>工事区分</th> <th>設計区分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>グレード1</td> <td rowspan="2">原子力発電所の安全上重要な設備及び構築物等に関する工事</td> <td>実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計</td> </tr> <tr> <td>グレード2</td> <td rowspan="2">実用炉規則別表第二対象設備以外の原子炉施設の工事のための設計</td> </tr> <tr> <td>グレード3</td> <td>上記以外の原子炉施設に関する工事</td> </tr> </tbody> </table> <p>設工認におけるグレードは、原子炉施設の安全上の重要性に応じて以下のとおり適用する。</p> <p>(1) 実用炉規則別表第二対象設備に係る管理</p> <p>実用炉規則別表第二対象設備に係る設計は、「実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計」を適用し、グレード1として管理する。</p> <p>(2) 主要な耐圧部の溶接部に係る管理</p> <p>主要な耐圧部の溶接部に係る設計は、当該溶接部が含まれる設備に応じたグレードを適用し管理する。</p> <p>3.6.2 供給者の選定</p> <p>原子力部門は、<u>設工認に必要な調達を行う場合、原子力安全に対する影響や供給者の実績等を考慮し、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に定める重要度に供給信頼度を加味した品質重要度分類等に従いグレード分けを行い管理する。</u></p> <p>3.6.3 調達製品の調達管理</p> <p>原子力部門は、<u>調達の実施に際し、原子力安全に及ぼす影響に応じたグレード分けを適用し、以下の管理を実施する。</u></p>	グレード	工事区分	設計区分	グレード1	原子力発電所の安全上重要な設備及び構築物等に関する工事	実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計	グレード2	実用炉規則別表第二対象設備以外の原子炉施設の工事のための設計	グレード3	上記以外の原子炉施設に関する工事	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計のグレード分けを行うことから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達のグレード分けを行うことから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達のグレード分けを行うことから整合している。</u></p>
グレード	工事区分	設計区分										
グレード1	原子力発電所の安全上重要な設備及び構築物等に関する工事	実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計										
グレード2		実用炉規則別表第二対象設備以外の原子炉施設の工事のための設計										
グレード3	上記以外の原子炉施設に関する工事											

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>e. プロセスの運用状況を監視測定し、分析する。ただし、監視測定することが困難である場合は、この限りでない。</p> <p>f. プロセスについて、意図した結果を得、及び実効性を維持するための措置を講ずる。</p> <p>g. プロセス及び組織を品質マネジメントシステムと整合的なものとする。</p> <p>h. 原子力の安全とそれ以外の事項において意思決定の際に対立が生じた場合には、原子力の安全が確保されるようにする。</p> <p>(5) 保安に関する組織は、健全な安全文化を育成し、及び維持する。</p> <p>(6) 保安に関する組織は、機器等又は個別業務に係る要求事項（関係法令を含む。以下「個別業務等要求事項」という。）への適合に影響を及ぼすプロセスを外部委託することとしたときは、当該プロセスが管理されているようにする。</p> <p>(7) 保安に関する組織は、保安活動の重要度に応じて、資源の適切な配分を行う。</p> <p>4.2 品質マネジメントシステムの文書化</p> <p>4.2.1 一般</p> <p>保安に関する組織は、4.1(1)に従い品質マネジメントシステムを確立するときは、<u>保安活動の重要度に応じて次に掲げる文書を作成し、当該文書に規定する事項を実施する。</u></p> <p>(1) 品質方針及び品質目標</p> <p>(2) 品質マネジメントシステムを規定する文書（以下「品質マニュアル」という。）</p> <p>(3) 実効性のあるプロセスの計画的な実施及び管理がなされるようにするために必要な文書</p> <p>(4) <u>品管規則に規定する手順書、指示書、図面等</u>（以下「手順書等」という。）</p> <p>4.2.2 品質マニュアル</p> <p>保安に関する組織は、品質マニュアルに次に掲げる事項を定める。</p> <p>(1) 品質マネジメントシステムの運用に係る組織に関する事項</p> <p>(2) 保安活動の計画、実施、評価及び改善に関する事項</p> <p>(3) 品質マネジメントシステムの適用範囲</p> <p>(4) 品質マネジメントシステムのために作成した手順書等の参照情報</p> <p>(5) プロセスの相互の関係</p> <p>4.2.3 文書の管理</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>品質マネジメント文書を管理する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>要員が判断及び決定をするに当たり、適切な品質マネジメント文書を利用できるように、品質マネジメント文書に関する次に掲げる事項を定めた手順書等を作成する。</u></p> <p>a. 品質マネジメント文書を発行するに当たり、その妥当性を審査し、発行を承認する。</p> <p>b. 品質マネジメント文書の改訂の必要性について評価するとともに、改訂に当たり、その妥当性を審査し、改訂を承認する。</p>	<p>3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ</p> <p>3.7.1 文書及び記録の管理</p> <p>原子力部門は、<u>設工認に係る文書及び記録について、以下の管理を実施する。</u></p> <p>(1) 適合性確認対象設備の設計、工事及び検査に係る文書及び記録</p> <p>設計、工事及び検査に係る文書及び記録については、品質マネジメントシステム計画に示す規定文書、規定文書に基づき業務ごとに作成される文書、それらに基づき作成される品質記録であり、これらを適切に管理する。</p> <p>(2) 供給者が所有する図書を設計、工事及び検査に用いる場合の管理</p> <p>設工認において供給者が所有する図書を設計、工事及び検査に用いる場合、供給者の品質保証能力の確認、かつ、対象設備での使用が可能な場合において、適用可能な図書として扱う。</p> <p>(3) 使用前事業者検査に用いる文書及び記録</p> <p>使用前事業者検査として、記録確認検査を実施する場合に用いる記録は、上記(1)、(2)を用いて実施する。</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い文書及び記録の管理を行うことから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>c. 4.2.3(2)a、b に基づく審査及び 4.2.3(2)b の評価には、その対象となる文書に定められた活動を実施する部門の要員を参画させる。</p> <p>d. 品質マネジメント文書の改訂内容及び最新の改訂状況を識別できるようにする。</p> <p>e. 改訂のあった品質マネジメント文書を利用する場合には、当該文書の適切な制定版又は改訂版が利用しやすい体制を確保する。</p> <p>f. 品質マネジメント文書を、読みやすく容易に内容を把握することができるようにする。</p> <p>g. 組織の外部で作成された品質マネジメント文書を識別し、その配付を管理する。</p> <p>h. 廃止した品質マネジメント文書が使用されることを防止すること。この場合において、当該文書を保持するときは、その目的にかかわらず、これを識別し、管理する。</p> <p>4.2.4 記録の管理</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>品管規則に規定する個別業務等要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性を実証する記録を明確にする</u>とともに、<u>当該記録を、読みやすく容易に内容を把握することができ、かつ、検索することができるように作成し、保安活動の重要度に応じてこれを管理する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、4.2.4(1)の記録の識別、保存、保護、検索及び廃棄に関し所要の管理の方法を定めた手順書等を作成する。</p> <p>5 経営責任者等の責任</p> <p>5.1 経営責任者の原子力の安全のためのリーダーシップ</p> <p>社長は、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、責任を持って品質マネジメントシステムを確立させ、実施させるとともに、その実効性を維持していることを、次に掲げる業務を行うことによって実証する。</p> <p>(1) 品質方針を定める。</p> <p>(2) 品質目標が定められているようにする。</p> <p>(3) 要員が、健全な安全文化を育成し、及び維持することに貢献できるようにする。</p> <p>(4) 5.6.1 に規定するマネジメントレビューを実施する。</p> <p>(5) 資源が利用できる体制を確保するようにする。</p> <p>(6) 関係法令を遵守することその他原子力の安全を確保することの重要性を要員に周知するようにする。</p> <p>(7) 保安活動に関する担当業務を理解し、遂行する責任を有することを要員に認識させるようにする。</p> <p>(8) 全ての階層で行われる決定が、原子力の安全の確保について、その優先順位及び説明する責任を考慮して確実に行われるようにする。</p> <p>5.2 原子力の安全の確保の重視</p> <p>社長は、組織の意思決定に当たり、機器等及び個別業務が個別業務等要求事項に適合し、かつ、原子力の安全がそれ以外の事由により損なわれないようにする。</p>		

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>5.3 品質方針 社長は、品質方針が次に掲げる事項に適合しているようにする。 (1) 組織の目的及び状況に対して適切なものである。 (2) 要求事項への適合及び品質マネジメントシステムの実効性の維持に社長が責任を持って関与する。 (3) 品質目標を定め、評価するに当たっての枠組みとなるものである。 (4) 要員に周知され、理解されている。 (5) 品質マネジメントシステムの継続的な改善に社長が責任を持って関与する。</p> <p>5.4 計画 5.4.1 品質目標 (1) 社長は、部門において、品質目標（個別業務等要求事項への適合のために必要な目標を含む。）が定められているようにする。 (2) 社長は、品質目標が、その達成状況を評価し得るものであって、かつ、品質方針と整合的なものとなるようにする。</p> <p>5.4.2 品質マネジメントシステムの計画 (1) 社長は、品質マネジメントシステムが 4.1 の規定に適合するよう、その実施に当たっての計画が策定されているようにする。 (2) 社長は、品質マネジメントシステムの変更が計画され、それが実施される場合においては、当該品質マネジメントシステムが不備のない状態に維持されているようにする。この場合において、保安活動の重要度に応じて、次に掲げる事項を適切に考慮する。 a. 品質マネジメントシステムの変更の目的及び当該変更により起こり得る結果 b. 品質マネジメントシステムの実効性の維持 c. 資源の利用可能性 d. 責任及び権限の割当て</p> <p>5.5 責任、権限及び情報の伝達 5.5.1 責任及び権限 <u>社長は、部門及び要員の責任及び権限並びに部門相互間の業務の手順を定めさせ、関係する要員が責任を持って業務を遂行できるようにする。</u></p> <p>5.5.2 品質マネジメントシステム管理責任者 社長は、品質マネジメントシステムを管理する責任者に、次に掲げる業務に係る責任及び権限を与える。 (1) プロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにする。 (2) 品質マネジメントシステムの運用状況及びその改善の必要性について社長に報告する。 (3) 健全な安全文化を育成し、及び維持することにより、原子力の安全の確保についての認識が向上するようにする。 (4) 関係法令を遵守する。</p>	<p>3.1 設計、工事及び検査に係る組織 <u>設計、工事及び検査は、品質マネジメントシステム計画に示す、本店組織及び発電所組織で構成する体制で実施する。</u> <u>設計、工事及び検査に係る組織は、担当する設備に関する設計、工事及び検査について責任と権限を持つ。</u></p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計、工事及び検査に係る組織を定めていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>5.5.3 管理者</p> <p>(1) 社長は、次に掲げる業務を管理監督する地位にある者（以下「管理者」という。）に、当該管理者が管理監督する業務に係る責任及び権限を与えるようにする。</p> <p>a. 個別業務のプロセスが確立され、実施されるとともに、その実効性が維持されているようにする。</p> <p>b. 要員の個別業務等要求事項についての認識が向上するようにする。</p> <p>c. 個別業務の実施状況に関する評価を行う。</p> <p>d. 健全な安全文化を育成し、及び維持する。</p> <p>e. 関係法令を遵守する。</p> <p>(2) 管理者は、5.5.3(1)で与えられた責任及び権限の範囲において、原子力の安全のためのリーダーシップを発揮し、次に掲げる事項を確実に実施する。</p> <p>a. 品質目標を設定し、その目標の達成状況を確認するため、業務の実施状況を監視測定する。</p> <p>b. 要員が、原子力の安全に対する意識を向上し、かつ、原子力の安全への取組を積極的に行えるようにする。</p> <p>c. 原子力の安全に係る意思決定の理由及びその内容を、関係する要員に確実に伝達する。</p> <p>d. 常に問いかける姿勢及び学習する姿勢を要員に定着させるとともに、要員が、積極的に原子炉施設の保安に関する問題の報告を行えるようにする。</p> <p>e. 要員が、積極的に業務の改善に対する貢献を行えるようにする。</p> <p>(3) 管理者は、管理監督する業務に関する自己評価を、あらかじめ定められた間隔で行う。</p> <p>5.5.4 組織の内部の情報の伝達</p> <p>社長は、組織の内部の情報が適切に伝達される仕組みが確立されているようにするとともに、品質マネジメントシステムの実効性に関する情報が確実に伝達されるようにする。</p> <p>5.6 マネジメントレビュー</p> <p>5.6.1 一般</p> <p>社長は、品質マネジメントシステムの実効性を評価するとともに、改善の機会を得て、保安活動の改善に必要な措置を講ずるため、品質マネジメントシステムの評価（以下「マネジメントレビュー」という。）を、あらかじめ定められた間隔で行う。</p> <p>5.6.2 マネジメントレビューに用いる情報</p> <p>保安に関する組織は、マネジメントレビューにおいて、少なくとも次に掲げる情報を報告する。</p> <p>(1) 内部監査の結果</p> <p>(2) 組織の外部の者の意見</p> <p>(3) プロセスの運用状況</p> <p>(4) 使用前事業者検査及び定期事業者検査（以下「使用前事業者検査等」という。）並びに自主検査等の結果</p>	<p>3.1 設計、工事及び検査に係る組織</p> <p><u>設計、工事及び検査は、品質マネジメントシステム計画に示す、本店組織及び発電所組織で構成する体制で実施する。</u></p> <p><u>設計、工事及び検査に係る組織は、担当する設備に関する設計、工事及び検査について責任と権限を持つ。</u></p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計、工事及び検査に係る組織を定めていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>(5) 品質目標の達成状況</p> <p>(6) 健全な安全文化の育成及び維持の状況</p> <p>(7) 関係法令の遵守状況</p> <p>(8) 不適合並びに是正処置及び未然防止処置の状況</p> <p>(9) 従前のマネジメントレビューの結果を受けて講じた措置</p> <p>(10) 品質マネジメントシステムに影響を及ぼすおそれのある変更</p> <p>(11) 部門又は要員からの改善のための提案</p> <p>(12) 資源の妥当性</p> <p>(13) 保安活動の改善のために講じた措置の実効性</p> <p>5.6.3 マネジメントレビューの結果を受けて行う措置</p> <p>(1) 保安に関する組織は、マネジメントレビューの結果を受けて、少なくとも次に掲げる事項について決定する。</p> <p>a. 品質マネジメントシステム及びプロセスの実効性の維持に必要な改善</p> <p>b. 個別業務に関する計画及び個別業務の実施に関連する保安活動の改善</p> <p>c. 品質マネジメントシステムの実効性の維持及び継続的な改善のために必要な資源</p> <p>d.健全な安全文化の育成及び維持に関する改善</p> <p>e.関係法令の遵守に関する改善</p> <p>(2) 保安に関する組織は、マネジメントレビューの結果の記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、5.6.3(1)の決定をした事項について、必要な措置を講じる。</p> <p>6 資源の管理</p> <p>6.1 資源の確保</p> <p>保安に関する組織は、原子力の安全を確実なものにするために必要な次に掲げる資源を明確に定め、これを確保し、及び管理する。</p> <p>(1) 要員</p> <p>(2) 個別業務に必要な施設、設備及びサービスの体系</p> <p>(3) 作業環境</p> <p>(4) その他必要な資源</p> <p>6.2 要員の力量の確保及び教育訓練</p> <p>(1) 保安に関する組織は、個別業務の実施に必要な技能及び経験を有し、意図した結果を達成するために必要な知識及び技能並びにそれを適用する能力（以下「力量」という。）が実証された者を要員に充てる。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、要員の力量を確保するために、保安活動の重要度に応じて次に掲げる業務を行う。</p> <p>a.要員にどのような力量が必要かを明確に定める。</p> <p>b. 要員の力量を確保するために教育訓練その他の措置を講ずる。</p> <p>c. 6.2(2)b に基づく措置の実効性を評価する。</p> <p>d. 要員が、自らの個別業務について次に掲げる事項を認識しているようにする。</p> <p>(a) 品質目標の達成に向けた自らの貢献</p>		

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>(b) 品質マネジメントシステムの実効性を維持するための自らの貢献 (c) 原子力の安全に対する当該業務の重要性 e. 要員の力量及び教育訓練その他の措置に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>7 個別業務に関する計画の策定及び個別業務の実施 7.1 個別業務に必要なプロセスの計画 (1) 保安に関する組織は、個別業務に必要なプロセスについて、計画を策定するとともに、そのプロセスを確立する。 (2) 保安に関する組織は、7.1(1)で策定した計画と当該個別業務以外のプロセスに係る個別業務等要求事項との整合性を確保する。 (3) 保安に関する組織は、個別業務に関する計画（以下「個別業務計画」という。）の策定又は変更を行うに当たり、次に掲げる事項を明確にする。 a. 個別業務計画の策定又は変更の目的及び当該計画の策定又は変更により起こり得る結果 b. 機器等又は個別業務に係る品質目標及び個別業務等要求事項 c. 機器等又は個別業務に固有のプロセス、品質マネジメント文書及び資源 d. 使用前事業者検査等、検証、妥当性確認及び監視測定並びにこれらの個別業務等要求事項への適合性を判定するための基準（以下「合否判定基準」という。） e. 個別業務に必要なプロセス及び当該プロセスを実施した結果が個別業務等要求事項に適合することを実証するために必要な記録 (4) 保安に関する組織は、策定した個別業務計画を、その個別業務の作業方法に適したものとする。</p> <p>7.2 個別業務等要求事項に関するプロセス 7.2.1 個別業務等要求事項として明確にすべき事項 保安に関する組織は、次に掲げる事項を個別業務等要求事項として明確に定める。 (1) 組織の外部の者が明示してはいないものの、機器等又は個別業務に必要な要求事項 (2) 関係法令 (3) 7.2.1(1)及び(2)に掲げるもののほか、保安に関する組織が必要とする要求事項</p> <p>7.2.2 個別業務等要求事項の審査 (1) 保安に関する組織は、機器等の使用又は個別業務の実施に当たり、あらかじめ、個別業務等要求事項の審査を実施する。 (2) 保安に関する組織は、7.2.2(1)の審査を実施するに当たり、次に掲げる事項を確認する。 a. 当該個別業務等要求事項が定められている。 b. 当該個別業務等要求事項が、あらかじめ定められた個別業務等要求事項と相違する場合においては、その相違点が解明されている。 c. 保安に関する組織が、あらかじめ定められた個別業務等要求事項に</p>		

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性																																			
<p>適合するための能力を有している。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、7.2.2(1)の審査の結果の記録及び当該審査の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、個別業務等要求事項が変更された場合においては、関連する文書が改訂されるようにするとともに、関連する要員に対し変更後の個別業務等要求事項が周知されるようにする。</p> <p>7.2.3 組織の外部の者との情報の伝達等 保安に関する組織は、組織の外部の者からの情報の収集及び組織の外部の者への情報の伝達のために、実効性のある方法を明確に定め、これを実施する。</p> <p>7.3 設計開発 7.3.1 設計開発計画 (1) 保安に関する組織は、設計開発（専ら原子炉施設において用いるための設計開発に限る。）の計画（以下「設計開発計画」という。）を策定するとともに、設計開発を管理する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、設計開発計画の策定において、次に掲げる事項を明確にする。 a. <u>設計開発の性質、期間及び複雑さの程度</u></p>	<p>3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画 原子力部門は、設工認における設計を実施するための設計開発計画を策定し、この計画に基づき設計を以下のとおり実施する。</p> <p>3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査 設工認における設計、工事及び検査の各段階を第3.2-1表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第3.2-1表 設工認における設計、工事及び検査の各段階</p> <table border="1" data-bbox="1193 1157 2178 1780"> <thead> <tr> <th colspan="2">各段階</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">設計</td> <td>3.3</td> <td>設計に係る品質管理の方法で行った管理の実績に係る計画</td> </tr> <tr> <td>3.3.1※</td> <td>適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化</td> </tr> <tr> <td>3.3.2</td> <td>各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定</td> </tr> <tr> <td>3.3.3(1)※</td> <td>設計（設計1、2）の実施</td> </tr> <tr> <td>3.3.3(2)</td> <td>設計開発の結果に係る情報に対する検証</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">工事及び検査</td> <td>3.3.4※</td> <td>設計における変更</td> </tr> <tr> <td>3.4.1※</td> <td>設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）</td> </tr> <tr> <td>3.4.2</td> <td>設備の具体的な設計に基づく工事の実施</td> </tr> <tr> <td>3.5.1</td> <td>使用前事業者検査での確認事項</td> </tr> <tr> <td>3.5.2</td> <td>設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり</td> </tr> <tr> <td>3.5.3</td> <td>使用前事業者検査の計画</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">調達</td> <td>3.5.4</td> <td>検査計画の管理</td> </tr> <tr> <td>3.5.5</td> <td>主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理</td> </tr> <tr> <td>3.5.6</td> <td>使用前事業者検査の実施</td> </tr> <tr> <td>3.6</td> <td>設工認における調達管理の方法</td> </tr> </tbody> </table> <p>※「3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査」でいう、レビュー対応項目</p>	各段階		設計	3.3	設計に係る品質管理の方法で行った管理の実績に係る計画	3.3.1※	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	3.3.3(1)※	設計（設計1、2）の実施	3.3.3(2)	設計開発の結果に係る情報に対する検証	工事及び検査	3.3.4※	設計における変更	3.4.1※	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）	3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施	3.5.1	使用前事業者検査での確認事項	3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり	3.5.3	使用前事業者検査の計画	調達	3.5.4	検査計画の管理	3.5.5	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理	3.5.6	使用前事業者検査の実施	3.6	設工認における調達管理の方法	<p>設計及び工事の計画では、設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計に先立ち設計開発計画を定めていることから整合している。</p> <p>設計及び工事の計画では、設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計開発計画にて設計における段階を定め管理を行っていることから整合している。</p>
各段階																																					
設計	3.3	設計に係る品質管理の方法で行った管理の実績に係る計画																																			
	3.3.1※	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化																																			
	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定																																			
	3.3.3(1)※	設計（設計1、2）の実施																																			
	3.3.3(2)	設計開発の結果に係る情報に対する検証																																			
工事及び検査	3.3.4※	設計における変更																																			
	3.4.1※	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）																																			
	3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施																																			
	3.5.1	使用前事業者検査での確認事項																																			
	3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり																																			
	3.5.3	使用前事業者検査の計画																																			
調達	3.5.4	検査計画の管理																																			
	3.5.5	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理																																			
	3.5.6	使用前事業者検査の実施																																			
3.6	設工認における調達管理の方法																																				

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>b. <u>設計開発の各段階における適切な審査、検証及び妥当性確認の方法並びに管理体制</u></p> <p>c. <u>設計開発に係る部門及び要員の責任及び権限</u></p> <p>d. <u>設計開発に必要な組織の内部及び外部の資源</u></p> <p>(3) 保安に関する組織は、実効性のある情報の伝達並びに責任及び権限の明確な割当てがなされるようにするために、設計開発に関与する各者間の連絡を管理する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、7.3.1(1)に基づき策定した設計開発計画を、設計開発の進行に応じて適切に変更する。</p>	<p>原子力部門は、設計の各段階におけるレビューを、第 3.2-1 表に示す段階において実施するとともに、記録を管理する。このレビューについては、原子力部門で当該設備の設計に関する専門家を含めて実施する。</p> <p>(1) 実用炉規則別表第二対象設備に対する管理 設工認のうち、実用炉規則別表第二対象設備に対する設計、工事及び検査の管理を第 3.2-1 表に示す。 なお、実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認申請（届出）が不要な工事を行う場合は、設工認品管計画のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準規則に適合していることを確認する。</p> <p>(2) 主要な耐圧部の溶接部に対する管理 設工認のうち、主要な耐圧部の溶接部に対する必要な設計、工事及び検査の管理は、「3.4 工事に係る品質管理の方法」、「3.5 使用前事業者検査」及び「3.6 設工認における調達管理の方法」に示す事項（第 3.2-1 表における「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」～「3.6 設工認における調達管理の方法」）のうち、必要な事項を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準規則に適合していることを確認する。</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計開発計画にてレビュー等の管理方法を定め、レビューは当該設計に関する専門家を含めて実施する計画としていることから整合している。</u></p>
<p>7.3.2 設計開発に用いる情報</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>個別業務等要求事項として設計開発に用いる情報であって、次に掲げるものを明確に定めるとともに、当該情報に係る記録を作成し、これを管理する。</u></p> <p>a. 機能及び性能に係る要求事項</p> <p>b. 従前の類似した設計開発から得られた情報であって、当該設計開発に用いる情報として適用可能なもの</p> <p>c. 関係法令</p> <p>d. その他設計開発に必要な要求事項</p> <p>(2) 保安に関する組織は、設計開発に用いる情報について、その妥当性を評価し、承認する。</p>	<p>3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化 原子力部門は、<u>設工認における技術基準規則等への適合性を確保するために必要な要求事項を明確にする。</u></p> <p>3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定 原子力部門は、設工認に関連する工事において、追加・変更となる適合性確認対象設備（運用を含む。）のうち、対象となる適合性確認対象設備（運用を含む。）の要求事項への適合性を確保するために、実際に使用する際の系統・構成で必要となる運用を考慮し選定する。</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計開発へのインプットとして、適合性確認対象設備に対する要求事項を明確化していることから整合している。</u></p>
<p>7.3.3 設計開発の結果に係る情報</p> <p>(1) 保安に関する組織は、設計開発の結果に係る情報を、設計開発に用いた情報と対比して検証することができる形式により管理する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、設計開発の次の段階のプロセスに進むに当たり、あらかじめ、当該設計開発の結果に係る情報を承認する。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>設計開発の結果に係る情報を、次に掲げる事項に適合するものとする。</u></p> <p>a. 設計開発に係る個別業務等要求事項に適合するものである。</p> <p>b. 調達、機器等の使用及び個別業務の実施のために適切な情報を提供</p>	<p>3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証 原子力部門は、<u>適合性確認対象設備の技術基準規則等への適合性を確保するための設計を以下のとおり実施する。</u></p> <p>(1) 設計（設計 1、2）の実施 a. 「設計 1」として、<u>技術基準規則等の適合性確認対象設備に必要な要求事項を基に、必要な設計を漏れなく実施するための基本設計方針</u></p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計を実施し、アウトプットを取りまとめていることか</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>するものである。</p> <p>c. 合否判定基準を含むものである。</p> <p>d. 機器等を安全かつ適正に使用するために不可欠な当該機器等の特性が明確である。</p> <p>7.3.4 設計開発レビュー</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>設計開発の適切な段階において、設計開発計画に従って、次に掲げる事項を目的とした体系的な審査（以下「設計開発レビュー」という。）を実施する。</u></p> <p>a. 設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性について評価する。</p> <p>b. 設計開発に問題がある場合においては、当該問題の内容を明確にし、必要な措置を提案する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>設計開発レビューに、当該設計開発レビューの対象となっている設計開発段階に関連する部門の代表者及び当該設計開発に係る専門家を参加させる。</u></p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>設計開発レビューの結果の記録及び当該設計開発レビューの結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</u></p> <p>7.3.5 設計開発の検証</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>設計開発の結果が個別業務等要求事項に適合している状態を確保するために、設計開発計画に従って検証を実施する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>7.3.5(1)に基づく検証の結果の記録及び当該検証の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</u></p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>当該設計開発を行った要員に 7.3.5(1)に基づく検証をさせない。</u></p> <p>7.3.6 設計開発の妥当性確認</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>設計開発の結果の個別業務等要求事項への適合性を確認するために、設計開発計画に従って、当該設計開発の妥当性確認（以下「設計開発妥当性確認」という。）を実施する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>機器等の使用又は個別業務の実施に当たり、あらかじめ、設計開発妥当性確認を完了させる。</u></p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>設計開発妥当性確認の結果の記録及び当該設計</u></p>	<p>を明確化する。</p> <p>b. 「設計2」として、「設計1」で明確にした基本設計方針を用いて<u>適合性確認対象設備に必要な詳細設計を実施する。</u></p> <p>なお、詳細設計の品質を確保する上で重要な活動となる、「調達による解析」及び「手計算による自社解析」について、その重要度に応じて個別に管理事項を計画し信頼性を確保する。</p> <p>3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）</p> <p>原子力部門は、<u>工事段階において、設工認に基づく製品実現のための設備の具体的な設計（設計3）（主要な耐圧部の溶接部については溶接部に係る設計が設工認対象となる。）を実施する。</u></p> <p>3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査</p> <p>原子力部門は、<u>設計の各段階におけるレビューを、第3.2-1表に示す段階において実施するとともに、記録を管理する。このレビューについては、原子力部門で当該設備の設計に関する専門家を含めて実施する。</u></p> <p>3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証</p> <p>(2) 設計開発の結果に係る情報に対する検証</p> <p><u>設計1及び設計2の結果について、原設計者以外の者に検証を実施させる。</u></p> <p>3.5.6 使用前事業者検査の実施</p> <p>原子力部門は、以下のとおり<u>使用前事業者検査を実施する。</u></p> <p>(1) 使用前事業者検査の検査要領書の作成</p> <p>適合性確認対象設備が設工認に適合していることを確認するため「3.5.3 使用前事業者検査の計画」で決定した確認方法を基に、使用前事業者検査要領書を作成する。</p> <p>実施する検査が代替検査となる場合は、代替による使用前事業者検査</p>	<p>ら整合している。</p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計において設計開発のレビューを実施している。レビューは当該設計に関する専門家を含めて実施することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計において設計開発の検証を原設計者以外の者に実施させることとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計の妥当性確認として使用前事業者検査を実施することとしていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>開発妥当性確認の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>7.3.7 設計開発の変更の管理</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>設計開発の変更を行った場合においては、当該変更の内容を識別することができるようにするとともに、当該変更に係る記録を作成し、これを管理する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、設計開発の変更を行うに当たり、あらかじめ、審査、検証及び妥当性確認を行い、変更を承認する。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、7.3.7(2)に基づく審査において、設計開発の変更が原子炉施設に及ぼす影響の評価（当該原子炉施設を構成する材料又は部品に及ぼす影響の評価を含む。）を行う。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、7.3.7(2)に基づく審査、検証及び妥当性確認の結果の記録及びその結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>7.4 調達</p> <p>7.4.1 調達プロセス</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>調達する物品又は役務（以下「調達物品等」という。）が、自ら規定する調達物品等に係る要求事項（以下「調達物品等要求事項」という。）に適合するようにする。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、保安活動の重要度に応じて、調達物品等の供給者及び調達物品等に適用される管理の方法及び程度を定める。この場合において、一般産業用工業品については、調達物品等の供給者等から必要な情報を入手し当該一般産業用工業品が調達物品等要求事項に適合していることを確認できるように、管理の方法及び程度を定める。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>調達物品等要求事項に従い、調達物品等を供給する能力を根拠として調達物品等の供給者を評価し、選定する。</u></p> <p>(4) 保安に関する組織は、調達物品等の供給者の評価及び選定に係る判定基準を定める。</p> <p>(5) 保安に関する組織は、7.4.1(3)に基づく評価の結果の記録及び当該評価の結果に基づき講じた措置に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(6) 保安に関する組織は、調達物品等を調達する場合には、個別業務計画において、適切な調達の実施に必要な事項（当該調達物品等の調達後におけるこれらの維持又は運用に必要な技術情報（原子炉施設の保安に係るものに限る。）の取得及び当該情報を他の原子力事業者等と共有するために必要な措置に関する事項を含む。）を定める。</p>	<p>の方法を決定する。</p> <p>(2) 使用前事業者検査の体制 使用前事業者検査の体制は、検査要領書で明確にする。</p> <p>(3) 使用前事業者検査の実施 検査要領書に基づき、確立された検査体制の下で、使用前事業者検査を実施する。</p> <p>3.3.4 設計における変更 <u>原子力部門は、設計の変更が必要となった場合、各設計結果のうち、影響を受けるものについて必要な設計を実施し、設計結果を必要に応じ修正する。</u></p> <p>3.6 設工認における調達管理の方法 <u>設工認で行う調達管理は、品質マネジメントシステム計画に基づき以下の管理を実施する。</u></p> <p>3.6.1 供給者の技術的評価 <u>原子力部門は、供給者が当社の要求事項に従って調達製品を供給する技術的な能力を判断の根拠として供給者の技術的評価を実施する。</u></p> <p>3.6.2 供給者の選定 <u>原子力部門は、設工認に必要な調達を行う場合、原子力安全に対する影響や供給者の実績等を考慮し、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に定める重要度に供給信頼度を加味した品質重要度分類等に従いグレード分けを行い管理する。</u></p> <p>3.6.3 調達製品の調達管理 原子力部門は、調達の実施に際し、原子力安全に及ぼす影響に応じた</p>	<p>整合性</p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い設計において必要時には変更の管理を実施することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達管理を実施することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達管理において供給者の技術的評価を行い、その結果に基づき供給者を選定することとしていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>7.4.2 調達物品等要求事項</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>調達物品等に関する情報に、次に掲げる調達物品等要求事項のうち、該当するものを含める。</u></p> <p>a. 調達物品等の供給者の業務のプロセス及び設備に係る要求事項</p> <p>b. 調達物品等の供給者の要員の力量に係る要求事項</p> <p>c. 調達物品等の供給者の品質マネジメントシステムに係る要求事項</p> <p>d. 調達物品等の不適合の報告及び処理に係る要求事項</p> <p>e. 調達物品等の供給者が健全な安全文化を育成し、及び維持するために必要な要求事項</p> <p>f. 一般産業用工業品を機器等に使用するに当たっての評価に必要な要求事項</p> <p>g. その他調達物品等に必要な要求事項</p> <p>(2) 保安に関する組織は、調達物品等要求事項として、当該組織が調達物品等の供給者の工場等において使用前事業者検査等その他の個別業務を行う際の原子力規制委員会の職員による当該工場等への立入りに関することを含める。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、<u>調達物品等の供給者に対し調達物品等に関する情報を提供するに当たり、あらかじめ、当該調達物品等要求事項の妥当性を確認する。</u></p> <p>(4) 保安に関する組織は、調達物品等を受領する場合には、調達物品等の供給者に対し、調達物品等要求事項への適合状況を記録した文書を提出させる。</p> <p>7.4.3 調達物品等の検証</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>調達物品等が調達物品等要求事項に適合しているようにするために必要な検証の方法を定め、実施する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>調達物品等の供給者の工場等において調達物品等の検証を実施することとしたときは、当該検証の実施要領及び調達物品等の供給者からの出荷の可否の決定の方法について調達物品等要求事項の中で明確に定める。</u></p>	<p>グレード分けを適用し、以下の管理を実施する。</p> <p>(1) 調達仕様書の作成 業務の内容に応じ、品質マネジメントシステム計画に基づく調達要求事項を含めた調達仕様書を作成し、供給者の業務実施状況を適切に管理する。（「(2) 調達製品の管理」参照）</p> <p>(2) 調達製品の管理 調達仕様書で要求した製品が確実に納品されるよう調達製品が納入されるまでの間、製品に応じた必要な管理を実施する。</p> <p>(3) 調達製品の検証 <u>調達製品が調達要求事項を満たしていることを確実にするために調達製品の検証を行う。また、供給先で検証を実施する場合、あらかじめ調達文書で検証の要領及び調達製品のリリースの方法を明確にした上で、検証を行う。</u></p> <p>3.6.4 受注者品質保証監査 原子力部門は、供給者の品質保証活動及び健全な安全文化を育成し維持するための活動が適切で、かつ、確実に行われていることを確認するために、受注者品質保証監査を実施する。</p> <p>3.6.5 設工認における調達管理の特例 原子力部門は、設工認の対象となる適合性確認対象設備のうち、設工認申請（届出）時点で設置されている設備がある場合は、設置ときに調達を終えており、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づく管理は適用しない。</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達管理において調達要求事項を明確にし、管理することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い調達管理において調達製品を受領する際は検証を行うこととしていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>7.5 個別業務の実施</p> <p>7.5.1 個別業務の管理</p> <p>保安に関する組織は、個別業務計画に基づき個別業務を次に掲げる事項（当該個別業務の内容等から該当しないと認められるものを除く。）に適合するように実施する。</p> <p>(1) 原子炉施設の保安のために必要な情報が利用できる体制にある。</p> <p>(2) 手順書等が必要な時に利用できる体制にある。</p> <p>(3) 当該個別業務に見合う設備を使用している。</p> <p>(4) 監視測定のための設備が利用できる体制にあり、かつ、当該設備を使用している。</p> <p>(5) 8.2.3 に基づく監視測定を実施している。</p> <p>(6) 品質管理に関する事項に基づき、プロセスの次の段階に進むことの承認を行っている。</p>	<p>3.4 工事に係る品質管理の方法</p> <p>原子力部門は、工事段階において、<u>設工認に基づく設備の具体的な設計（設計 3）、その結果を反映した設備を導入するために必要な工事を以下のとおり実施する。</u></p> <p>なお、実用炉規則別表第二対象設備外の設備の主要な耐圧部の溶接部については、設計 3 の実施に先立ち該当設備の抽出を工事段階で実施する。</p> <p>また、これらの活動を調達する場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」を適用して実施する。</p> <p>3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施</p> <p>原子力部門は、<u>設工認に基づく設備を設置するための工事を「工事の方法」並びに「3.6 設工認における調達管理の方法」に従い実施する。</u>設工認に基づく設備のうち、新たな工事を伴わない設工認申請（届出）時点で設置されている設備がある場合には、使用前事業者検査により技術基準規則に適合していることを確認する。</p> <p>3.5 使用前事業者検査</p> <p>原子力部門は、<u>適合性確認対象設備が設工認のとおりに行われていること、技術基準規則に適合していることを確認（設工認のうち、設工認品管計画については、認可（届出後 30 日経過）された内容から設計、工事及び検査プロセスが変更されている場合には、品質マネジメントシステム計画に従い変更した後の設計、工事及び検査プロセスに従っていることを確認する。）</u>するため、保安規定に基づく使用前事業者検査を計画し、原子力部門に属する工事を主管する組織（以下「工事を主管する組織」という。）からの独立性を確保した検査体制のもと実施する。</p> <p>3.5.1 使用前事業者検査での確認事項</p> <p>原子力部門は、<u>以下の項目について使用前事業者検査を実施する。</u></p> <p>I 実設備の仕様の適合性確認</p> <p>II 実施した工事が、「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」及び「3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施」に記載したプロセス並びに「工事の方法」のとおり行われていること。</p> <p>これらの項目のうち、I を第 3.5-1 表に示す検査として、II を品質マネジメントシステムに係る使用前事業者検査（以下「QA 検査」という。）として実施する。</p> <p>II については工事全般に対して実施するものであるが、「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」を実施する場合は、工事を主管する組織が実施する溶接に関するプロセス管理が適切に行われていることの確認を QA 検査に追加する。</p> <p>また、QA 検査では上記 II に加え、上記 I のうち工事を主管する組織（供給者を含む。）が検査記録を採取する場合には記録の信頼性の確認を行い、設工認に基づく工事の信頼性を確保する。</p> <p>なお、主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査では、供給者が作成する検査項目毎の記録を用いるが、検査を主管する組織（供給者含</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い工事の実施、使用前事業者検査の計画の策定を、個別業務の管理として実施していることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項				整合性																																
<p>む。)が「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」に基づく管理を行うため工事を主管する組織（供給者を含む。）が実施する検査項目毎の記録の信頼性は確保済みであるため、この範囲は QA 検査の対象外とする。</p>																																					
<p>第 3.5-1 表 要求事項に対する確認項目及び確認の視点</p>																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">要求種別</th> <th style="width: 15%;">確認項目</th> <th style="width: 25%;">確認視点</th> <th style="width: 50%;">主な検査項目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="text-align: center; vertical-align: middle;">設備</td> <td style="text-align: center;">設置要求</td> <td>名称、取付箇所、個数</td> <td>設計要求のとおり（名称、取付箇所、個数）に設置されていることを確認する。</td> <td>据付検査 状態確認検査</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">設計要求</td> <td style="text-align: center;">系統構成</td> <td>系統構成、系統隔離、可搬設備の接続性</td> <td>実際に使用できる系統構成になっていることを確認する。</td> <td>機能・性能検査</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">機能要求</td> <td>容量、揚程等の仕様（要目表）</td> <td>要目表の記載のとおりである事を確認する。</td> <td>材料検査 寸法検査 外観検査 据付検査 耐圧検査 漏えい検査 建物・構築物構造検査 機能・性能検査 特性検査 状態確認検査</td> </tr> <tr> <td>上記以外の所要の機能要求事項</td> <td>目的とする能力（機能・性能）が発揮できることを確認する。</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">評価要求</td> <td>評価のインプット条件等の要求事項</td> <td>評価条件を満足していることを確認する。</td> <td>状態確認検査</td> </tr> <tr> <td>評価結果を設計条件とする要求事項</td> <td>内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求として確認する。</td> <td>内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求の検査を適用</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">運用</td> <td style="text-align: center;">運用要求</td> <td>手順確認</td> <td>手順化されていることを確認する。（保安規定）</td> <td>状態確認検査</td> </tr> </tbody> </table>					要求種別	確認項目	確認視点	主な検査項目	設備	設置要求	名称、取付箇所、個数	設計要求のとおり（名称、取付箇所、個数）に設置されていることを確認する。	据付検査 状態確認検査	設計要求	系統構成	系統構成、系統隔離、可搬設備の接続性	実際に使用できる系統構成になっていることを確認する。	機能・性能検査	機能要求	容量、揚程等の仕様（要目表）	要目表の記載のとおりである事を確認する。	材料検査 寸法検査 外観検査 据付検査 耐圧検査 漏えい検査 建物・構築物構造検査 機能・性能検査 特性検査 状態確認検査	上記以外の所要の機能要求事項	目的とする能力（機能・性能）が発揮できることを確認する。		評価要求	評価のインプット条件等の要求事項	評価条件を満足していることを確認する。	状態確認検査	評価結果を設計条件とする要求事項	内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求として確認する。	内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求の検査を適用	運用	運用要求	手順確認	手順化されていることを確認する。（保安規定）	状態確認検査
要求種別	確認項目	確認視点	主な検査項目																																		
設備	設置要求	名称、取付箇所、個数	設計要求のとおり（名称、取付箇所、個数）に設置されていることを確認する。	据付検査 状態確認検査																																	
	設計要求	系統構成	系統構成、系統隔離、可搬設備の接続性	実際に使用できる系統構成になっていることを確認する。	機能・性能検査																																
		機能要求	容量、揚程等の仕様（要目表）	要目表の記載のとおりである事を確認する。	材料検査 寸法検査 外観検査 据付検査 耐圧検査 漏えい検査 建物・構築物構造検査 機能・性能検査 特性検査 状態確認検査																																
			上記以外の所要の機能要求事項	目的とする能力（機能・性能）が発揮できることを確認する。																																	
		評価要求	評価のインプット条件等の要求事項	評価条件を満足していることを確認する。	状態確認検査																																
	評価結果を設計条件とする要求事項		内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求として確認する。	内容に応じて、設置要求、系統構成、機能要求の検査を適用																																	
運用	運用要求	手順確認	手順化されていることを確認する。（保安規定）	状態確認検査																																	
<p>3.5.2 設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり の明確化 原子力部門は、<u>使用前事業者検査の実施に先立ち、設計 1～3 の結果と適合性確認対象の繋がり</u>を明確化する。</p>																																					
<p>3.5.3 使用前事業者検査の計画 原子力部門は、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び第 3.5-1 表に定める要求種別ごとに確認項目、確認視点及び主な検査</p>																																					

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>7.5.2 個別業務の実施に係るプロセスの妥当性確認</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>個別業務の実施に係るプロセスについて</u>、それ以降の監視測定では当該プロセスの結果を検証することができない場合（個別業務が実施された後にのみ不適合その他の事象が明確になる場合を含む。）においては、<u>妥当性確認を行う</u>。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、7.5.2(1)のプロセスが個別業務計画に定めた結果を得ることができることを、7.5.2(1)に基づく妥当性確認によって実証する。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、妥当性確認を行った場合は、その結果の記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、7.5.2(1)の妥当性確認の対象とされたプロセスについて、次に掲げる事項（当該プロセスの内容等から該当しないと認められるものを除く。）を明確にする。</p> <p>a. 当該プロセスの審査及び承認のための判定基準</p> <p>b. 妥当性確認に用いる設備の承認及び要員の力量を確認する方法</p> <p>c. 妥当性確認の方法</p> <p>7.5.3 識別管理及びトレーサビリティの確保</p> <p>(1) 保安に関する組織は、個別業務計画及び個別業務の実施に係る全てのプロセスにおいて、適切な手段により、<u>機器等及び個別業務の状態を識別し、管理する</u>。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、<u>トレーサビリティ（機器等の使用又は個別業務の実施に係る履歴、適用又は所在を追跡できる状態をいう。）の確保が個別業務等要求事項である場合においては、機器等又は個別業務を識別し、これを記録するとともに、当該記録を管理する</u>。</p>	<p>項目をもとに<u>使用前事業者検査の計画を策定する</u>。</p> <p>適合性確認対象設備のうち、技術基準規則上の措置（運用）に必要な設備についても、使用前事業者検査を計画する。</p> <p>個々に実施する使用前事業者検査に加えてプラント運転に影響を及ぼしていないことを総合的に確認するため、定格熱出力一定運転時の主要パラメータを確認することによる使用前事業者検査（負荷検査）の計画を必要に応じて策定する。</p> <p>また、使用前事業者検査の実施に先立ち、設計結果に関する具体的な検査概要及び判定基準を使用前事業者検査の方法として明確にする。</p> <p>3.5.4 検査計画の管理</p> <p>原子力部門は、使用前事業者検査を適切な時期で実施するため、関係組織と調整のうえ検査計画を作成し、<u>使用前事業者検査が確実に行われることを管理する</u>。</p> <p>4.適合性確認対象設備の保守管理</p> <p>原子力部門は、<u>設工認に基づく工事を保安規定に基づき管理する</u>。</p> <p>3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理</p> <p>原子力部門は、<u>溶接が特殊工程であることを踏まえ</u>、工程管理等の計画を策定し、溶接施工工場におけるプロセスの適切性の確認及び監視を行う。また、溶接継手に対する要求事項は、溶接部詳細一覧表（溶接方法、溶接材料、溶接施工法、熱処理条件、検査項目等）により管理し、これに係る関連図書を含め、業務の実施に当たって必要な図書を溶接施工工場に提出させ、それを確認し、<u>必要な管理を実施する</u>。</p> <p>3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ</p> <p>原子力部門は、設工認に係る識別及びトレーサビリティの管理を以下のとおり実施する。</p> <p>(2) 機器、弁及び配管等の管理</p> <p><u>機器類、弁及び配管類は、品質マネジメントシステム計画に従った管理を実施する</u>。</p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従いプロセスの妥当性確認として行われる使用前事業者検査（溶接）におけるあらかじめの検査に係る確認を実施することとしていることから整合している</u>。</p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い識別、トレーサビリティの管理を実施することとしていることから整合している</u>。</p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>7.5.4 組織の外部の者の物品 保安に関する組織は、組織の外部の者の物品を所持している場合においては、必要に応じ、記録を作成し、これを管理する。</p> <p>7.5.5 調達物品の管理 保安に関する組織は、調達した物品が使用されるまでの間、当該物品を調達物品等要求事項に適合するよう管理（識別表示、取扱い、包装、保管及び保護を含む。）する。</p> <p>7.6 監視測定のための設備の管理 (1) 保安に関する組織は、機器等又は個別業務の個別業務等要求事項への適合性の実証に必要な監視測定及び当該監視測定のための設備を明確に定める。 (2) 保安に関する組織は、7.6(1)の監視測定について、実施可能であり、かつ、当該監視測定に係る要求事項と整合性のとれた方法で実施する。 (3) 保安に関する組織は、<u>監視測定の結果の妥当性を確保するために、監視測定のために必要な設備を、次に掲げる事項に適合するものとする。</u> a. あらかじめ定められた間隔で、又は使用の前に、計量の標準まで追跡することが可能な方法（当該計量の標準が存在しない場合にあっては、校正又は検証の根拠について記録する方法）により<u>校正又は検証がなされている。</u> b. <u>校正の状態が明確になるよう、識別されている。</u> c. 所要の調整がなされている。 d. 監視測定の結果を無効とする操作から保護されている。 e. 取扱い、維持及び保管の間、損傷及び劣化から保護されている。 (4) 保安に関する組織は、監視測定のための設備に係る要求事項への不適合が判明した場合においては、従前の監視測定の結果の妥当性を評価し、これを記録する。 (5) 保安に関する組織は、7.6(4)に示す不適合が判明した場合において、当該監視測定のための設備及び7.6(4)の不適合により影響を受けた機器等又は個別業務について、適切な措置を講じる。 (6) 保安に関する組織は、監視測定のための設備の校正及び検証の結果の記録を作成し、これを管理する。 (7) 保安に関する組織は、監視測定においてソフトウェアを使用することとしたときは、その初回の使用に当たり、あらかじめ、当該ソフトウェアが意図したとおりに当該監視測定に適用されていることを確認する。</p> <p>8 評価及び改善 8.1 監視測定、分析、評価及び改善 (1) 保安に関する組織は、監視測定、分析、評価及び改善に係るプロセスを計画し、実施する。 (2) 保安に関する組織は、要員が 8.1(1)の監視測定の結果を利用できるようにする。</p>	<p>3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ 原子力部門は、設工認に係る識別及びトレーサビリティの管理を以下のとおり実施する。 (1) 計測器の管理 <u>設計及び工事、検査で使用する計測器については、品質マネジメントシステム計画に従った、校正・検証及び識別等の管理を実施する。</u></p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い計測器の管理を実施することとしていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>8.2 監視測定</p> <p>8.2.1 組織の外部の者の意見</p> <p>(1) 保安に関する組織は、監視測定の一環として、原子力の安全の確保に対する組織の外部の者の意見を把握する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、8.2.1(1)に基づく意見の把握及び当該意見の反映に係る方法を明確に定める。</p> <p>8.2.2 内部監査</p> <p>(1) 保安に関する組織は、品質マネジメントシステムについて、次に掲げる要件への適合性を確認するために、保安活動の重要度に応じて、あらかじめ定められた間隔で、客観的な評価を行う部門その他の体制により内部監査を実施する。</p> <p>a. 品質管理に関する事項に基づく品質マネジメントシステムに係る要求事項</p> <p>b. 実効性のある実施及び実効性の維持</p> <p>(2) 保安に関する組織は、内部監査の判定基準、監査範囲、頻度、方法及び責任を定める。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、内部監査の対象となり得る部門、個別業務、プロセス、その他の領域（以下「領域」という。）の状態及び重要性並びに従前の監査の結果を考慮して内部監査の対象を選定し、かつ、内部監査の実施に関する計画（以下「内部監査実施計画」という。）を策定し、及び実施することにより、内部監査の実効性を維持する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、内部監査を行う要員（以下「内部監査員」という。）の選定及び内部監査の実施においては、客観性及び公平性を確保する。</p> <p>(5) 保安に関する組織は、内部監査員又は管理者に自らの個別業務又は管理下にある個別業務に関する内部監査をさせない。</p> <p>(6) 保安に関する組織は、内部監査実施計画の策定及び実施並びに内部監査結果の報告並びに記録の作成及び管理について、その責任及び権限並びに内部監査に係る要求事項を手順書等に定める。</p> <p>(7) 保安に関する組織は、内部監査の対象として選定された領域に責任を有する管理者に内部監査結果を通知する。</p> <p>(8) 保安に関する組織は、不適合が発見された場合には、8.2.2(7)に基づく通知を受けた管理者に、不適合を除去するための措置及び是正処置を遅滞なく講じさせるとともに、当該措置の検証を行わせ、その結果を報告させる。</p> <p>8.2.3 プロセスの監視測定</p> <p>(1) 保安に関する組織は、プロセスの監視測定を行う場合においては、当該プロセスの監視測定に見合う方法により、これを行う。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、8.2.3(1)に基づく監視測定の実施に当たり、保安活動の重要度に応じて、保安活動指標を用いる。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、8.2.3(1)に基づく方法により、プロセスが5.4.2(1)及び7.1(1)の計画に定めた結果を得ることができると実証する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、8.2.3(1)の監視測定の結果に基づき、保安活動の改善のために、必要な措置を講じる。</p>		

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>(5) 保安に関する組織は、5.4.2(1)及び 7.1(1)の計画に定めた結果を得ることができない場合又は当該結果を得ることができないおそれがある場合においては、個別業務等要求事項への適合性を確保するために、当該プロセスの問題を特定し、当該問題に対して適切な措置を講じる。</p> <p>8.2.4 機器等の検査等</p> <p>(1) 保安に関する組織は、機器等に係る要求事項への適合性を検証するために、個別業務計画に従って、<u>個別業務の実施に係るプロセスの適切な段階において、使用前事業者検査等又は自主検査等を実施する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、使用前事業者検査等又は自主検査等の結果に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、プロセスの次の段階に進むことの承認を行った要員を特定することができる記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、個別業務計画に基づく使用前事業者検査等又は自主検査等を支障なく完了するまでは、プロセスの次の段階に進むことの承認をしてはならない。ただし、当該承認の権限を持つ要員が、個別業務計画に定める手順により、特に承認をする場合は、この限りではない。</p> <p>(5) 保安に関する組織は、<u>保安活動の重要度に応じて、使用前事業者検査等の独立性（使用前事業者検査等を実施する要員をその対象となる機器等を所管する部門に属する要員と部門を異にする要員とすることその他の方法により、使用前事業者検査等の中立性及び信頼性が損なわれないことをいう。）を確保する。</u></p> <p>(6) 保安に関する組織は、保安活動の重要度に応じて、自主検査等における独立性については、8.2.4(5)を準用する。この場合において、「部門を異にする要員」とあるのは、「必要に応じて部門を異にする要員」と読み替えるものとする。</p> <p>8.3 不適合の管理</p> <p>(1) 保安に関する組織は、<u>個別業務等要求事項に適合しない機器等が使用され、又は個別業務が実施されることがないように、当該機器等又は個別業務を特定し、これを管理する。</u></p> <p>(2) 保安に関する組織は、不適合の処理に係る管理並びにそれに関連する責任及び権限を手順書等に定める。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、次に掲げる方法のいずれかにより、不適合を処理する。</p>	<p>3.5.6 使用前事業者検査の実施</p> <p>原子力部門は、以下のとおり使用前事業者検査を実施する。</p> <p>(1) 使用前事業者検査の検査要領書の作成</p> <p>適合性確認対象設備が設工認に適合していることを確認するため「3.5.3 使用前事業者検査の計画」で決定した確認方法を基に、使用前事業者検査要領書を作成する。</p> <p>実施する検査が代替検査となる場合は、代替による使用前事業者検査の方法を決定する。</p> <p>(2) 使用前事業者検査の体制</p> <p>使用前事業者検査の体制は、検査要領書で明確にする。</p> <p>(3) 使用前事業者検査の実施</p> <p>検査要領書に基づき、確立された検査体制の下で、使用前事業者検査を実施する。</p> <p>3.5 使用前事業者検査</p> <p>原子力部門は、適合性確認対象設備が設工認のとおりに行われていること、技術基準規則に適合していることを確認（設工認のうち、設工認品管計画については、認可（届出後 30 日経過）された内容から設計、工事及び検査プロセスが変更されている場合には、品質マネジメントシステム計画に従い変更した後の設計、工事及び検査プロセスに従っていることを確認する。）するため、保安規定に基づく<u>使用前事業者検査を計画し、原子力部門に属する工事を主管する組織（以下「工事を主管する組織」という。）からの独立性を確保した検査体制のもと実施する。</u></p> <p>3.8 不適合管理</p> <p>原子力部門は、設工認に係る設計、工事及び検査において発生した不適合については、<u>品質マネジメントシステム計画に基づき管理を行う。</u></p>	<p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い使用前事業者検査を実施することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い使用前事業者検査における独立性を確保することとしていることから整合している。</u></p> <p>設計及び工事の計画では、<u>設置変更許可申請書（本文十一号）に基づき定めている品質マネジメントシステム計画に従い、設工認に係る業務にて発生した不適合を管理することとしていることから整合している。</u></p>

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>a. 発見された不適合を除去するための措置を講ずる。</p> <p>b. 不適合について、あらかじめ定められた手順により原子力の安全に及ぼす影響について評価し、機器等の使用又は個別業務の実施についての承認を行う（以下「特別採用」という。）。</p> <p>c. 機器等の使用又は個別業務の実施ができないようにするための措置を講ずる。</p> <p>d. 機器等の使用又は個別業務の実施後に発見した不適合については、その不適合による影響又は起こり得る影響に応じて適切な措置を講ずる。</p> <p>(4) 保安に関する組織は、不適合の内容の記録及び当該不適合に対して講じた措置（特別採用を含む。）に係る記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(5) 保安に関する組織は、8.3(3)a に基づく措置を講じた場合においては、個別業務等要求事項への適合性を実証するための検証を行う。</p> <p>8.4 データの分析及び評価</p> <p>(1) 保安に関する組織は、品質マネジメントシステムが実効性のあるものであることを実証するため、及び当該品質マネジメントシステムの実効性の改善の必要性を評価するために、適切なデータ（監視測定の結果から得られたデータ及びそれ以外の関連情報源からのデータを含む。）を明確にし、収集し、及び分析する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、8.4(1)に基づくデータの分析及びこれに基づく評価を行い、次に掲げる事項に係る情報を得る。</p> <p>a. 保安に関する組織の外部の者からの意見の傾向及び特徴その他分析により得られる知見</p> <p>b. 個別業務等要求事項への適合性</p> <p>c. 機器等及びプロセスの特性及び傾向（是正処置を行う端緒となるものを含む。）</p> <p>d. 調達物品等の供給者の供給能力</p> <p>8.5 改善</p> <p>8.5.1 継続的な改善</p> <p>保安に関する組織は、品質マネジメントシステムの継続的な改善を行うために、品質方針及び品質目標の設定、マネジメントレビュー及び内部監査の結果の活用、データの分析並びに是正処置及び未然防止処置の評価を通じて改善が必要な事項を明確にするとともに、当該改善の実施その他の措置を講じる。</p> <p>8.5.2 是正処置等</p> <p>(1) 保安に関する組織は、個々の不適合その他の事象が原子力の安全に及ぼす影響に応じて、次に掲げるところにより、速やかに適切な是正処置を講じる。</p> <p>a. 是正処置を講ずる必要性について次に掲げる手順により評価を行う。</p> <p>(a) 不適合その他の事象の分析及び当該不適合の原因の明確化</p> <p>(b) 類似の不適合その他の事象の有無又は当該類似の不適合その他の事象が発生する可能性の明確化</p>		

設置変更許可申請書（本文）	設計及び工事の計画 該当事項	整合性
<p>b.必要な是正処置を明確にし、実施する。</p> <p>c. 講じた全ての是正処置の実効性の評価を行う。</p> <p>d. 必要に応じ、計画において決定した保安活動の改善のために講じた措置を変更する。</p> <p>e. 必要に応じ、品質マネジメントシステムを変更する。</p> <p>f. 原子力の安全に及ぼす影響の程度が大きい不適合に関して、根本的な原因を究明するために行う分析の手順を確立し、実施する。</p> <p>g. 講じた全ての是正処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、8.5.2(1)に掲げる事項について、手順書等に定める。</p> <p>(3) 保安に関する組織は、手順書等に基づき、複数の不適合その他の事象に係る情報から類似する事象に係る情報を抽出し、その分析を行い、当該類似の事象に共通する原因を明確にした上で、適切な措置を講じる。</p> <p>8.5.3 未然防止処置</p> <p>(1) 保安に関する組織は、原子力施設その他の施設の運転経験等の知見を収集し、自らの組織で起こり得る不適合の重要性に応じて、次に掲げるところにより、適切な未然防止処置を講じる。</p> <p>a. 起こり得る不適合及びその原因について調査する。</p> <p>b. 未然防止処置を講ずる必要性について評価する。</p> <p>c. 必要な未然防止処置を明確にし、実施する。</p> <p>d. 講じた全ての未然防止処置の実効性の評価を行う。</p> <p>e. 講じた全ての未然防止処置及びその結果の記録を作成し、これを管理する。</p> <p>(2) 保安に関する組織は、8.5.3(1)に掲げる事項について手順書等に定める。</p>		

設備別記載事項の設定根拠に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 2

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 概 要	2 (4) - 1
2. 燃料取扱設備	2 (4) - 2
2.1 使用済燃料運搬用容器	2 (4) - 2

1. 概 要

本資料は、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二に基づき、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の申請設備に係る設備別記載事項のうち容量等の設定根拠について説明するものである。

2. 燃料取扱設備

2.1 使用済燃料運搬用容器

名 称		使用済燃料運搬用容器
容 量	—	17×17型燃料集合体 14体 (濃縮度 : 4.9wt%以下 冷却日数 : [] 日以上 平均燃焼度 : [] 以下 崩壊熱量 : 容器当たり 54kW 以下 放射能強度 : 容器当たり [] 以下)
最高使用圧力	MPa	1.70
最高使用温度	℃	180
個 数	—	2
【設 定 根 拠】 (概 要) 3号機の使用済燃料貯蔵設備に4号機の使用済燃料を貯蔵する計画としており、使用済燃料の構内輸送を行うために使用済燃料運搬用容器を4号機に設置する。		
1. 容 量 本容器の容量は、容器を取り扱うクレーンの容量を踏まえつつ、容器の未臨界性能、容器の遮蔽性能及び容器の熱除去性能を確保できる容量として、容器に収納し得る燃料集合体数及び燃料仕様を設定している。		
2. 最高使用圧力 2.1 前提条件 (1) 内筒内水は、運搬中に予想される最も低い周囲温度から一般の試験条件下における周囲温度において、温度変化により、固体、気体へ相変化及び化学分解を起こすことはないので考慮しない。また、内筒内水が放射線分解で発生する気体の圧力上昇は少ないことから、本圧力計算では無視する。 (2) 燃料棒は特別の試験条件下において破損しないので、一般の試験条件下においても破損することはない、燃料棒の破損による圧力上昇は生じないものとする。		

2.2 内筒内の圧力

本容器の内筒内体積（ふた膨張室内体積を含む。） V は、 5.609m^3 である。燃料集合体 14 体を収納した時の内筒内水温度を 20°C とすると、このときの内筒内水の条件は、以下のように求められる。

(1) 燃料収納及び水抜き時の内筒内体積

内筒内体積（ふた膨張室内体積を含む。）を V 、燃料集合体の体積を V_f とすると、燃料収納時における内筒内の空間体積 V_c は、

$$V_c = V - V_f \quad \dots\dots\dots ①$$

発送前に、水位調整のために規定水位まで水抜きを行い、水抜き後の内筒内水体積を V_w とすると、このとき空气体積 V_a は、

$$V_a = V_c - V_w \quad \dots\dots\dots ②$$

となる。

(2) 一般の試験条件

一般の試験条件において、本容器に最大内圧を生じる崩壊熱量は 54kW で環境温度は 38°C の場合である。この条件下の内筒内圧は、次のように求められる。

一般の試験条件下における内筒内水の平均温度を $t_1^\circ\text{C}$ とすれば、このときの内筒内水体積 V_{wt_1} は、

$$V_{wt_1} = V_w \frac{\rho_{20}}{\rho_{t_1}} \quad \dots\dots\dots ③$$

但し、 ρ_{20} : 20°C の水の密度 (kg/m^3)

ρ_{t_1} : $t_1^\circ\text{C}$ の水の密度 (kg/m^3)

一般の試験条件下における内筒内の空气体積 V_{at_1} は、

$$V_{at_1} = V_c - V_{wt_1} \quad \dots\dots\dots ④$$

空気分圧 P_1 は、

$$P_1 = P_0 \times \frac{V_a}{V_{at_1}} \times \frac{T_{t_1}}{T_{20}} \quad \dots\dots\dots ⑤$$

但し、 P_1 : 空気分圧 (MPa 絶対圧)

P_0 : 初期圧力 (大気圧 : 0.1013MPa 絶対圧)

V_a : 初期空气体積 (m^3)

T_{20} : 初期温度 (293K)

T_{t_1} : $t_1 + 273$ (K)

したがって、内筒内圧Pは、

$$P = P_1 + P_s \dots\dots\dots \text{⑥}$$

但し、 P_s ：温度 t_1 °Cにおける飽和蒸気圧（MPa 絶対圧）

上記①式から⑥式より求められた輸送物の内筒内圧を表 1 に示す。

表1 一般の試験条件下の内筒内圧

項 目	記 号	単 位	式	計算値
内筒内体積	V	m ³	—	5.609
燃料集合体の体積	V _f	m ³	—	0.9173
燃料収納時の内筒内空間体積	V _c	m ³	①	4.692
内筒内水体積	V _w	m ³	—	3.982
水抜き後の空气体積	V _a	m ³	②	0.7100
円筒内水平平均温度 ^(注)	t_1	°C	—	179
20°Cにおける水の密度	ρ_{20}	kg/m ³	—	998.3
温度 t_1 (179°C) における水の密度	ρ_{t_1}	kg/m ³	—	888.0
温度 t_1 (179°C) における内筒内水体積	V _{wt_1}	m ³	③	4.477
温度 t_1 (179°C) における内筒内空气体積	V _{at_1}	m ³	④	0.2150
温度 t_1 (179°C) における空気分圧 (絶対圧)	P_1	MPa	⑤	0.5161
温度 t_1 (179°C) における飽和蒸気圧 (絶対圧)	P_s	MPa	—	0.9798
内筒内圧 (絶対圧)	P	MPa	⑥	1.50 (1.39MPaG)

(注) バスケットチャンネル内水とバスケット外水との平均温度である。

なお、求められた内筒内圧 1.39MPaG に対して、強度計算においては安全側に 1.70MPaG を最高使用圧力として設定している。

3. 最高使用温度

使用済燃料運搬用容器の使用時の内筒における最高温度は添付資料6「使用済燃料運搬用容器の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」に示すとおり177℃であり、その値に余裕をもたせて、最高使用温度を180℃とする。

4. 個 数

3号機の使用済燃料貯蔵設備に4号機の使用済燃料を貯蔵する計画としており、使用済燃料の構内輸送を行うために本容器を設置するものであり、構内輸送を柔軟に実施できるよう、2個設置する。

強度に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 3

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

添付資料 3-1 強度計算の基本方針

添付資料 3-1-1 強度計算の基本方針の概要

添付資料 3-1-2 クラス 3 容器の強度計算の基本方針

添付資料 3-2 強度計算方法

添付資料 3-2-1 強度計算方法の概要

添付資料 3-2-2 クラス 3 容器の強度計算方法

添付資料 3-3 強度計算書

添付資料 3-3-1 強度計算書の概要

添付資料 3-3-2 クラス 3 容器の強度計算書

別添 衝撃、熱等に係る強度計算書

強度計算の基本方針

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-1

玄海原子力発電所第4号機

強度計算の基本方針の概要

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-1-1

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4)・1・1・1
2. 基本方針の概要	3 (4)・1・1・1

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）第17条に規定されている容器の材料及び構造について、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. 基本方針の概要

強度計算の基本方針については、申請対象となるクラス3機器が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を説明するものであり、以下の資料により構成する。

なお、技術基準規則第26条第1項第5号に規定されている燃料体等を封入する容器に要求される衝撃、熱等に係る強度評価を別添に示す。

添付資料3-1-2 クラス3容器の強度計算の基本方針

クラス 3 容器の強度計算の基本方針

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-1-2

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4)・1・2・1
2. クラス 3 容器の強度計算の基本方針	3 (4)・1・2・1

1. 概 要

クラス 3 機器の材料及び構造については、「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 条第 3 号及び第 10 号に規定されており、適切な材料を使用し、適切な構造及び十分な強度を有することが要求されている。

本資料は、クラス 3 機器である容器が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. クラス 3 容器の強度計算の基本方針

クラス 3 機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）（以下「技術基準規則の解釈」という。）第 17 条 11 において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））＜第 I 編 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「JSME 2005/2007」という。）又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012 年版）＜第 I 編 軽水炉規格＞ JSME S NC1-2012」（日本機械学会）（以下「JSME 2012」という。）及び「発電用原子力設備規格 材料規格（2012 年版）JSME S NJ1-2012」（日本機械学会）（以下「材料規格」という。）によることと規定されている。同解釈において規定されている JSME 2005/2007 並びに JSME 2012 及び材料規格は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス 3 機器の評価は、施設時の適用規格である JSME 2005/2007 による評価を実施する。

強度計算方法

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-2

玄海原子力発電所第 4 号機

強度計算方法の概要

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-2-1

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4) · 2 · 1 · 1

1. 概 要

本資料は、資料3-1「強度計算の基本方針」に基づき、クラス3機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り、以下の資料により構成する。

添付資料3-2-2 クラス3容器の強度計算方法

クラス 3 容器の強度計算方法

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-2-2

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4) - 2 - 2 - 1
2. クラス 3 容器の強度計算方法	3 (4) - 2 - 2 - 2
2.1 クラス 3 容器の規定に基づく強度計算方法	3 (4) - 2 - 2 - 2
2.1.1 記号の定義	3 (4) - 2 - 2 - 2
2.1.2 強度計算方法	3 (4) - 2 - 2 - 7
3. 強度計算書のフォーマット	3 (4) - 2 - 2 - 16
3.1 強度計算書のフォーマットの概要	3 (4) - 2 - 2 - 16
3.2 記載する数値に関する注意事項	3 (4) - 2 - 2 - 16
3.3 強度計算書のフォーマット	3 (4) - 2 - 2 - 16

1. 概 要

本資料は、資料 3-1-2 「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「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。))<第 I 編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)(以下「JSME」という。)の規定に基づく強度計算方法について説明するものであり、クラス 3 容器の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. クラス 3 容器の強度計算方法

2.1 クラス 3 容器の規定に基づく強度計算方法

2.1.1 記号の定義

クラス 3 容器の胴又は平板の厚さ計算、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。

(1) 容器の厚さ計算に使用するもの

	記号	単位	定義
容器の胴又は平板の厚さ計算に使用するもの	D_i	mm	円筒形胴の内径
	D_o	mm	円筒形胴の外径
	d	mm	平板の取付け方法に応じ、JSME 表 PVD-3310-1 に示す平板の径
	K	—	平板の取付け方法による係数で JSME 表 PVD-3310-1 に記載の値
	P	MPa	最高使用圧力
	S	MPa	最高使用温度における JSME 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
	T	°C	最高使用温度
	t	mm	胴又は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_s	mm	胴又は平板の実際使用最小厚さ
	t_{sr}	mm	胴の補強計算に使用する厚さ
	η	—	継手効率

(2) フランジの強度計算に使用するもの

	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
	b	mm	ガスケット座の有効幅（セルフシールガスケットを使用するため対象外）
	b ₀	mm	ガスケット座の基本幅（「圧力容器のボルト締めフランジ」（JIS B 8265・2010「圧力容器の構造—一般事項」（以下「JIS B 8265」という。）附属書 G（規定））表 G.3 による。なお、セルフシールガスケットを使用するため対象外）
	C	mm	ボルト穴の中心円の直径
	D _g	mm	ガスケット外径
	d	mm ³	係数（一体形フランジの場合は $\frac{U}{V} h_0 \cdot g_0^2$ ）
	d _b	mm	ボルトのねじ部の谷の径又は軸部の最小径のいずれか小さい値
	e	mm ⁻¹	係数（一体形フランジの場合は $\frac{F}{h_0}$ ）
	F	—	一体形フランジの係数（JIS B 8265 附属書 G（規定）表 G.4 の算式による：0.91）
	f	—	ハブ応力修正係数（JIS B 8265 附属書 G（規定）図 G.4 による：1）
G	mm	ガスケット反力円の直径（JIS B 8265 附属書 G（規定）により、ガスケット面中心円の直径）	
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	

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	H	N	内圧によってフランジに加わる荷重
	H _D	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 _T	N	内圧によってフランジに加わる荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差
	h ₀	mm	$\sqrt{B \cdot g_0}$
	h _D	mm	ボルト穴の中心円から H _D 作用点までの半径方向の距離 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.1 による)
	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 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.1 による)
	h _T	mm	ボルト穴の中心円から H _T 作用点までの半径方向の距離 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.1 による)
	K	—	フランジの内外径の比 (K=A/B)
	L	—	係数 $\left(L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} \right)$
	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 _D	N・mm	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメント
	M _G	N・mm	ガスケット荷重によるモーメント
	M _g	N・mm	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント
	M _T	N・mm	内圧によってフランジに加わる荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差によるモーメント

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	m	—	ガスケット係数 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.2 による。セルフシールガスケット : 0)
	N	mm	ガスケットの接触面の幅 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.3 による)
	n	—	ボルトの本数
	P	MPa	最高使用圧力
	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 $\left(R = \frac{C-B}{2} - g_1\right)$
	S ₀	MPa	最高使用温度における JSME 付録材料図表 Part5 表 7 に規定するボルト材の許容引張応力
	S _a	MPa	常温における JSME 付録材料図表 Part5 表 7 に規定するボルト材の許容引張応力
	S _{fo}	MPa	最高使用温度における JSME 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
	S _{fa}	MPa	常温における JSME 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の許容引張応力
	T	—	$K\left(=\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 図 G.7 中の算式による : 1.80)
	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 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 図 G.7 中の算式による : 8.73)
	V	—	一体形フランジの係数 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.4 の算式による : 0.55)
	W ₀	N	使用状態でのボルト荷重
	W _g	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	

	記号	単位	定義
フランジの強度計算に使用するもの	Y	—	$K\left(=\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 図 G.7 中の算式による : 7.94)
	y	MPa	ガスケットの最小設計締付圧力 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 表 G.2 による。セルフシールガスケット : 0)
	Z	—	$K\left(=\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書 G (規定) 図 G.7 中の算式による : 4.10)
	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

2.1.2 強度計算方法

ここでは、クラス 3 容器を構成する胴及び平板の計算上必要な厚さ、補強計算及び評価方法を示す。

材料の許容引張応力は、JSME 付録材料図表 Part5 表 5 及び表 7 に応じた値を用いる。JSME 付録材料図表 Part5 表 5 及び表 7 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 JSME 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。

但し、補強計算には、設計確認値である実際使用最小厚さを使用する。

(1) 胴 (JSME PVD-3100)

a. 胴の形状 (JSME PVD-3010 (PVC-3110 準用))

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

b. 胴の厚さの計算 (JSME PVD-3010 (PVC-3120 準用))

胴の厚さは、以下の(a)項及び(b)項から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

(a) 材料による制限最小厚さ： t_1 (JSME PVD-3010 (PVC-3121 準用))

炭素鋼鋼板で作られたもの…………… 3 mm

その他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	適用規格番号	計算式
円筒形 (内面圧)	JSME PVD-3010 (PVC-3122(1)準用)	胴の厚さが胴の内半径の 1/2 以下の場合 $t = \frac{P \cdot D_i}{2S \cdot \eta - 1.2P}$ (注)
	JSME PVD-3010 (PVC-3122(2)準用)	胴の厚さが胴の内半径の 1/2 を超えるものは使用しない。

(注) 継手効率 η については、JSME 表 PVD-3110-1 のとおりとする。また、容器の胴に同じ大きさの穴を連続してあけるものはない。(JSME PVC-3140)

JSME 表 PVD-3110-1 継手効率の値

継手の種類	効 率	
	「発電用原子力設備規格溶接規格（2001年版）JSME S NB1-2001」（日本機械学会）（以下「溶接規格」という。）N-4140の規定において準用する溶接規格N-1100(1)a.項の規定に準じて放射線透過試験を行い、同規格(2)a.項の規定に適合するもの	その他のもの
突合せ両側溶接、裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものに限る。）およびこれらと同等以上の効果が得られる方法による溶接	1.00	0.70
裏当金を使用した突合せ片側溶接（溶接後裏当金を取り除いたものを除く。）	0.90	0.65
裏当金を使用しない突合せ片側溶接	0.60	0.60
両側全厚すみ肉重ね溶接	0.55	0.55
プラグ溶接を行う片側全厚すみ肉重ね溶接	0.50	0.50
プラグ溶接を行わない片側全厚すみ肉重ね溶接	0.45	0.45

c. 穴の補強計算 (JSME PVD-3120)

(a) 穴の形 (JSME PVD-3121)

容器の胴に設ける穴は、円形又はだ円形とする。

(b) 補強の要否の検討 (JSME PVD-3122)

容器の胴に穴をあけた場合、原則として補強する。

但し、以下に示す条件を満足する場合は、補強を必要としない。

項 目	適用規格番号	計算式
補強を要しない穴の最大径	JSME PVD-3122(1)	(1) 穴の径 (円形の穴については直径、だ円形の穴については長径をいう。) が 61 mm 以下で、かつ、胴の内径の 1/4 以下の穴
	JSME PVD-3122(2)	(2) 上記(1)に掲げるものを除き、穴の径が 200 mm 以下で、かつ、JSME 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 より求めた d の値以下の穴は使用しない。

(c) 補強計算 (JSME PVD-3010 (PVC-3160 準用))

前述する(b)項の補強の要否の検討において穴の径が補強を要しない穴の最大径より大きいものはないため、補強計算は不要である。

(2) 鏡板 (JSME PVD-3200)

本容器は、鏡板を使用していないため、本規定に該当しない。

(3) 平板 (JSME PVD-3300)

平板には穴が設けられているため、以下の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

a. 穴の補強計算 (JSME PVD-3320)

(a) 穴の形 (JSME 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 (JSME PVD-3322)

穴をあける場合の板厚は、平板の厚さが以下の計算式により求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

但し、穴の径が d の値の $1/2$ 以下で、JSME PVD-3010 において準用する JSME PVC-3160 に準じて、穴の補強計算を行う場合は、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。(JSME PVD-3322(1)a.)

区 分	適用規格番号	計算式
穴の径が d の値の $1/2$ 以下の場合	JSME PVD-3322(1)b.	$t = d \sqrt{\frac{2K \cdot P}{S}}$

(4) 管台 (JSME PVD-3010 (PVC-3600 準用))

本容器は、管台を使用していないため、本規定に該当しない。

(5) フランジ付きさら形ふた板 (JSME PVD-3010 (PVC-3400 準用))

本容器は、フランジ付きさら形ふた板を使用していないため、本規定に該当しない。

(6) 伸縮継手における疲労評価 (JSME PVD-3400)

本容器は、伸縮継手を使用していないため、本規定に該当しない。

(7) 容器の管板 (JSME PVD-3010 (PVC-3500 準用))

本容器は、管板を使用していないため、本規定に該当しない。

(8) 開放タンク (JSME PVD-3500)

本容器は、開放タンクではないため、本規定に該当しない。

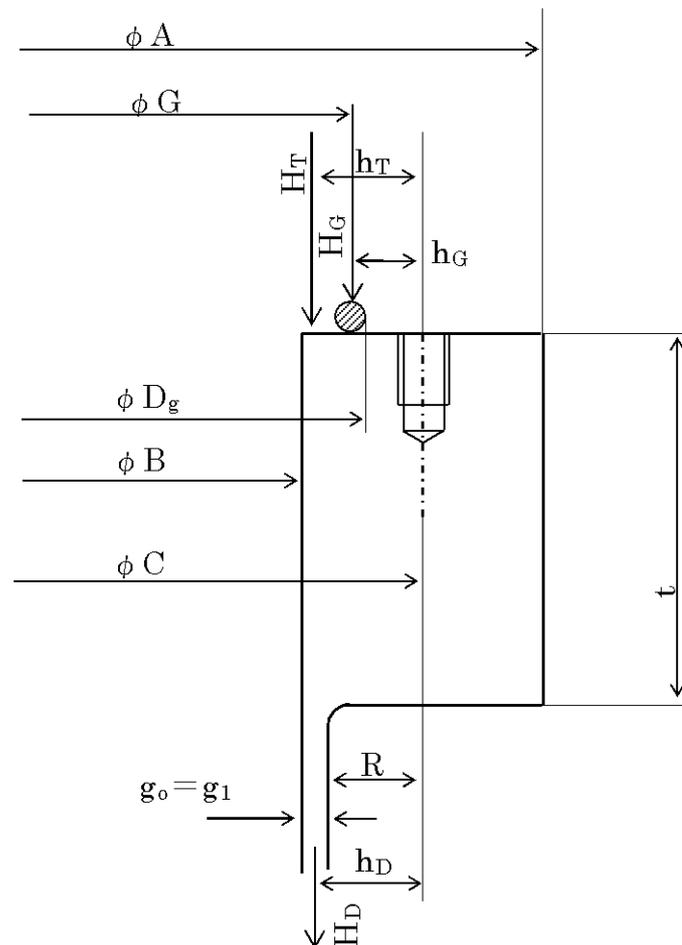
(9) 容器の胴として使用できる管継手 (JSME PVD-3600)

本容器は、容器の胴として使用できる管継手を使用していないため、本規定に該当しない。

(10) フランジ (JSME PVD-3010 (PVC-3700 準用))

ここでは、JSME PVC-3710 に掲げるもの以外のフランジについての強度計算方法を示す。フランジの強度計算は、JIS B 8265 附属書 G (規定) により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、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をとるものとする。

対象となるフランジの形状については、第 1 図「フランジ形式」に示す一体形フランジとする。



第 1 図 フランジ形式

項	目	計	算	式
計算上必要なボルト荷重及びボルトの総有効断面積	内圧によってフランジに加わる荷重	$H = \frac{\pi}{4} G^2 \cdot P$		
	気密を十分に保つためにガスケットに加える圧縮力	$H_p = 2 \pi b \cdot G \cdot m \cdot P$		
	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	$W_{m2} = \pi b \cdot G \cdot y$		
	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	$A_b = n \frac{\pi}{4} d_b^2$		
	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	$W_g = \frac{A_m + A_b}{2} \cdot S_a$		

	項 目	計 算 式
フランジに作用するモーメント	内圧によってフランジの内径面に加わる荷重	$H_D = \frac{\pi}{4} B^2 \cdot P$
	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荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差	$H_T = H - H_D$
	ボルト穴の中心円から各フランジ荷重作用点までの半径方向の距離	$h_D = R + 0.5 \cdot g_1$ $h_G = \frac{C - G}{2}$ $h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2}$
	使用状態でフランジに作用するモーメント	$M_0 = M_D + M_G + M_T$ $= H_D \cdot h_D + H_G \cdot h_G + H_T \cdot h_T$
	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$

項	目	計 算 式 (注1)	許容応力 (注1)
フランジに生じる応力及び許容応力	ハブの軸方向応力	$\sigma_H = \frac{f \cdot M}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$	1.5S _f
	フランジの径方向応力	$\sigma_R = \frac{(1.33t \cdot e + 1) M}{L \cdot t^2 \cdot B}$	}
	フランジの周方向応力	$\sigma_T = \frac{Y \cdot M}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$	
	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}、ガスケット締付時には M_g,S_{fa} 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、構造及び構成部材について、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。

(1) クラス3容器の規定に基づく強度計算

FORMAT-I	設計条件
FORMAT-II	容器の胴（円筒形）
FORMAT-III	容器の平板
FORMAT-IV	フランジの強度計算

(1) クラス3 容器の規定に基づく強度計算

〇〇の強度計算書

FORMAT-I

1. 設計条件

区分	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 T (°C)	機器等の区分
			クラス3 容器

FORMAT-II

2. 容器の胴 (円筒形)

(1) 内面に圧力を受ける胴

材料	許容引張応力 S (MPa)	胴の内径 D _i (mm)	胴の外径 D _o (mm)	継手効率 η	材料による 制限最小厚さ t ₁ (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)	実際使用 最小厚さ t _s (mm)	補強計算に 使用する厚さ t _{sr} (mm)	評 価

(2) 穴の径による補強計算の要否

管台名称	穴の径 (mm)	補強を要しない穴の最大径 (mm)	補強計算の 要否

FORMAT-III

3. 容器の平板

平板名称	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)	実際使用 最小厚さ t _s (mm)	評 価

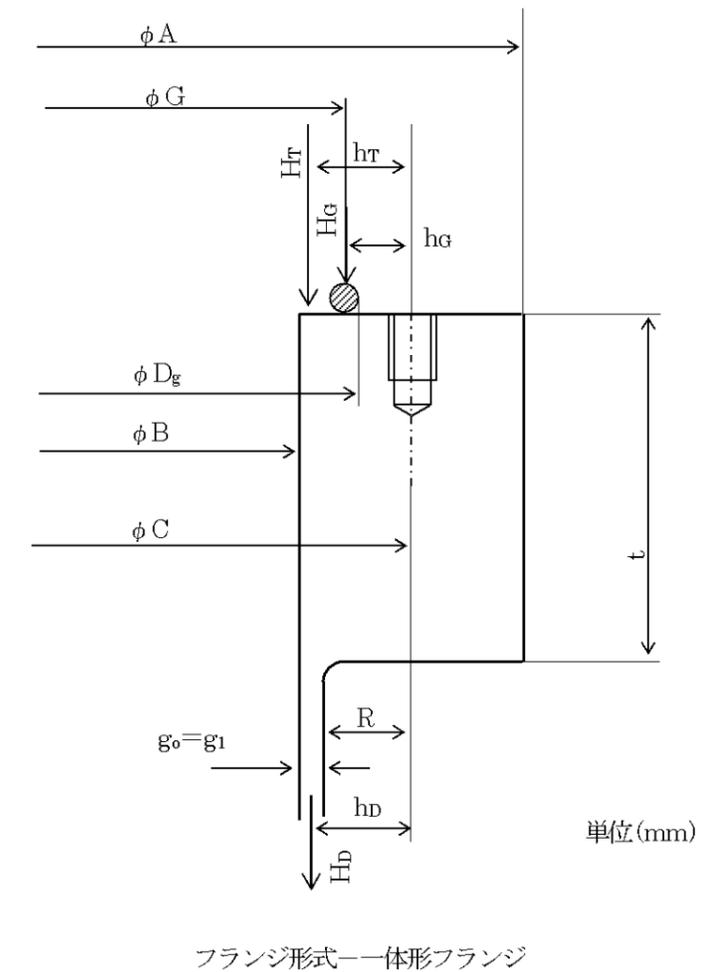
FORMAT-IV

4. フランジの強度計算

区分	材料	許容応力 (MPa)		ボルト径 d _b (mm)	ボルト 本数 n	ガスケット寸法 外径 D _g × 幅 N (mm)	ガスケット 係数 m	最小設計締付圧力 y (MPa)
		常 温	最高使用温度					

計算上必要なボルト荷重 (N)	使用状態での 必要な最小ボルト荷重	W _{m1}	
	ガスケット締付時に 必要な最小ボルト荷重	W _{m2}	
ボルトの総有効断面積及び 実際のボルトの総有効断面積 (mm ²)	ボルトの総有効断面積	A _m	
	実際に使用する ボルトの総有効断面積	A _b	
フランジに作用するモーメント (N・mm)	使用状態でフランジに 作用するモーメント	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				
フランジの径方向応力	σ _R				
フランジの周方向応力	σ _T				
組合せ応力	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$				
	$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$				
評 価					



強度計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-3

玄海原子力発電所第4号機

強度計算書の概要

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-3-1

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4) - 3 - 1 - 1
2. 強度計算書の概要	3 (4) - 3 - 1 - 1

1. 概 要

本資料は、申請対象設備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. 強度計算書の概要

強度計算書については、資料 3-1「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の確認結果を示すものであり、以下の資料により構成する。

添付資料 3-3-2 クラス 3 容器の強度計算書

クラス 3 容器の強度計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 3-3-2

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のクラス3容器 の強度計算書	3(4)-3-2-1
(1) 使用済燃料運搬用容器の強度計算書	3(4)-3-2-2

1. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のクラス3容器の強度計算書

(1) 使用済燃料運搬用容器の強度計算書

使用済燃料運搬用容器の強度計算書

1. 設計条件

区分	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用温度 T (°C)	機器等の区分
容器	1.70	180	クラス3 容器

2. 容器の胴 (円筒形)

(1) 内面に圧力を受ける胴

材料	許容引張応力 S (MPa)	胴の内径 D _i (mm)	胴の外径 D _o (mm)	継手効率 η	材料による 制限最小厚さ t ₁ (mm)	計算上 必要な厚さ t (mm)	実際使用 最小厚さ t _s (mm)	補強計算に 使用する厚さ t _{sr} (mm)	評価
			2138	1.00	1.5			-	t _s は、t ₁ 及び t 以上であるため、内面に圧力を受ける胴の必要な強度を満足している。

(2) 穴の径による補強の要否

管台名称	穴の径 (mm)	補強を要しない 穴の最大径(mm)	補強の要否
ベント・ 水位調整用	50	61	否

3. 容器の平板

(1) 内面に圧力を受けるふた板

平板名称	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)	実際使用 最小厚さ t _s (mm)	評価
ふた板			15		(a)	0.17			t _s は、t 以上であるため、内面に圧力を受けるふた板の必要な強度を満足している。

(2) 内面に圧力を受ける底板

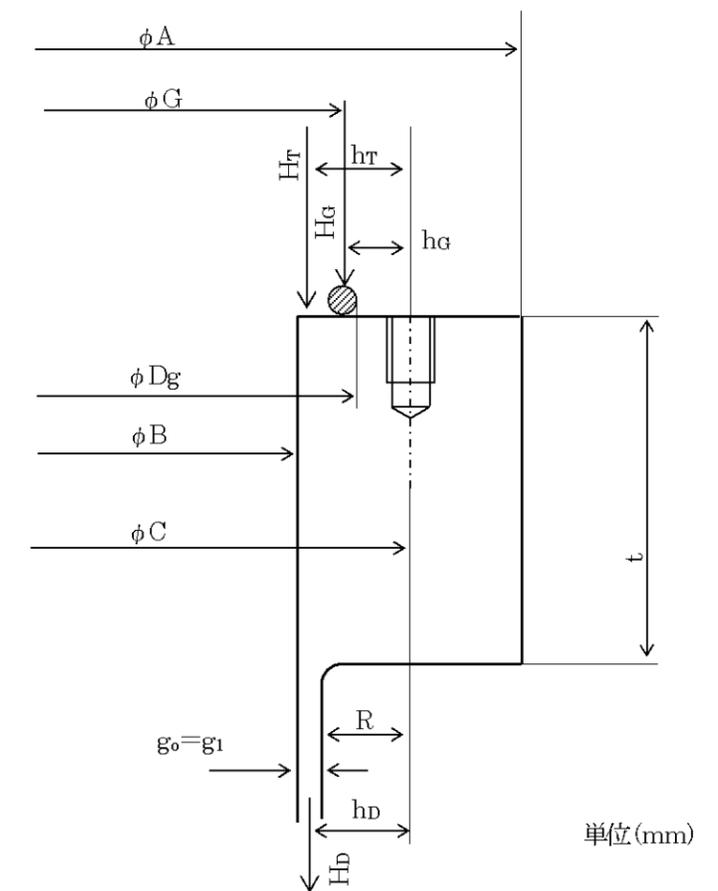
平板名称	材 料	許容引張応力 S (MPa)	穴の径 (mm)	径又は 最小内のり d (mm)	取付け方法	取付け方法 による係数 K	計算上 必要な厚さ t (mm)	実際使用 最小厚さ t _s (mm)	評価
底板			50		(o)	0.375			t _s は、t 以上であるため、内面に圧力を受ける底板の必要な強度を満足している。

4. フランジの強度計算

区分	材料	許容応力 (MPa)		ボルト径 d _b (mm)	ボルト 本数 n	ガスケット寸法 外径 D _g × 幅 N (mm)	ガスケット 係数 m	最小設計締付圧力 y (MPa)
		常 温	最高使用温度					
フランジ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	-	-	-	-
ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	-	-
セルフシールガスケット (Oリング)	フッ素ゴム	-	-	-	-	1463×12	0	0

計算上必要なボルト荷重 (N)	使用状態での 必要な最小ボルト荷重	W _{m1}	2.86 × 10 ⁶
	ガスケット締付時に 必要な最小ボルト荷重	W _{m2}	0
ボルトの総有効断面積及び 実際のボルトの総有効断面積 (mm ²)	ボルトの総有効断面積	A _m	1.43 × 10 ⁴
	実際に使用する ボルトの総有効断面積	A _b	3.76 × 10 ⁴
フランジに作用するモーメント (N・mm)	使用状態でフランジに 作用するモーメント	M ₀	2.37 × 10 ⁸
	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	3.87 × 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	6	≤ 1.5S _{fb} = <input type="text"/>	10	≤ 1.5S _{fa} = <input type="text"/>
フランジの径方向応力	σ _R	1	≤ S _{fb} = <input type="text"/>	1	≤ S _{fa} = <input type="text"/>
フランジの周方向応力	σ _T	7		11	
組合せ応力	$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2}$	3		5	
	$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2}$	6	10		
評 価		計算応力はすべて許容応力以下であるのでフランジ強度は十分である。			



フランジ形式——一体形フランジ

別添

衝撃、熱等に係る強度計算書

目 次

	頁
1. 概 要	3 (4)・別添・1
1.1 適用範囲	3 (4)・別添・1
1.2 構造設計	3 (4)・別添・2
1.3 設計基準	3 (4)・別添・21
2. 重量及び重心	3 (4)・別添・34
3. 材料の機械的性質	3 (4)・別添・34
4. 輸送物の要件	3 (4)・別添・34
4.1 化学的及び電気的反応	3 (4)・別添・34
4.2 低温強度	3 (4)・別添・43
4.3 密封装置	3 (4)・別添・44
4.4 吊上装置	3 (4)・別添・45
4.5 固縛装置	3 (4)・別添・54
4.6 圧 力	3 (4)・別添・62
4.7 振 動	3 (4)・別添・62
5. 一般の試験条件	3 (4)・別添・67
5.1 熱的試験	3 (4)・別添・67
5.2 水噴霧	3 (4)・別添・82
5.3 自由落下	3 (4)・別添・83
5.4 積み重ね試験	3 (4)・別添・125
5.5 貫 通	3 (4)・別添・128
5.6 角又は縁落下	3 (4)・別添・129
5.7 結果の要約及びその評価	3 (4)・別添・130

6. 特別の試験条件	3 (4)・別添	134
6.1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)	3 (4)・別添	134
6.2 強度試験・落下試験 II (1m 落下時)	3 (4)・別添	170
6.3 熱的試験	3 (4)・別添	175
6.4 浸漬	3 (4)・別添	184
6.5 結果の要約及びその評価	3 (4)・別添	185
7. 強化浸漬試験	3 (4)・別添	192
8. 放射性収納物	3 (4)・別添	196
9. 核分裂性輸送物	3 (4)・別添	197
9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件	3 (4)・別添	197
9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件	3 (4)・別添	200
10. 附属書類	3 (4)・別添	207
10.1 段付き部の応力集中係数	3 (4)・別添	207
10.2 ボロン添加ステンレス鋼の材料特性	3 (4)・別添	208
10.3 9m 水平落下時のフィンの衝撃力 及び吸収エネルギーの計算	3 (4)・別添	217
10.4 実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験	3 (4)・別添	223
10.5 1/3 スケールモデルを用いた 9m 落下試験	3 (4)・別添	235
10.6 実規模モデルを用いた実証試験	3 (4)・別添	239
10.7 傾斜落下時の輸送物健全性	3 (4)・別添	244
10.8 参考文献	3 (4)・別添	245

別紙 計算機プログラム（解析コード）の概要

1. 概 要

1.1 適用範囲

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第26条第1項第5号及びその「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」に基づき、燃料取扱設備である使用済燃料運搬用容器を用いて玄海4号機の使用済燃料を玄海3号機燃料取扱建屋内の使用済燃料貯蔵設備へ運搬する場合に、使用済燃料運搬用容器が衝撃、熱その他の容器に加わる負荷に耐え、かつ、容易に破損しないものであることの強度計算について説明するものである。

また、評価については、事業所外の輸送基準である「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「規則」という。）及び「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技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成2年11月28日 科学技術庁告示第5号）」（以下「告示」という。）に基づいて試験条件を考慮する。

なお、容器の設計については、規則及び告示に基づき、NFT-14P型の核燃料輸送物として「核燃料輸送物設計承認（平成23年10月11日付、平成22・10・28原第26号）」を受けている。

1.2 構造設計

(1) 使用済燃料運搬用容器の構造

輸送物の全体図を第 1 図に、運搬用容器の縦断面図を第 2 図に示す。

運搬用容器は円筒形状である。運搬用容器は運搬中には第 3 図に示すように架台に横置き状態に保持され固縛装置で固定される。運搬用容器は発電所建屋内での取り扱い時には縦置き状態に保持される。

燃料集合体は容器内に収納されたバスケットに収納される。燃料集合体は、縦置き状態に保持された容器の上部から出し入れが行われる。

運搬用容器の取扱いは容器に取り付けられたトラニオンを使用して行われる。

緩衝体は落下衝撃を緩和するため、容器の上部及び下部に取り付けられている。

容器は、落下による衝撃に耐えうる強度を持っている。

運搬用容器内部には、収納燃料より発生する崩壊熱の除去を容易にし、中性子の遮蔽効果を向上するため、純水又はボロン入りの水が充填される。

容器外筒外面には崩壊熱を放散するため、円周方向にフィンが取り付けられている。

また、鉛は熱伝導効果を向上させるために内筒及び中間筒に接着処理が施されている。

運搬用容器の密封境界は、第 4 図に示すように内筒、底板、フランジ、ふた、ふた部内側の O リング（ガスケット）（以下「O リング」という。）、ベント・水位調整バルブ、水位調整用加圧バルブ及びドレンバルブで構成されている。

運搬用容器の主な遮蔽材は、鉛及びレジンである。

鉛はガンマ線遮蔽体、レジンは中性子遮蔽体として用いられている。

輸送物の未臨界性を維持するため、中性子吸収体としてボロン添加ステンレス鋼製のバスケットが用いられている。

運搬用容器は、第 1 図及び第 2 図に示すように本体、ふた、バスケット及び緩衝体により構成される。

附属機器として、第 3 図に示すように架台がある。また、容器の表面温度が高い場合には、運搬中に人が容易に触れることがないように、必要に応じて近接防止金網を取り付ける。

a. 本 体

本体縦断面図を第 5 図に、横断面図を第 6 図に示す。

本体は三重円筒構造であり、主要構成物は内筒、中間筒及び外筒、伝熱フィン、フィン、遮蔽体としての鉛及びレジン、ベント・水位調整バルブ及びドレンバルブ、上部及び下部トラニオンである。

内筒は底板とフランジに溶接され、密封容器本体を構成している。

フランジは、中間筒とも溶接されている。

中間筒の下部は、底コーナーに溶接されており、底コーナーは底板と溶接されている。

外筒は、仕切板を介し上・下部が中間筒に溶接されている。

仕切板は外筒とともに中性子遮蔽材であるレジンを覆い保持している。

内筒と中間筒の間には鉛が充填され、ガンマ線遮蔽体となっている。

内筒及び中間筒の鉛と接する表面は、熱伝達効果を向上するために接着処理が施されている。

中間筒と外筒の間には、伝熱フィンが設けられるとともにレジンが充填され、中性子遮蔽体となっている。また、外筒より上部側及び下部側にはレジンカバーが設けられ、フランジ、中間筒、底コーナーとレジンカバーの間にもレジンが充填されている。

フィンは、第 7 図に示すように外筒外面に円周方向に等間隔で溶接されている。

外筒の上・下端部にはバギング（運搬用容器の汚染防止のために被せる袋）等を固定するためのバギングリングが設けられている。

底板底面には、下部緩衝体の取り付け用ボルト穴が設けられている。

本体内側上部には、バスケットの位置決めを行いバスケットの挿入を容易にするためのバスケットガイドが取り付けられている。

本体上部には、ベント・水位調整バルブ及び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、吊上専用の吊上用トラニオンと運搬架台への積載にも使用する固縛兼用トラニオンがあり、これらトラニオンが各一對ずつ設けられている。これらトラニオンの構造は第 8 図に示すとおりである。

本体下部には、ドレンバルブ及び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、上部トラニオンと同一構造であり、運搬架台への積載及び運搬架台へ積載した状態での水平吊りに使用される。

ベント・水位調整バルブ及びドレンバルブは、いずれもプラグタイプの

バルブであり、その構造は第 9 図及び第 10 図に示すとおりである。

b. ふ た

ふたの構造を第 11 図に示す。ふたは  本のふたボルトで本体上部のフランジ面に取り付けられる。このふたと本体上部フランジ面との接合面にはふた側に二重の 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 リングにより密封性が確保されるようになっている。

ふたの内側には内筒内水の膨張を吸収するふた膨張室を設ける構造となっている。

ふた膨張室はふた膨張室側板、ふた膨張室底板及びふた板から構成される空気タンクで、ふた膨張室底板には水平時に下側となる位置に小孔を設けてあり、運搬中に膨張した内筒内水はこの小孔を通過してふた膨張室に流れ込むようになっている。

ふたには、中央上部にふた吊手が 8 本のボルトにより取り付けられ、水位調整用加圧バルブが組み込まれている。水位調整用加圧バルブの構造を第 12 図に示す。

また、ふた上部には上部緩衝体取り付け用のボルト穴と、ふたの位置決めを行うための位置決めボルト用の穴が設けられている。

なお、ふたは運搬中緩衝体に覆われており、不用意にボルトが外されないようになっている。

c. バスケット

バスケットは個々の燃料集合体を運搬用容器に収納するためのもので、運搬中燃料集合体を分散・集合させず、かつ未臨界の状態を保持するように設けられている。

中性子吸収体は、バスケットチャンネルを構成するボロン添加ステンレス鋼である。

バスケットは第 13 図に示すように、ボロン添加ステンレス鋼で作られた 14 個のチャンネルをステンレス鋼の支持リングで支持する構造になっている。

チャンネルは支持リングに溶接されている。

また、バスケットには水の体積を減少させ内圧を抑制するための支持パイプが 4 本組み込まれている。

支持パイプは支持リングに溶接されている。

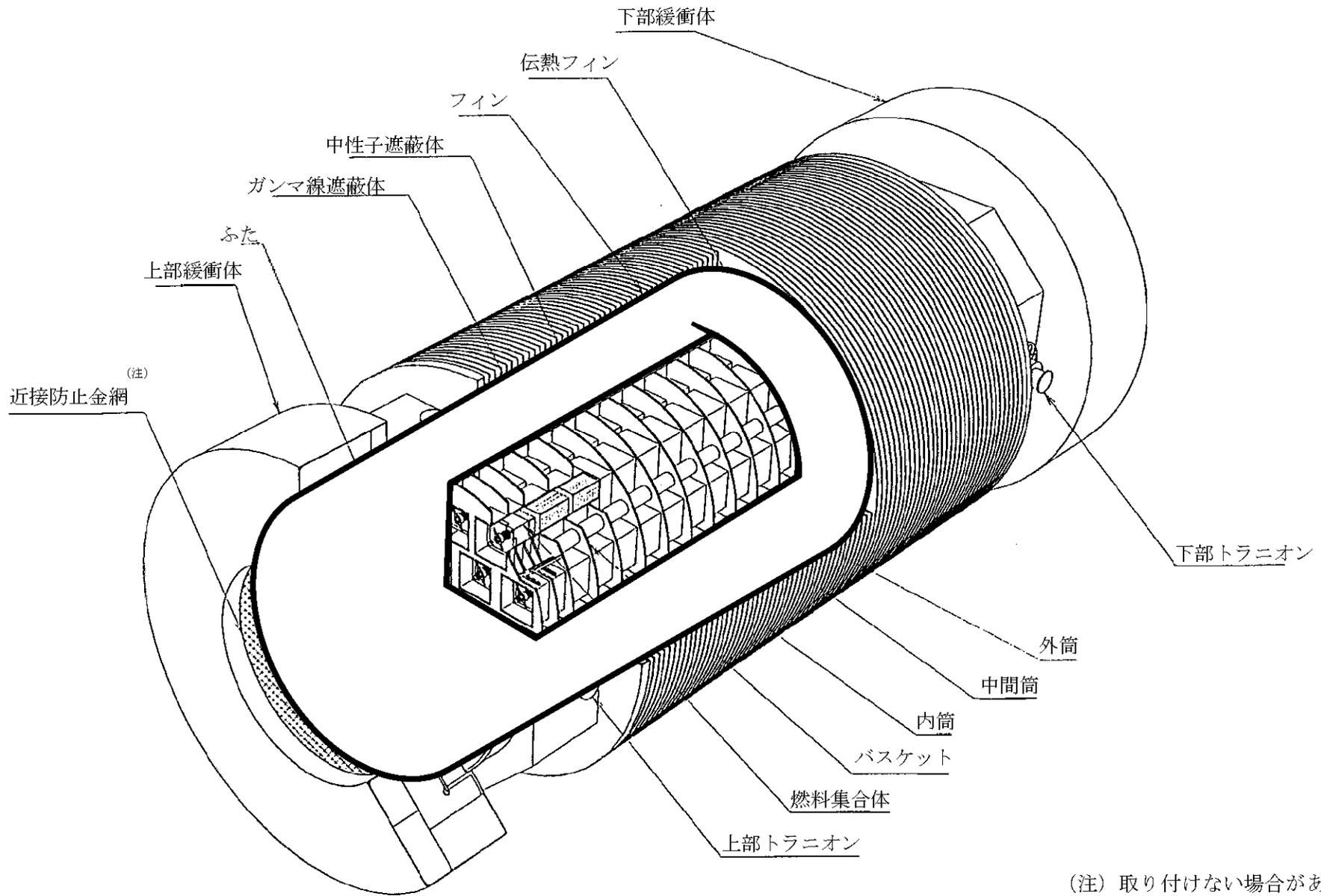
d. 緩衝体

上部緩衝体はふた上面に、下部緩衝体は容器本体の底面に各々□本のボルトで取り付けられ、落下等により運搬用容器に加わる機械的衝撃を吸収して運搬用容器を保護する。

上部緩衝体を第 14 図に、下部緩衝体を第 15 図に示す。

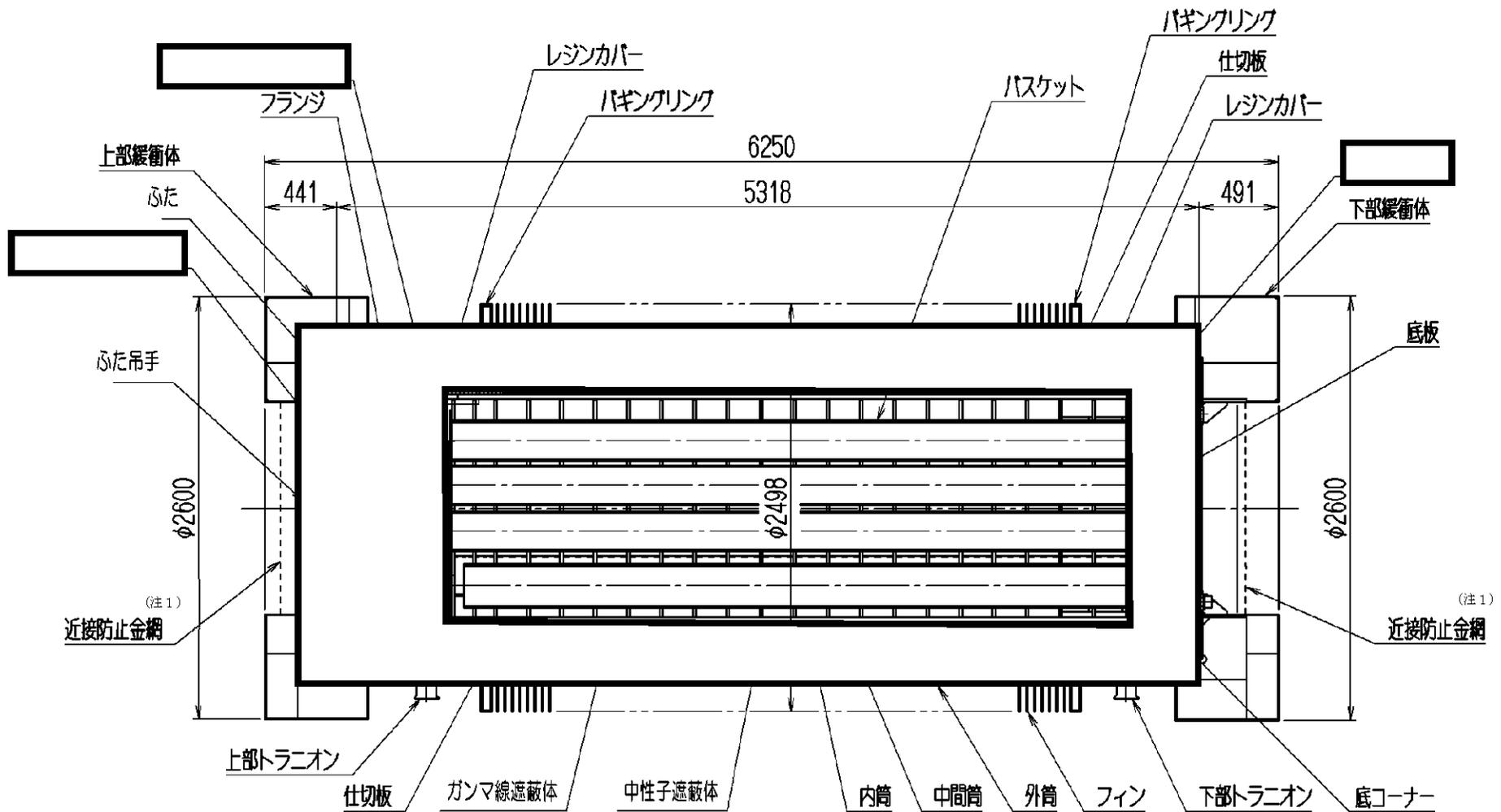
緩衝体は、ステンレス鋼のカバープレートとリブから構成される溶接構造物の内部に緩衝材である木材（ファープライウッド及びオーク材）を充填したものである。

なお、容器の表面温度が高い場合には、運搬中に人が容易に触れることがないように、必要に応じて上・下部緩衝体の中央凹部に近接防止金網を取り付ける。



第1図 輸送物全体図

(注) 取り付けない場合がある。



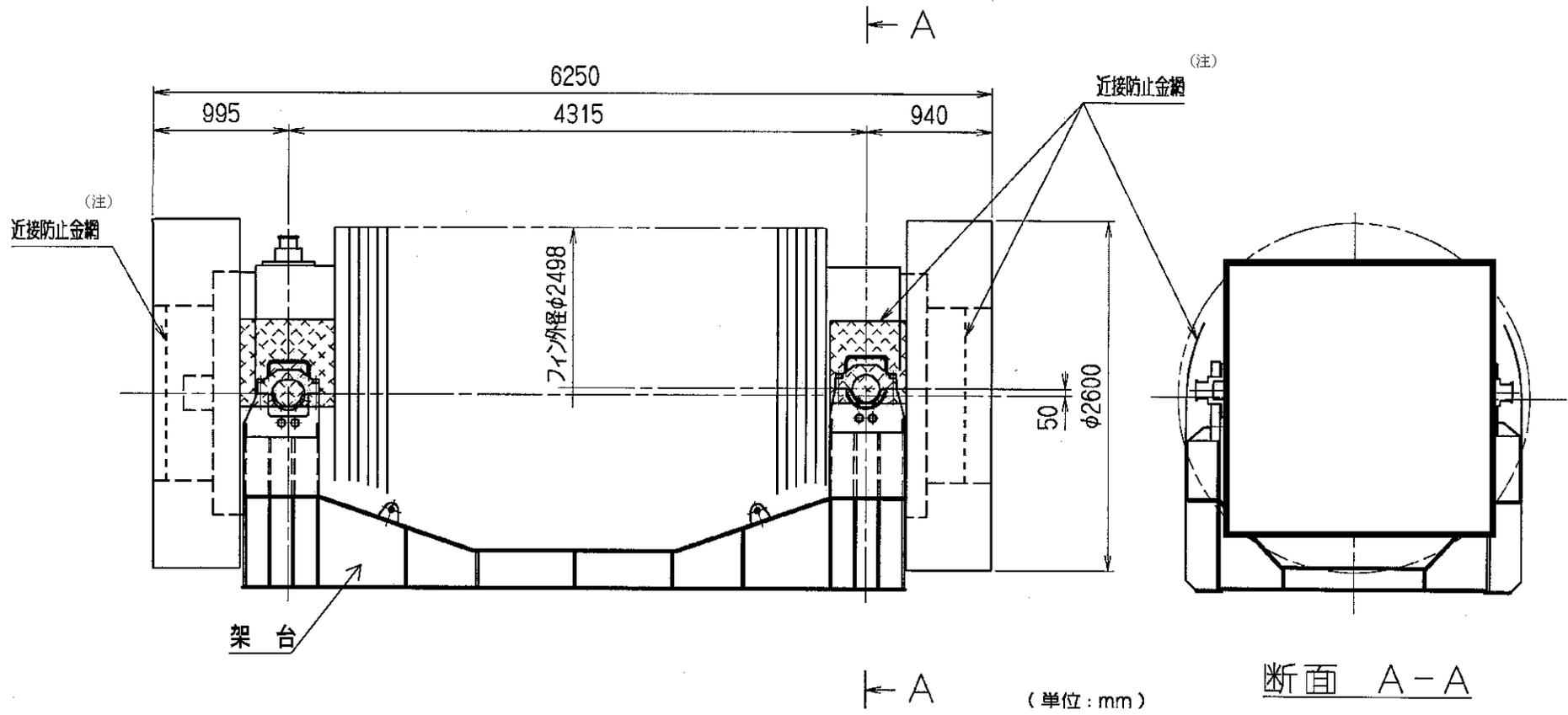
(単位: mm)

(注1) 取り付けない場合がある。

(注2) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。

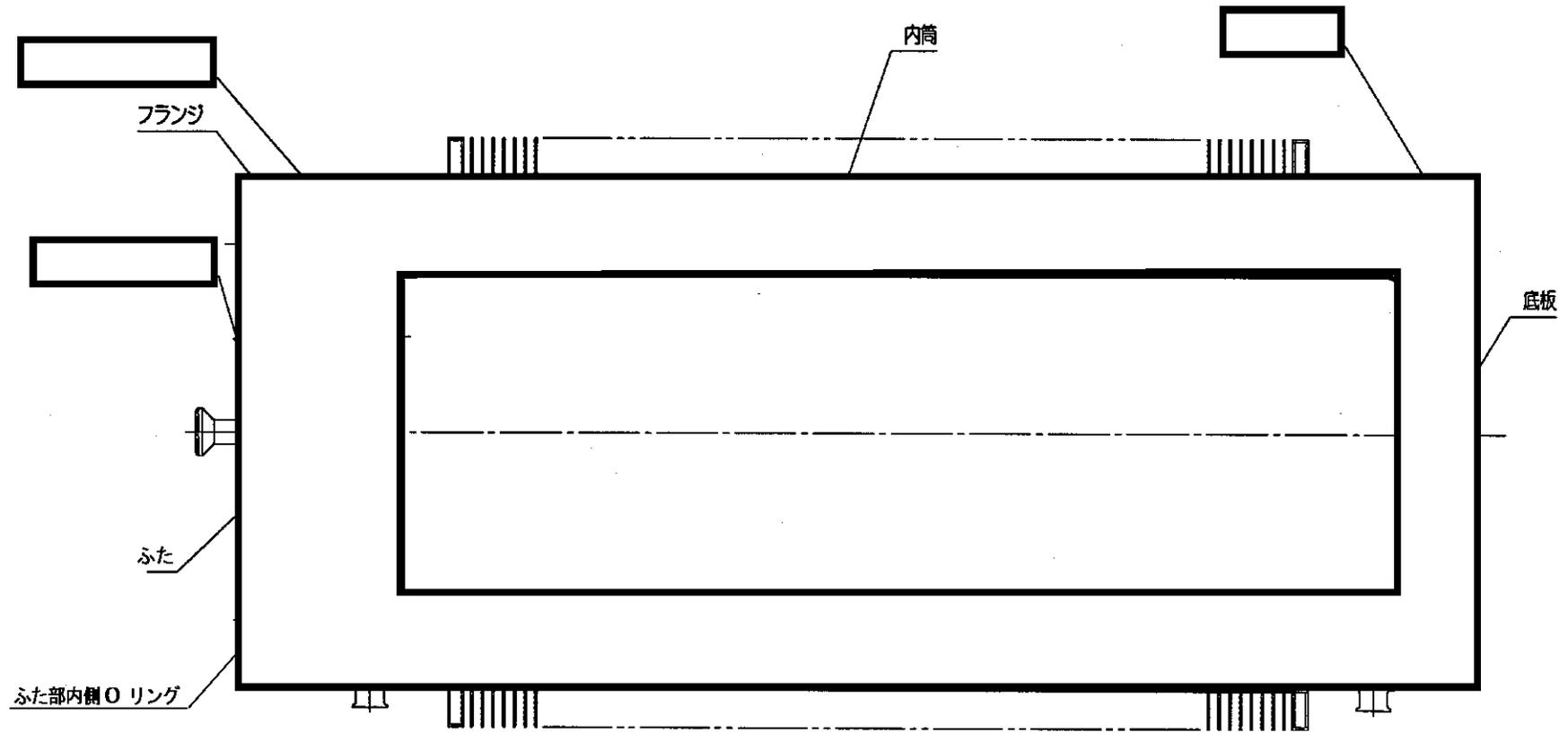
第2図 運搬用容器縦断面図

(注2)



第3図 運搬荷姿

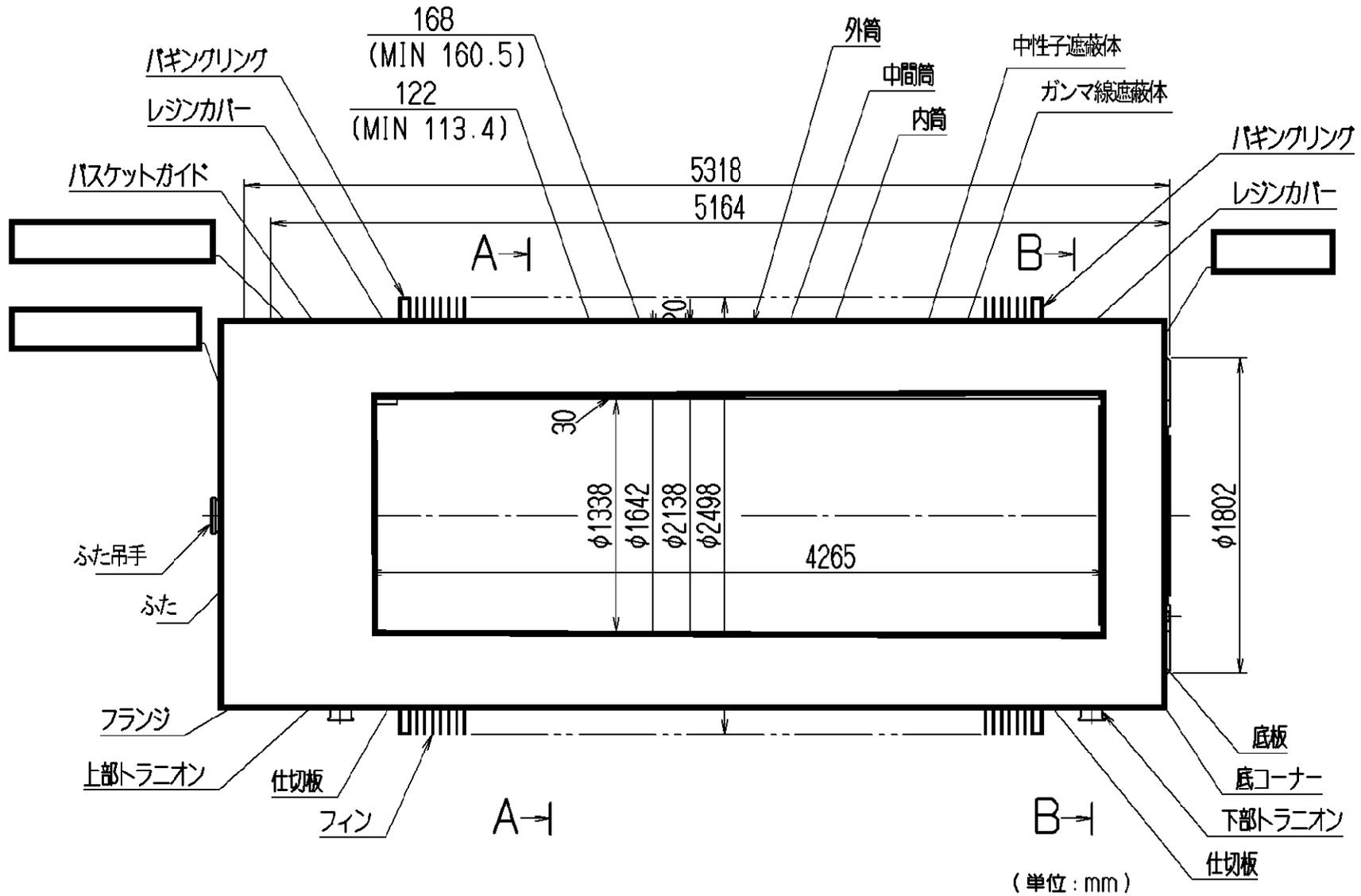
(注) 取り付けない場合がある。



密封境界 ———

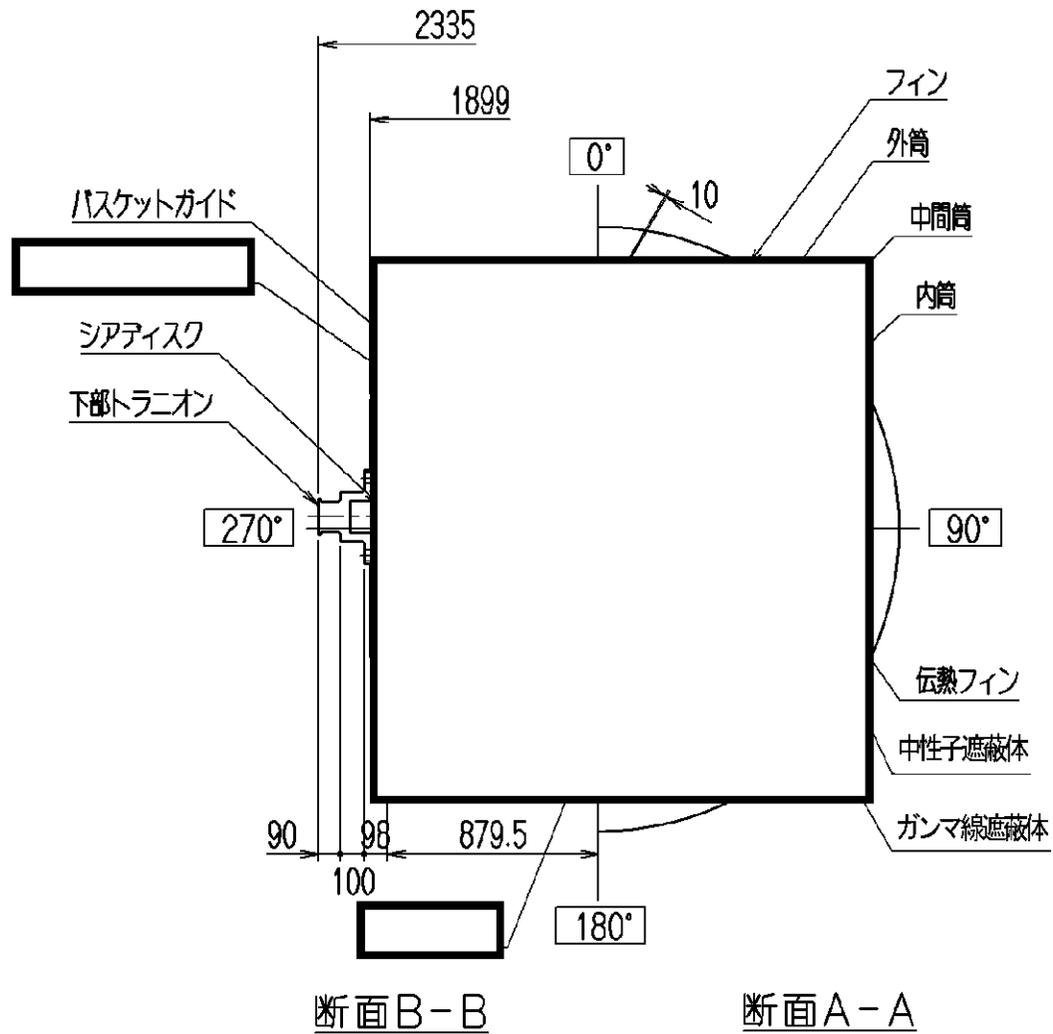
(注) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。

(注)
第4図 密封境界



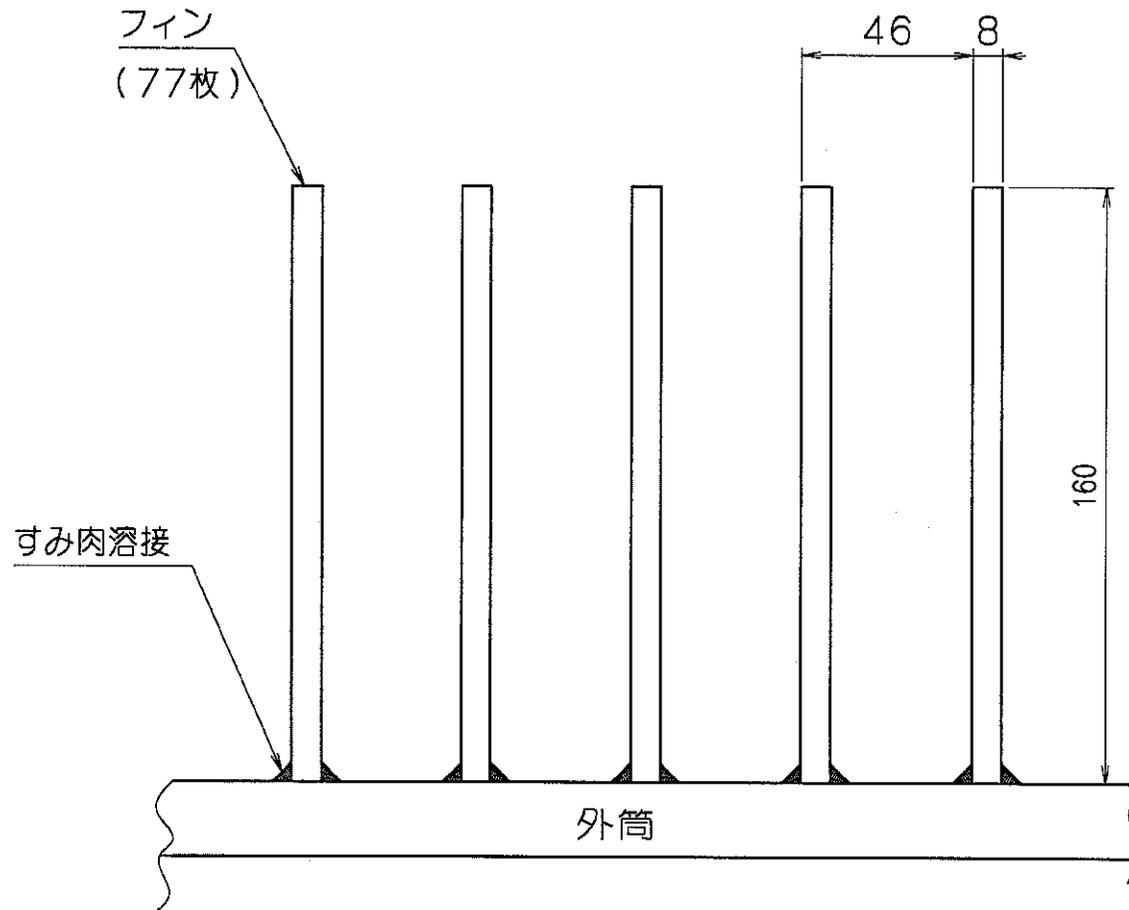
第5図 本体縦断面図

(注) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。



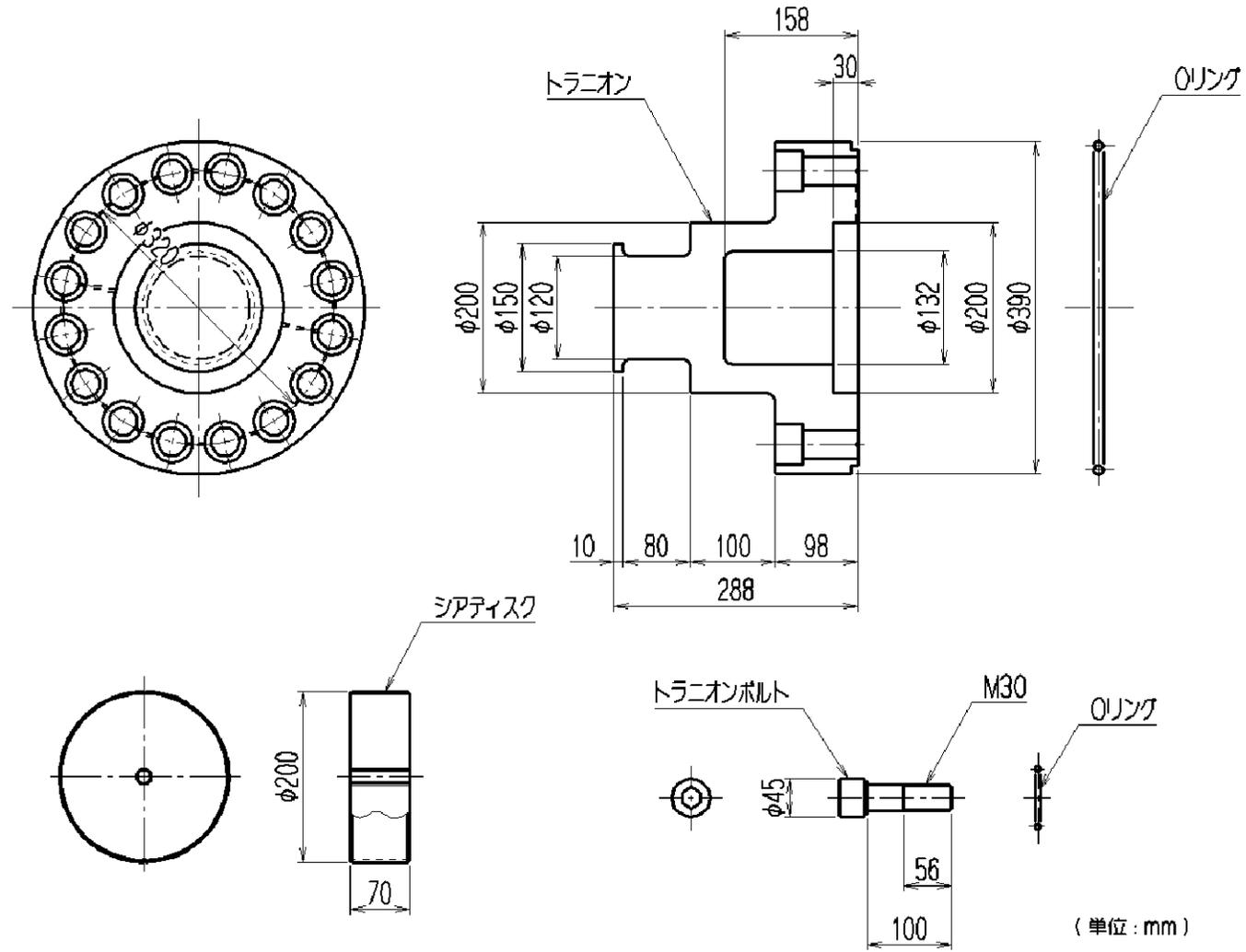
(注) 断面記号は第5図に示す位置とする。
 (ベント・水位調整バルブ・ドレンバルブ・バスケットガイドについては周方向位置を示す。)

(注)
 第6図 本体横断面図 (単位: mm)

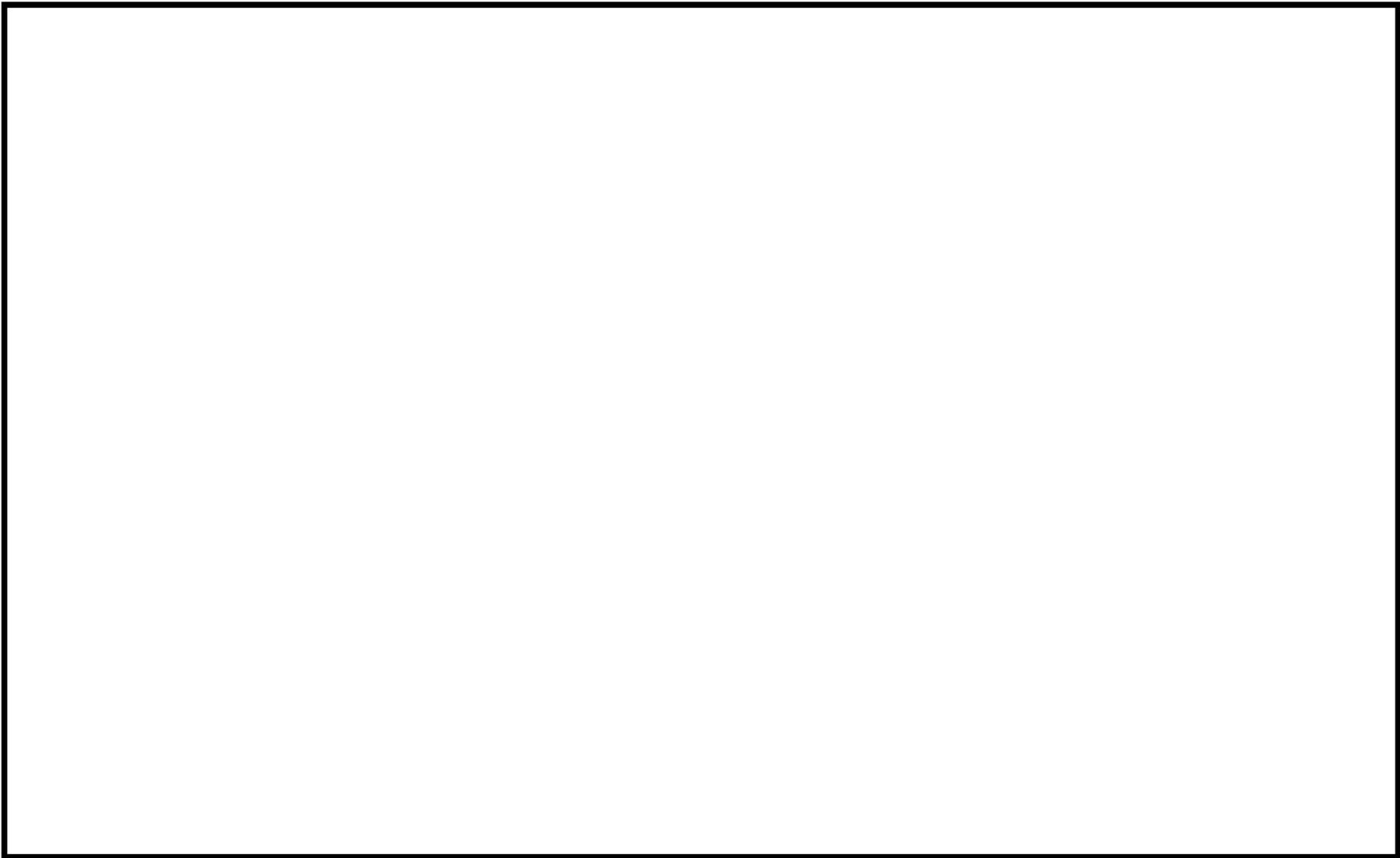


第7図 フィン

(単位: mm)

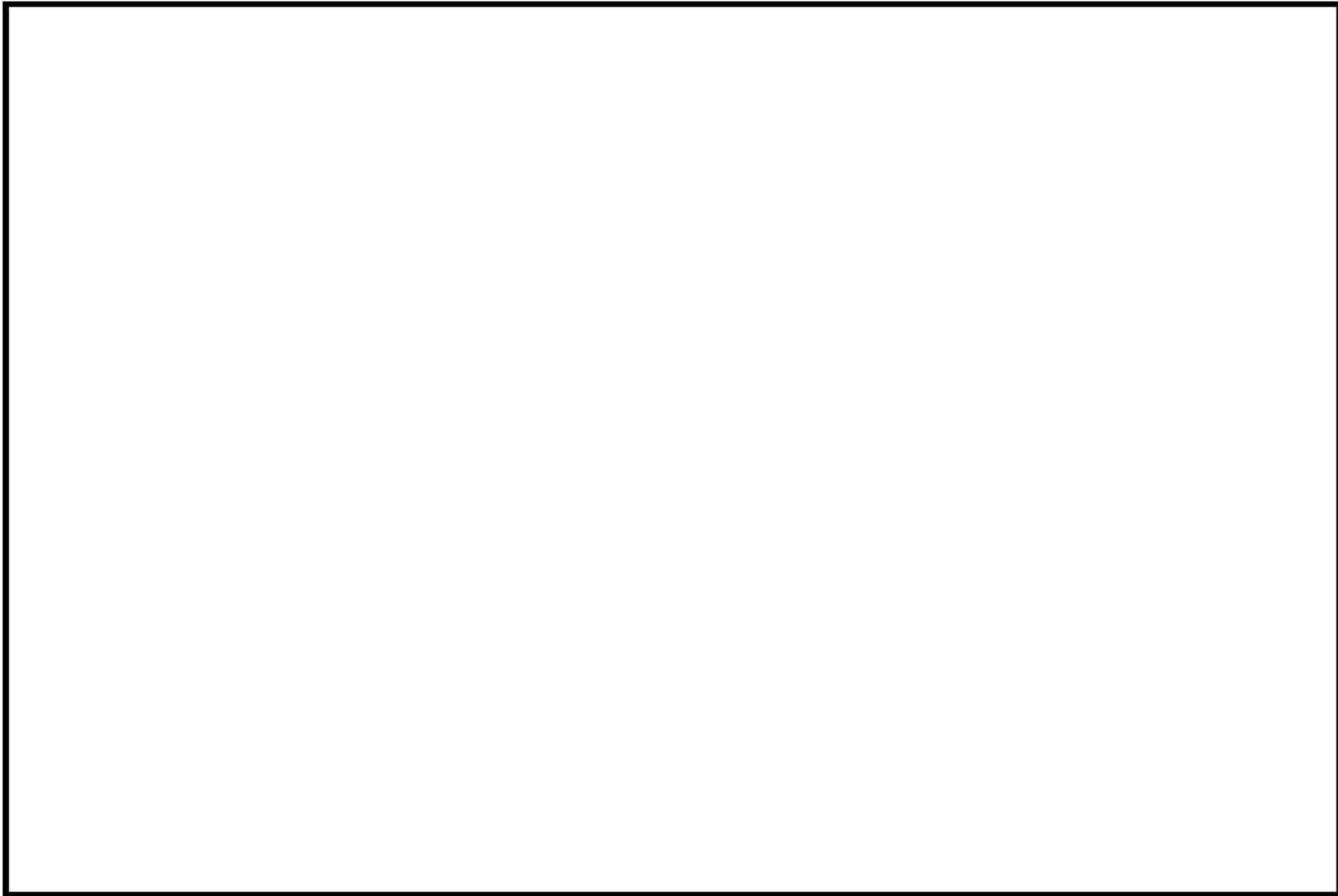


第8図 トラニオン



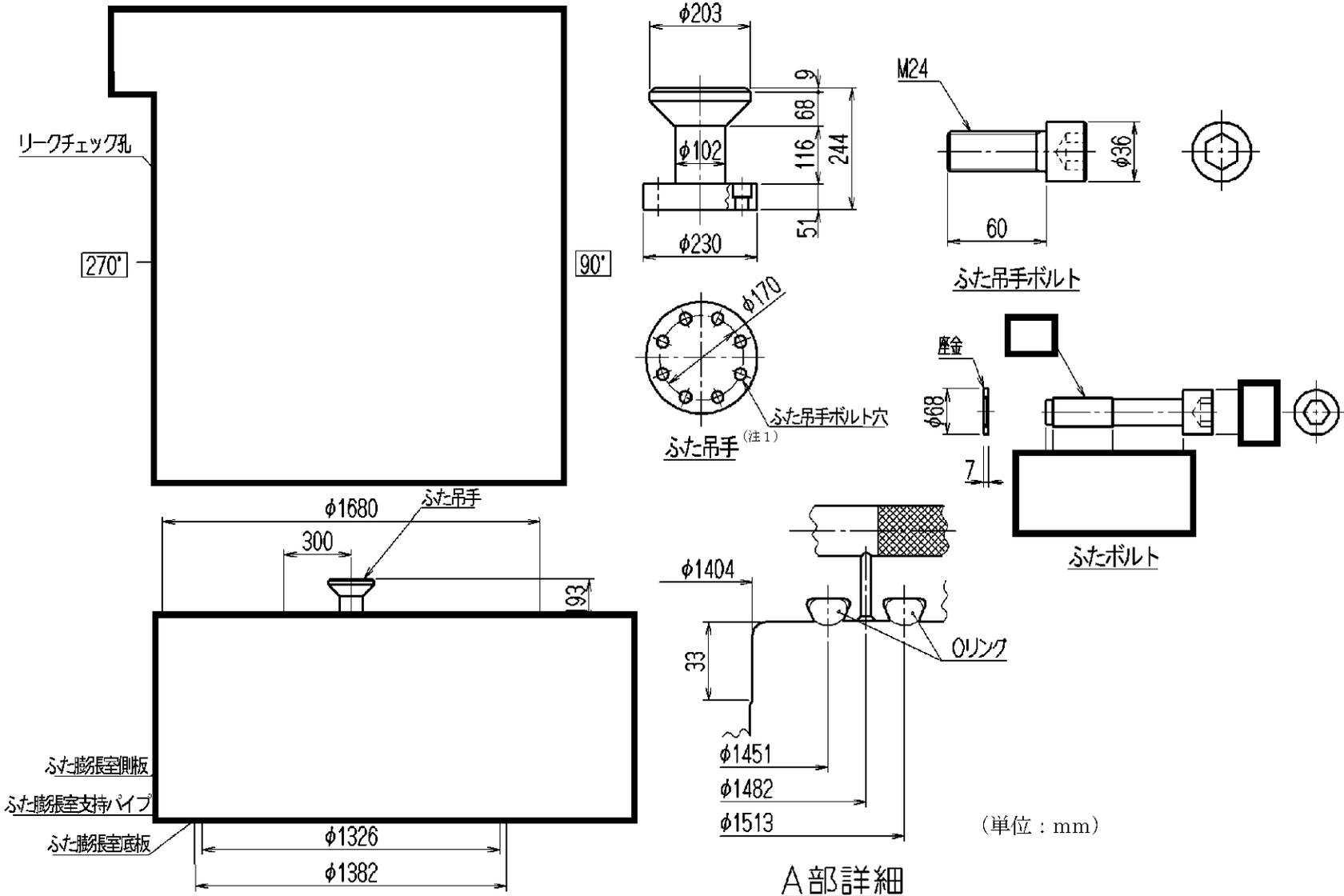
第9図 ベント・水位調整バルブ

(単位: mm)



第10図 ドレンバルブ

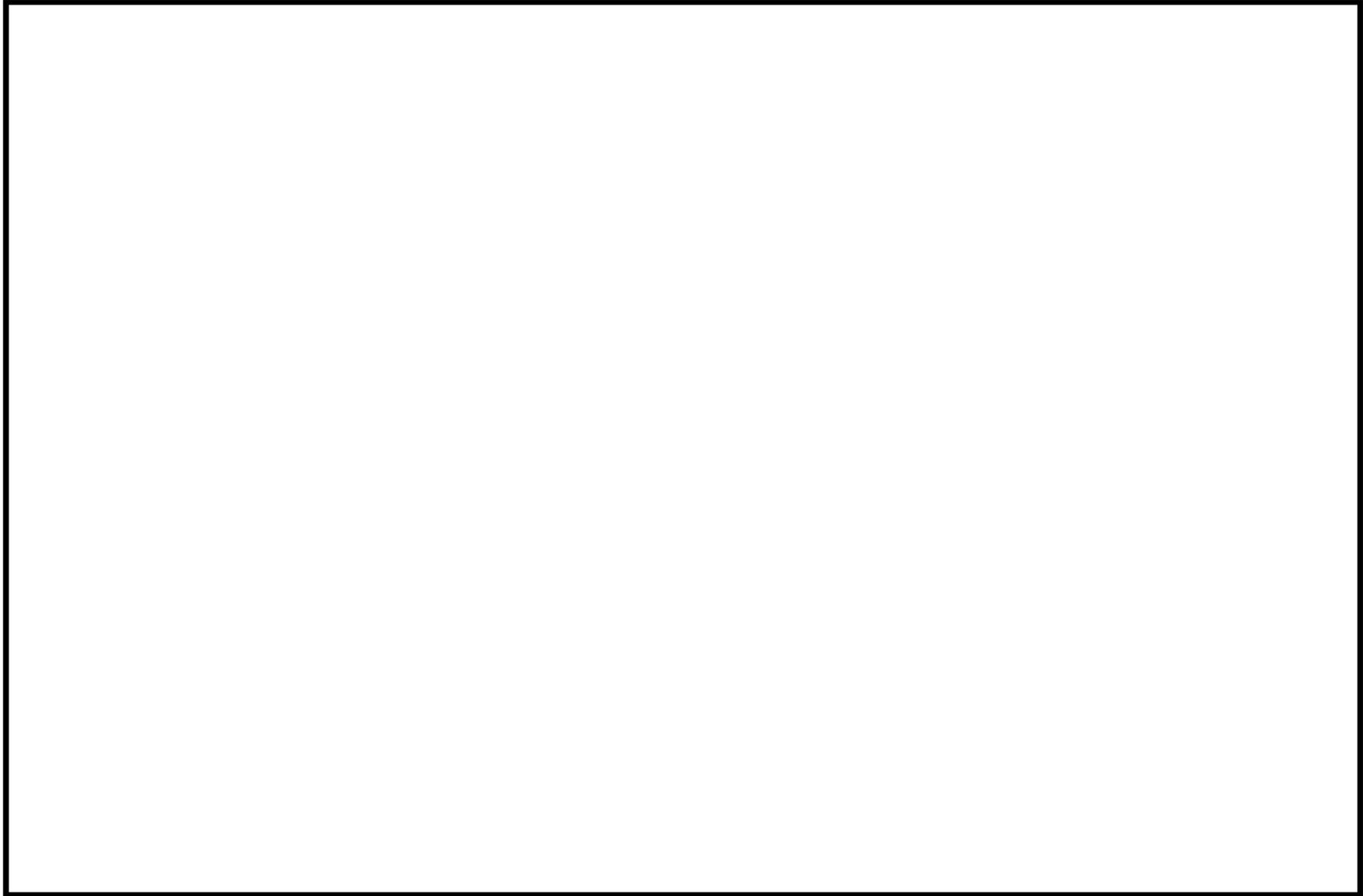
(単位: mm)



(注2)
第11図 ふた

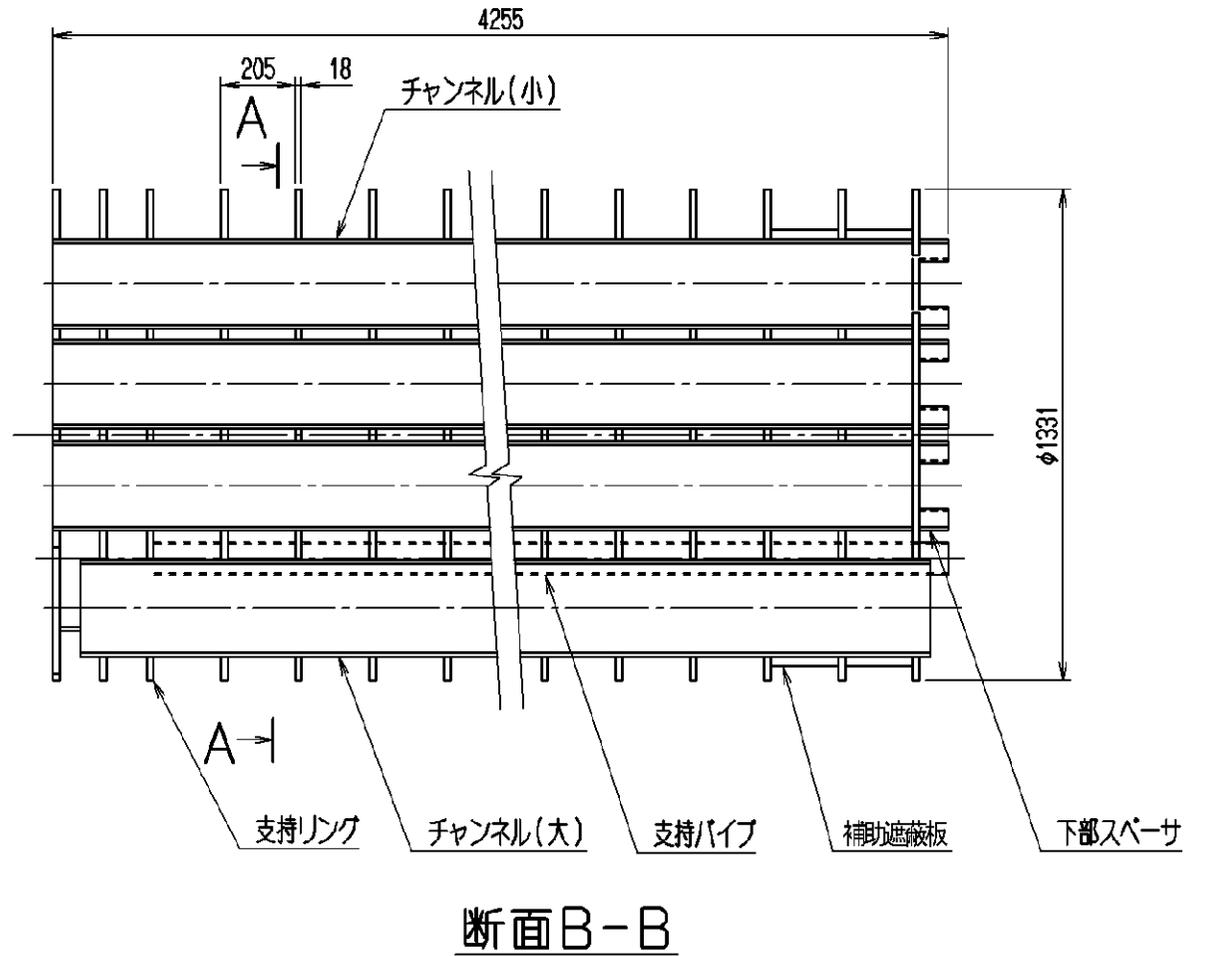
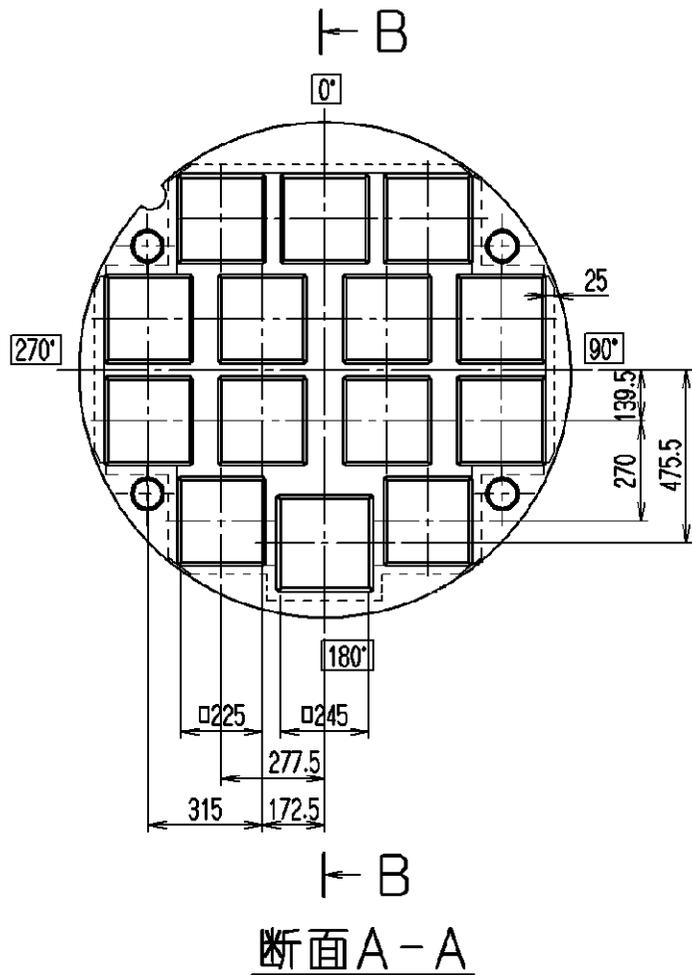
(注1) 溶接取り付けの場合がある。

(注2) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。



(単位 : mm)

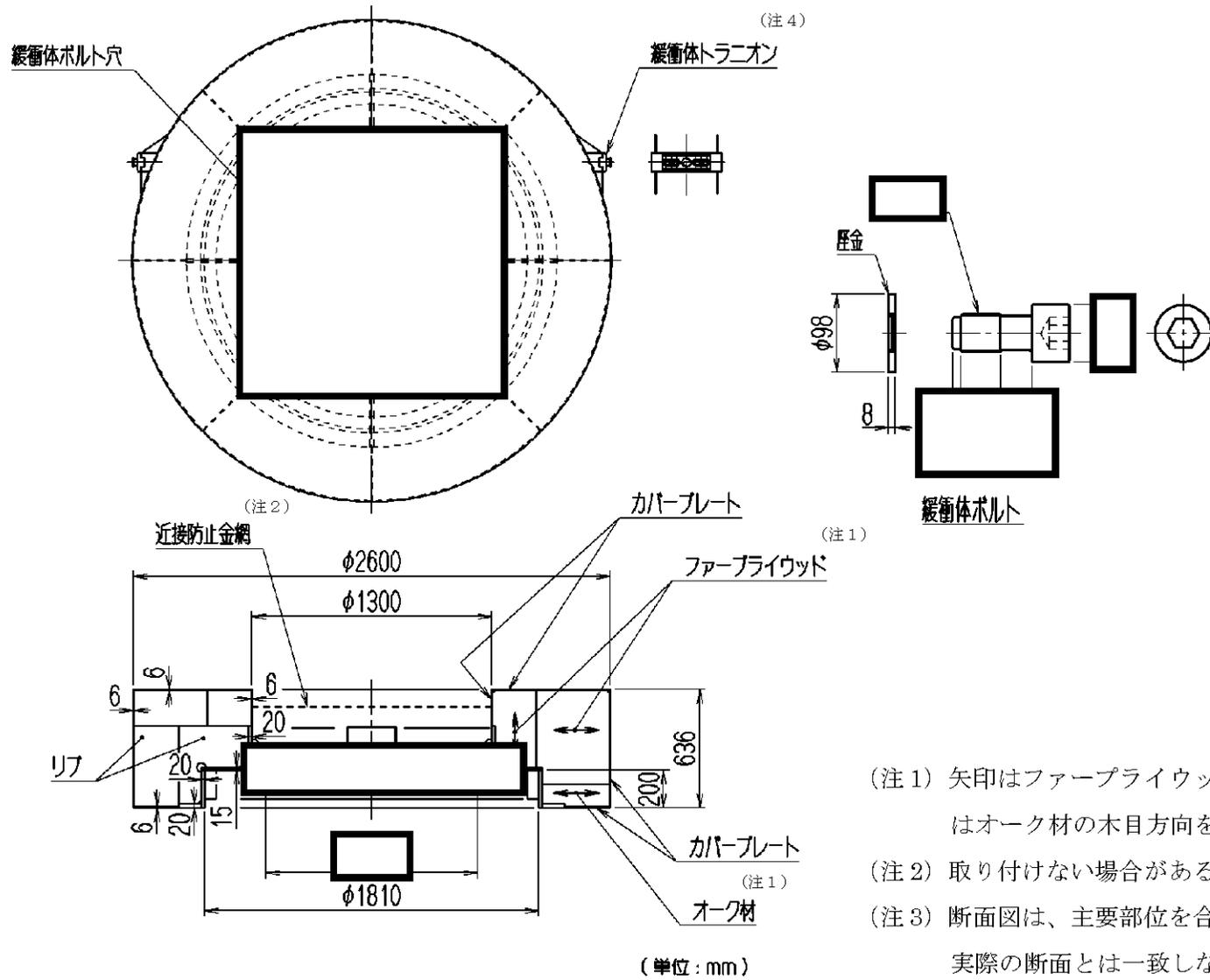
第 12 図 水位調整用加圧バルブ



(単位: mm)

(注) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。

(注)
第13図 バスケット



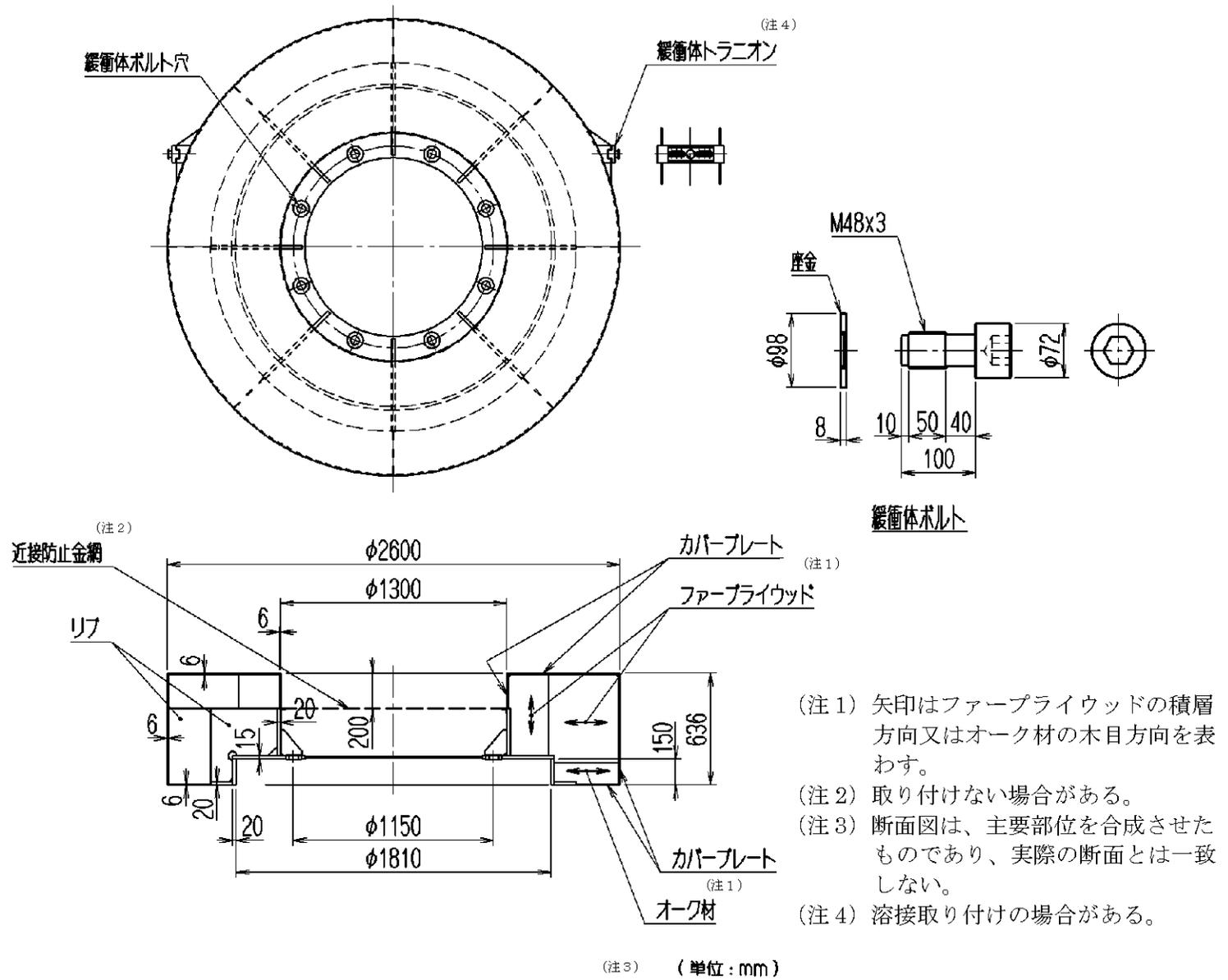
第14図 上部緩衝体

(注1) 矢印はファープライウッドの積層方向又はオーク材の木目方向を表わす。

(注2) 取り付けない場合がある。

(注3) 断面図は、主要部位を合成させたものであり、実際の断面とは一致しない。

(注4) 溶接取り付けの場合がある。



第15図 下部緩衝体

1.3 設計基準

本運搬用容器は構造上以下に述べる設計の基本に基づく設計基準に従って解析している。

1.3.1 設計の基本

設計の基本としては、規則及び告示に基づいて以下の条件等を考慮した。

(1) 通常の運搬条件

- a. 容器の材質間又は容器の材質と放射性収納物間において危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないこと。
- b. 密封装置は、不用意に開かれないこと。
- c. 運搬用容器の吊上装置としてのトラニオンは吊上荷重の3倍に耐えること。
- d. 固縛装置は運搬中発生する上下及び運搬方向加速度 $2g$ 及び左右方向 $1g$ に耐えること。
- e. 運搬用容器の構成部品は、規則に定められる -40°C ～ 70°C の温度範囲において、き裂、破損等の生じるおそれがないこと。
- f. 運搬用容器の加速度及び振動について考慮すること。

(2) 一般の試験条件

- a. 38°C の環境に1週間放置の熱的試験に耐えること。
- b. 水噴霧試験に耐えること。
- c. 0.3m 自由落下試験に耐えること。
- d. 自重の5倍の荷重による積み重ね試験に耐えること。
- e. 6kg 棒貫通試験に耐えること。

(3) 特別の試験条件

- a. 9m 落下試験に耐えること。
- b. 1m 貫通試験に耐えること。
- c. 上記の試験条件に置いた後、熱的試験（耐火）に耐えること。
- d. 15m の水中浸漬（0.15MPa の外圧）試験に耐えること。

但し、a.及びb.については最大の破損を受けるような順序で連続して行われること。

(4) 原子力規制委員会の定める量を超える放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物に係る追加条件

- a. 200m の水中浸漬（2MPa の水圧）試験に耐えること。

(5) 核分裂性輸送物に係る試験条件

- a. 一般の試験条件下の、(a)の条件後に(b)～(d)の条件の下に置いた場合の輸送物の損傷状態を評価すること。

- (a) 水噴霧試験
- (b) 0.3m 自由落下試験
- (c) 積み重ね試験
- (d) 6kg 棒貫通試験

- b. a.の試験条件後に、次の特別の試験条件下に順次置いた後の輸送物の損傷状態を評価すること。

- (a) 9m 落下試験
- (b) 1m 貫通試験
- (c) 熱的試験（耐火）
- (d) 0.9m の水中浸漬試験

なお、一般の試験条件及び特別の試験条件の中で機械的（強度）試験においては、本輸送物使用の最低周囲温度の -20°C から 38°C の周囲温度範囲を考慮すること。

1.3.2 設計基準

設計の基本条件に従い、解析項目に対して材質、温度、負荷係数等の設計条件を考慮して適用数式、要素及び解析基準を決定した。

設計条件及び解析方法の要約を第1表に示す。

この中で応力に関する設計基準値は、各試験条件に対して次のように定めた。

- (1) 通常の運搬条件（吊上装置及び固縛装置）
 - a. 応力強さが降伏応力以下であること。ここで、応力強さとは主応力の差の絶対値をいう。
 - b. 吊上装置については疲労評価を行うこと。
- (2) 一般の試験条件（熱的試験、自由落下試験及び積み重ね試験）
 - a. ボルト以外の運搬用容器の各部位については発生応力を分類し、各応力強さが以下の基準値以下であること。

$$P_m \leq S_m$$

$$P_L \leq 1.5S_m$$

$$P_L + P_b \leq 1.5S_m$$

$$P_L + P_b + Q \leq 3S_m$$

ここで、 P_m : 一次一般膜応力強さ

P_L : 一次局部膜応力強さ

P_b : 一次曲げ応力強さ

Q : 二次応力強さ

S_m : 設計・建設規格¹⁾付録材料図表 Part5 表1に示される設計応力強さ

- b. ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2S_m$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq 3S_m$$

ここで、 S_m : 設計・建設規格¹⁾付録材料図表 Part5 表2に示される設計応力強さ

- c. バスケット等については、膜応力強さ及び（膜+曲げ）応力強さが降伏応力以下であること。
- d. 燃料被覆管については応力強さが降伏応力以下であること。
- e. 熱的試験に対しては運搬用容器各部の疲労評価を行うこと。

(3) 特別の試験条件

- a. ボルト以外の運搬用容器各部位については発生応力を分類し、各応力強さが以下に示す基準値以下であること。

$$P_m \leq 2/3S_u \quad (\text{オーステナイト系ステンレス鋼に対しては } 2.4S_m \text{ との小さい方})$$

$$P_L \leq S_u \quad (\text{オーステナイト系ステンレス鋼に対しては } 3.6S_m \text{ との小さい方})$$

$$P_L + P_b \leq S_u \quad (\text{オーステナイト系ステンレス鋼に対しては } 3.6S_m \text{ との小さい方})$$

ここで、 S_u : 設計・建設規格¹⁾ 付録材料図表 Part5 表9に示される設計引張強さ

- b. ボルトに対しては以下の基準を適用する。

$$(\text{平均引張応力}) \leq 2/3S_u$$

$$(\text{平均引張応力} + \text{曲げ応力}) \leq S_u$$

- c. バスケット等については、膜応力強さが降伏応力、(膜+曲げ) 応力強さが降伏応力の 1.5 倍以下であること。
d. 熱的試験における熱応力については、発生ひずみが材料の破断ひずみより十分小さいこと。
e. 浸漬試験における胴部に対しては許容座屈応力以下であること。

適用数式及び要素による結果のうち、定量的な基準のあるものについては次に示す余裕率 MS を用いて評価する。

$$\text{余裕率(MS)} = \frac{\text{解析基準値}}{\text{解析結果}} - 1$$

したがって、余裕率は 0 以上あれば良いとする。

余裕率を用いられないものは、該当箇所にその基準等を記載した。
なお、解析基準値は 3 項に示す材料の機械的性質及び添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」3 項に示す温度等に基づいて決定する^(注)。解析基準値及び解析結果の端数処理は四捨五入とする。

(注) 降伏応力、引張強さ、縦弾性係数等の値は、3 項に示す引用文献中で与えられている温度依存データを内挿することによって求める。

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(1/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
通常	化学的及び電気的反応 (1) 化学的反応 (2) 電気的反応	第3表 第3表	表による 表による	— —	腐食 腐食	— —	活性 電位差	活性の有無 反応の有無	無 無	
	低温強度 (1) 構成部品 (2) 低温時の強度	第4表 第4表	表による 表による	— —	材質 材質	— —	き裂・破損 脆性破壊	−40℃でのき裂・破損の有無 −20℃での脆化の有無	無 無	
の	密封装置 (1) ふた	第4図	—	—	誤操作による開放	—	誤操作の可否	緩衝体に覆われての誤操作の可否	否	
	(2) ベント・水位調整バルブ 水位調整用加圧バルブ 及びドレンバルブ	第4図	—	—	誤操作による開放	—	誤操作の可否	カバーに覆われての誤操作の可否	否	
条件	吊上装置 (1) トラニオン本体	第18図	SUS630	180℃	吊上荷重	3 1.05×1.25	曲げとせん断 疲労評価	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$ N_u	S _y N _a	注1
	(2) トラニオンボルト	第18図	SNB23-3	180℃	吊上荷重 初期締付トルク	3 1	引張	$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2}$	S _y	
	(3) シアディスク	第18図	SUS630	180℃	吊上荷重	3	せん断	$S = 2\tau$	S _y	

注1 S：応力強さ、σ_b：曲げ応力、τ：せん断応力、S_y：設計降伏点、N_u：使用計画回数、N_a：許容繰返し回数、σ_t：引張応力

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(2/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
通常の運搬	固縛装置 (1) トラニオン本体	第20図	SUS630	180℃	上下、前後 2g (下方向には自重を考慮し 3g)	1	曲げとせん断	$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$	S _y	
	(2) トラニオンボルト	第18図	SNB23-3	180℃	上下、前後 2g 初期締付トルク (下方向には自重を考慮し 3g)	1	引張	$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2}$	S _y	
	(3) シアディスク	第20図	SUS630	180℃	上下、前後 2g (下方向には自重を考慮し 3g)	1	せん断	$S = 2\tau$	S _y	
条件	圧力	—	—	—	周囲圧力の降下	—	圧力	密封性	良	
条件	振動	第21図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	振動による力	—	振動	固有振動数	加振源の振動数	

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(3/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件					解析方法			備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
一般試験条件	熱的試験 (1) 容器本体	第25図	<input type="checkbox"/>	—	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、熱膨張及び初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{cases}$	$\begin{cases} S_m \\ 1.5S_m \\ 1.5S_m \\ 3S_m \end{cases}$	注2
	(2) ふたボルト	第25図	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	同上	1	引張 引張と曲げ 疲労評価	$\begin{cases} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \\ N_u \end{cases}$	$\begin{cases} 2S_m \\ 3S_m \\ N_a \end{cases}$	
	(3) Oリングの密封性	第25図	ふっ素 ゴム	—	同上	1				変形量
	(4) 伝熱フィン	—	C1020P	160℃	熱膨張	1	引張 疲労評価	$\sigma_1 = \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot t_2}{E_1 \cdot t_1 + E_2 \cdot t_2} (\alpha_2 - \alpha_1) \times (T - T_0)$	$\begin{cases} 3S_m \\ N_a \end{cases}$	
水噴霧	—	<input type="checkbox"/>	—	水噴霧	—	吸水による脆化 水溜				吸水性 水切

注2 P_m：一次一般膜応力強さ、P_L：一次局部膜応力強さ、P_b：一次曲げ応力強さ、Q：二次応力強さ、S_m：設計応力強さ
 σ_m：平均引張応力、σ₁：引張応力、E：縦弾性係数、t：厚み、α：熱膨張係数、T：温度

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(4/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
一般試験条件	自由落下									
	(1) 緩衝体の変形量と衝撃加速度									
	垂直落下	第29図～第32図	木材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$	注3
	水平落下	第33図～第34図	木材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$	
	コーナー落下	第35図～第38図	木材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$	
	(2) 容器本体									
	頭部垂直落下	第39図 第40図 第45図	[]	—	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、慣性力、熱膨張及び初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \\ P_L + P_b + Q \end{cases}$	$\begin{cases} S_m \\ 1.5S_m \\ 1.5S_m \\ 3S_m \end{cases}$	
	底部垂直落下									
	水平落下									
	(3) ふたボルト	第39図 第40図 第45図	[]	[]	同上	1	引張 引張と曲げ	$\begin{cases} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \end{cases}$	$\begin{cases} 2S_m \\ 3S_m \end{cases}$	
(4) Oリングの密封性	第39図 第45図	ふっ素 ゴム	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 締付代		
(5) 伝熱フィン	第43図	C1020P	160℃	慣性力 熱膨張及び慣性力	1 1	せん断 引張とせん断	$\begin{cases} S = 2\tau \\ S = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau^2} \end{cases}$	$\begin{cases} S_m \\ 3S_m \end{cases}$		
(6) 燃料被覆管	—	ジルカロイ	190℃	内圧及び慣性力	1	応力強さ	$\sigma_c = W \cdot G_v/A + \sigma_p$	σ_y		
(7) コーナー落下				垂直及び水平落下の結果を引用して評価						

注3 E_a ：吸収エネルギー、 σ_c ：圧縮応力、 V ：体積、 E_k ：落下エネルギー、 W ：重量、 g ：重力加速度、 H ：高さ、 G_v ：衝撃加速度、 A ：断面積、 σ_p ：内圧による応力、 σ_y ：降伏応力

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(5/9)

条 件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件					解 析 方 法		備 考	
		参照図表	材 質	温度	設 計 負 荷			適用数式又は要素		解 析 基 準
					種 類	負荷係数	要 素			
一 般 の 試 験 条 件	積 み 重 ね									
	(1) 軸に直角方向	第47図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	運搬重量の5倍	1	曲 げ	$\sigma_b = M_{max} \cdot d_o / (2I)$	S_y	注4
	(2) 軸方向	第48図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	運搬重量の5倍	1	圧 縮	$\sigma_c = W/A$	S_y	
	貫 通	第49図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	落下エネルギー	1	せん断	$E_s = 1/2 \cdot \pi \cdot d \cdot t^2 \cdot S$	E_s	注4
特 別 の 試 験 条 件	落 下 試 験 I									
	(1) 緩衝体の変形量 と衝撃加速度									
	垂直落下	第50図～第53図	木 材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$	
水平落下	第54図～第55図	木 材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$		
コーナー落下	第56図～第59図	木 材 SUS304	—	落下エネルギー	1	エネルギー吸収	$E_a = \Sigma(\sigma_c \cdot V)$	$E_k = W \cdot g \cdot H$		

注4 Mmax：最大曲げモーメント、do：外径、I：断面二次モーメント、Es：せん断エネルギー、d：直径、S：せん断強さ

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(6/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件					解析方法			備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
特別試験条件	(2) 垂直落下 容器本体	第60図 第61図	<input type="checkbox"/>	—	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、慣性力及び初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{cases}$	$\begin{matrix} 2/3S_u \\ S_u \\ S_u \end{matrix}$	注5
	ふたボルト	第60図 第61図	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、慣性力、熱膨張及び初期締付トルク	1	引張 引張と曲げ	$\begin{matrix} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2/3S_u \\ S_u \end{matrix}$	
	Oリングの密封性	第60図	ふっ素 ゴム	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 締付代	
	伝熱フィン	—	C1020P	160℃	慣性力	1	せん断	$S = 2\tau$	$2/3\sigma_u$	
	ふた膨張室支持パイプ	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	慣性力	1	圧縮	$\sigma_c = W \cdot G_v/A$	S_y, σ_{cr}	
	バスケット下部 スペーサ	—	SUS304	190℃	慣性力	1	圧縮	$\sigma_c = W \cdot G_v/A$	S_y	
	燃料被覆管 スツール	—	SUS304	190℃	燃料落下試験の結果を引用して評価			$\sigma_c = W \cdot G_v/A$	S_y, σ_{cr}	

注5 S_u : 設計引張強さ、 σ_u : 引張強さ、 σ_{cr} : 座屈限界応力

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(7/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件					解析方法		備考	
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素		解析基準
					種類	負荷係数	要素			
特別試験条件	(3) 水平落下 容器本体	第64図	<input type="checkbox"/>	—	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、慣性力及び初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{cases}$	$\begin{cases} 2/3S_u \\ S_u \\ S_u \end{cases}$	
	ふたボルト	第64図	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	内筒内圧、中性子遮蔽体充填空間圧力、慣性力、熱膨張及び初期締付トルク	1	引張 引張と曲げ	$\begin{cases} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \end{cases}$	$\begin{cases} 2/3S_u \\ S_u \end{cases}$	
	Oリングの密封性	第64図	ふっ素 ゴム	—	同上	1	変形量	口開き変形量	初期 締付代	
	バスケットチャンネル	第66(a)図	B-SUS	190°C	慣性力	1	曲げ	$\sigma_b = M/Z$	$1.5\sigma_y$	注6
	バスケット支持リング	第66(b)図	SUS304	190°C	慣性力	1	曲げ	$\sigma_b = M/Z$	$1.5S_y$	
	燃料被覆管	燃料落下試験の結果を引用して評価								
(4) コーナー落下 ふたボルト	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	内筒内圧及び慣性力	1	引張	$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2}$	$2/3S_u$		
(5) 傾斜落下	垂直及び水平落下の解析結果を引用して評価									

注6 M: 曲げモーメント、Z: 断面係数

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(8/9)

条 件	解析項目及びその詳細	設 計 条 件						解 析 方 法		備 考
		参照図表	材 質	温度	設 計 負 荷			適用数式又は要素	解 析 準 拠	
					種 類	負荷係数	要 素			
特 別 の 試 験 条 件	落下試験Ⅱ (1) 垂直落下 ふた部及び底部	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	注7
	(2) 水平落下 中間筒	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$t_r = (W/S_u)^{0.71}$	t	
	バルブカバープレート	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	軟鋼棒圧潰荷重	1	せん断	$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$	F	
熱 的 試 験	(1) 容器本体	第68図	<input type="text"/>	—	内筒内圧及び初期締付トルク	1	応力強さ	$\begin{cases} P_m \\ P_L \\ P_L + P_b \end{cases}$	$\begin{matrix} 2/3S_u \\ S_u \\ S_u \end{matrix}$	
	(2) ふたボルト	第68図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	内筒内圧、熱膨張及び初期締付トルク	1	引張 引張と曲げ	$\begin{matrix} \sigma_m \\ \sigma_m + \sigma_b \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2/3S_u \\ S_u \end{matrix}$	
	(3) Oリングの密封性	第68図	ふっ素ゴム	—	同 上	1	変形量	口開き変形量	初期 締付代	
	(4) 伝熱フィン	第70図	C1020P	—	熱膨張	1	ひずみ	$\varepsilon = (\ell_1 - \ell_f) / \ell_f$	ε_f	注7
	15m 浸漬				200m 浸漬の解析結果を引用して評価					

注7 F：貫通強度、 t_r ：耐貫通板厚、 ε ：熱ひずみ、 ℓ_1 ：伝熱フィン長さ、 ℓ_f ：伝熱フィン自由伸び長さ、 ε_f ：破断ひずみ

第1表 運搬用容器の構造設計の条件及び解析方法(9/9)

条件	解析項目及びその詳細	設計条件						解析方法		備考
		参照図表	材質	温度	設計負荷			適用数式又は要素	解析基準	
					種類	負荷係数	要素			
放射能を有する核燃料輸送物の追加試験条件	200m 浸漬 (1) 中間筒	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	外圧	1	圧力	$P_a = 1.5 \frac{4B \cdot t}{3D_o}$	Pa	注8
	(2) 底板	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	外圧	1	曲げ	$\sigma_b = 0.75 \frac{P \cdot a^2}{t^2}$	Su	
	(3) ふた	第71図	<input type="text"/>	<input type="text"/>	外圧	1	曲げ	$\sigma_b = \frac{3(3+\nu)P \cdot a^2}{8t^2}$	Su	
核分裂性輸送物に係る試験条件	一般の試験条件 (1) 水噴霧 (2) 0.3m自由落下 (3) 積み重ね (4) 6kg棒貫通	}			前述の一般の試験条件に対する解析結果を引用して評価					
	特別の試験条件 (1) 9m落下 (2) 1m落下 (3) 熱的試験 (4) 0.9m浸漬		}	第72図		前述の9m落下に対する設計条件及び解析方法と同一				
						前述の特別の試験条件に対する解析結果を引用して評価				

注8 Pa：許容外圧、B：係数、D_o：外径、ν：ポアソン比、P：外圧、a：円板の半径

2. 重量及び重心

輸送物の重量は 115 トン以下である。また、輸送物の幾何学的重心の位置は、第 16 図に示すとおりである。

3. 材料の機械的性質

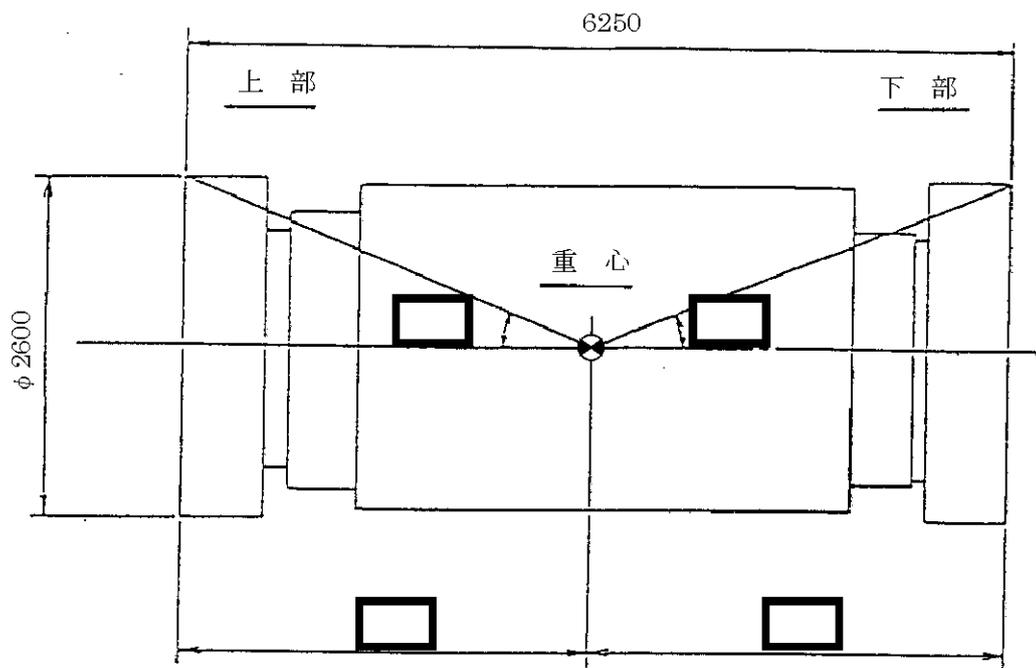
解析に用いる材料の機械的性質を第 2 表に示す。ステンレス鋼、析出硬化型ステンレス鋼、炭素鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼、ボロン添加ステンレス鋼及び銅の温度に対する機械的性質の変化を第 17 図に示す。これらは、主に設計・建設規格¹⁾より引用した。

4. 輸送物の要件

4.1 化学的及び電気的反応

輸送物構成部品及び運搬用容器と収納物の間で接触する異種材料の一覧を第 3 表に示す。

鉛及びレジンは、内筒、中間筒、外筒等に密閉されて収納されており、これらの金属と化学的及び電気的に反応することはない。⁴⁾ステンレス鋼と水、ジルカロイと水の間では、安定な不動態を生じるので化学的及び電気的に作用して問題になるような腐食を起こすことはない。⁵⁾なお、収納物の周囲には内筒内水が充填されるが、水の放射線分解は極めて微量であり、収納物に対する化学的影響はない。



(単位:mm)

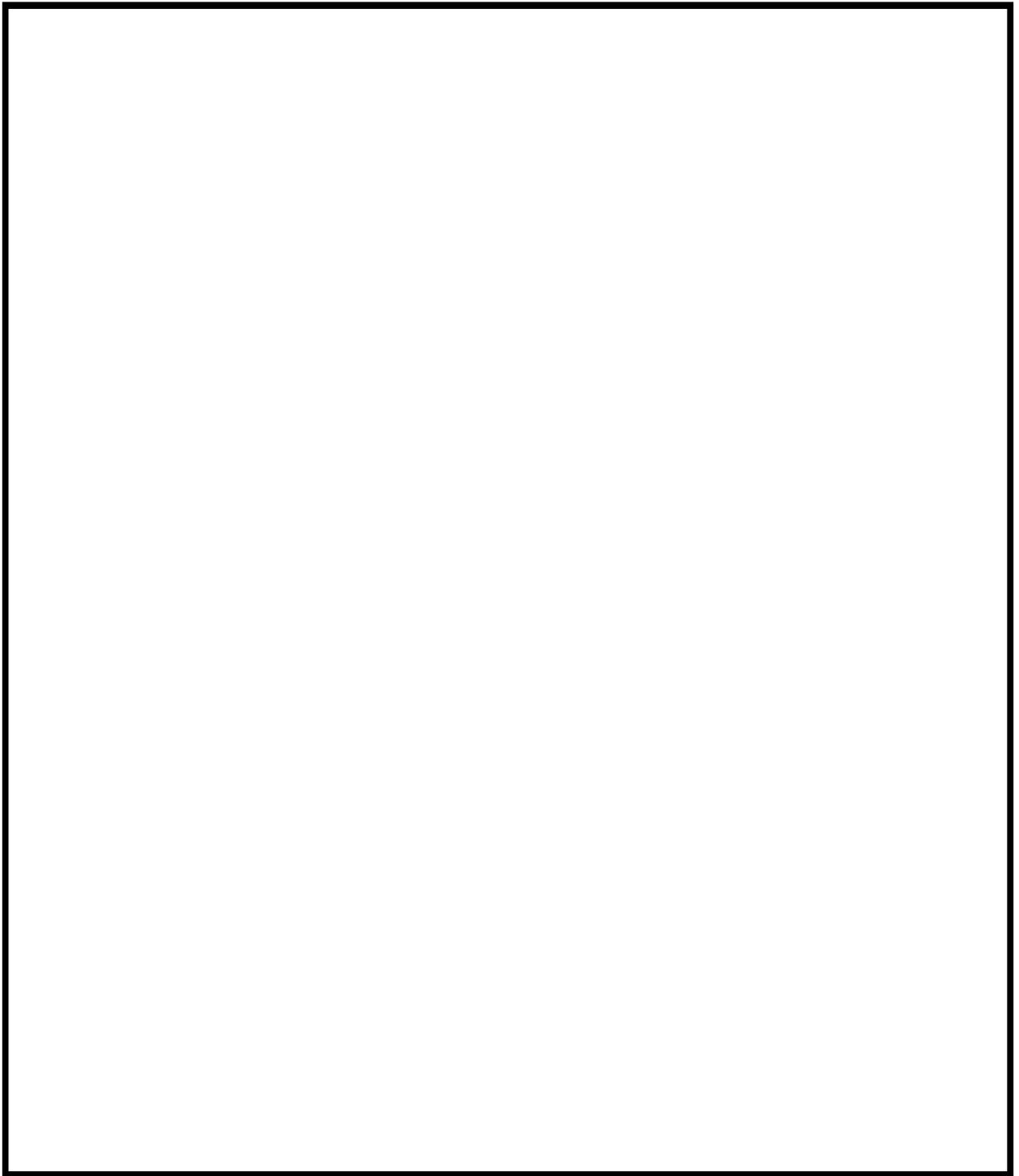
第16図 重心の位置

第2表 材料の機械的性質 (常温)

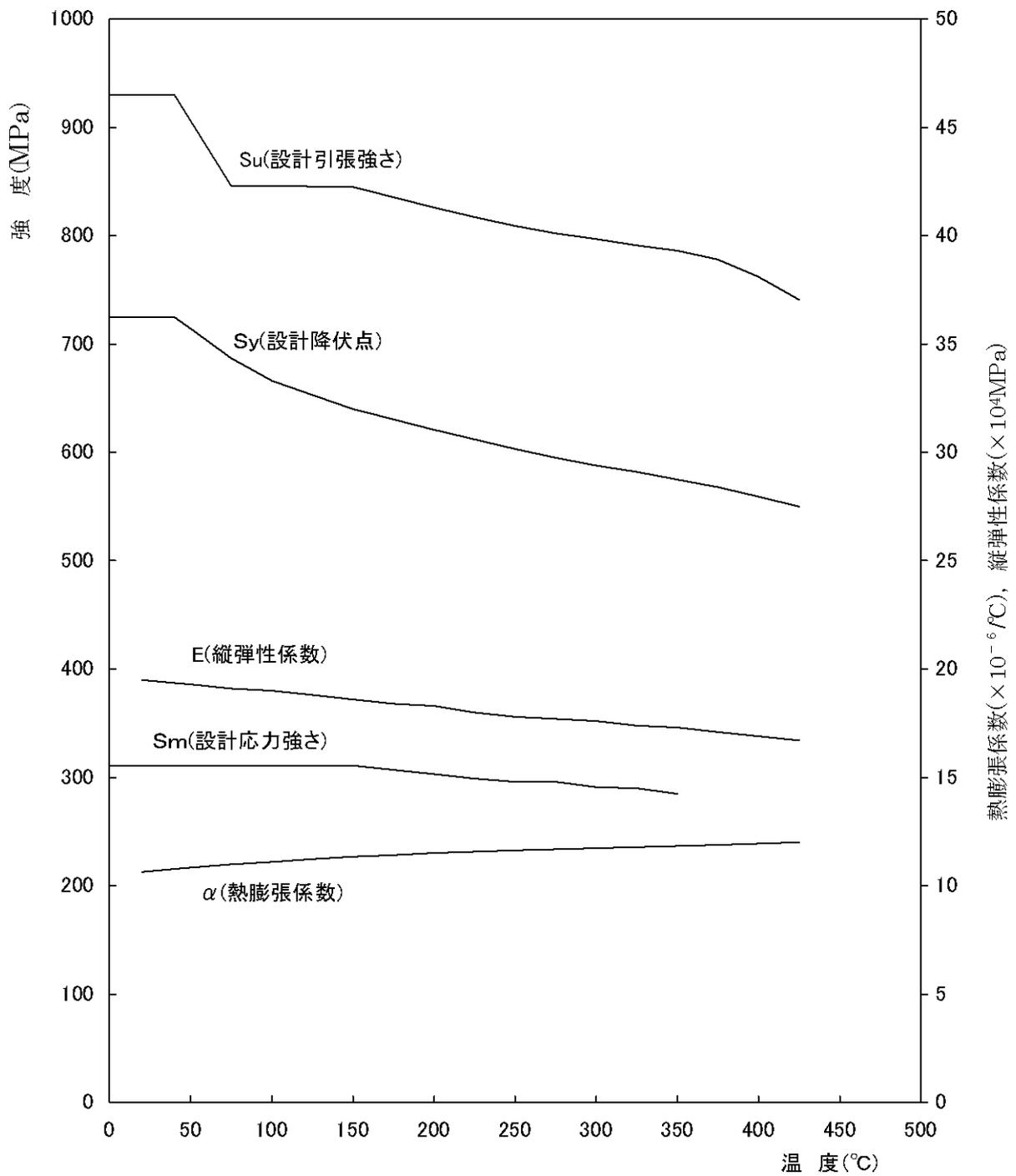
材 料	引張強さ (MPa)	降伏応力 (MPa)	熱膨張係数 (1/°C)	ポアソン比	縦弾性係数 (MPa)
ステンレス鋼 ¹⁾ []	[]			0.266	[]
析出硬化型ステンレス鋼 ¹⁾ (SUS630 H1150)	930	725	10.64×10^{-6}	0.3	1.95×10^5
炭素鋼 ¹⁾ []	[]			0.3	[]
ニッケルクロムモリブデン鋼 ¹⁾ []	[]			0.3	[]
ボロン添加ステンレス鋼 (注1)	—	255	16.1×10^{-6}	0.27	2.10×10^5
銅 ²⁾ (注2) (C1020P-1/4H)	216	153	16.5×10^{-6}	0.343	1.21×10^5

(注1) 10項附属書類参照

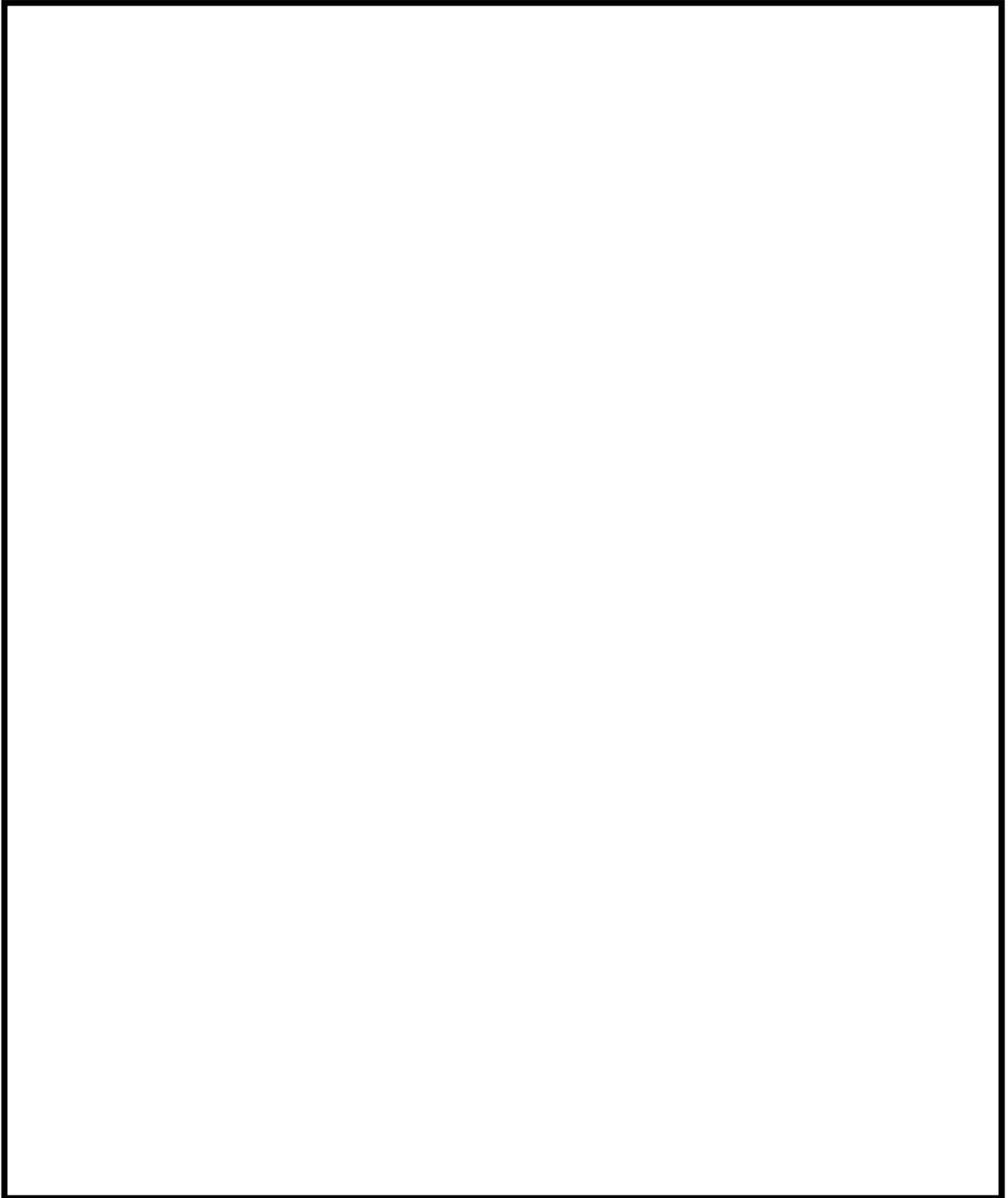
(注2) 文献記載値の単位をSIの単位に換算した。



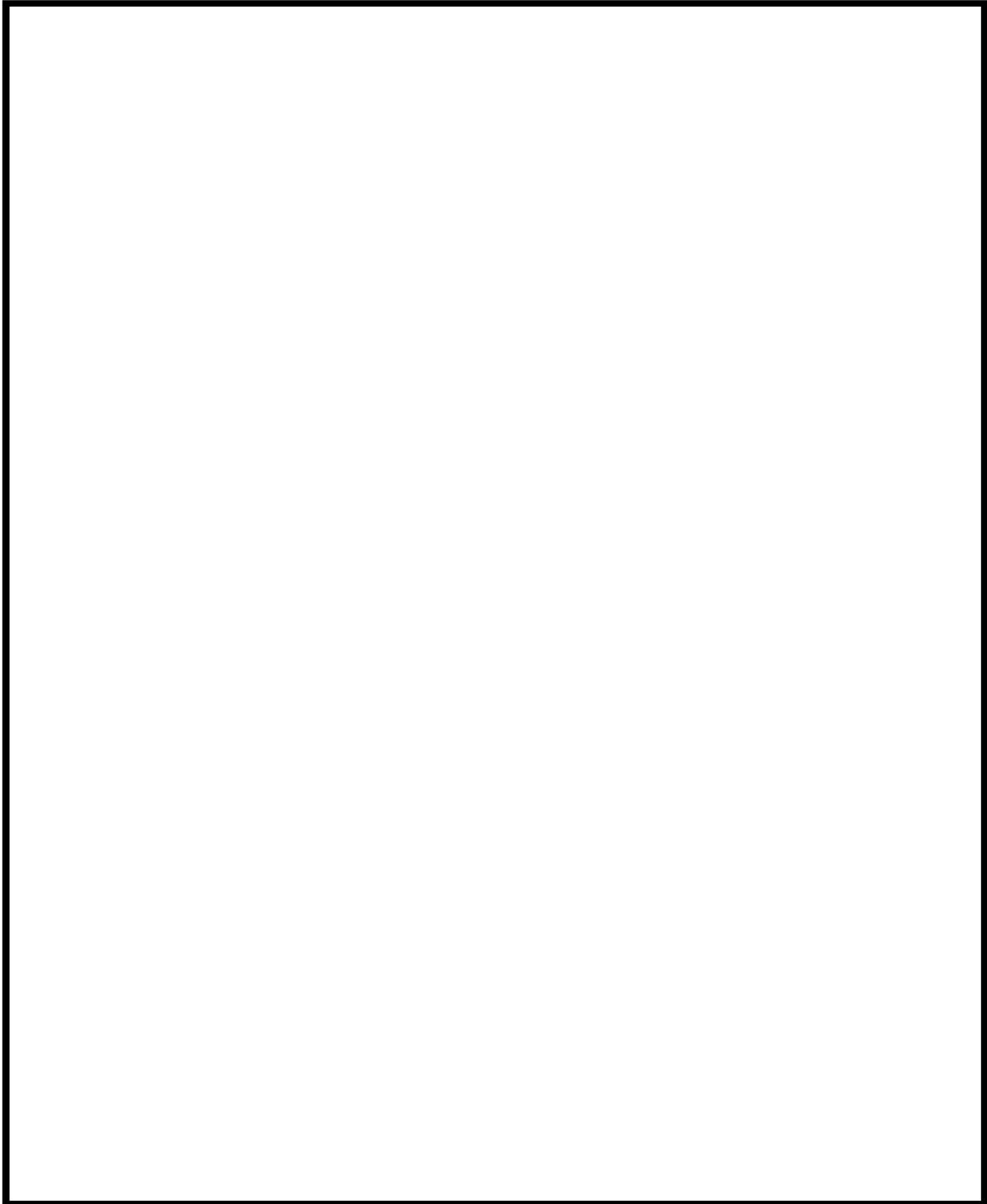
第 17(a)図 ステンレス鋼 の温度に対する機械的性質の変化 ^{1)・3)}



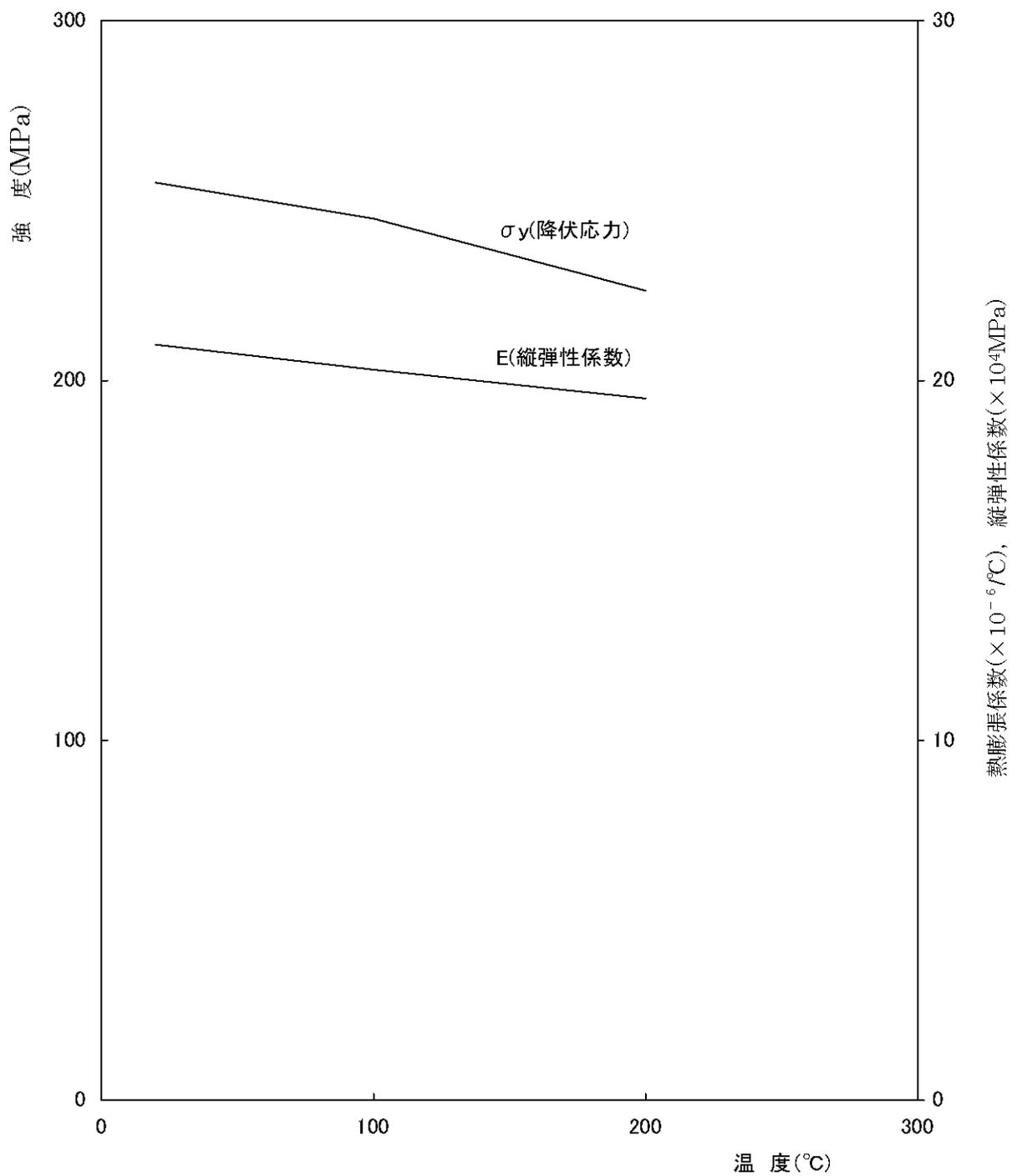
第 17(b)図 析出硬化型ステンレス鋼(SUS630 H1150)
の温度に対する機械的性質の変化¹⁾



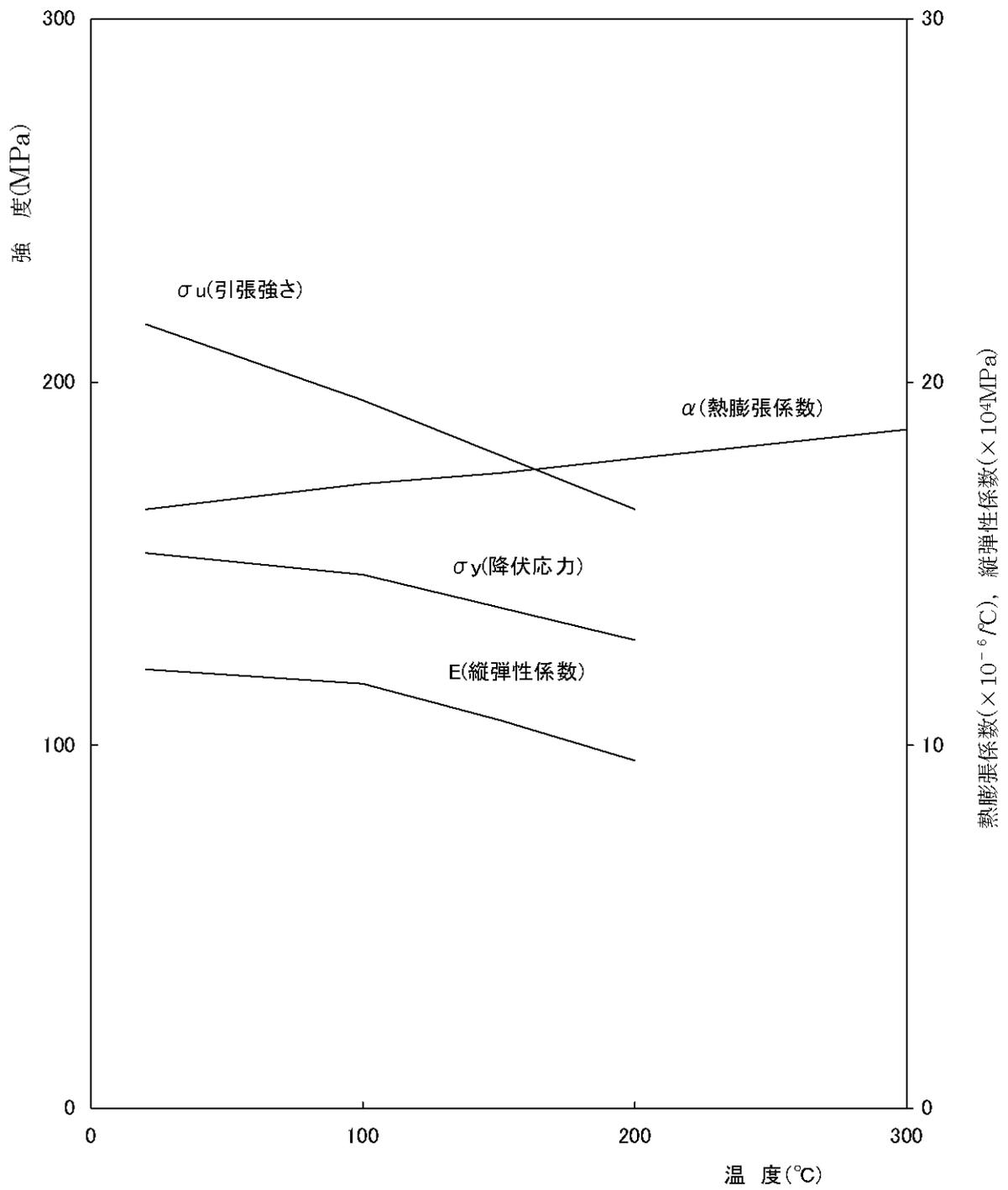
第 17(c) 図 炭素鋼()の温度に対する機械的性質の変化^{1)・6)}



第 17(d)図 ニッケルクロムモリブデン鋼
の温度に対する機械的性質の変化¹⁾



第 17(e)図 ボロン添加ステンレス鋼の温度に対する機械的性質の変化
(10 項附属書類参照)



第 17(f) 図 銅(C1020P-1/4H)の温度に対する機械的性質の変化^{2)・18)}

第3表 接触する異種材料の一覧表

接 触 す る 異 種 材 料 の 一 覧 表					
材 質	部 品	接 触 境 界 面	材 質	部 品	
ステンレス鋼	内 筒		}	鉛	ガンマ線遮蔽体
炭素鋼	中 間 筒				
炭素鋼	中間筒、外筒		}	レジン	中性子遮蔽体
銅	伝熱フィン				
ステンレス鋼	仕切板、 レジンカバー		}	ニッケルクロム モリブデン鋼	ボルト
ステンレス鋼	ふた				
ステンレス鋼	緩衝体カバー プレート		}	ファープライウッド、 オーク材	緩衝体緩衝材
ステンレス鋼	ふた				
ボロン添付 ステンレス鋼	バスケット		}	ふっ素ゴム	Oリング
ステンレス鋼	ふた、内筒、底板				
ふっ素ゴム	Oリング	}	水	内筒内水	
ジルカロイ	燃料被覆管				

4.2 低温強度

本輸送物は周囲温度 -20°C 以上で使用する。

(1) 構成部品の低温特性

本運搬用容器の使用材料の低温特性を第4表に示す。同表より明らかなように、規則に規定される最低温度 -40°C において構成部品はき裂、破損等の生じるおそれはない。

第4表 運搬用容器使用材料の -40°C における低温特性評価

運搬用容器の部品	材 質	評 価	引用、文献、資料
内筒、底板 ふた バスケット 緩衝体カバープレート バルブ、フィン	ステンレス鋼 []	-40°C において使用可能	JIS B 8270 ⁶⁾
バスケットチャンネル	ボロン添加 ステンレス鋼	-40°C において使用可能	10項附属書類
中間筒	炭素鋼 []	-40°C において使用可能	衝撃試験結果 ⁷⁾
外 筒	ステンレス鋼 [] 炭素鋼 []	-40°C において使用可能	JIS B 8270 ⁶⁾ 衝撃試験結果 ⁷⁾
ふたボルト	ニッケルクロム モリブデン鋼 []	-40°C において使用可能	JIS B 8270 ⁶⁾
Oリング	ふっ素ゴム	-40°C でき裂、破損なし	複合材料技術集成 ⁸⁾
トラニオン	析出硬化型 ステンレス鋼 (SUS630 H1150)	-40°C において使用可能	ステンレス鋼便覧 ⁹⁾
伝熱フィン	銅(C1020P-1/4H)	-40°C において使用可能	JIS B 8270 ⁶⁾
ガンマ線遮蔽体	鉛	-40°C で脆化なし	鉛ハンドブック ¹⁰⁾
中性子遮蔽体	レジン	-40°C でき裂、破損なし	基礎試験結果 ¹¹⁾
緩衝体緩衝材	ファープライウッド、 オーク材	-40°C で強度低下なし	木材工業ハンドブック ¹²⁾

(2) 低温時の強度

運搬用容器本体材料のステンレス鋼は、低温脆化のない材料であるので低温での機械的性質が低下することはない。

ふたボルト材料は設計・建設規格¹⁾PVB-2300の破壊靱性要求を満足するように製造するので、-20℃において低温脆性破壊を起こすことはない。

以上より、一般及び特別の試験条件において、輸送物は低温になっても強度等の機械的性能が低下又は損われることはない。

4.3 密封装置

運搬用容器のふた及びふたボルトは通常運搬時には第2図に示すとおり上部緩衝体で覆われており、かつが施されているので不用意に開けられることはない。

また、バルブは通常運搬時には、第9図、第10図及び第12図に示すとおり、カバーを被せ、かつが施されているので不用意に開けられることはない。

4.4 吊上装置

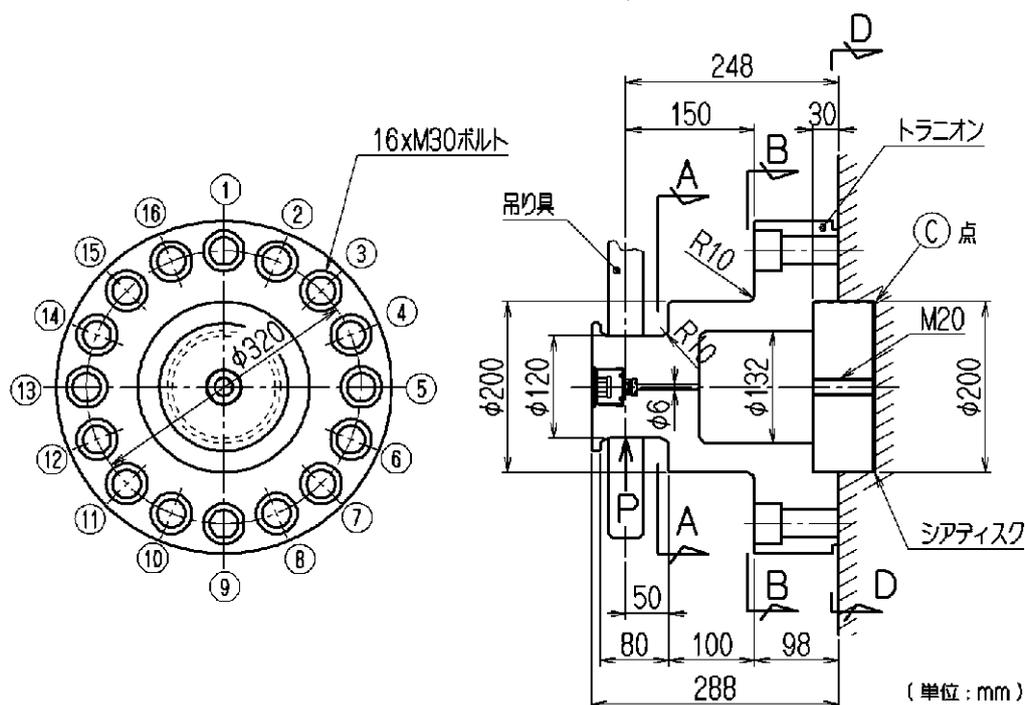
本項で説明する吊上装置は、垂直吊りの場合、本体容器の上部トラニオンであり、トラニオンボルトにより容器に取り付けられている。上部トラニオンと同一形状の下部トラニオンは架台上で運搬用容器を縦起こし、又は横倒しの際の支点となり、上部トラニオン以上の荷重が下部トラニオンには作用しない。したがって、垂直吊りの場合の検討は上部トラニオンのみ行う。水平吊りの場合の吊上装置は上部及び下部トラニオンである。

構造解析では安全側に、各トラニオンの温度を 180℃として基準値を設定する。

4.4.1 応力評価

(1) トラニオン本体

トラニオンの解析モデル図を第 18 図に示す。



第 18 図 吊上用トラニオン解析モデル図

輸送物吊上重量は垂直吊り時（緩衝体なし）は、108.5 トン以下であり、水平吊り時（架台含む）は、125 トン以下である。垂直吊り時には2個のトラニオンを使用し、水平吊り時には前後各2個のトラニオンを使用するので、1個のトラニオンに作用する荷重(P)は次式により求められる。

$$P_V = W \cdot a \cdot g/n$$

$$P_H = (W/2) \cdot a \cdot g/n$$

ここで、 P_V : 垂直吊り時のトラニオン1個に作用する荷重(N)

P_H : 水平吊り時のトラニオン1個に作用する荷重(N)

n : トラニオンの数=2

W : 容器の重量 垂直吊り時 $1.085 \times 10^5(\text{kg})$

水平吊り時 $1.25 \times 10^5(\text{kg})$

a : 負荷係数=3

g : 重力加速度= 9.8m/s^2

したがって、

$$P_V = 1.085 \times 10^5 \times 3 \times 9.8/2$$

$$= 1.59 \times 10^6 \text{N}$$

$$P_H = (1.25 \times 10^5/2) \times 3 \times 9.8/2$$

$$= 9.19 \times 10^5 \text{N}$$

となるので、作用する荷重の大きい垂直吊り時のみ検討する。

a. A-A 断面

(a) 曲げ応力

第 18 図に示すトラニオンの A-A 断面に発生する曲げ応力 σ_b (MPa) は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$M = P \cdot X$$

但し、 M : 曲げモーメント (N・mm)

P : 最大荷重 = 1.59×10^6 N

X : モーメントアーム = 50 mm

C : 中立軸からの距離 = 60 mm

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

$$\text{ここで、 } I = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

D : トラニオン径 = 120 mm

d : リークチェック用穴径 = 6 mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{1.59 \times 10^6 \times 50 \times 60}{\pi \times (120^4 - 6^4) / 64} \\ &= 469 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(b) せん断応力

第 18 図に示すトラニオンの A-A 断面に発生するせん断応力 τ (MPa) は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P}{\pi (D^2 - d^2) / 4}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1.59 \times 10^6}{\frac{\pi}{4} \times (120^2 - 6^2)} \\ &= 141 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(c) 応力強さ

上述の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ による応力強さ $S(\text{MPa})$ は次式で与えられる。

$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$$

したがって、

$$S = \sqrt{469^2 + 4 \times 141^2} = 547 \text{MPa}$$

材料の設計降伏点 S_y は 180°C において 629MPa であるから、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{629}{547} - 1 = 0.15 \end{aligned}$$

b. B-B 断面

(a) 曲げ応力

第 18 図に示すトラニオンの B-B 断面に発生する曲げ応力 $\sigma_b(\text{MPa})$ は次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$M = P \cdot X$$

但し、 M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

P : 最大荷重 $= 1.59 \times 10^6 \text{N}$

X : モーメントアーム $= 150 \text{mm}$

C : 中立軸からの距離 $= 100 \text{mm}$

I : 断面二次モーメント (mm^4)

$$\text{ここで、 } I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : トラニオン外径 $= 200 \text{mm}$

d_i : トラニオン内径 $= 132 \text{mm}$

したがって、

$$\sigma_b = \frac{1.59 \times 10^6 \times 150 \times 100}{\pi \times (200^4 - 132^4) / 64} = 375 \text{MPa}$$

(b) せん断応力

第 18 図に示すトラニオンの B-B 断面に発生するせん断応力 τ

(MPa)は次式で与えられる。

$$\tau = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)}$$

したがって、

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{1.59 \times 10^6}{\frac{\pi}{4} \times (200^2 - 132^2)} \\ &= 89.7 \text{MPa}\end{aligned}$$

(c) 応力強さ

上述の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa)は次式で与えられる。

$$S = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$$

したがって、

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{375^2 + 4 \times 89.7^2} \\ &= 416 \text{MPa}\end{aligned}$$

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 629MPa であるから、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{629}{416} - 1 \\ &= 0.51\end{aligned}$$

(2) トラニオンボルト

トラニオンボルトには、以下の2つの応力が生じる。

- a. 吊上荷重による引張応力
- b. 初期締付トルクによる引張応力

a. 吊上荷重による引張応力

第 18 図に示す◎点を支点とする回転モーメントにより生じる最大引張応力 σ_{t1} (MPa) はボルト⑨に生じ、次式で与えられる。

$$\sigma_{t1} = M \cdot y / I$$

$$M = P \cdot \ell$$

$$I = (\pi / 64) \cdot d_B^4 \cdot 16 + \sum_{i=1}^6 (\pi / 4 \cdot d_B^2 \cdot y_i^2)$$

但し、 P : 最大荷重 = 1.59×10^6 N

M : 曲げモーメント (N・mm)

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

ℓ : モーメントアーム = 248 mm

y : ◎点よりボルト⑨までの距離 = 260 mm

y_i : ◎点より各ボルトまでの距離 (mm)

d_B : ボルト谷径 (M30) = 26.2 mm

したがって、

$$M = 1.59 \times 10^6 \times 248 = 3.94 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I = 1.97 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{t1} = 3.94 \times 10^8 \times 260 / (1.97 \times 10^8) = 520 \text{ MPa}$$

b. 初期締付トルクによる引張応力

初期締付トルクによる引張応力 σ_{t2} (MPa) は、次式により与えられる。

$$\sigma_{t2} = [T / (K \cdot d_m)] / (\pi \cdot d_B^2 / 4)$$

但し、 T : 初期締付トルク = 3.0×10^5 N・mm

K : 締付トルク係数 = 0.2

d_m : ボルトの呼び径 (M30) = 30 mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{t2} &= [3.0 \times 10^5 / (0.2 \times 30)] / (\pi \cdot 26.2^2 / 4) \\ &= 92.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

吊上荷重による引張応力 σ_{t1} と初期締付トルクによる引張応力 σ_{t2} の合計は、

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{t2} \\ &= 613 \text{ MPa} \end{aligned}$$

となる。

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 815 MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 MS &= S_y / \sigma_t - 1 \\
 &= 815 / 613 - 1 \\
 &= 0.33
 \end{aligned}$$

(3) シアディスク

第 18 図に示すように、シアディスクにはせん断応力 τ (MPa)が生じ、次式により与えられる。

$$\tau = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)}$$

ここで、P : 最大荷重(N)

d_o : シアディスク外径=200mm

d_i : シアディスク内径=20mm

したがって、

$$\begin{aligned}
 \tau &= 1.59 \times 10^6 / \left[\frac{\pi}{4} \times (200^2 - 20^2) \right] \\
 &= 51.1 \text{MPa}
 \end{aligned}$$

応力強さ S は、 $S = 2 \tau$

$$= 2 \times 51.1$$

$$= 102 \text{MPa}$$

となる。

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 629MPa であるので、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\
 &= \frac{629}{102} - 1 \\
 &= 5.17
 \end{aligned}$$

4.4.2 トラニオンの疲労評価

上部トラニオンは垂直吊り、水平吊り時ともに荷重が作用する。また、発生応力は垂直吊り時で最大となる。したがって、垂直吊り時の応力をベースに解析する。

トラニオン段付き部の応力について、応力集中を考慮し繰返しピーク応力強さによる許容繰返し回数と使用計画回数を比較して検討を行う。

(1) 繰返しピーク応力強さ

$$S_a = S \cdot K_t \cdot (2.07 \times 10^5 / E_t) / 2$$

ここで、 S_a : 繰返しピーク応力強さ(MPa)

S : 段付き部の応力強さ (垂直吊り時)

K_t : 応力集中係数 (10 項附属書類参照)

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 = 1.84×10^5 MPa
(180°C)

a. 段付き部の応力強さ

疲労評価においては実際に作用する荷重をベースとし、負荷係数はクレーン構造規格で使用されている作業係数及び衝撃係数を用いる。

(a) トラニオンに作用する荷重

$$P = 1/n \cdot W \cdot \phi \cdot \phi \cdot g$$

ここで、 W : 容器の垂直吊り時の重量 = 1.085×10^5 kg

n : トラニオンの数 = 2

ϕ : 作業係数 = 1.05

ϕ : 衝撃係数 = 1.25

g : 重力加速度 = 9.8 m/s²

したがって、

$$P = 6.98 \times 10^5 \text{N}$$

(b) トラニオンの発生応力

4.4.1 項に示す計算式を使用して求めた結果を以下に示す。

イ. A-A 断面

曲げ応力 : $\sigma_b = 206$ MPa

せん断応力 : $\tau = 61.9$ MPa

応力強さ : $S = 240$ MPa

ロ. B-B 断面

曲げ応力 : $\sigma_b = 165\text{MPa}$

せん断応力 : $\tau = 39.4\text{MPa}$

応力強さ : $S = 183\text{MPa}$

b. 繰返しピーク応力強さ

トラニオンの形状による応力集中係数を考慮して求めた繰返しピーク応力強さを第5表に示す。

第5表 トラニオンに生じる繰返しピーク応力強さ

項目	A-A 断面	B-B 断面
丸み半径、r(mm)	10	10
小径部、d(mm)	120	200
大径部、D(mm)	200	390
r/d	8.33×10^{-2}	5.00×10^{-2}
D/d	1.67	1.95
K_t	1.84	2.24
S (MPa)	240	183
Sa (MPa)	248	231

(2) 許容繰返し回数

設計・建設規格¹⁾ 添付 4-2 図 添付 4-2-1 に示される設計疲労線図より許容繰返し回数 N_a は以下となる。

A-A 断面 : 2.0×10^4 (回)

B-B 断面 : 2.7×10^4 (回)

(3) 使用計画回数

本吊上装置の使用計画回数 N_u は次のようになる。

運搬用容器使用期間 : 30 年 (運搬のすべてを発電所での構内運搬とし、現実的に想定され得る使用期間)

運搬回数 : 10 回/年 (平衡的な燃料取替体数分 (1/3 取替) を運搬するために必要な運搬回数は約 5 回/年)

運搬時吊上回数 : 20 回/運搬毎 (標準作業における吊上回数は約 10 回/運搬毎)

したがって、

$$N_u = 30 \times 10 \times 20 = 6000 \text{ 回}$$

以上より、使用計画回数は許容繰返し回数を十分下回っており、トラニオンの疲労強度は十分である。

4.5 固縛装置

本輸送物は、上部及び下部のトラニオンを利用して運搬架台に固定される。

上下方向及び左右方向の荷重は上部トラニオン及び下部トラニオンが支え、前後方向の荷重を支持するのは下部トラニオンである。

固縛装置の荷重条件として、前後及び上下に各 2g の加速度が作用し、左右方向に 1g の加速度が作用する場合を考える。

また、上下方向に関しては、上方向は 2g、下方向は自重を考慮し 3g の加速度が作用すると考える。

4.5.1 トラニオンに作用する荷重

各トラニオンに作用する荷重は、第 19 図に示す荷重状態図から、次のように与えられる。

$$F_v = \frac{b}{a+b} \cdot V$$

$$R_v = \frac{a}{a+b} \cdot V$$

$$R_L = H$$

$$F_T = \frac{b}{a+b} \cdot L$$

$$R_T = \frac{a}{a+b} \cdot L$$

但し、 F_v : 上部トラニオンに作用する上下方向荷重(N)

R_v : 下部トラニオンに作用する上下方向荷重(N)

R_L : 下部トラニオンに作用する前後方向荷重(N)

F_T : 上部トラニオンに作用する左右方向荷重(N)

R_T : 下部トラニオンに作用する左右方向荷重(N)

V : 上下方向慣性力

$$= 1.15 \times 10^5 \times 2 \times 9.8 = 2.25 \times 10^6 \text{N (上方向)}$$

$$= 1.15 \times 10^5 \times 3 \times 9.8 = 3.38 \times 10^6 \text{N (下方向)}$$

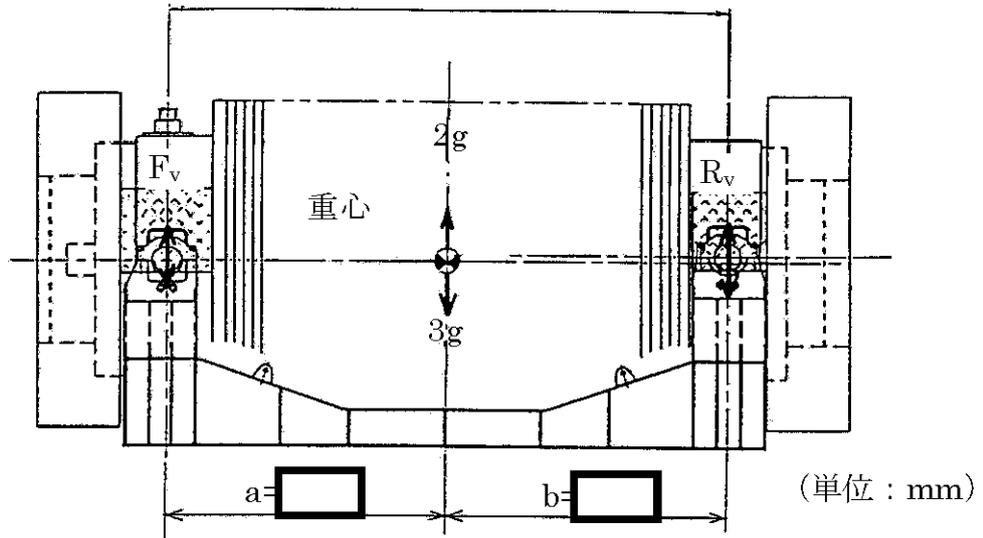
H : 前後方向慣性力 $= 1.15 \times 10^5 \times 2 \times 9.8 = 2.25 \times 10^6 \text{N}$

L : 左右方向慣性力 $= 1.15 \times 10^5 \times 9.8 = 1.13 \times 10^6 \text{N}$

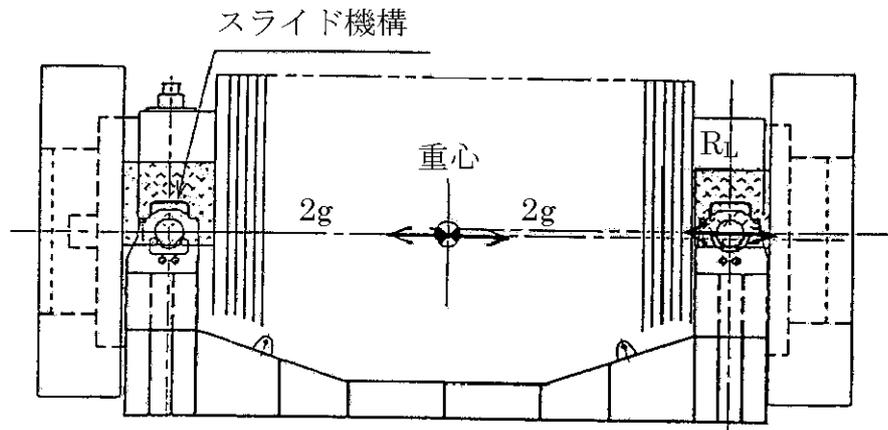
a : 重心より上部トラニオン中心までの距離 = mm

b : 重心より下部トラニオン中心までの距離 = mm

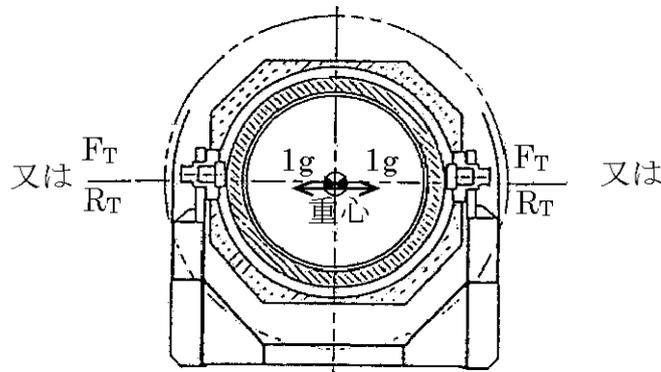
4315



(a) 上下方向に加速度が作用する場合



(b) 前後方向に加速度が作用する場合



(c) 左右方向に加速度が作用する場合

第 19 図 各方向に加速度が作用する場合のトラニオンに作用する荷重

第6表に以上の式を用いて求めた各方向の荷重を示す。

第6表 トラニオンに作用する荷重

(単位：×10⁶N)

加速度方向 ^(注1)	上部側			下部側		
	F _v	F _L	F _T	R _v	R _L	R _T
上(2g)	1.13	0	0	1.12	0	0
下(3g)	1.70	0	0	1.68	0	0
前後(2g) ^(注2)	0	0	0	0	2.25	0
左右(1g)	0	0	0.569	0	0	0.561

(注1) F_v, R_v：垂直方向荷重

F_L, R_L：容器軸方向荷重

F_T, R_T：容器軸に直角な方向の荷重

(注2) 上部側のトラニオン受けはスライド機構となっているので上部トラニオンに前後方向の荷重は作用しない。

第6表に示すように、下部トラニオンの方が荷重が大きいので下部トラニオンのみの評価をする。また、左右の加速度による荷重はトラニオン本体に直接作用しないので、評価を除外する。

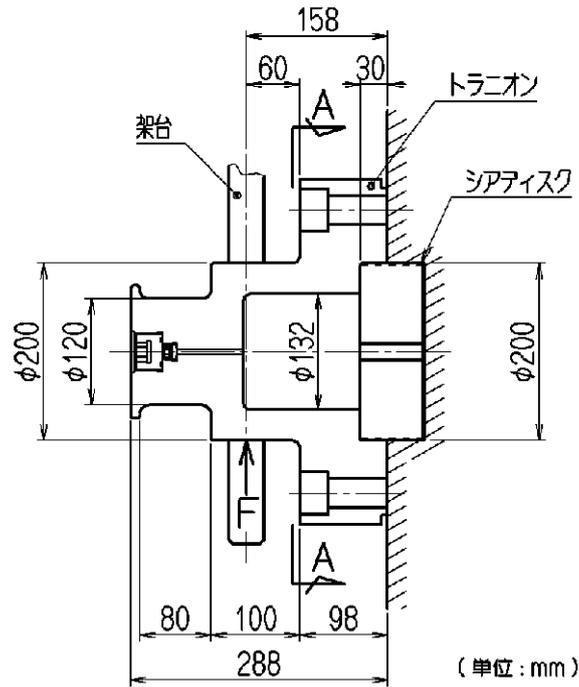
4.5.2 トラニオン本体

トラニオン本体には、下方向荷重 R_v と前後方向荷重 R_L の合成荷重 F(N) が作用する。

$$F = \sqrt{R_v^2 + R_L^2} / n$$

$$= 1.40 \times 10^6 \text{N}$$

ここで、n：荷重を受けもつトラニオンの数=2



第 20 図 架台固縛状態解析モデル図

(1) 曲げ応力

第 20 図に示す A-A 断面に最大曲げ応力が生じる。曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で表される。

$$M = F \cdot X$$

$$\sigma_b = \frac{M \cdot C}{I}$$

但し、 M : 曲げモーメント (N・mm)

X : モーメントアーム = 60mm

C : 中立軸からの距離 = 100mm

I : 断面二次モーメント (mm⁴)

ここで、

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : トラニオン外径 = 200mm

d_i : トラニオン内径 = 132mm

したがって、A-A断面の曲げ応力は

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{1.40 \times 10^6 \times 60 \times 100}{\frac{\pi}{64} \times (200^4 - 132^4)} \\ &= 132 \text{MPa}\end{aligned}$$

となる。

(2) せん断応力

A-A断面に生じるせん断応力 τ (MPa)は、次式で与えられる。

$$\tau = \frac{F}{\pi (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

よって、せん断応力は、

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{1.40 \times 10^6}{\frac{\pi}{4} \times (200^2 - 132^2)} \\ &= 79.0 \text{MPa}\end{aligned}$$

(3) 応力強さ

上述の曲げ応力 σ_b とせん断応力 τ による応力強さ S (MPa)は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \\ &= \sqrt{132^2 + 4 \times 79.0^2} \\ &= 206 \text{MPa}\end{aligned}$$

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 629MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}MS &= S_y / S - 1 \\ &= 629 / 206 - 1 \\ &= 2.05\end{aligned}$$

4.5.3 トラニオンボルト

トラニオンボルトには、以下の2つの応力が生じる。

- a. 固縛荷重による引張応力
- b. 初期締付トルクによる引張応力

ここで、b.は、4.4.1(2)b項に示す $\sigma_{t2}=92.7$ MPaである。

(1) 固縛荷重による引張応力

4.4.1(2)a項と同様にボルトに生じる最大引張応力は、次式で与えられる。(第18図参照)

$$\sigma_{t1} = M \cdot y / I$$

$$M = P \cdot \ell$$

$$I = (\pi / 64) \cdot d_B^4 \cdot 16 + \sum_{i=1}^{16} (\pi / 4 \cdot d_B^2 \cdot y_i^2)$$

- 但し、
P : 最大荷重 $=1.40 \times 10^6$ N
M : 曲げモーメント(N \cdot mm)
I : 断面二次モーメント(mm⁴)
 ℓ : モーメントアーム $=98 + 60 = 158$ mm
y : ◎点よりボルト⑨までの距離 $=260$ mm
y_i : ◎点より各ボルトまでの距離(mm)
d_B : ボルト谷径(M30) $=26.2$ mm

したがって、

$$M = 1.40 \times 10^6 \times 158 = 2.21 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I = 1.97 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{t1} = 2.21 \times 10^8 \times 260 / (1.97 \times 10^8) = 292 \text{ MPa}$$

(2) 初期締付トルクによる引張応力

初期締付トルクによる引張応力は、4.4.1(2)b項に示すように、

$$\sigma_{t2} = 92.7 \text{MPa}$$

固縛荷重による引張応力 σ_{t1} と初期締付トルクによる引張応力 σ_{t2} の合計は、

$$\sigma_t = \sigma_{t1} + \sigma_{t2} = 385 \text{MPa}$$

となる。

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 815MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= S_y / \sigma_t - 1 \\ &= 815 / 385 - 1 \\ &= 1.12 \end{aligned}$$

4.5.4 シアディスク

4.4.1(3)項と同様に、シアディスクに生じるせん断応力 τ (MPa)は、次式により与えられる。

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_i^2)}$$

但し、 F : 最大荷重(N)

d_o : シアディスク外径=200mm

d_i : シアディスク内径=20mm

したがって、

$$\begin{aligned}\tau &= 1.40 \times 10^6 / \left[\frac{\pi}{4} \times (200^2 - 20^2) \right] \\ &= 45.0 \text{MPa}\end{aligned}$$

応力強さ S は、

$$\begin{aligned}S &= 2 \tau \\ &= 2 \times 45.0 \\ &= 90.0 \text{MPa}\end{aligned}$$

となる。

180°Cにおける材料の設計降伏点 S_y は 629MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{S_y}{S} - 1 \\ &= \frac{629}{90.0} - 1 \\ &= 5.99\end{aligned}$$

4.6 圧 力

本輸送物の一般の試験条件下での最大内筒内圧は 1.39MPaG である。一方、5.1 項の熱的試験において内筒内圧を 1.70MPaG として運搬用容器本体の構造解析を行い、健全性を確認している。

外気圧に変動が生じ、外気圧が 60kPa まで減少した場合でも、最大内筒内圧は 1.43MPaG であり、本運搬用容器の健全性は損われることはない。

4.7 振 動

本運搬用容器は固縛装置によって 2ヶ所で架台に固定されている。(第3図参照) 4.5 項において説明したように加速度 2g が作用しても本運搬用容器の健全性が損われることはない。ここでは、本運搬用容器の固有振動数を計算し、運搬時に架台から伝搬される振動数域と比較して本輸送物が共振しないことを示す。

本輸送物を第21図のとおり両端支持の梁と考えると、輸送物の n 次の固有振動数 f_n は次式で示される¹³⁾。

$$f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{w}}$$

但し、 λ : 境界条件と振動形によって定まる無次元定数

E : 縦弾性係数(MPa)

I : 振動面に直交する断面主軸に関する断面二次モーメント(mm⁴)

ℓ : 運搬用容器支持間長さ(mm)

g : 重力加速度(mm/s²)

w : 単位長さ当たりの重量(N/mm)

ここで、最も振動数の低い一次の固有振動数を計算すると、

$\lambda = \pi$ (両端支持の一次固有振動に対する定数)

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa} \quad \boxed{} \quad \boxed{}$$

また、断面二次モーメントとしては中間筒のみを考えると、

$$I = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

但し、 d_2 : 中間筒外径 = $\boxed{}$ mm

d_1 : 中間筒内径 = $\boxed{}$ mm

したがって、

$$I = \frac{\pi}{64} (\text{ }^4 - \text{ }^4)$$

$$= \text{ } \text{nm}^4$$

$$l = 4315 \text{mm}$$

$$g = 9.8 \times 10^3 \text{mm/s}^2$$

$$w = 1.15 \times 10^5 \times 9.8 / 5318 = 212 \text{ N/mm}$$

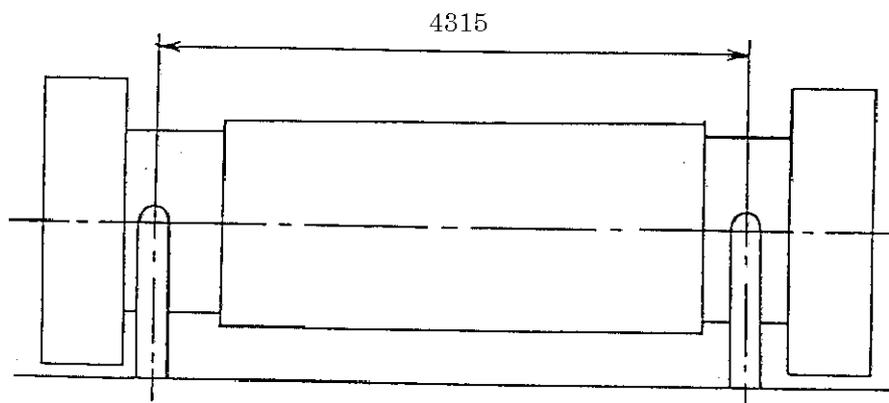
したがって、

$$f_1 = \frac{\pi^2}{2\pi \times (4315)^2} \sqrt{\frac{1.93 \times 10^5 \times \text{ } \times 9.8 \times 10^3}{212}}$$

$$= \text{ } \text{Hz}$$

一方、運搬中に車両の最大加速度と振動数の関係において貨物に与える影響の大きな振動数域は大部分が 10Hz 以下である。

したがって、本輸送物の運搬時に輸送物が共振することはない。



(単位 : mm)

第 21 図 架 台 モ デ ル

また、ふたボルト、締付ネジ等は強固に締め付けられており、運搬時の振動によって容易に緩むことはない。

なお、バスケットは内筒との隙間が小さく、バスケットガイドによって位置決めされており、振動に耐える。

以上の結果より通常の運搬における輸送物の要件に対する評価結果の要約を第7表に示す。

第7表 輸送物の要件に対する評価結果の要約(1/2)

条件	解析及びその詳細	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率 (MS)等
通常 の 運 搬 条 件	・ 化学的及び電氣的反応				
	化学的反應	反応のないこと	—	反応なし	基準に合致
	電氣的反應	反応のないこと	—	反応なし	基準に合致
	・ 低温強度				
	構成部品の低温特性	−40℃でのき裂、 破損のないこと	—	き裂、破損なし	基準に合致
	低温時の強度	低温脆化温度	−20℃	−20℃では低 温脆化なし	基準に合致
	・ 密封装置の誤操作によ る開放の可能性				
	ふた	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致
	ベント・水位調整バル ブ、ドレンバルブ 及び水位調整用加圧 バルブ	可能性がないこと	—	可能性なし	基準に合致
	・ 吊上装置				
	1. 応力評価				
	(1) トラニオン本体	S _y	629MPa	547MPa	0.15
(2) トラニオンボルト	S _y	815MPa	613MPa	0.33	
(3) シアディスク	S _y	629MPa	102MPa	5.17	

第7表 輸送物の要件に対する評価結果の要約(2/2)

条件	解析及びその詳細	解析基準	解析基準値	解析結果等	余裕率 (MS)等
通常の 運搬 条件	2. 疲労評価 トランニオン本体	許容繰返し回数以下 であること	許容繰返し回数 2.0×10 ⁴ 回	使用計画回数 6×10 ³ 回	基準に合致
	・固縛装置				
	(1) トランニオン本体	S _y	629MPa	206MPa	2.05
	(2) トランニオンボルト	S _y	815MPa	385MPa	1.12
	(3) シアディスク	S _y	629MPa	90.0MPa	5.99
	・圧力	密封性	良	良	基準に合致
	・振動	振動性			
		加速度			
				固有振動数 <input type="text" value=""/> Hz)と運搬による振動数 (10Hz)の差が大であり、かつ実際の加 速度も 2g 以下なので基準に合致。	

5. 一般の試験条件

5.1 熱的試験

5.1.1 温度及び圧力の要約

(1) 圧 力

運搬用容器に最大崩壊熱の燃料を収納し、太陽熱放射を考慮した場合の運搬用容器内の圧力は 1.39MPaG と求められている。構造解析においては内筒内圧を 1.70MPaG として評価する。なお、中性子遮蔽体充填空間には、充填空間温度に対応する飽和水蒸気圧及び空気分圧を考慮する。構造解析においては中性子遮蔽体充填空間圧力を 0.40MPaG として評価する。

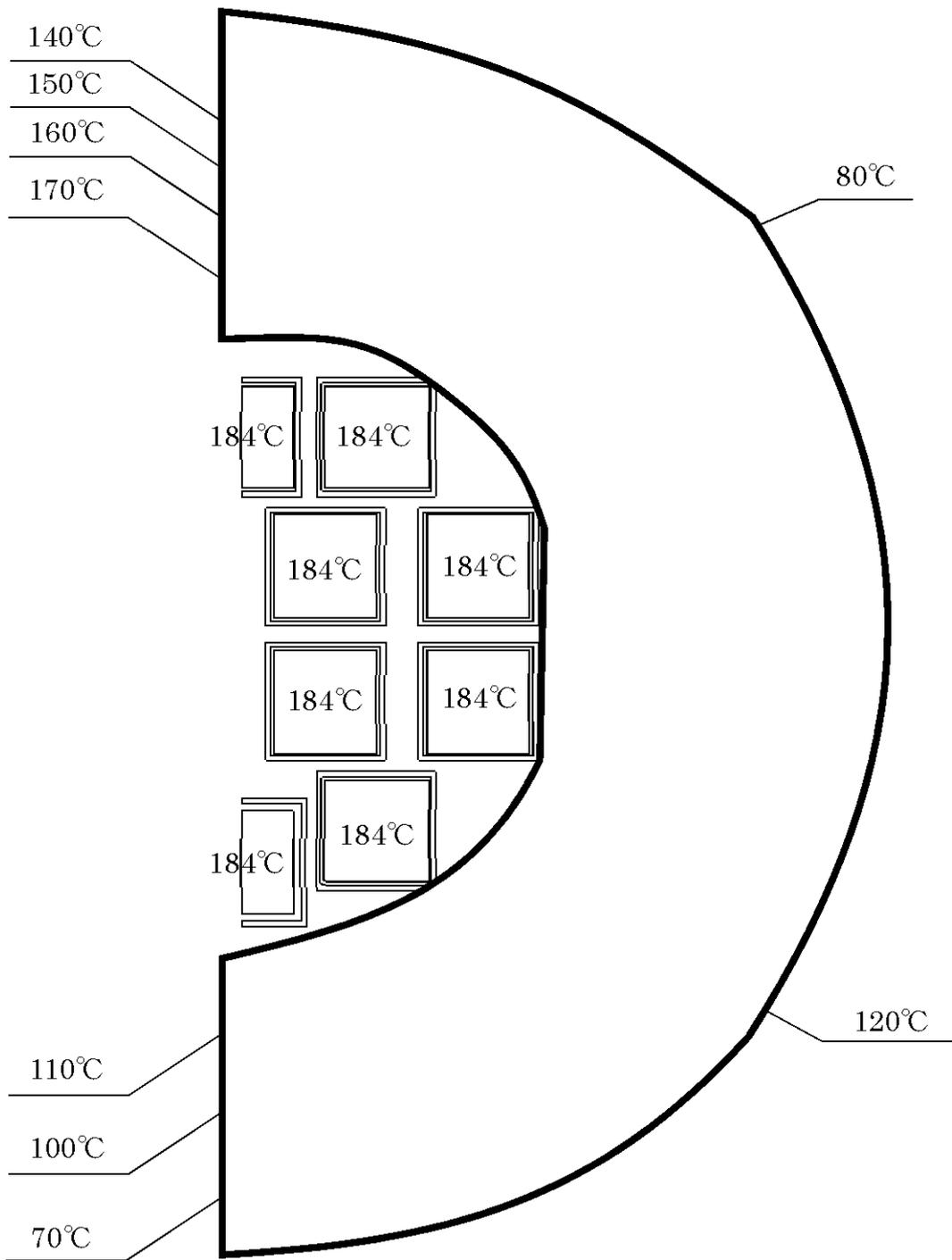
(2) 温 度

輸送物各部位の温度分布について、解析を行った結果を第 22 図及び第 23 図に示す。また、各部位の最高温度と解析基準値に適用する温度を第 8 表に示す。

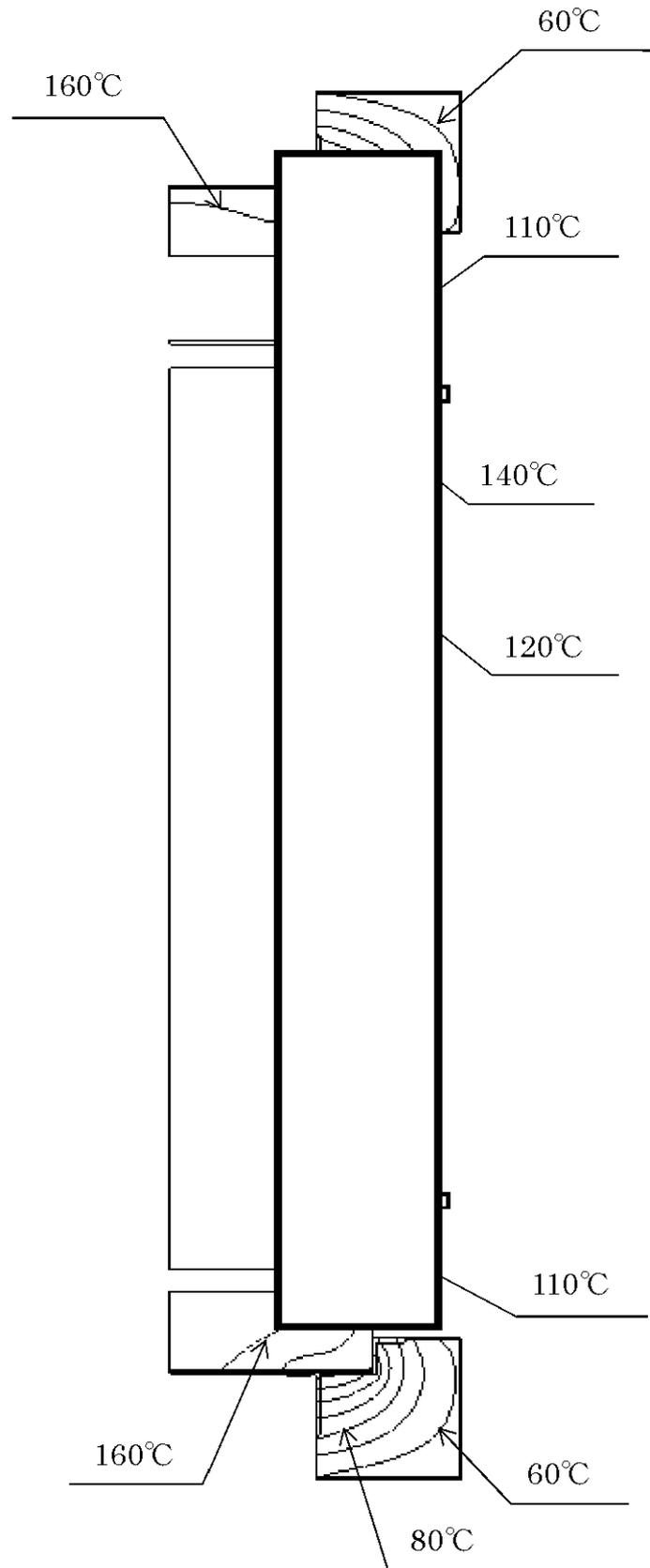
第 8 表 一般の試験条件における最高温度の要約

(単位：℃)

部 位	熱解析結果	解析基準値に適用する温度
ふ た	167	190
ふたボルト	160	
フランジ	168	
外 筒	134	
伝熱フィン	154	
中 間 筒	162	
内 筒	177	
底 板	173	
仕 切 板	150	
レジンカバー	152	
バスケット	183	
燃料被覆管	184	



第 22 図 一般の試験条件下の輪切り半ピッチモデル温度分布 (最高温度評価条件)



第 23 図 一般の試験条件下の全体モデル温度分布 (最高温度評価条件)

5.1.2 熱膨張

本項では、一般の試験条件下における運搬用容器本体各部の応力計算を行う。

添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」3.4.2 項に示す温度分布及び内筒内圧を考慮し、解析は有限要素法による ABAQUS コードを用いて行う。

(1) 解析モデル

解析モデルとして第 24 図に示す三次元 180° 対称モデルを用いる。

本解析モデルは、外筒、レジン、仕切板、レジンカバー、中間筒、鉛、内筒、フランジ、底板、ふたボルト及びふたより構成され、ふたはふたボルトによりフランジに接続され、ふたとフランジとの接触が考慮されている。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

5.1.1 項で示した温度分布による熱膨張及び内筒内圧を荷重条件とする。初期温度は常温(20℃)とする。

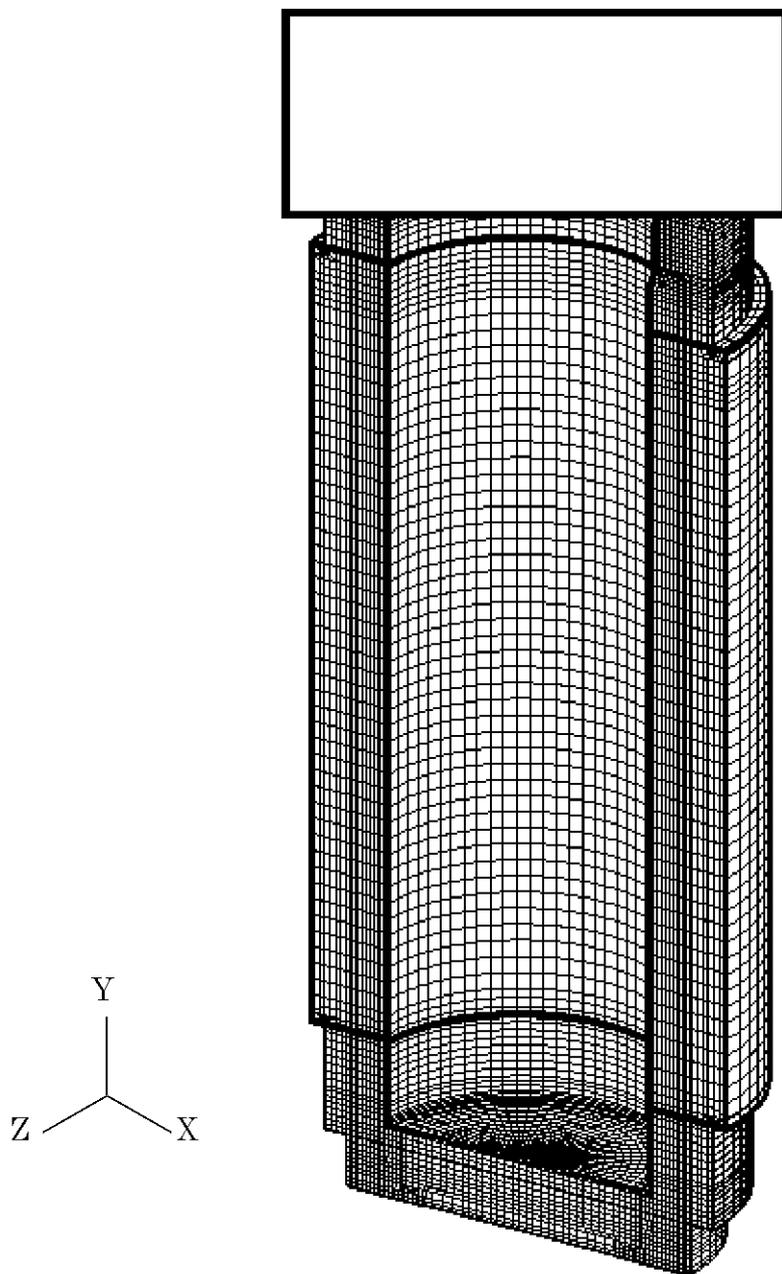
また、ふたボルトには初期締付トルク による引張応力を予応力として作用させる。

b. 境界条件

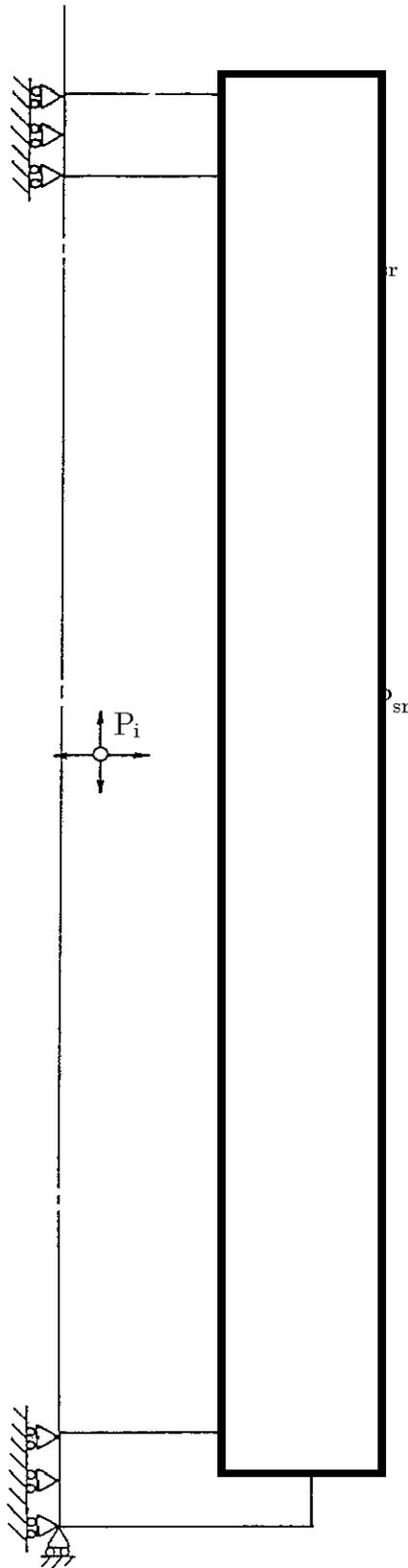
第 25 図に示すように、底部の軸方向変位及び対称面上の法線方向変位を拘束し、他は変位自由とする。

(3) 解析結果

熱応力と圧力による応力との組合せに対する応力評価は 5.1.4 項において行う。



第 24 図 三次元 180° 対称モデル



P_i : 内筒内圧
 P_{sr} : 中性子遮蔽体充填空間圧力

第 25 図 一般の試験条件の熱的試験における荷重条件及び境界条件

5.1.3 応力計算

本項では、一般の試験条件の熱的試験における運搬用容器本体各部の応力計算を行う。

運搬用容器本体各部の応力は、温度勾配による応力及び内筒内圧による応力が考えられるが、ここでは内筒内圧による応力について解析する。

(1) 解析モデル

5.1.2 項と同様に三次元有限要素を用いた第 24 図に示す三次元 180° 対称モデルを用いる。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

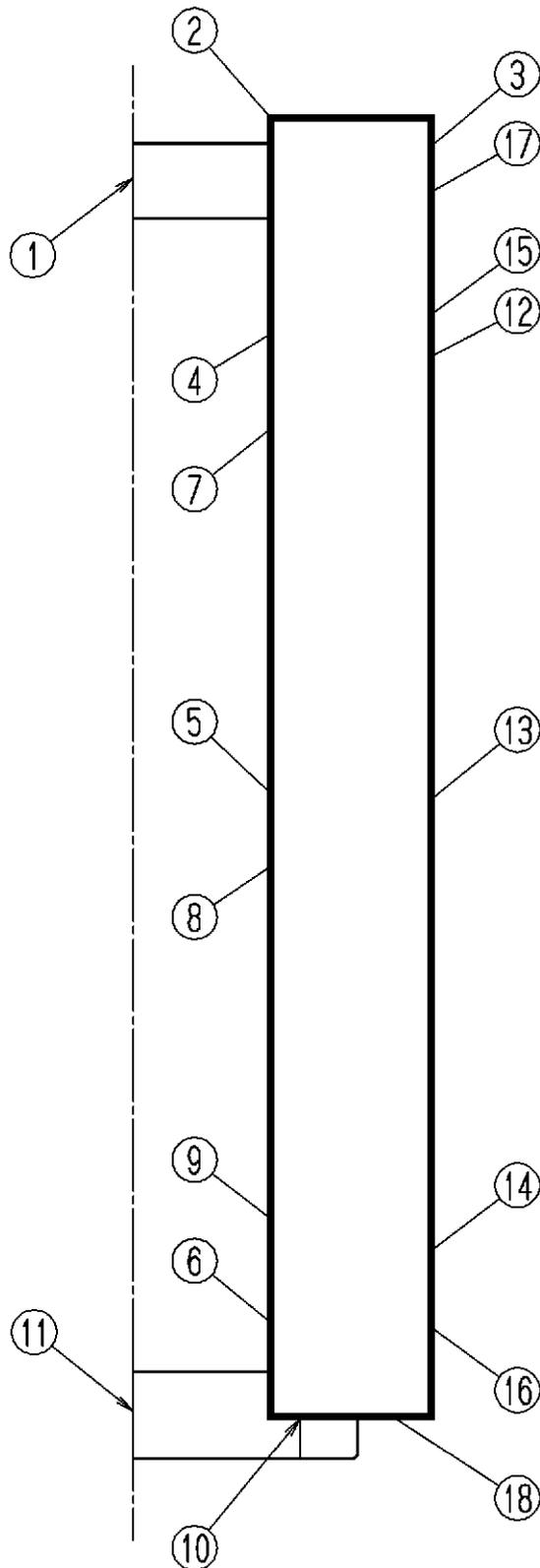
第 25 図に示すように、容器内に 1.70MPaG の内筒内圧を作用させる。また、5.1.2 項と同様にふたボルトには初期締付トルクによる引張応力を考慮する。

b. 境界条件

境界条件は底部の軸方向変位及び対称面上の法線方向変位を拘束し、他は変位自由とする。

(3) 解析結果

第 26 図に示す主要な評価位置における内筒内圧による応力の評価結果を第 9 表に示す。表に示すように、いずれの応力も 1.3 項に定めた解析基準値以下である。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 26 図 一般の試験条件の熱的試験における応力評価位置

第9表 一般の試験条件における内筒内圧による容器本体の一次応力の評価

部 位	断面 (注1) No.	応力 (注2) 分類	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 (注3) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	1.18		134	113
		$P_L + P_b$	内	14.8		201	12.6
			外	14.6		201	12.8
	②	P_L	—	11.0		201	17.3
フランジ	③	P_L	—	7.31		201	26.5
内筒	④	P_L	—	13.1		198	14.1
	⑤	P_m	—	12.1		132	9.91
	⑥	P_L	—	13.5		198	13.7
中間筒	⑦	P_L	—	8.65		230	25.6
	⑧	P_m	—	7.56		153	19.2
	⑨	P_L	—	8.08		230	27.5
底板	⑩	P_L	—	3.02		198	64.6
	⑪	P_m	—	1.52		132	85.8
		$P_L + P_b$	内	4.08		198	47.5
			外	6.93		198	27.6
外筒	⑫	P_L	—	16.3		234	13.4
	⑬	P_m	—	21.5		156	6.26
	⑭	P_L	—	16.2		234	13.4
仕切板	⑮	P_L	—	5.60	203	35.3	
	⑯	P_L	—	5.44	203	36.3	
レジ ン カ バ ー	⑰	P_L	—	8.24	203	23.6	
	⑱	P_L	—	8.57	203	22.7	

(注1) 第26図参照

(注2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

(注3) P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。

5.1.4 許容応力との比較

(1) 容器本体各部

5.1.2 項で求めた熱応力と内筒内圧による応力の組合せに対する容器本体の（一次＋二次）応力とふたボルトの評価結果を第 10 表に示す。この表から明らかなように、容器本体及びふたボルトは 1.3 項の基準を満足し、健全性を保つ。なお、ふたボルトの応力は \square C における設計降伏点 (821MPa) より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

また、ふたとフランジとのふた O リング位置における相対口開き変形量は 0.05mm 以下であり、O リングの初期締付代 2.5mm より小さく密封性を損うことはない。

次に、疲労強度について評価する。

容器本体各部及びふたボルトの繰返しピーク応力強さ S_p (MPa) は疲労強度減少係数を考慮して次のように求められる。

$$S_p = \frac{S}{2} \cdot k_f \cdot \frac{E_0}{E}$$

但し、 S : 第 10 表に示される応力強さ(MPa)

k_f : 設計・建設規格 ¹⁾ PVB-3130 に示される疲労強度減少係数の最大値 (容器本体 : $k_f=5$ 、ふたボルト : $k_f=4$)

E_0 : 設計疲労線図に示される基準縦弾性係数(MPa)

E : 最高温度での縦弾性係数(MPa)

S_p に対する許容繰返し回数は各材料に対して設計・建設規格 ¹⁾ 添付 4-2 に示される設計疲労線図より与えられる。代表的な箇所における容器本体各部及びふたボルトに対する評価結果を第 11 表に示す。

運搬用容器の使用計画回数 300 回は、第 11 表に示すようにいずれの許容繰返し回数より小さく、疲労強度は十分である。

第 10 表 一般の試験条件における熱及び内筒内圧による容器本体の
(一次+二次) 応力及びふたボルトの評価(1/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温 度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふ た	①	内	18.4		401	20.8
		外	13.1			29.6
	②	内	25.9			14.5
		外	49.3			7.13
フランジ	③	内	46.6		401	7.61
		外	62.7			5.40
内 筒	④	内	288		397	0.38
		外	237			0.68
	⑤	内	282			0.41
		外	238			0.67
	⑥	内	285			0.39
		外	174	1.28		
中 間 筒	⑦	内	152	459	2.02	
		外	139		2.30	
	⑧	内	157		1.92	
		外	145		2.17	
	⑨	内	157		1.92	
		外	157		1.92	
底 板	⑩	内	85.9	397	3.62	
		外	134		1.96	
	⑪	内	79.4		4.00	
		外	47.9		7.29	

(注 1) 第 26 図参照

(注 2) 基準値は $3S_m$ である。

第 10 表 一般の試験条件における熱及び内筒内圧による容器本体の
(一次+二次) 応力及びふたボルトの評価(2/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温 度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
外 筒	⑫	内	245		467	0.91
		外	222			1.10
	⑬	内	175			1.67
		外	53.8			7.68
	⑭	内	281			0.66
		外	243			0.92
仕 切 板	⑮	内	30.8		406	12.2
		外	84.3			3.82
	⑯	内	83.6			3.86
		外	118			2.44
レ ジ ン カ バ ー	⑰	内	144		406	1.82
		外	148			1.74
	⑱	内	162	1.51		
		外	169	1.40		
ふ た ボ ル ト	σ_m		189	548	1.90	
	$\sigma_m + \sigma_b$		315		821	1.61

(注 1) 第 26 図参照

(注 2) ふたボルトを除く基準値は $3S_m$ である。

ふたボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

第 11 表 一般の試験条件における容器本体各部の疲労評価

部 位	(注1) 断面 No.	(一次+二次) 応力強さ (MPa)	温度 (°C)	繰返しピーク 応力強さ (MPa)	許容繰返し 回数	使用計画 回 数
ふた及びフランジ	③	62.7	170	166	$> 1.0 \times 10^6$	300 (注2)
内 筒	④	288	180	763	1.3×10^3	
中 間 筒	⑨	157	170	421	2.3×10^3	
底 板	⑩	134	180	355	2.9×10^4	
外 筒	⑭	281	140	746	4.7×10^2	
仕 切 板	⑯	118	160	311	5.7×10^4	
レジンカバー	⑱	169	160	445	9.6×10^3	
ふたボルト	—	315	170	717	9.3×10^2	

(注 1) 第 26 図参照

(注 2) 使用計画回数 = 運搬用容器使用期間 × 運搬回数
 = 30 年 × 10 回 / 年
 = 300 回

(2) 伝熱フィン

レジンの熱膨張により外筒は半径方向に押し広げられるので、外筒に接続している伝熱フィンには引張応力が発生する。外筒はレジンの熱膨張を拘束し伝熱フィンの応力を減少させるので、ここでは安全側に外筒の拘束を無視するとレジンと伝熱フィンとの熱膨張差による応力は次の関係式より求められる。

$$\sigma_1 = \frac{E_1 E_2 t_2}{E_1 t_1 + E_2 t_2} (\alpha_2 - \alpha_1) (T - T_0)$$

但し、 σ_1 : 伝熱フィンに生じる引張応力(MPa)

E_1 : 伝熱フィンの縦弾性係数(MPa)

E_2 : レジンの周方向拘束の場合の縦弾性係数(MPa)

t_1 : 伝熱フィンの板厚(mm)

t_2 : レジンの平均厚み(mm)

α_1 : 伝熱フィンの熱膨張係数(1/°C)

α_2 : レジンの熱膨張係数(1/°C)

T : 伝熱フィンとレジンの平均温度(°C)

T_0 : 常温(20°C)

レジンの縦弾性係数については伝熱フィンに囲まれて周方向に変形が拘束されるので、次式により修正する。

$$E_2 = \frac{E_r}{1 - \nu_r^2}$$

但し、 E_r : レジンの縦弾性係数(MPa)

ν_r : レジンのポアソン比

ここで、 $E_1 = 1.06 \times 10^5$ MPa

$t_1 = 10$ mm

$t_2 = \pi \frac{100 + 100}{42} - 10 = 137$ mm

$\alpha_1 = 17.5 \times 10^{-6}$ /°C

$\alpha_2 = 1.04 \times 10^{-4}$ /°C

$E_r = 68.6$ MPa

$\nu_r = 0.495$

$T = 156$ °C

$T_0 = 20$ °C

したがって、

$$E_2 = 90.9 \text{MPa}$$

$$\sigma_1 = 14.5 \text{MPa}$$

伝熱フィン材料の 160°C における降伏応力 σ_y は 136MPa であり、引張強さ σ_u は 177MPa であるので、設計・建設規格¹⁾に従い、(一次+二次) 応力強さに対する基準値は以下のようなになる。

$$3S_m = 3 \times \min(\sigma_y/1.5, \sigma_u/3) = 3 \times 59 = 177 \text{MPa}$$

したがって、余裕率 MS は次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{3S_m}{\sigma_1} - 1 = \frac{177}{14.5} - 1 \\ &= 11.2 \end{aligned}$$

次に疲労強度について評価する。

伝熱フィン溶接部の疲労強度減少係数(S_e)を 4 とすると、繰返しピーク応力強さ S_p は、

$$S_p = \frac{1}{2} (\sigma_1 \cdot S_e) \cdot \frac{E_o}{E}$$

ここで、 E_o : 基準縦弾性係数 = $1.38 \times 10^5 \text{MPa}$

E : 使用温度(160°C)における縦弾性係数 = $1.05 \times 10^5 \text{MPa}$

$$\begin{aligned} S_p &= \frac{1}{2} \times 14.5 \times 4.0 \times \frac{1.38 \times 10^5}{1.05 \times 10^5} \\ &= 38.1 \text{MPa} \end{aligned}$$

これに対する許容繰返し回数(N_a)は設計・建設規格¹⁾ 図 添付 4-2-3 より、

$$N_a > 1 \times 10^6$$

容器の使用計画回数 300 回は、許容繰返し回数より小さく疲労強度は十分である。

5.2 水 噴 霧

本容器の外側はステンレス鋼製であり、水噴霧に対して吸水による脆化により密封性が損われたり、水溜りによる腐食が発生することがないため線量当量率の増加等を生じることはない。

5.3 自由落下

ここでは、1.3 項設計基準のうち、一般の試験条件の自由落下試験において規則及び告示に規定された輸送物の健全性について評価を行う。本輸送物の最大総重量は 115 トンであるため、告示により、落下高さは 0.3m となる。

輸送物が 0.3m 落下した場合、その落下エネルギーが容器本体の上下部に取り付けられた緩衝体の変形によって吸収される。

本項では、自由落下試験時の緩衝体の変形量及び衝撃加速度について評価し、運搬用容器の健全性を評価する。

緩衝体の変形量及び衝撃加速度の解析条件を以下に述べる。

(1) 解析モデル

a. 解析する落下姿勢

輸送物の落下姿勢として次の 3 種類を考える。(第 27 図参照)

- (a) 垂直落下
- (b) 水平落下
- (c) コーナー落下

b. 解析方法

(a) 輸送物の落下エネルギーは緩衝体の弾塑性変形によって全て吸収されるものとする。この仮定では、緩衝体を除いた輸送物及び落下試験台を剛体とし、落下エネルギーの振動及び熱等への消費を無視することになるので、落下による緩衝体の変形を大きく評価し安全側の解析となる。

(b) 解析に用いる輸送物の重量に関する数値は、輸送物最大総重量 115 トンを用いる。

落下エネルギーは次式で与えられる。

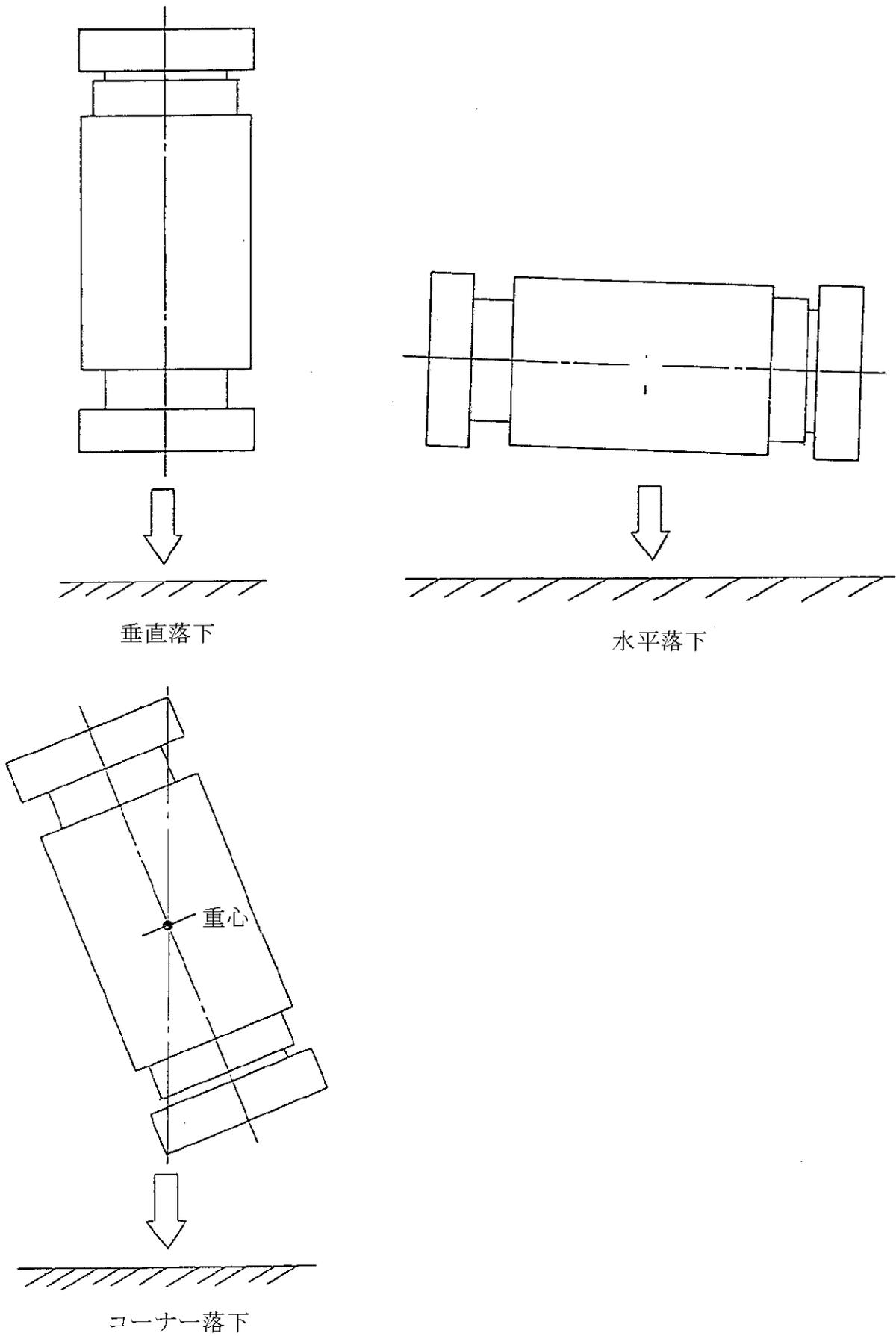
$$E_K = W \cdot g \cdot H$$

但し、 E_K : 輸送物の落下エネルギー(N・mm)

W : 輸送物最大総重量(kg)

g : 重力加速度(m/s²)

H : 落下高さ(mm)



第 27 図 0.3m 落下試験での落下姿勢

ここで、 $W = 115 \times 10^3 \text{kg}$

$g = 9.8 \text{m/s}^2$

$H = 3.0 \times 10^2 \text{mm}$

したがって、

$$E_K = 115 \times 10^3 \times 9.8 \times 3.0 \times 10^2$$

$$= 3.38 \times 10^8 \text{N} \cdot \text{mm}$$

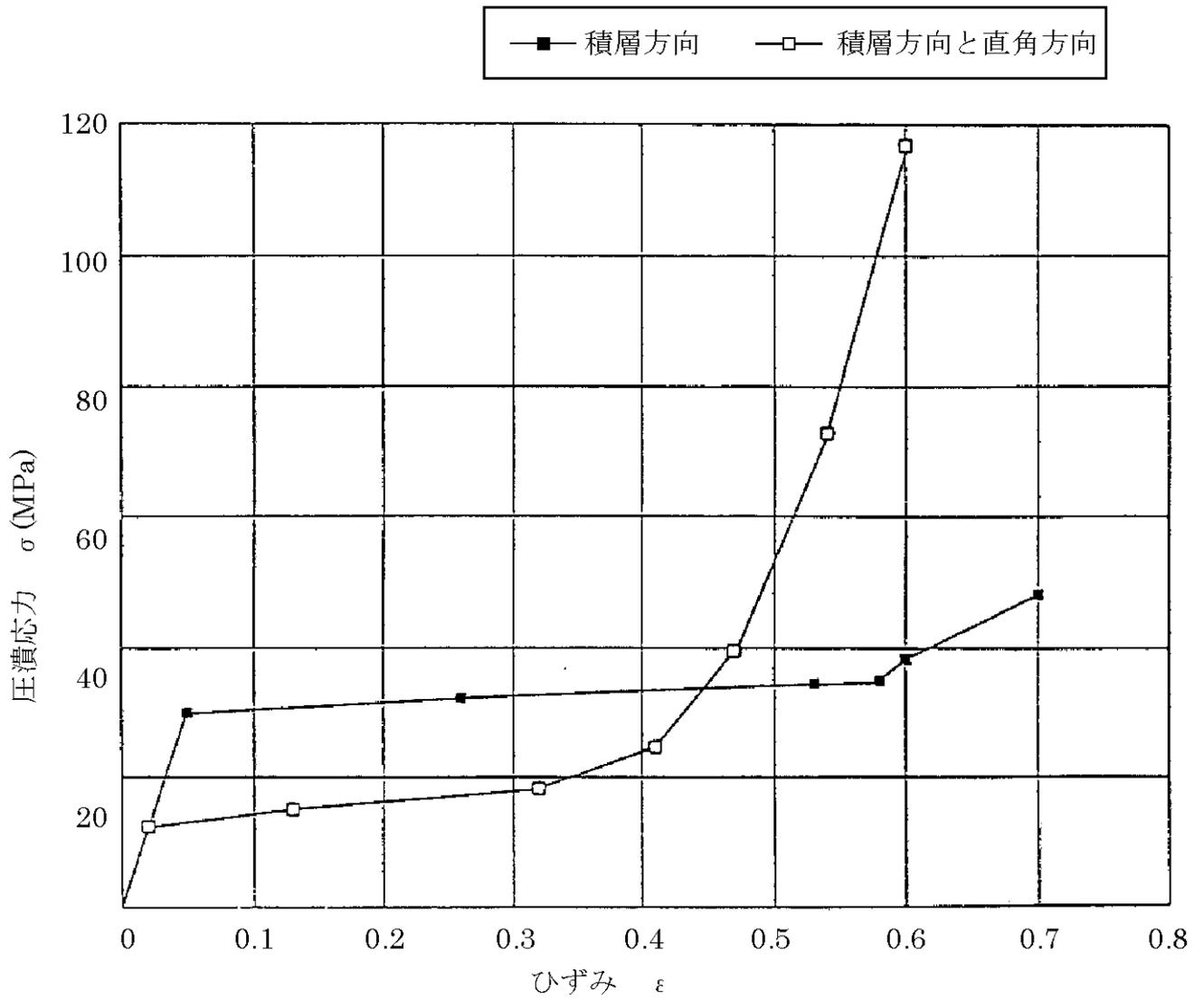
- (c) 緩衝体は第 14 図及び第 15 図に示すとおり、カバープレート及び内部のリブがステンレス鋼板(SUS304)製であり、カバープレートで囲まれた空間にはファープライウッド及びオーク材が詰められている。
- (d) 緩衝体の変形量と衝撃力の計算はCRUSHコード¹⁴⁾を用いて行う。このコードにおいてはエネルギー吸収に寄与する部材は安全側に内部の木材のみとして、緩衝体の変形量を単軸変形法(UDM)により求めている。
- (e) 衝撃力については解析と実験との比較検証により得られた誤差 $\pm 20\%$ を考慮した負荷係数 1.2¹⁴⁾を(d)項で求められる衝撃力に乗じる。さらに、変形領域内に存在する内部のリブによる衝撃力を加算する。これは内部のリブのステンレス鋼の平均圧潰応力(降伏応力と引張強さの平均 $= 363 \text{MPa}$)にリブの断面積を乗じて求められる。
- (f) 木材の場合、圧潰特性は異方性を持つ。ファープライウッド及びオーク材の積層(又は木目)方向と、積層(又は木目)方向と直角方向における圧潰特性を第 28 図に示す。積層(又は木目)方向とある角度を持つ落下方向に対しては、次式により異方性の影響を考慮する。

$$\sigma_{\theta} = \sigma_0 \cdot \cos^2 \theta + \sigma_{90} \cdot \sin^2 \theta$$

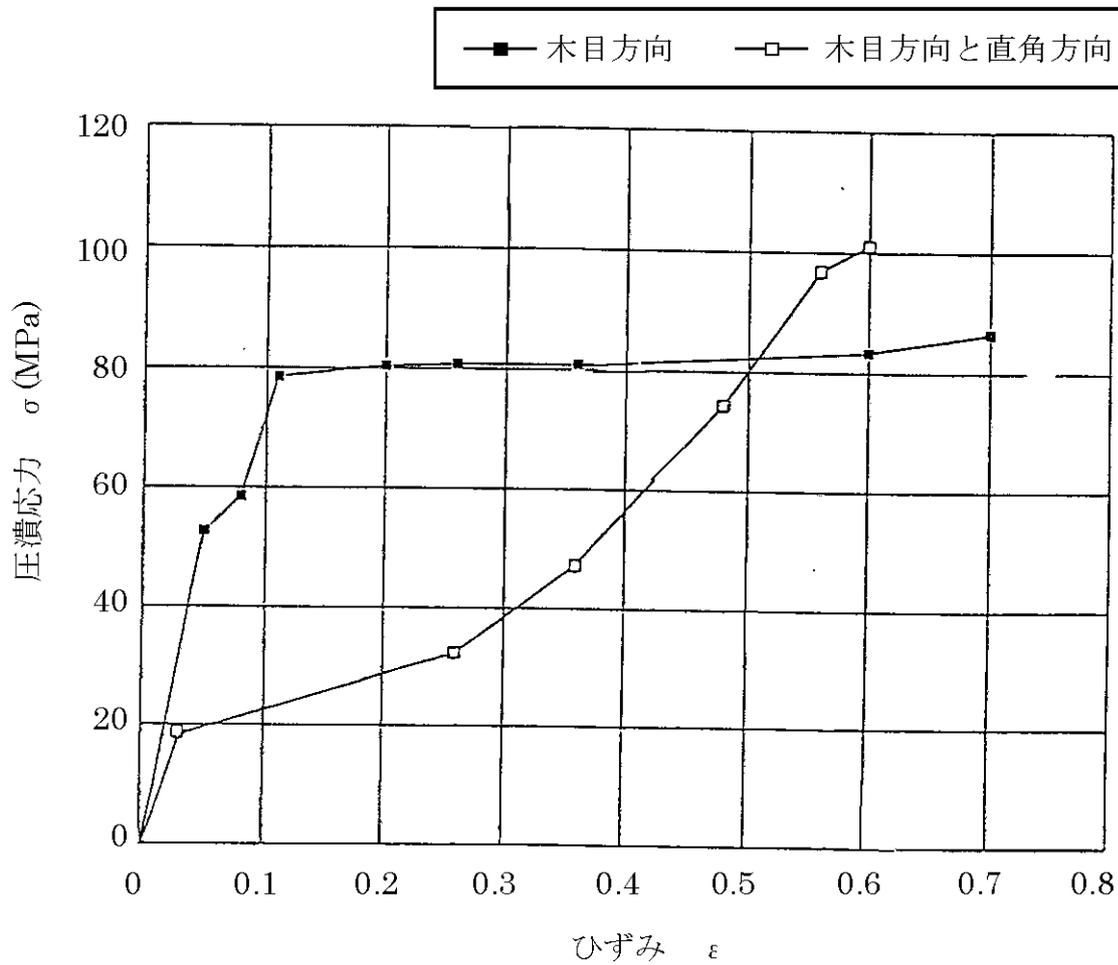
ここで、 σ_{θ} : 積層(又は木目)方向と角度 θ 傾斜した方向の圧潰応力

σ_0 : 積層(又は木目)方向の圧潰応力

σ_{90} : 積層(又は木目)方向と直角方向の圧潰応力



第 28(a)図 ファープライウツドの圧潰特性



第 28(b)図 オーク材の圧潰特性

c. 垂直落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

(a) 頭部垂直落下

解析モデルを第 29 図に示す。斜線を施した部分、すなわち緩衝体内の木材が深さ δ だけ圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

b 項に示した方法により求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 30 図に示す。

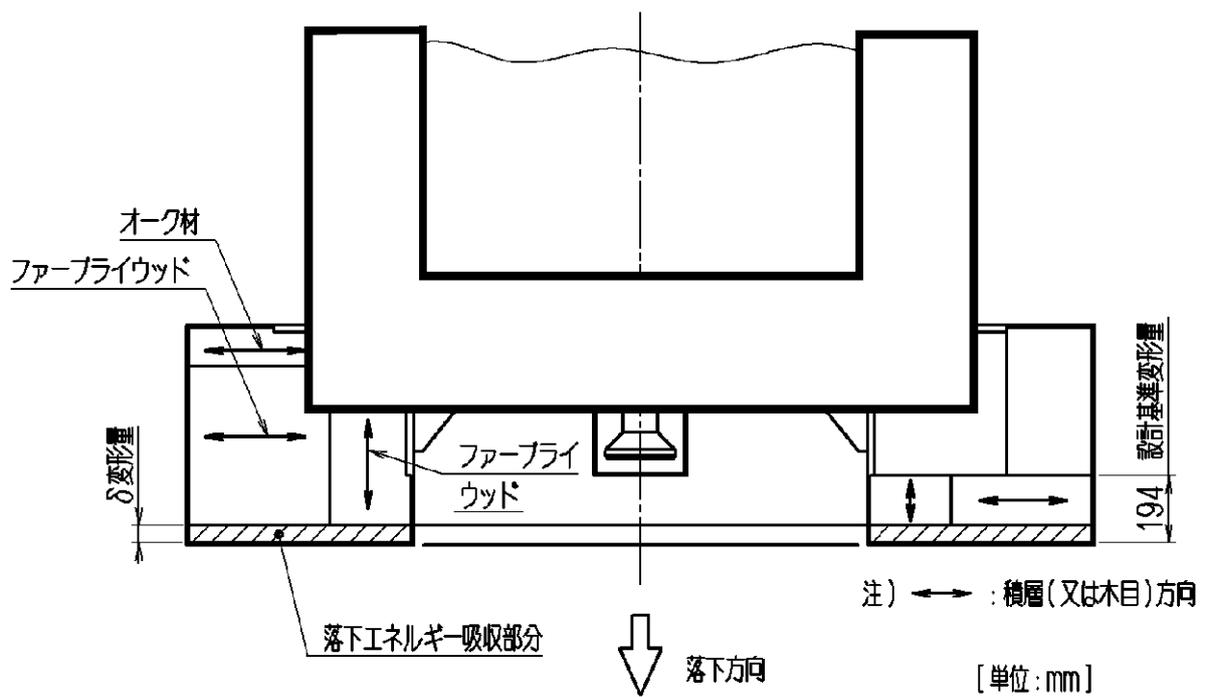
第 30 図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は 11.4mm であり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{6.07 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 528 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

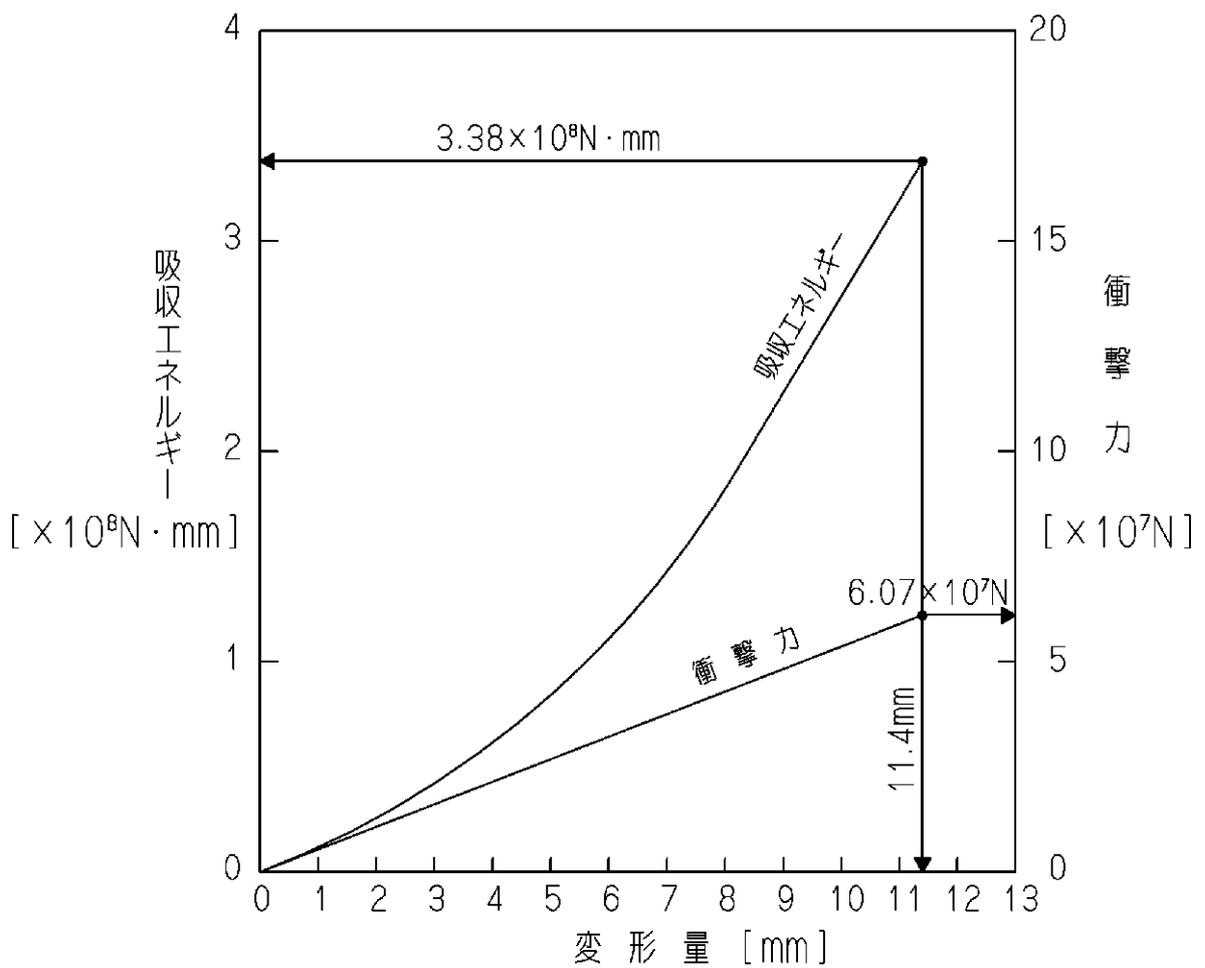
(b) 底部垂直落下

第 31 図に底部垂直落下時の解析モデルを示す。(a)項と同様にして求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 32 図に示すが、落下エネルギー E_K に対応する変形量は 11.7mm であり、衝撃加速度は次のようになる。

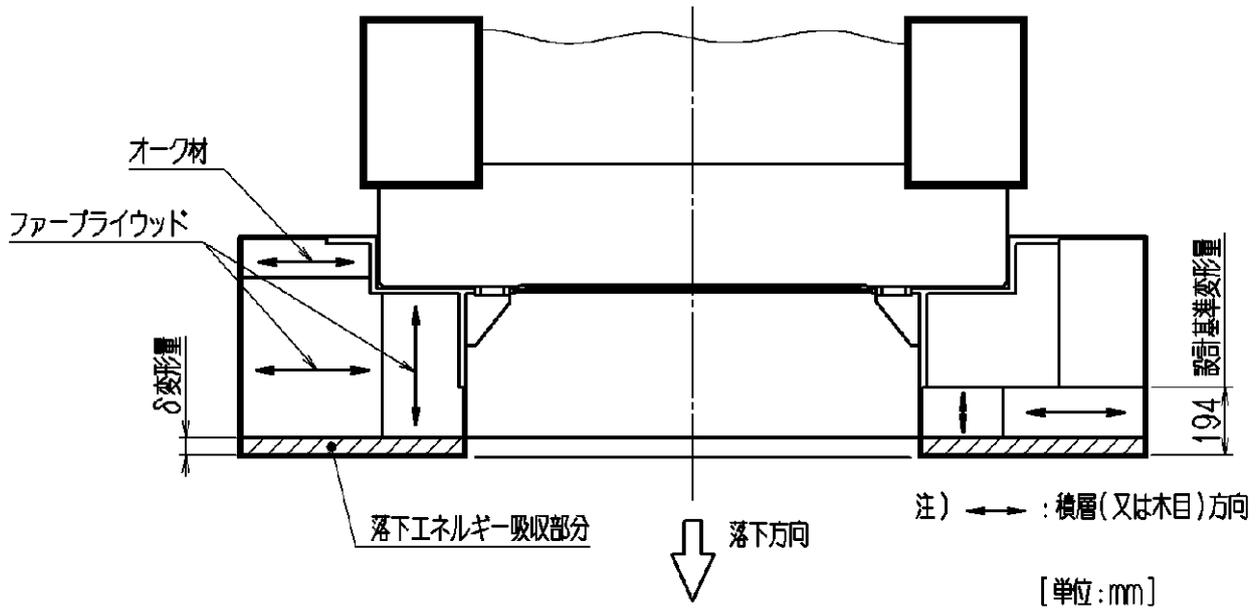
$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{5.97 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 519 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$



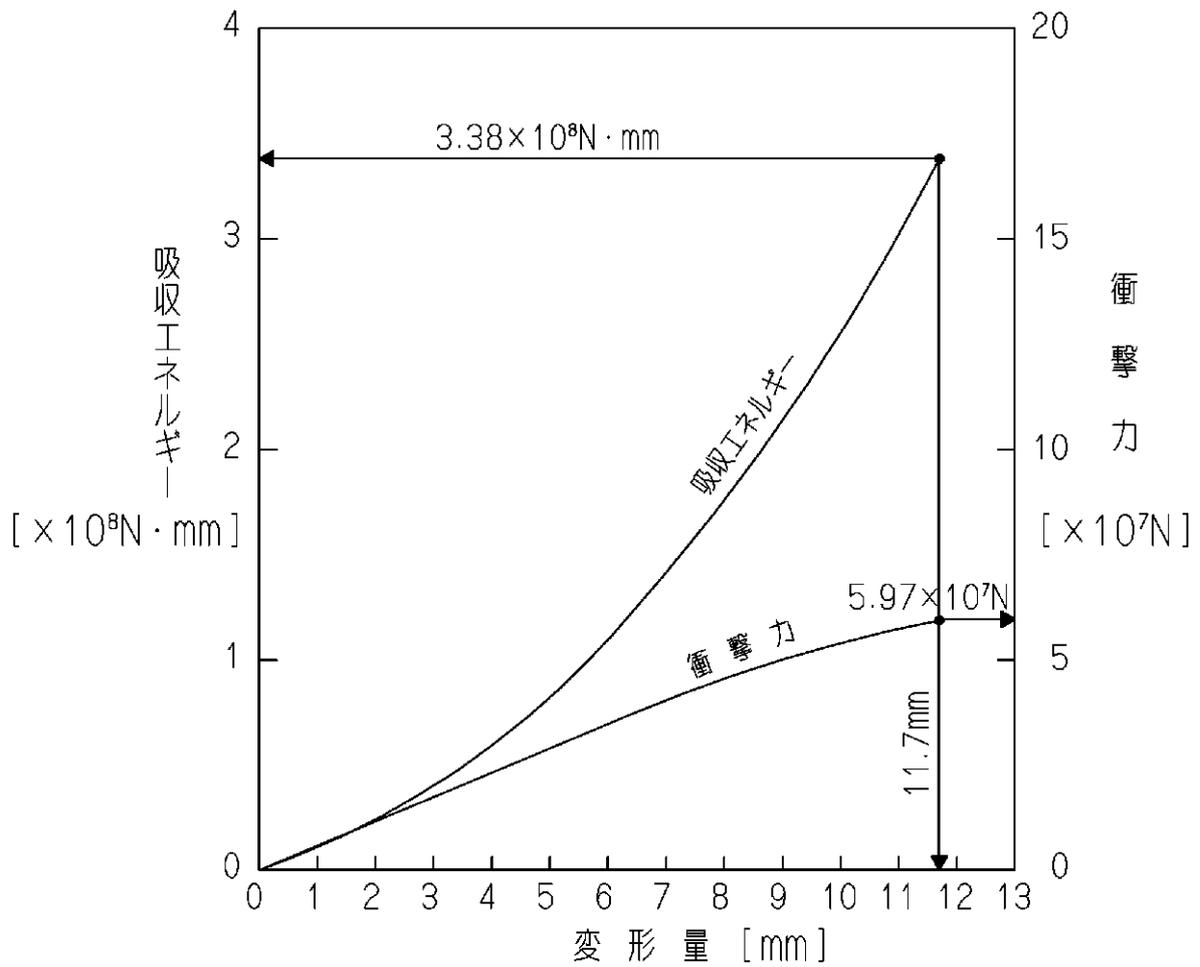
第 29 図 頭部垂直落下解析モデル



第 30 図 頭部垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



第 31 図 底部垂直落下解析モデル



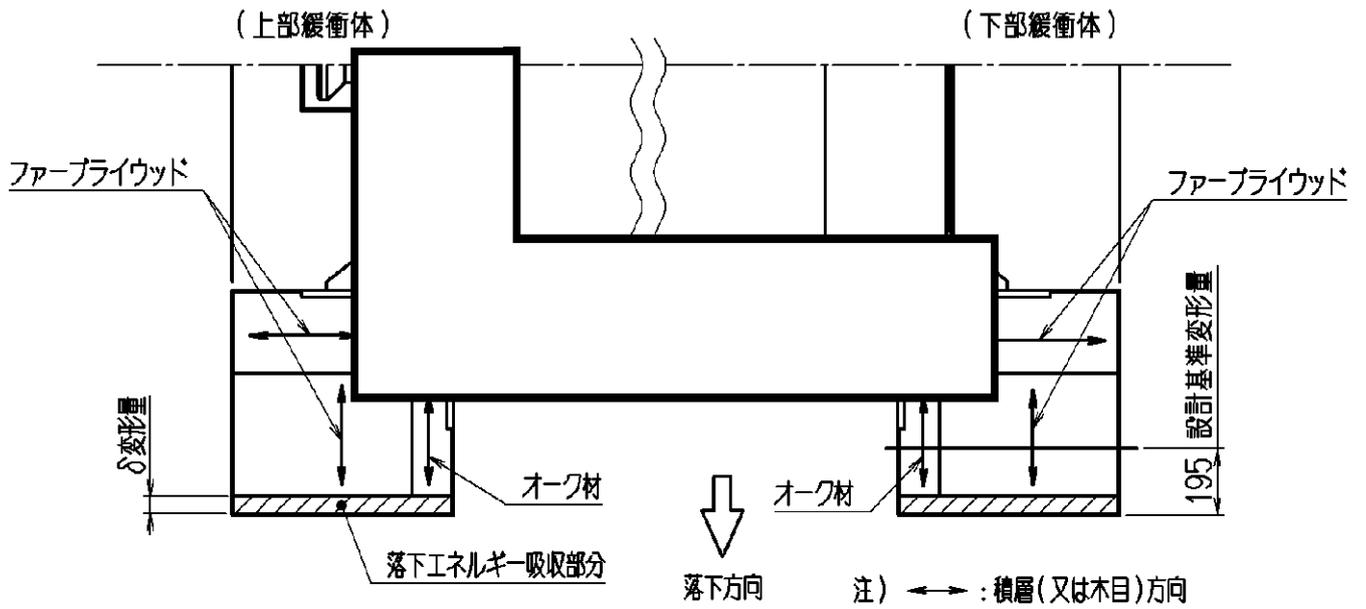
第 32 図 底部垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

d. 水平落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

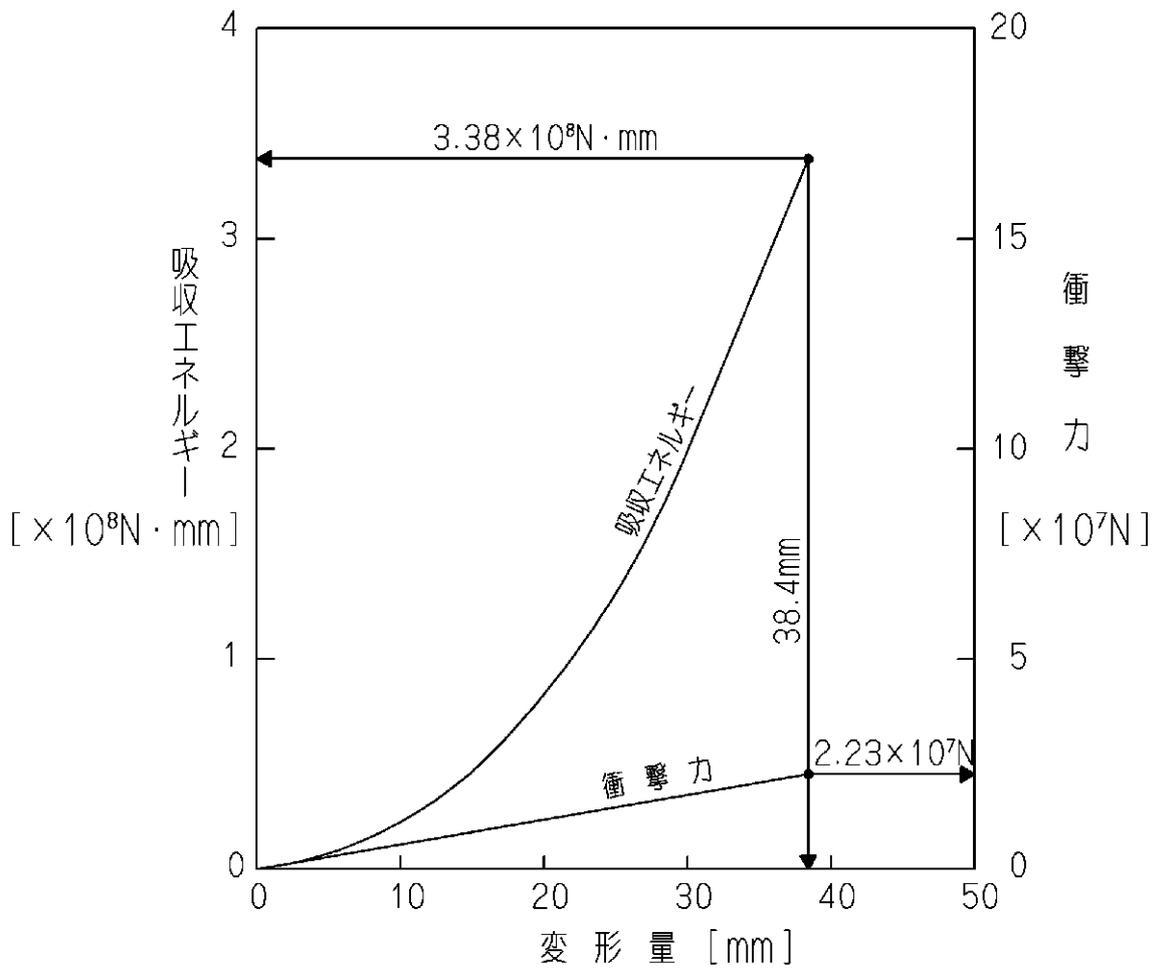
解析モデルを第33図に示す。図において斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第34図に示す。図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は38.4mmであり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_H &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{2.23 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 194\text{m/s}^2 \end{aligned}$$



第 33 図 水平落下解析モデル [単位: mm]



第 34 図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

e. コーナー落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

(a) 頭部コーナー落下

2 項の重量及び重心の項で述べたように輸送物の頭部コーナーと重心を結ぶ直線及び中心軸のなす角は である。

第 35 図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 36 図に示す。図より落下エネルギー E_K に対応する変形量は 133mm であり、衝撃加速度は次のようになる。

$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{8.15 \times 10^6}{115 \times 10^3} \\ &= 70.9 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

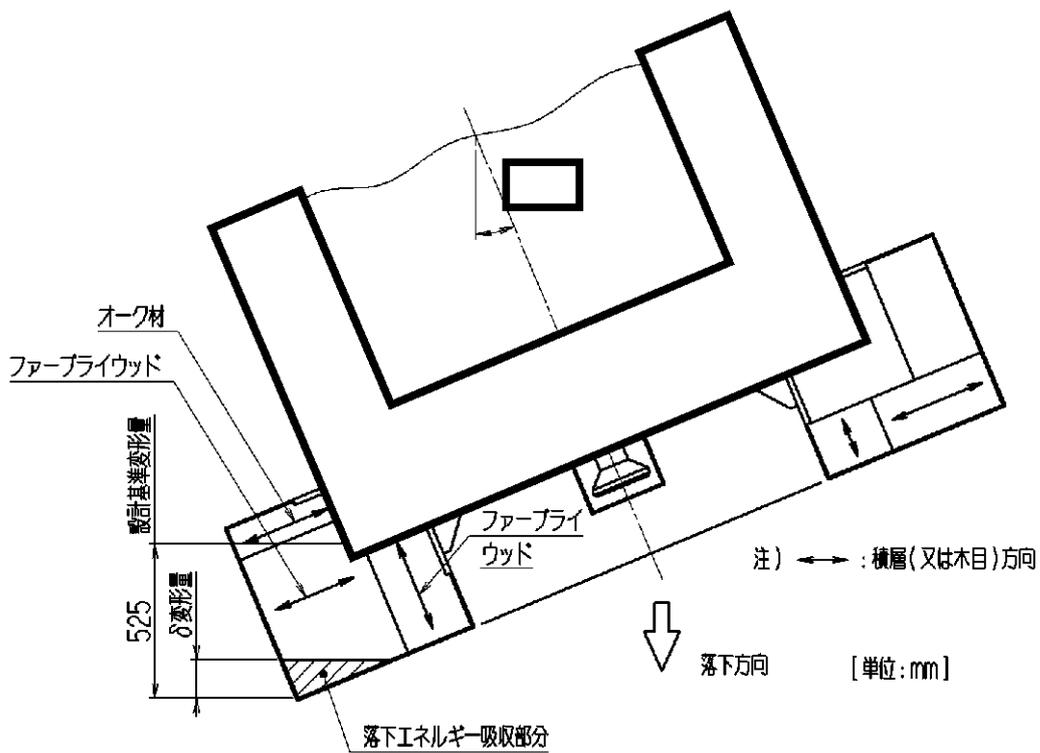
(b) 底部コーナー落下

2 項の重量及び重心の項で述べたように輸送物の底部コーナーと重心を結ぶ直線及び中心軸のなす角は である。

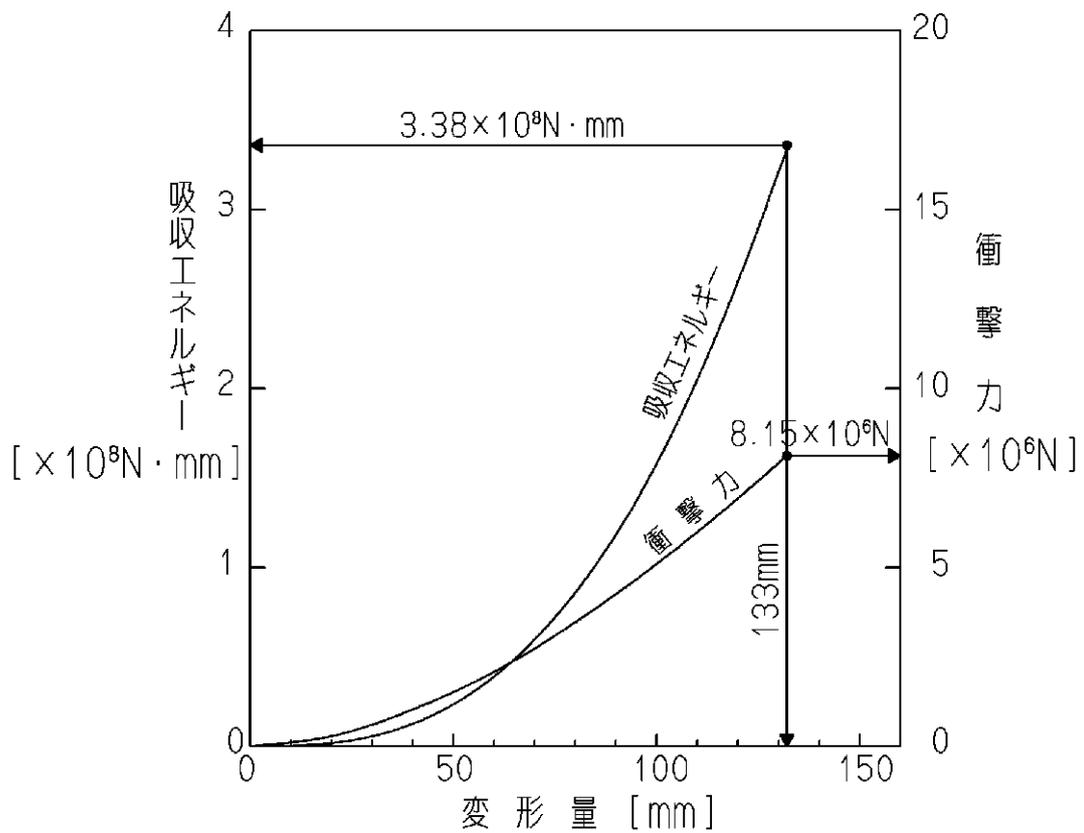
第 37 図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 38 図に示す。図より落下エネルギー E_K に対応する変形量は 133mm であり、衝撃加速度は次のようになる。

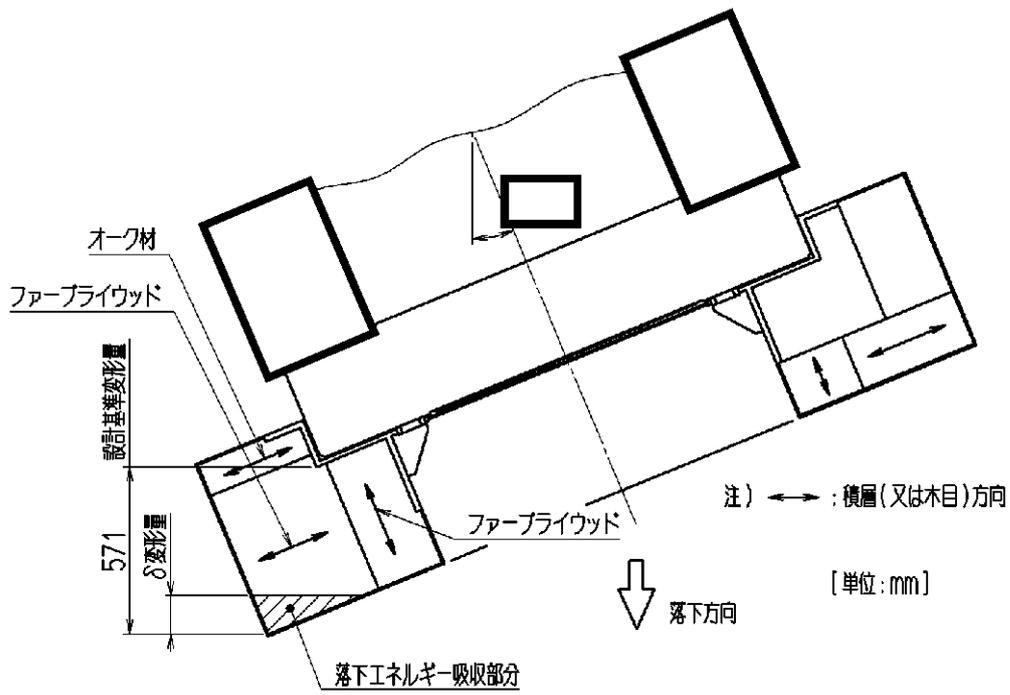
$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{8.08 \times 10^6}{115 \times 10^3} \\ &= 70.3 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$



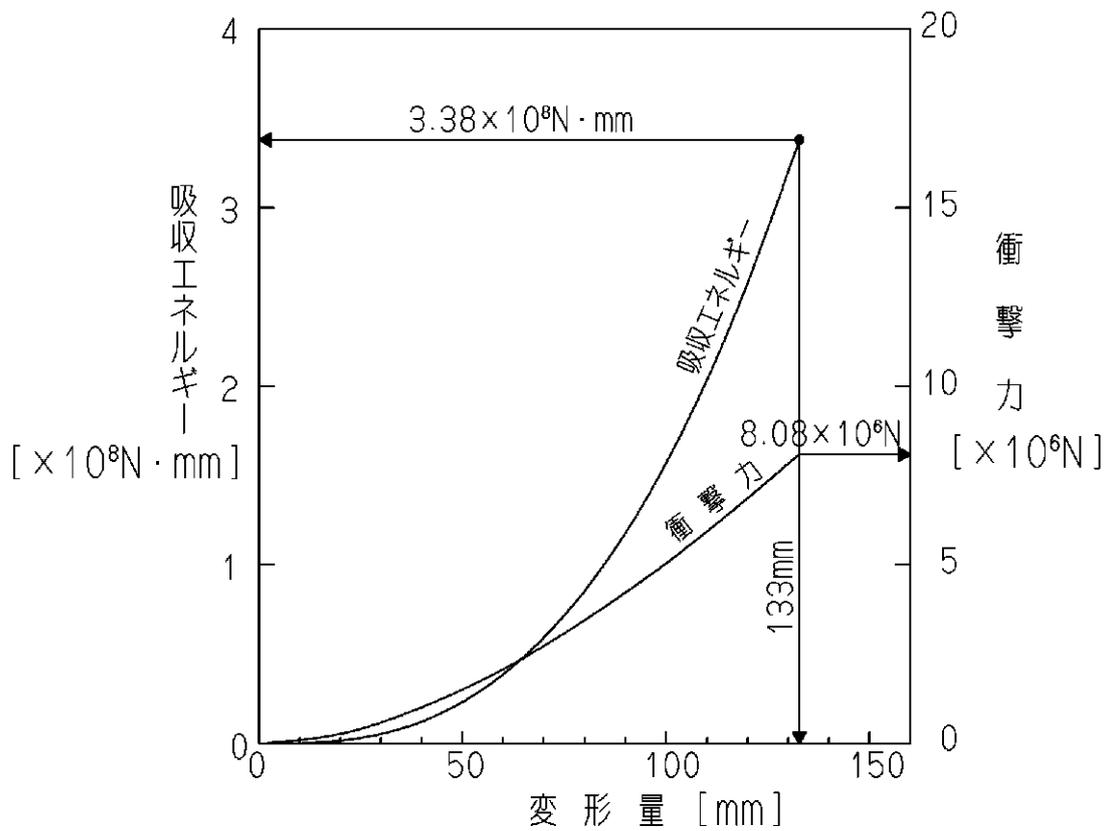
第 35 図 頭部コーナー落下解析モデル



第 36 図 頭部コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



第 37 図 底部コーナー落下解析モデル



第 38 図 底部コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

f. 解析結果の要約

自由落下試験時の緩衝体の変形量と衝撃加速度の解析結果の要約を第 12 表に示す。

第 12 表に示すとおり、自由落下試験時に輸送物の緩衝体に圧潰変形が生じる。

しかし、緩衝材の熱伝導率は、他の金属のステンレス鋼等と比べて 2% 以下と小さいため、断熱材としての効果が高く緩衝体からの放熱量は少ないので緩衝体に第 12 表に示すような変形が生じても輸送物全体の放熱特性への影響は微小である。また、変形がない方が輸送物の温度を高く評価できるため、一般の試験条件における熱解析においては、緩衝体の変形を無視する。

また、遮蔽解析においては緩衝体の変形を考慮して評価する。

第 12 表 自由落下試験時の衝撃加速度と緩衝体の変形量

落下姿勢		衝撃加速度 (m/s ²)	緩衝体の変形量 δ(mm)	設計基準変形量 ^(注) δ max(mm)
垂直落下	頭部	528	11.4	194
	底部	519	11.7	194
水平落下		194	38.4	195
コーナー落下	頭部	70.9	133	525
	底部	70.3	133	571

(注) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値であり、垂直落下、水平落下及びコーナー落下でそれぞれ以下のとおり設定している。

垂直落下 : 緩衝体の表面から緩衝体の鋼板（内側リング）までの距離

水平落下 : 緩衝体の表面から外筒までの距離

コーナー落下 : 緩衝体の表面から緩衝体の鋼板（コーナー部）までの距離

(2) 原型試験

該当なし

(3) モデル試験

該当なし

5.3.1 垂直落下

0.3m 垂直落下時の衝撃力に対して、運搬用容器の本体及びふたは十分な強度で密封性を保持することを示す。運搬用容器内部のツール等に対する評価は条件が厳しい9m落下試験に対して行うので、本項では省略する。

(1) 運搬用容器本体

垂直落下時の衝撃力に対する運搬用容器本体の解析を有限要素法によるABAQUSコードにより行う。また落下方向は頭部及び底部落下とする。

a. 解析モデル

5.1.2 項の応力計算と同様に、三次元有限要素を用いた第 24 図に示す三次元 180° 対称モデルを用いる。

b. 荷重条件及び境界条件

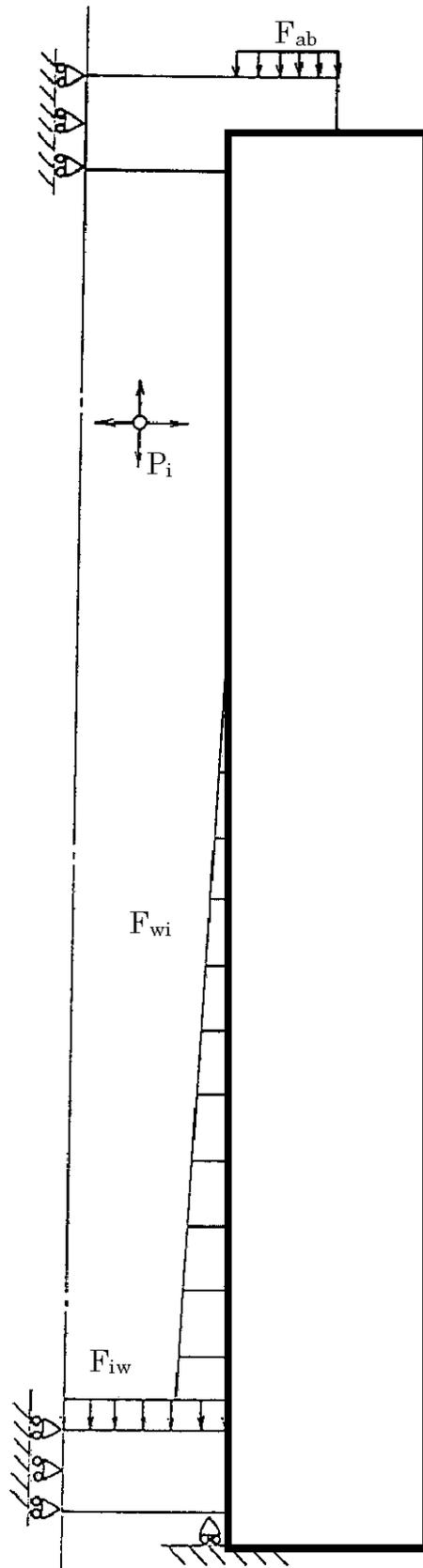
(a) 荷重条件

頭部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。衝撃加速度(528m/s²)による自重の慣性力が落下方向に働く。下部緩衝体の自重による慣性力が底部外面に働く。内部の収納物等(バスケット、収納物、内筒内水)の慣性力がふた部内面へ、内筒内水の衝撃圧が胴部側面に働く。

底部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。衝撃加速度(519m/s²)による自重の慣性力が落下方向に働く。また、上部緩衝体の自重による慣性力がふた外面に、ふた膨張室の慣性力がふた部内面に働く。内部の収納物等(バスケット、収納物、内筒内水)の慣性力が底部内面へ、内筒内水の衝撃圧が胴部側面に働く。

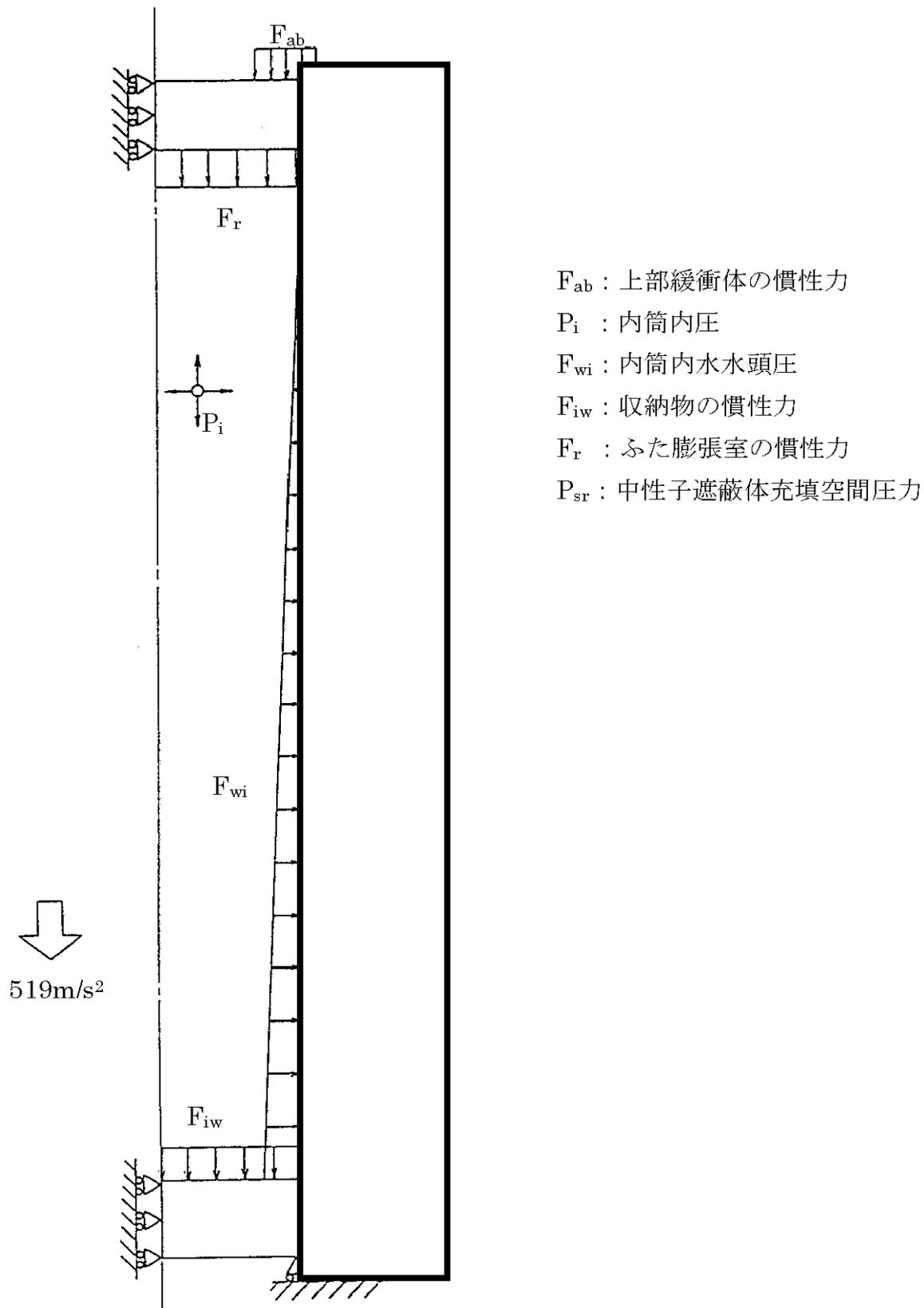
(b) 境界条件

境界条件は衝撃力を受ける面の節点の軸方向変位及び対称面上の法線方向変位を拘束し、他は変位自由とした。それぞれの落下方向に対する荷重条件及び境界条件を第 39 図及び第 40 図に示す。



- F_{ab} : 下部緩衝体の慣性力
- P_i : 内筒内圧
- F_{wi} : 内筒内水水頭圧
- F_{iw} : 収納物の慣性力
- P_{sr} : 中性子遮蔽体充填空間圧力

第 39 図 頭部 0.3m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件



第 40 図 底部 0.3m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

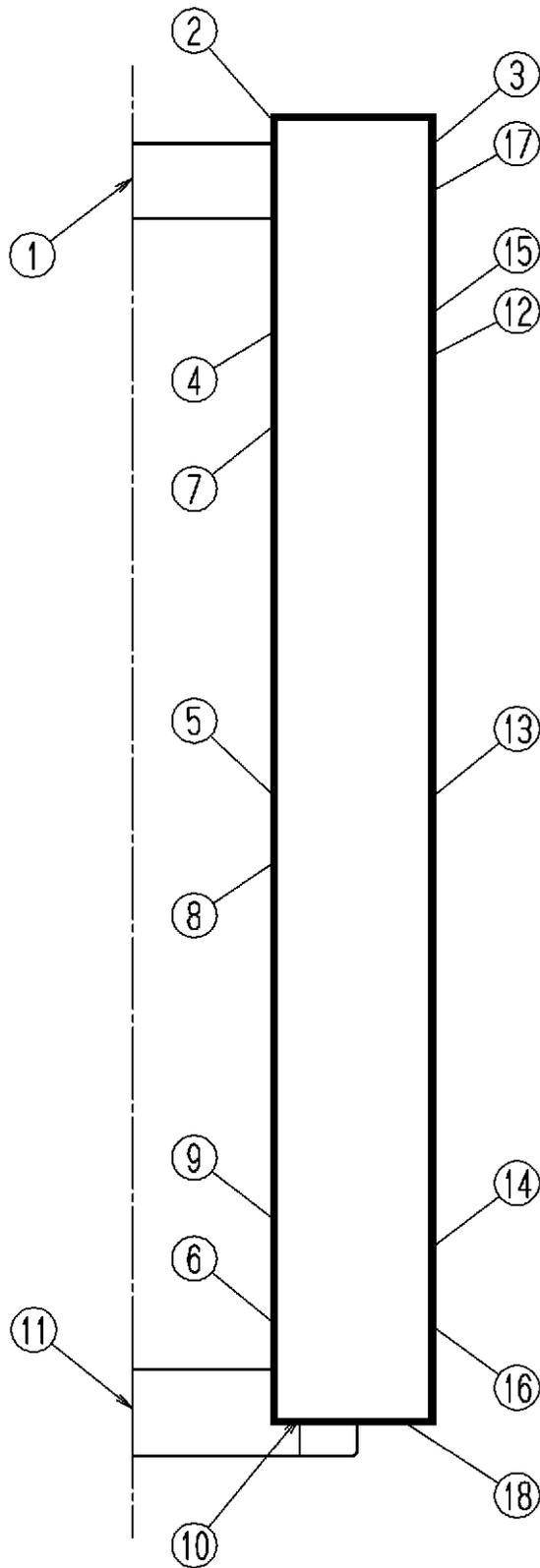
c. 解析結果

頭部垂直落下時の主要な位置（第 41 図参照）に対する一次応力強さの評価結果を第 13 表に、（一次＋二次）応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 14 表に、また底部垂直落下時の主要な位置（第 42 図参照）に対する一次応力強さの評価結果を第 15 表に、（一次＋二次）応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 16 表に示す。それぞれの表に示すように、すべての評価位置において 1.3 項に示す解析基準を満足する。

なお、ふたボルトの応力は における設計降伏点(821MPa)より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

頭部垂直落下時には、ふたに内部の収納物等の自重による慣性力が作用し、ふた O リング位置においてふたとフランジとの間に口開き変形が生じる。その値は 0.01mm 以下であり、O リングの初期締付代 2.5mm に比べて小さくふた部の密封性は維持される。

底部垂直落下時には、ふたはフランジに押し付けられる方向に慣性力が作用し、口開き変形は生じない。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 41 図 頭部 0.3m 垂直落下時の応力評価位置

第13表 頭部0.3m垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部 位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 (注3) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	4.87		134	26.5
		P_L+P_b	内	29.6		201	5.79
			外	36.2		201	4.55
	②	P_L	—	141		201	0.43
フランジ	③	P_L	—	41.9		201	3.80
内筒	④	P_L	—	101		198	0.96
	⑤	P_m	—	36.4		132	2.63
	⑥	P_L	—	11.5		198	16.2
中間筒	⑦	P_L	—	71.9		230	2.20
	⑧	P_m	—	35.2		153	3.35
	⑨	P_L	—	19.4		230	10.9
底板	⑩	P_L	—	1.52		198	129
	⑪	P_m	—	1.19		132	110
		P_L+P_b	内	4.06		198	47.8
			外	1.69		198	116
外筒	⑫	P_L	—	60.4		234	2.87
	⑬	P_m	—	93.3		156	0.67
	⑭	P_L	—	47.7		234	3.91
仕切板	⑮	P_L	—	74.1	203	1.74	
	⑯	P_L	—	21.9	203	8.27	
レジ ン カ バ ー	⑰	P_L	—	62.1	203	2.27	
	⑱	P_L	—	11.9	203	16.1	

(注1) 第41図参照

(注2) P_m ：一次一般膜応力強さ、 P_L ：一次局部膜応力強さ、 P_b ：一次曲げ応力強さ

(注3) P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び P_L+P_b に対する基準値は $1.5S_m$ である。

第14表 頭部0.3m垂直落下時の容器本体に対する(一次+二次)
応力及びふたボルトの評価(1/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふ た	①	内	39.6	[Redacted]	401	9.13
		外	42.5			8.44
	②	内	102			2.93
		外	157			1.55
フランジ	③	内	110		401	2.65
		外	56.5			6.10
内 筒	④	内	237		397	0.68
		外	343			0.16
	⑤	内	284			0.40
		外	240			0.65
	⑥	内	305			0.30
		外	174	1.28		
中 間 筒	⑦	内	170	459	1.70	
		外	144		2.19	
	⑧	内	155		1.96	
		外	144		2.19	
	⑨	内	156		1.94	
		外	165		1.78	
底 板	⑩	内	86.8	397	3.57	
		外	131		2.03	
	⑪	内	70.1		4.66	
		外	38.8		9.23	

(注1) 第41図参照

(注2) 基準値は $3S_m$ である。

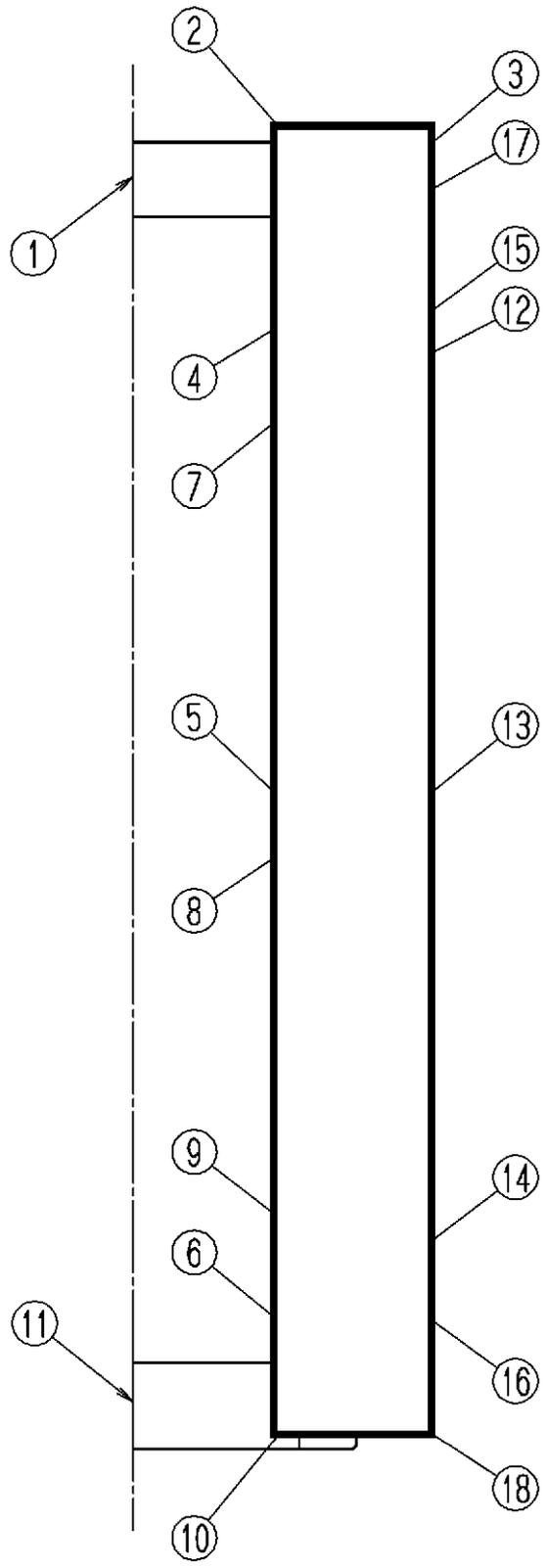
第 14 表 頭部 0.3m 垂直落下時の容器本体に対する (一次+二次)
応力及びふたボルトの評価(2/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
外 筒	⑫	内	259		467	0.80
		外	258			0.81
	⑬	内	252			0.85
		外	124			2.77
	⑭	内	346			0.35
		外	274			0.70
仕 切 板	⑮	内	132		406	2.08
		外	146			1.78
	⑯	内	119			2.41
		外	159			1.55
レ ジ ン カ バ ー	⑰	内	126		406	2.22
		外	108			2.76
	⑱	内	177	1.29		
		外	189	1.15		
ふ た ボ ル ト	σ_m		136	548	3.03	
	$\sigma_m + \sigma_b$		158		821	4.20

(注 1) 第 41 図参照

(注 2) ふたボルトを除く基準値は $3S_m$ である。

ふたボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 42 図 底部 0.3m 垂直落下時の応力評価位置

第 15 表 底部 0.3m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部 位	断面 (注1) No.	応力 (注2) 分類	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 (注3) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	0.21		134	637
		$P_L + P_b$	内	0.36		201	557
			外	0.73		201	274
	②	P_L	—	8.04		201	24.0
フランジ	③	P_L	—	8.03		201	24.0
内筒	④	P_L	—	22.1		198	7.96
	⑤	P_m	—	39.5		132	2.34
	⑥	P_L	—	58.2		198	2.40
中間筒	⑦	P_L	—	20.6		230	10.2
	⑧	P_m	—	38.4		153	2.98
	⑨	P_L	—	74.4		230	2.09
底板	⑩	P_L	—	40.2		198	3.93
	⑪	P_m	—	6.55		132	19.2
		$P_L + P_b$	内	25.8		198	6.67
			外	37.3		198	4.31
外筒	⑫	P_L	—	49.4		234	3.74
	⑬	P_m	—	107		156	0.46
	⑭	P_L	—	56.2		234	3.16
仕切板	⑮	P_L	—	22.0	203	8.23	
	⑯	P_L	—	74.1	203	1.74	
レジン カバー	⑰	P_L	—	8.07	203	24.2	
	⑱	P_L	—	96.0	203	1.11	

(注 1) 第 42 図参照

(注 2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

(注 3) P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。

第 16 表 底部 0.3m 垂直落下時の容器本体に対する (一次+二次)
応力及びふたボルトの評価(1/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふ た	①	内	6.97	[Redacted]	401	56.5
		外	2.28			175
	②	内	25.4			14.8
		外	45.7			7.77
フランジ	③	内	52.8		401	6.59
		外	61.5			5.52
内 筒	④	内	278		397	0.43
		外	241			0.65
	⑤	内	284			0.40
		外	240			0.65
	⑥	内	368			0.08
		外	147	1.70		
中 間 筒	⑦	内	152	459	2.02	
		外	145		2.17	
	⑧	内	155		1.96	
		外	144		2.19	
	⑨	内	175		1.62	
		外	150		2.06	
底 板	⑩	内	86.4	397	3.59	
		外	218		0.82	
	⑪	内	85.8		3.63	
		外	60.6		5.55	

(注 1) 第 42 図参照

(注 2) 基準値は $3S_m$ である。

第 16 表 底部 0.3m 垂直落下時の容器本体に対する (一次+二次)
応力及びふたボルトの評価(2/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
外 筒	⑫	内	311		467	0.50
		外	253			0.85
	⑬	内	267			0.75
		外	137			2.41
	⑭	内	260			0.80
		外	268			0.74
仕 切 板	⑮	内	61.0		406	5.66
		外	116			2.50
	⑯	内	73.6			4.52
		外	104			2.90
レ ジ ン カ バ ー	⑰	内	153		406	1.65
		外	161			1.52
	⑱	内	116	2.50		
		外	99.8	3.07		
ふ た ボ ル ト	σ_m		180	548	2.04	
	$\sigma_m + \sigma_b$		287		821	1.86

(注 1) 第 42 図参照

(注 2) ふたボルトを除く基準値は $3S_m$ である。

ふたボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

(2) 伝熱フィン

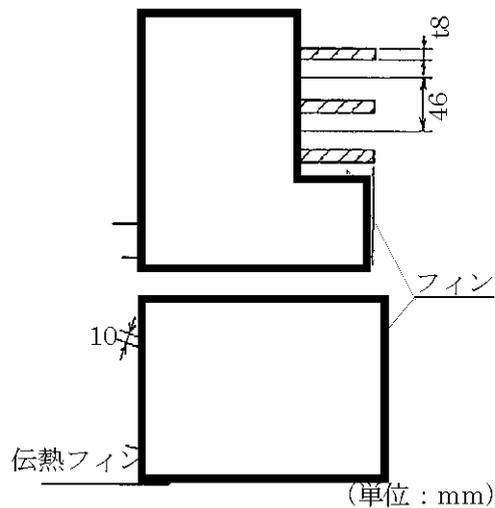
垂直落下時には、伝熱フィンの胴部取り付け部において外筒、フィン及び自重による慣性力によりせん断応力 τ (MPa)が生じる。

$$\tau = \frac{W \cdot G_V}{A}$$

但し、 W : フィン 1 ピッチ当たりの外筒、
フィン及び自重の全重量(kg)

G_V : 垂直落下時の衝撃加速度
(m/s^2)

A : フィン 1 ピッチ当たりの溶接部
のど部の面積(mm^2)



第43図 伝熱フィン取り付け部

第43図より、

$$W = (\pi \times (124.9^2 - \square) \times 8 + \pi \times (\square - \square) \times 46) \times 7.93 \times 10^{-6} + 185 \times 46 \times 10 \times 8.94 \times 10^{-6} \times 42 = 156 \text{ kg}$$

$$A = 42 \times 46 \times 10 = 1.93 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

また、 $G_V = 528 \text{ m/s}^2$

したがって、

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{156 \times 528}{1.93 \times 10^4} \\ &= 4.27 \text{ MPa} \end{aligned}$$

応力強さ S は

$$S = 2 \tau = 8.54 \text{ MPa}$$

160°Cにおける伝熱フィン材料の降伏応力 σ_y は136MPa、引張強さ σ_u は177MPaであるので、一次一般膜応力強さ(P_m)に対する基準値 S_m は設計・建設規格¹⁾に従い、次のように与えられる。

$$S_m = \min(\sigma_y/1.5, \sigma_u/3) \\ = 59.0\text{MPa}$$

したがって、余裕率MSは次のようになる。

$$MS = \frac{S_m}{S} - 1 = \frac{59.0}{8.54} - 1 \\ = 5.91$$

次に熱応力を加えた（一次＋二次）応力強さについて評価する。

5.1.4 項より、熱膨張による応力 σ_1 (MPa)は、

$$\sigma_1 = 14.5\text{MPa}$$

落下試験時のせん断応力 τ は4.27MPaであるので、（一次＋二次）応力強さ S (MPa)は次のようになる。

$$S = \sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau^2} \\ = \sqrt{14.5^2 + 4 \times 4.27^2} \\ = 16.8\text{MPa}$$

（一次＋二次）応力強さに対する基準値 $3S_m$ は、

$$3S_m = 3 \times 59.0 = 177\text{MPa}$$

であるので、余裕率MSは次のようになる。

$$MS = \frac{3S_m}{S} - 1 \\ = \frac{177}{16.8} - 1 \\ = 9.54$$

(3) 燃料被覆管

垂直落下時に燃料被覆管に生じる応力は、落下衝撃による圧縮応力 σ_c (MPa)と内圧による各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa)である。垂直落下時において最大応力強さは、燃料被覆管内面に生じるので燃料被覆管内面のみ評価する。

また、衝撃加速度が大きい頭部垂直落下時のみ評価する。

a. 落下衝撃により生じる圧縮応力

落下衝撃により生じる圧縮応力 σ_c (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_c = - \frac{W \cdot G_V}{A}$$

ここで、 W : 燃料被覆管最下端における重量(kg)

G_V : 頭部垂直落下時の衝撃加速度 = 528m/s²

A : 燃料被覆管の断面積 = $\pi(d_o^2 - d_i^2)/4$ (mm²)

d_o : 燃料被覆管の外径(mm)

d_i : 燃料被覆管の内径(mm)

b. 内圧による各方向応力

内圧 P_o により生じる各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa)は、以下の式で与えられる。

$$\sigma_z = P_o/(K^2 - 1)$$

$$\sigma_r = -(K^2/R^2 - 1)P_o/(K^2 - 1)$$

$$\sigma_\theta = (K^2/R^2 + 1) P_o/(K^2 - 1)$$

ここで、 σ_z : 軸方向応力(MPa)

σ_r : 半径方向応力(MPa)

σ_θ : 周方向応力(MPa)

$$K = b/a$$

b : 燃料被覆管外半径 = $d_o/2$ (mm)

a : 燃料被覆管内半径 = $d_i/2$ (mm)

P_o : 内圧 = 13.6MPaG

R : r/a (内面においては $R=1$)

r : 評価位置($a \leq r \leq b$)

c. 応力強さ

垂直落下時に生じる圧縮応力及び内圧により生じる各方向応力から求まる応力強さ S (MPa)は、以下の式で与えられる。

$$S = \text{Max} \{ | \sigma_{rL} - \sigma_{\theta L} |, | \sigma_{\theta L} - \sigma_{zL} |, | \sigma_{zL} - \sigma_{rL} | \}$$

ここで、 $\sigma_{rL} = \sigma_r$

$$\sigma_{\theta L} = \sigma_\theta$$

$$\sigma_{zL} = \sigma_c + \sigma_z$$

燃料被覆管材料 (ジルカロイ) の 190°Cにおける降伏応力 σ_y は、606MPa¹⁷⁾である。余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \sigma_y / S - 1$$

以上の諸式を用いて各燃料に対して計算した結果を第 17 表に示すが、各燃料被覆管に発生する応力強さは基準値以下である。

第 17 表 垂直落下時の燃料被覆管の強度評価結果

燃料タイプ	14×14 配列型 (55000MWd/t 燃料)	15×15 配列型 (55000MWd/t 燃)	17×17 配列型 (55000MWd/t 燃料)
燃料被覆管 最下端での重量 W(kg)			
燃料被覆管外径 d _o (mm)	10.72	10.72	9.50
燃料被覆管内径 d _i (mm)	9.48	9.48	8.36
応力強さ S(MPa)	125	125	121
余裕率 MS	3.85	3.85	4.01

5.3.2 水平落下

0.3m 水平落下時の衝撃力に対して、運搬用容器の本体及びふたは十分な強度で密封性を保持することを示す。運搬用容器内部のバスケット等に対する評価は条件が厳しい 9m 落下試験に対して行うので、本項では省略する。

(1) 運搬用容器本体

水平落下時の衝撃力に対する運搬用容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。

a. 解析モデル

第 44 図に水平落下時の三次元 180° 対称モデルを示す。

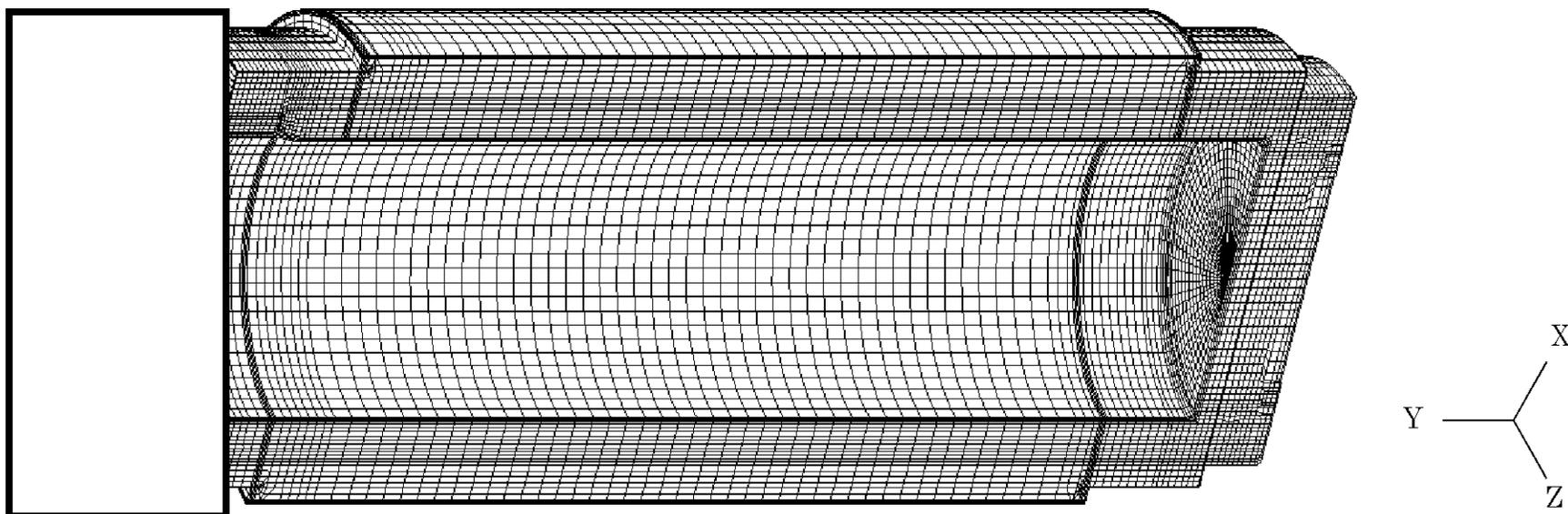
b. 荷重条件及び境界条件

(a) 荷重条件

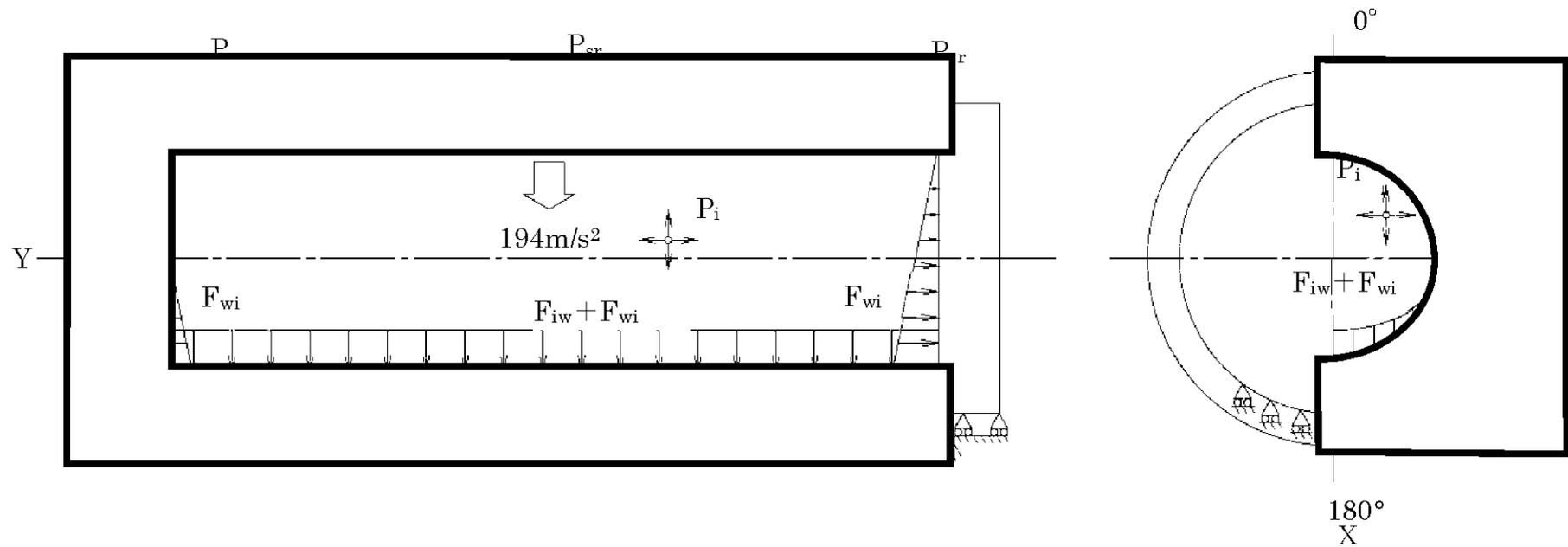
水平落下時に作用する荷重を第 45 図に示す。ここで、衝撃加速度 (194m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。内部の収納物等 (バスケット、収納物、内筒内水) の慣性力が内筒内面へ、内筒内水の衝撃圧がふた及び底部内面に働く。

(b) 境界条件

第 45 図に示すように底コーナーとふた及びフランジの緩衝体を取り付く箇所において落下方向(X)の変位を、また、 $0^\circ - 180^\circ$ 面において落下方向と直角方向(Z)の変位を拘束した。



第44図 水平落下時の三次元180°対称モデル



- P_i : 内筒内圧
- F_{wi} : 内筒内水水頭圧
- F_{iw} : 収納物の慣性力
- P_{sr} : 中性子遮蔽体充填空間圧力

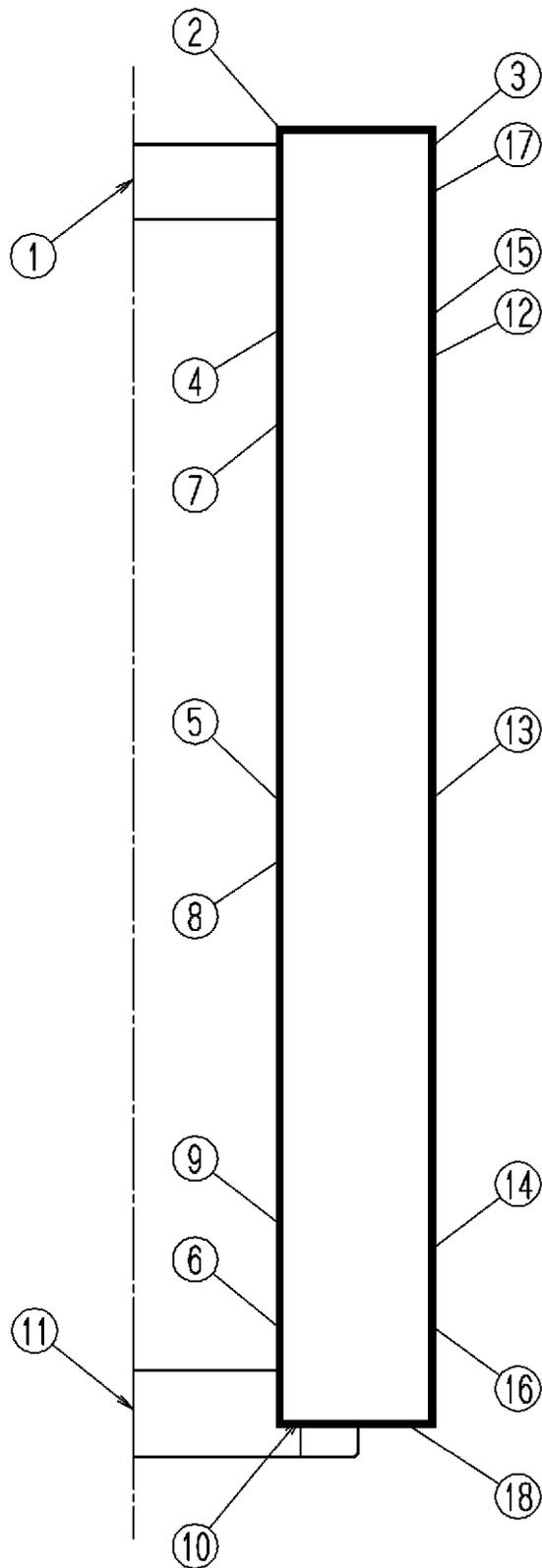
第 45 図 0.3m 水平落下時の荷重条件及び境界条件

c. 解析結果

水平落下時の主要な位置（第 46 図参照）に対する一次応力強さの評価結果を第 18 表に、（一次＋二次）応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 19 表に示す。表に示すように、すべての評価位置において 1.3 項に示す解析基準を満足する。

なお、ふたボルトの応力は Cにおける設計降伏点(821MPa)より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

水平落下時には、ふたに緩衝体からの慣性力が作用し、ふた O リング位置においてふたとフランジとの間に口開き変形が生じる。その値は 0.3mm 以下であり、O リングの初期締付代 2.5mm に比べて小さくふた部の密封性は維持される。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 46 図 0.3m 水平落下時の応力評価位置

第 18 表 0.3m 水平落下時の容器本体に対する一次応力の評価

部 位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 (注3) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	18.1		134	6.40
		$P_L + P_b$	内	23.9		201	7.41
			外	30.5		201	5.59
	②	P_L	—	58.5		201	2.44
フランジ	③	P_L	—	62.6		201	2.21
内筒	④	P_L	—	56.7		198	2.49
	⑤	P_m	—	42.0		132	2.14
	⑥	P_L	—	45.2		198	3.38
中間筒	⑦	P_L	—	45.7		230	4.03
	⑧	P_m	—	58.6		153	1.61
	⑨	P_L	—	36.7		230	5.27
底板	⑩	P_L	—	37.6		198	4.27
	⑪	P_m	—	20.3		132	5.50
		$P_L + P_b$	内	14.2		198	12.9
			外	26.4		198	6.50
外筒	⑫	P_L	—	96.5		234	1.42
	⑬	P_m	—	48.1		156	2.24
	⑭	P_L	—	73.5		234	2.18
仕切板	⑮	P_L	—	25.7	203	6.90	
	⑯	P_L	—	24.4	203	7.32	
レジン カバー	⑰	P_L	—	109	203	0.86	
	⑱	P_L	—	35.3	203	4.75	

(注 1) 第 46 図参照

(注 2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

(注 3) P_m に対する基準値は S_m 、 P_L 及び $P_L + P_b$ に対する基準値は $1.5S_m$ である。

第 19 表 0.3m 水平落下時の容器本体に対する（一次＋二次）応力
及びふたボルトの評価(1/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温 度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふ た	①	内	24.1		401	15.6
		外	27.9			13.4
	②	内	135			1.97
		外	49.9			7.04
フランジ	③	内	46.7		401	7.59
		外	116			2.46
内 筒	④	内	228		397	0.74
		外	239			0.66
	⑤	内	287			0.38
		外	236			0.68
	⑥	内	227			0.75
		外	153	1.59		
中 間 筒	⑦	内	164	459	1.80	
		外	146		2.14	
	⑧	内	160		1.87	
		外	160		1.87	
	⑨	内	155		1.96	
		外	174		1.64	
底 板	⑩	内	75.4	397	4.27	
		外	117		2.39	
	⑪	内	88.5		3.49	
		外	51.7		6.68	

(注 1) 第 46 図参照

(注 2) 基準値は $3S_m$ である。

第 19 表 0.3m 水平落下時の容器本体に対する（一次＋二次）応力
及びふたボルトの評価(2/2)

部 位	断面 ^(注1) No.	表 面	応 力 強 さ (MPa)	温度 (°C)	解析 ^(注2) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
外 筒	⑫	内	396	[Redacted]	467	0.18
		外	276			0.69
	⑬	内	192			1.43
		外	55.3			7.44
	⑭	内	374			0.25
		外	279			0.67
仕 切 板	⑮	内	73.4		406	4.53
		外	115			2.53
	⑯	内	148			1.74
		外	159			1.55
レ ジ ン カ バ ー	⑰	内	205		406	0.98
		外	246			0.65
	⑱	内	204	0.99		
		外	224	0.81		
ふ た ボ ル ト	σ_m		229	548	1.39	
	$\sigma_m + \sigma_b$		380		821	1.16

(注 1) 第 46 図参照

(注 2) ふたボルトを除く基準値は $3S_m$ である。

ふたボルトの基準値は σ_m に対して $2S_m$ 、 $\sigma_m + \sigma_b$ に対して $3S_m$ である。

(2) 燃料被覆管

水平落下時に生じる応力は、落下衝撃による曲げ応力 σ_b (MPa)と内圧による各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa)である。水平落下時において最大応力強さは、外面に生じるので外面のみ評価する。

a. 落下衝撃により生じる曲げ応力

燃料被覆管は支持格子により支持される連続梁とみなすことができ、1つの支持スパン内の部分を考えると両端固定梁となる。したがって、落下衝撃により生じる最大曲げ応力 σ_b (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = M \cdot d_o / (2I)$$

$$M = 1/12 \times (W_f + W_c) \cdot \ell^2 \cdot G_H$$

$$I = \pi / 64 \times (d_o^4 - d_i^4)$$

ここで、 M : 曲げモーメント(N・mm)

G_H : 水平落下時の衝撃加速度=194m/s²

I : 断面二次モーメント(mm⁴)

W_f : ペレット単位長さ当たり重量(kg/mm)

W_c : 燃料被覆管単位長さ当たり重量(kg/mm)

ℓ : 支持スパン(mm)

d_o : 燃料被覆管外径(mm)

d_i : 燃料被覆管内径(mm)

b. 内圧による各方向応力

内圧 P_o により生じる各方向応力 σ_z 、 σ_r 、 σ_θ (MPa)は、以下の式で与えられる。

$$\sigma_z = P_o / (K^2 - 1)$$

$$\sigma_r = -(K^2/R^2 - 1)P_o / (K^2 - 1)$$

$$\sigma_\theta = (K^2/R^2 + 1)P_o / (K^2 - 1)$$

ここで、 σ_z : 軸方向応力(MPa)

σ_r : 半径方向応力(MPa)

σ_θ : 周方向応力(MPa)

$$K = b/a$$

b : 燃料被覆管外半径 = $d_o/2$ (mm)

a : 燃料被覆管内半径 = $d_i/2$ (mm)

P_o : 内圧 = 13.6MPaG

$$R = r/a$$

r : 評価位置($a \leq r \leq b$)

c. 応力強さ

水平落下時に生じる曲げ応力及び内圧により生じる各方向応力から求まる最大応力強さ S (MPa)は、以下の式で与えられる。

$$S = \text{Max} \{ |\sigma_{rL} - \sigma_{\theta L}|, |\sigma_{\theta L} - \sigma_{zL}|, |\sigma_{zL} - \sigma_{rL}| \}$$

$$\text{ここで、 } \sigma_{rL} = \sigma_r$$

$$\sigma_{\theta L} = \sigma_{\theta}$$

$$\sigma_{zL} = -\sigma_b + \sigma_z$$

燃料被覆管材料（ジルカロイ）の 190°C における降伏応力 σ_y は、 606MPa ¹⁷⁾である。余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \sigma_y / S - 1$$

以上の諸式を用いて各燃料に対して計算した結果を第 20 表に示すが、各燃料被覆管に発生する応力強さは基準値以下である。

第 20 表 水平落下時の燃料被覆管の強度評価結果

燃料タイプ	14×14 配列型 (55000MWd/t 燃料)	15×15 配列型 (55000MWd/t 燃料)	17×17 配列型 (55000MWd/t 燃料)
ペレット単位長さ当たり 重量 W_f (kg/mm)			
燃料被覆管単位長さ当たり 重量 W_c (kg/mm)			
支持スパン l (mm)			
燃料被覆管外径 d_o (mm)	10.72	10.72	9.50
燃料被覆管内径 d_i (mm)	9.48	9.48	8.36
応力強さ S (MPa)	176	176	133
余裕率 MS	2.44	2.44	3.56

5.3.3 コーナー落下

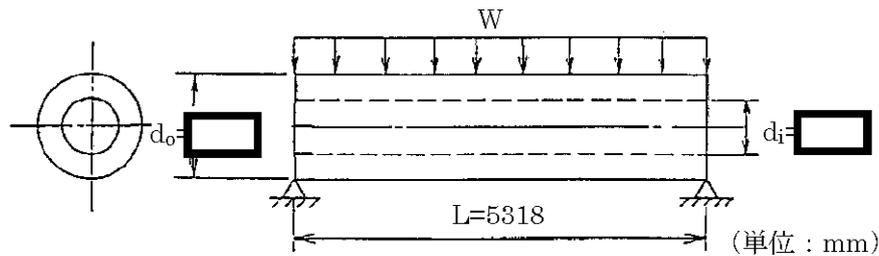
第 12 表に示すように、コーナー落下時の衝撃加速度は垂直落下及び水平落下時に比べて小さい。したがって、垂直及び水平落下時に比べて条件が厳しくないのでコーナー落下時に運搬用容器及び収納物の構造健全性が損われることはない。

5.4 積み重ね試験

本項の条件としては、輸送物の構造解析上の総重量である $1.15 \times 10^5 \text{kg}$ の 5 倍に相当する $5.75 \times 10^5 \text{kg}$ ($5.64 \times 10^6 \text{N}$) の荷重の方が、本運搬用容器の鉛直投影面積に $1.3 \times 10^{-2} \text{MPa}$ を乗じて得た値に相当する荷重より大きいので、 $5.75 \times 10^5 \text{kg}$ ($5.64 \times 10^6 \text{N}$) の荷重が運搬用容器の軸に垂直方向にかかる場合及び軸方向にかかる場合について行う。

(1) 軸に垂直な方向の荷重の場合

本輸送物本体は円筒構造であるので、最も厳しい条件として第 47 図に示すように、長さ L 、外径 d_o 、内径 d_i の円筒（中間筒）を横置きにして両端を支持し、鉛直方向に $5.64 \times 10^6 \text{N}$ が等分布荷重として負荷した場合について解析する。



第 47 図 両端支持された容器の解析モデル図

この場合荷重を受けるのは運搬用容器本体であり、緩衝体が両端支持として働く。運搬用容器本体を梁と仮定すれば、生じる最大曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M_{\max} \cdot d_o}{2 \cdot I}$$

但し、 M_{\max} : 最大曲げモーメント(N・mm) = $\frac{1}{8}WL$

L : 円筒の長さ(mm)

I : 円筒の中心軸に垂直な断面における Z 軸に関する断面二次モーメント(mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (d_o^4 - d_i^4)$$

d_o : 円筒外径(mm)

d_i : 円筒内径(mm)

W : 荷重(N)

ここで、運搬用容器をこの円筒とみなし、

W = 5.64 × 10⁶N (輸送物総重量の 5 倍の荷重)

L = 5318mm (運搬用容器本体の全長)

d_o = mm (中間筒の外径)

d_i = mm (中間筒の内径)

したがって、

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \times 5.64 \times 10^6 \times 5318 \\ &= 3.75 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi}{64} \times \left[\text{} - \text{} \right] \\ &= \text{} \text{mm}^4 \end{aligned}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{3.75 \times 10^9 \times \text{}}{2 \times \text{}} \\ &= 21.0 \text{MPa} \end{aligned}$$

一方、中間筒の材料の C における設計降伏点 S_y は 230MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{\sigma_b} - 1 \\ &= \frac{230}{21.0} - 1 \\ &= 9.95 \end{aligned}$$

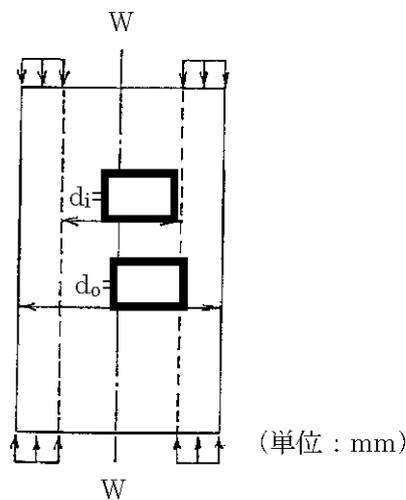
したがって、本輸送物は、軸に垂直な方向の荷重により変形することはない。

(2) 軸方向の荷重の場合

第 48 図に示すように、円筒を縦置きにし、円筒の軸方向に両端から等分布荷重 W をかけたとき円筒に生じる圧縮応力 σ_c (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_c = \frac{W}{\pi (d_o^2 - d_i^2) / 4}$$

但し、 W : 荷重(N)
 d_i : 円筒内径(mm)
 d_o : 円筒外径(mm)



第 48 図 両端より圧縮される容器の解析モデル

ここで、中間筒をこの円筒とみなし、

$W = 5.64 \times 10^6 \text{ N}$ (輸送物総重量の 5 倍の荷重)

$d_i = \boxed{} \text{ mm}$

$d_o = \boxed{} \text{ mm}$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{5.64 \times 10^6}{\pi \times (\boxed{} - \boxed{}) / 4} \\ &= 13.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

一方、中間筒の材料の \square Cにおける設計降伏点 S_y は 230MPa であるので、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 \\ &= \frac{230}{13.0} - 1 \\ &= 16.7\end{aligned}$$

したがって、本輸送物は、軸方向の圧縮荷重により圧潰することはない。

5.5 貫 通

本項では、重量 6kg、直径 3.2cm の軟鋼棒が 1m の高さから本輸送物外表面で最も板厚の薄いレジンカバー（板厚 \square mm）へ落下するとした場合に、レジンカバーが破断し軟鋼棒が内部に貫通しないことを示す。

6kg の軟鋼棒が 1m の高さから落下したときの落下エネルギー $E(\text{N}\cdot\text{mm})$ は、次式で与えられる。

$$E = W \cdot H \cdot g$$

但し、 W : 軟鋼棒の重量(kg)

H : 落下高さ(mm)

g : 重力加速度(m/s^2)

ここで、 $W = 6\text{kg}$

$H = 1000\text{mm}$

$g = 9.8\text{m}/\text{s}^2$

したがって、

$$E = 5.88 \times 10^4 \text{N}\cdot\text{mm}$$

となる。

軟鋼棒がレジンカバーへ落下し、貫通する最小エネルギーは落下エネルギーが第 49 図に示すようにレジンカバーのせん断に消費される場合である。この場合のせん断に要するエネルギー $E_s(\text{N}\cdot\text{mm})$ は、次式で与えられる。

$$E_s = 1/2 \cdot \pi \cdot d \cdot t^2 \cdot S$$

但し、 d : 軟鋼棒の直径(mm)

t : レジンカバーの板厚(mm)

S : レジンカバーのせん断強さ(MPa)

ここで、d=32mm

$$t = \square \text{ mm}$$

せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき、設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とすると、

$$S = 418/\sqrt{3} = 241 \text{ MPa} (\square \text{ C})$$

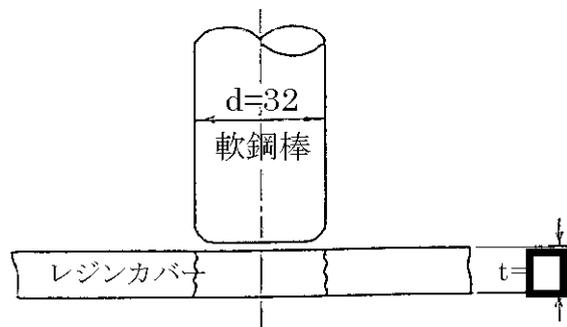
$$E_s = 1/2 \times \pi \times 32 \times \square \times 241$$

$$= \square \text{ N}\cdot\text{mm}$$

となる。落下エネルギーE とせん断エネルギーE_s を比較すると、

$$E = 5.88 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{mm} < E_s = \square \text{ N}\cdot\text{mm}$$

であるのでレジンカバーは軟鋼棒の落下によりせん断破壊せず、軟鋼棒はレジンカバーを貫通しない。



(単位 : mm)

第 49 図 せん断による貫通モデル図

その他の輸送物の外表面のステンレス材は全てレジンカバーより厚いので、せん断破損は起こらず、熱解析及び遮蔽解析への影響は無視できる。

5.6 角又は縁落下

本輸送物は、鋼製の円筒形で重量は 115 トンであり、角又は縁落下は該当しない。

5.7 結果の要約及びその評価

(1) 解析結果の要約

一般の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を第 21 表に示す。表に示すように、自由落下試験により緩衝体に永久変形が生じるが、各試験条件下において輸送物各部は 1.3 項に定めた基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

第 21 表 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(1/3)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率 (MS) 等	
一般 の 試 験 条 件	熱 的 試 験					
	一次応力					
	ふ た	(P_L+P_b)	$1.5S_m$	201	14.8	12.6
	フランジ	(P_L)	$1.5S_m$	201	7.31	26.5
	内 筒	(P_m)	S_m	132	12.1	9.91
	内 筒	(P_L)	$1.5S_m$	198	13.5	13.7
	中 間 筒	(P_m)	S_m	153	7.56	19.2
	中 間 筒	(P_L)	$1.5S_m$	230	8.65	25.6
	底 板	(P_L+P_b)	$1.5S_m$	198	6.93	27.6
	外 筒	(P_m)	S_m	156	21.5	6.26
	外 筒	(P_L)	$1.5S_m$	234	16.3	13.4
	仕 切 板	(P_L)	$1.5S_m$	203	5.60	35.3
	レジンカバー	(P_L)	$1.5S_m$	203	8.57	22.7
	(一次+二次) 応力					
	ふ た		$3S_m$	401	49.3	7.13
	フランジ		$3S_m$	401	62.7	5.40
	内 筒		$3S_m$	397	288	0.38
	中 間 筒		$3S_m$	459	157	1.92
	底 板		$3S_m$	397	134	1.96
	外 筒		$3S_m$	467	281	0.66
	仕 切 板		$3S_m$	406	118	2.44
	レジンカバー		$3S_m$	406	169	1.40
	ふたボルト	(σ_m)	$2S_m$	548	189	1.90
	ふたボルト	($\sigma_m+\sigma_b$)	$3S_m$	821	315	1.61
	伝熱フィン		$3S_m$	177	14.5	11.2
	疲労評価					
	外 筒		許容繰返し回数 以下であること	許容繰返し回数 4.7×10^2 回	使用計画回数 300 回	基準に合致
ふたボルト			9.3×10^2 回	300 回	基準に合致	
水 噴 霧 試 験						
		吸水性 水切り	無 良	無 良	基準に合致 基準に合致	

第 21 表 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(2/3)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率 (MS) 等	
一般の試験条件	自由落下試験					
	1. 頭部垂直落下					
	一次応力					
		ふ た (P _L)	1.5S _m	201	141	0.43
		フランジ (P _L)	1.5S _m	201	41.9	3.80
		内 筒 (P _m)	S _m	132	36.4	2.63
		内 筒 (P _L)	1.5S _m	198	101	0.96
		中 間 (P _m)	S _m	153	35.2	3.35
		中 間 (P _L)	1.5S _m	230	71.9	2.20
		底 板 (P _L +P _b)	1.5S _m	198	4.06	47.8
		外 筒 (P _m)	S _m	156	93.3	0.67
		外 筒 (P _L)	1.5S _m	234	60.4	2.87
		仕 切 板 (P _L)	1.5S _m	203	74.1	1.74
		レジンカバー (P _L)	1.5S _m	203	62.1	2.27
		伝熱フィン (P _m)	S _m	59.0	8.54	5.91
		(一次+二次) 応力				
		ふ た	3S _m	401	157	1.55
		フランジ	3S _m	401	110	2.65
		内 筒	3S _m	397	343	0.16
		中 間	3S _m	459	170	1.70
		底 板	3S _m	397	131	2.03
		外 筒	3S _m	467	346	0.35
		仕 切 板	3S _m	406	159	1.55
		レジンカバー	3S _m	406	189	1.15
		ふたボルト (σ _m)	2S _m	548	136	3.03
		ふたボルト (σ _m +σ _b)	3S _m	821	158	4.20
		伝熱フィン	3S _m	177	16.8	9.54
		燃料被覆管	σ _y	606	125	3.85
		2. 底部垂直落下				
		一次応力				
	ふ た (P _L)	1.5S _m	201	8.04	24.0	
	フランジ (P _L)	1.5S _m	201	8.03	24.0	
	内 筒 (P _m)	S _m	132	39.5	2.34	
	内 筒 (P _L)	1.5S _m	198	58.2	2.40	
	中 間 (P _m)	S _m	153	38.4	2.98	
	中 間 (P _L)	1.5S _m	230	74.4	2.09	
	底 板 (P _L)	1.5S _m	198	40.2	3.93	
	外 筒 (P _m)	S _m	156	107	0.46	
	外 筒 (P _L)	1.5S _m	234	56.2	3.16	
	仕 切 板 (P _L)	1.5S _m	203	74.1	1.74	
	レジンカバー (P _L)	1.5S _m	203	96.0	1.11	
	(一次+二次) 応力					
	ふ た	3S _m	401	45.7	7.77	
	フランジ	3S _m	401	61.5	5.52	
	内 筒	3S _m	397	368	0.08	

第 21 表 一般の試験条件に対する構造解析結果の要約(3/3)

条件	項目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率 (MS) 等	
一般の試験条件	中間筒	$3S_m$	459	175	1.62	
	底板	$3S_m$	397	218	0.82	
	外筒	$3S_m$	467	311	0.50	
	仕切板	$3S_m$	406	116	2.50	
	レジンカバー	$3S_m$	406	161	1.52	
	ふたボルト (σ_m)	$2S_m$	548	180	2.04	
	ふたボルト ($\sigma_m + \sigma_b$)	$3S_m$	821	287	1.86	
	3. 水平落下					
	一次応力					
		ふた (P_L)	$1.5S_m$	201	58.5	2.44
		フランジ (P_L)	$1.5S_m$	201	62.6	2.21
		内筒 (P_m)	S_m	132	42.0	2.14
		内筒 (P_L)	$1.5S_m$	198	56.7	2.49
		中間筒 (P_m)	S_m	153	58.6	1.61
		中間筒 (P_L)	$1.5S_m$	230	45.7	4.03
		底板 (P_L)	$1.5S_m$	198	37.6	4.27
		外筒 (P_m)	S_m	156	48.1	2.24
		外筒 (P_L)	$1.5S_m$	234	96.5	1.42
		仕切板 (P_L)	$1.5S_m$	203	25.7	6.90
		レジンカバー (P_L)	$1.5S_m$	203	109	0.86
	(一次+二次) 応力					
		ふた	$3S_m$	401	135	1.97
		フランジ	$3S_m$	401	116	2.46
		内筒	$3S_m$	397	287	0.38
		中間筒	$3S_m$	459	174	1.64
		底板	$3S_m$	397	117	2.39
		外筒	$3S_m$	467	396	0.18
		仕切板	$3S_m$	406	159	1.55
		レジンカバー	$3S_m$	406	246	0.65
		ふたボルト (σ_m)	$2S_m$	548	229	1.39
	ふたボルト ($\sigma_m + \sigma_b$)	$3S_m$	821	380	1.16	
	燃料被覆管	σ_y	606	176	2.44	
4. コーナー落下		衝撃加速度が垂直及び水平落下に比べて小さいので、垂直及び水平落下の結果より厳しくない。				
積み重ね試験						
軸に垂直な方向		S_y	230	21.0	9.95	
軸方向		S_y	230	13.0	16.7	
貫通						
レジンカバー		せん断エネルギー	<input type="text" value=""/> N・mm	5.88×10^4 N・mm	基準に合致	

(2) 一般の試験条件におけるふた部 O リング密封性の評価（歪レベルの評価）

一般の試験条件のうち、ふた部 O リングの密封性に影響を及ぼす熱的試験、落下試験及び貫通試験に対して検討した。ふた部の O リング取り付け位置での口開き変形量の計算結果と O リングの初期締付代との比較を第 22 表に示す。表に示すように、O リング位置での口開き変形量は基準値より十分小さく、密封性が損われることはない。

第 22 表 一般の試験条件に対するふた部密封境界の歪レベル評価

条 件	O リング位置でのふたとフランジとの相対口開き変形量	基 準 値
熱 的 試 験	0.05mm 以下	O リング初期 締付代=2.5mm
自 由 落 下	0.3mm 以下（水平落下）	
6 k g 棒 貫 通	条件がより厳しい特別の試験条件にて評価	

6. 特別の試験条件

本節では本輸送物が規則及び告示に規定された特別の試験条件下において、1.3項設計基準に示す基準を満足することを示す。

特別の試験は強度試験に引き続いて熱的試験が行われるとする。熱的試験に影響を及ぼす強度試験による変形は、輸送物の熱的性能に関係するフィン及び緩衝体の変形である。9m 落下試験と 1m 貫通試験の試験順序の違いによってこれらの破損又は変形に有意な差は生じないので、これらに引き続く熱的試験においては、強度試験の順序の違いは輸送物に影響を与えない。したがって、強度試験は 9m 落下試験に続いて 1m 貫通試験が行われるとして解析する。

6.1 強度試験・落下試験 I (9m 落下時)

連続して起こる特別の試験の第一番目は、輸送物が最大破損を受けるよう、平らな降伏しない落下試験台上に 9m の高さから輸送物を落下させるものである。

本項では輸送物が 9m 落下した場合、その落下エネルギーが、運搬用容器端部に取り付けられた緩衝体及びフィンの変形によって吸収され、輸送物に加わる衝撃力が十分緩和されることを示し、それに対する輸送物の健全性を検討する。

(1) 解析モデル

a. 解析する落下姿勢

輸送物が最大破損を受ける落下方向としては次の 4 種類を考える。

- (a) 垂直落下
- (b) 水平落下
- (c) コーナー落下（落下点が輸送物の重心を通る鉛直線上にある場合）
- (d) 傾斜落下

ここで、傾斜落下については、垂直落下、水平落下及びコーナー落下との比較により評価する。

b. 解析方法

- (a) 解析に当たっては、落下試験台を剛体とし、落下エネルギーは輸送物でのみ吸収するものと仮定する。この仮定により、輸送物の変形量を大きめに評価することになる。
- (b) 解析に用いる輸送物の重量に関する数値は、輸送物最大総重量 115 トンを用いる。

落下エネルギー $E_K(N\cdot mm)$ は、次式で与えられる。

$$E_K = W \cdot g \cdot H$$

但し、 W ：輸送物の重量(kg)

g ：重力加速度(m/s^2)

H ：落下高さ(mm)

ここで、 $W = 115 \times 10^3 kg$

$g = 9.8 m/s^2$

$H = 9 \times 10^3 mm$

したがって、

$$E_K = 1.015 \times 10^{10} N \cdot mm$$

- (c) 緩衝体は、第 14 図及び第 15 図に示すとおり、カバープレート及び内部のリブがステンレス鋼(SUS304)製であり、カバープレートで囲まれた空間にはファープライウッド及びオーク材が詰められている。

また、外筒にはフィンが取り付けられており、9m 水平落下の場合には緩衝体のファープライウッド及びオーク材とフィンがエネルギー吸収に寄与する。

- (d) 緩衝体の変形量と衝撃力の計算方法は 5.3(1)b 項に示す方法と同様に行う。
- (e) 9m 水平落下の場合のフィンのエネルギー吸収量と衝撃力の計算はフィンの落下衝撃実験の結果を基に作成された変形量－エネルギー吸収量関係を用いて行う。¹⁶⁾
- (f) 9m 水平落下の場合には、変形量によってはトラニオンが落下台に衝突する可能性があるため、衝撃力のみを考慮する。

第 8 図に示すようにトラニオン底部は中空となっており、頭部に衝撃力が作用すると肩部がせん断破壊して頭部が底部中空部に埋め込まれる構造となっている。この場合のせん断破壊に要する荷重(F)は、次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

ここで、 d : トラニオン頭部直径(120mm)

t : トラニオン肩部厚み(40mm)

$$S : \text{せん断強さ} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times S_u$$

S_u : トラニオン材の設計引張強さ(930MPa)

したがって、

$$\begin{aligned} F &= \pi \times 120 \times 40 \times 930 / \sqrt{3} \\ &= 8.10 \times 10^6 \text{N} \end{aligned}$$

c. 垂直落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

(a) 頭部垂直落下

解析モデルを第 50 図に示す。斜線を施した部分、すなわち緩衝体内の木材が深さ δ だけ圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

b.(d)項に示した方法により求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 51 図に示す。

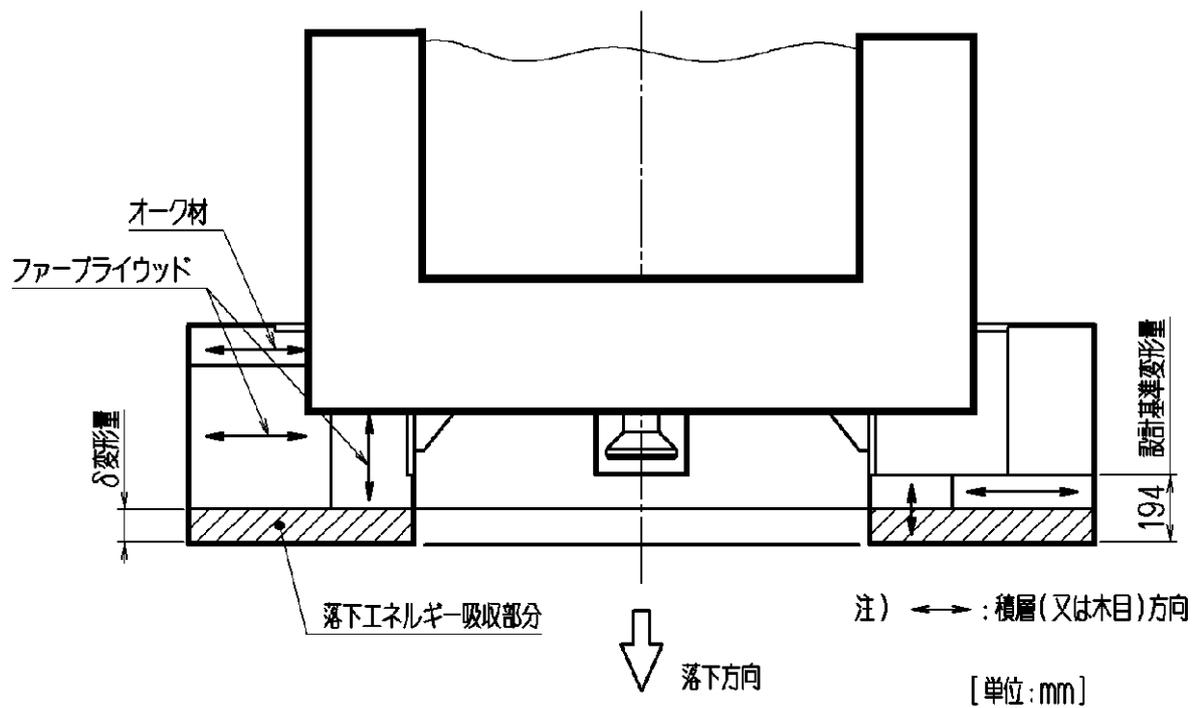
第 51 図より、落下エネルギー E_K に対応する変形量は 139mm であり、衝撃加速度は、次のようになる。

$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{10.29 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 895 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

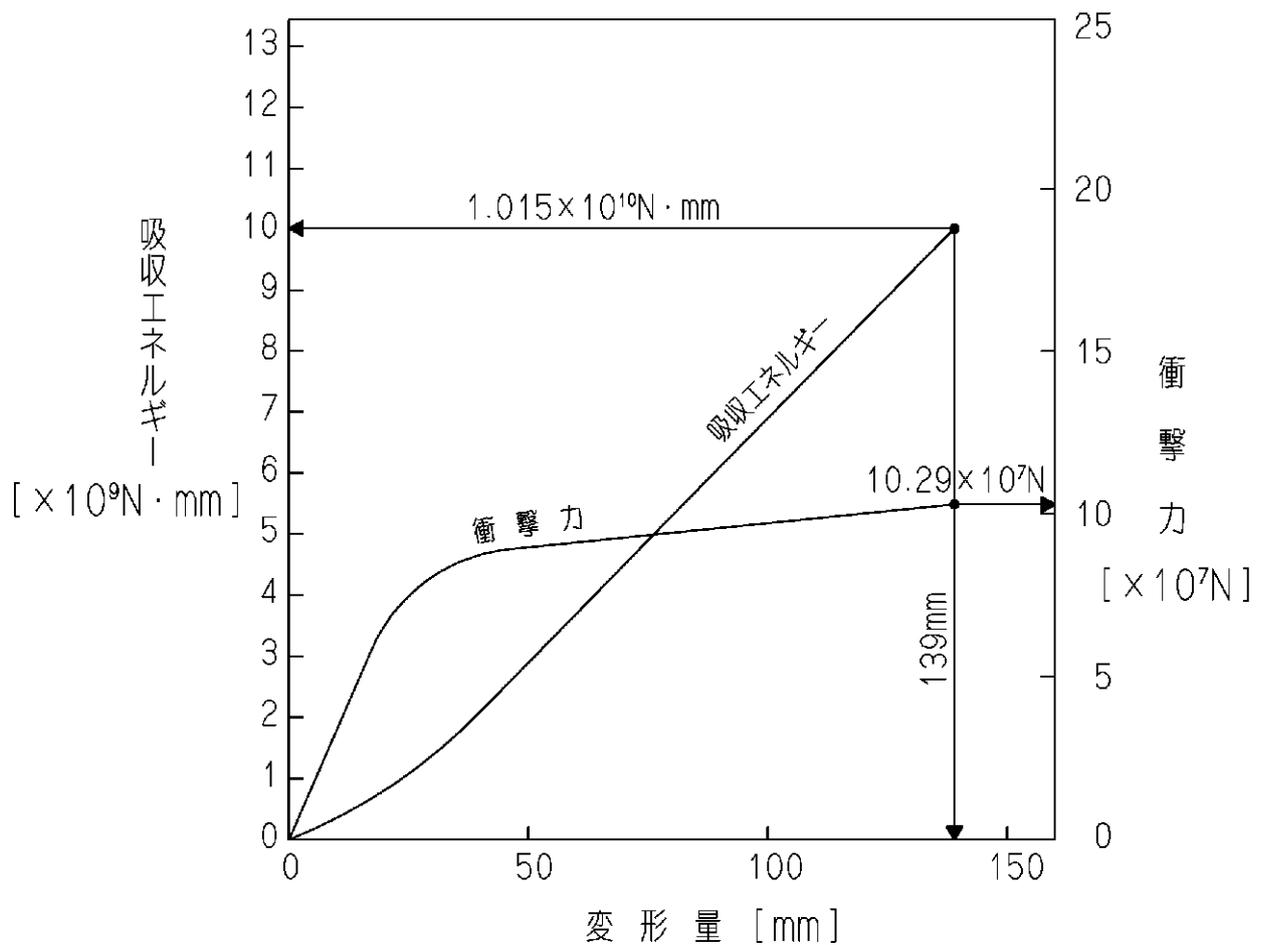
(b) 底部垂直落下

第 52 図に底部垂直落下時の解析モデルを示す。(a)項と同様にして求めた変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 53 図に示すが、落下エネルギー E_K に対応する変形量は 140mm であり、衝撃加速度は、次のようになる。

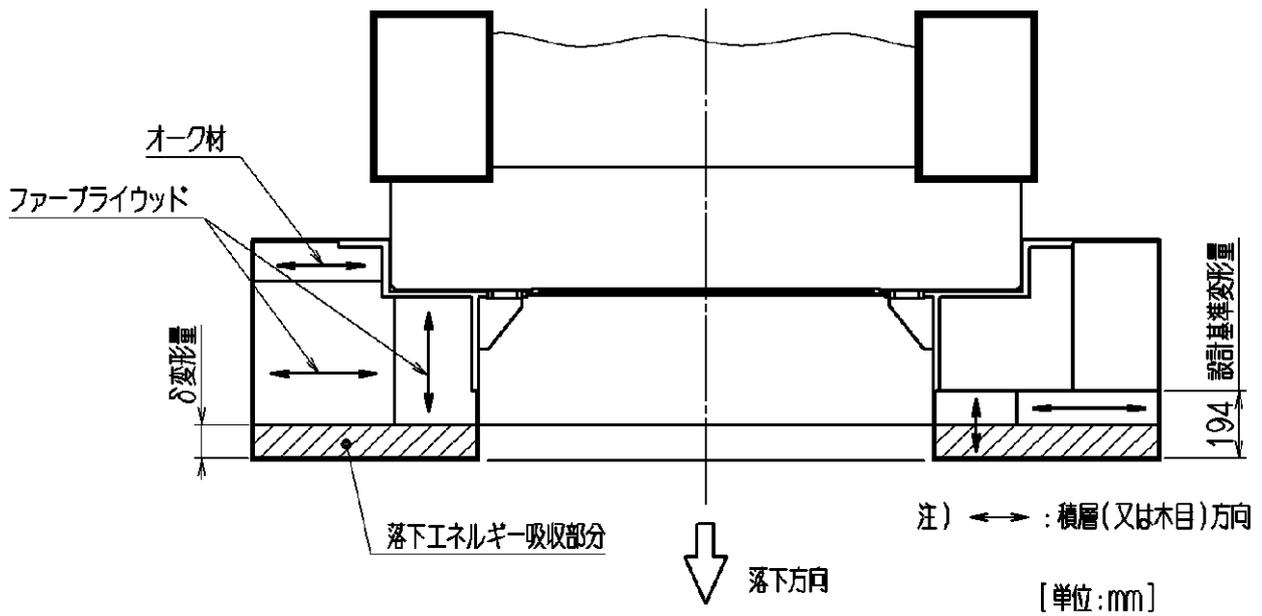
$$\begin{aligned} G_v &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{10.23 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 890 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$



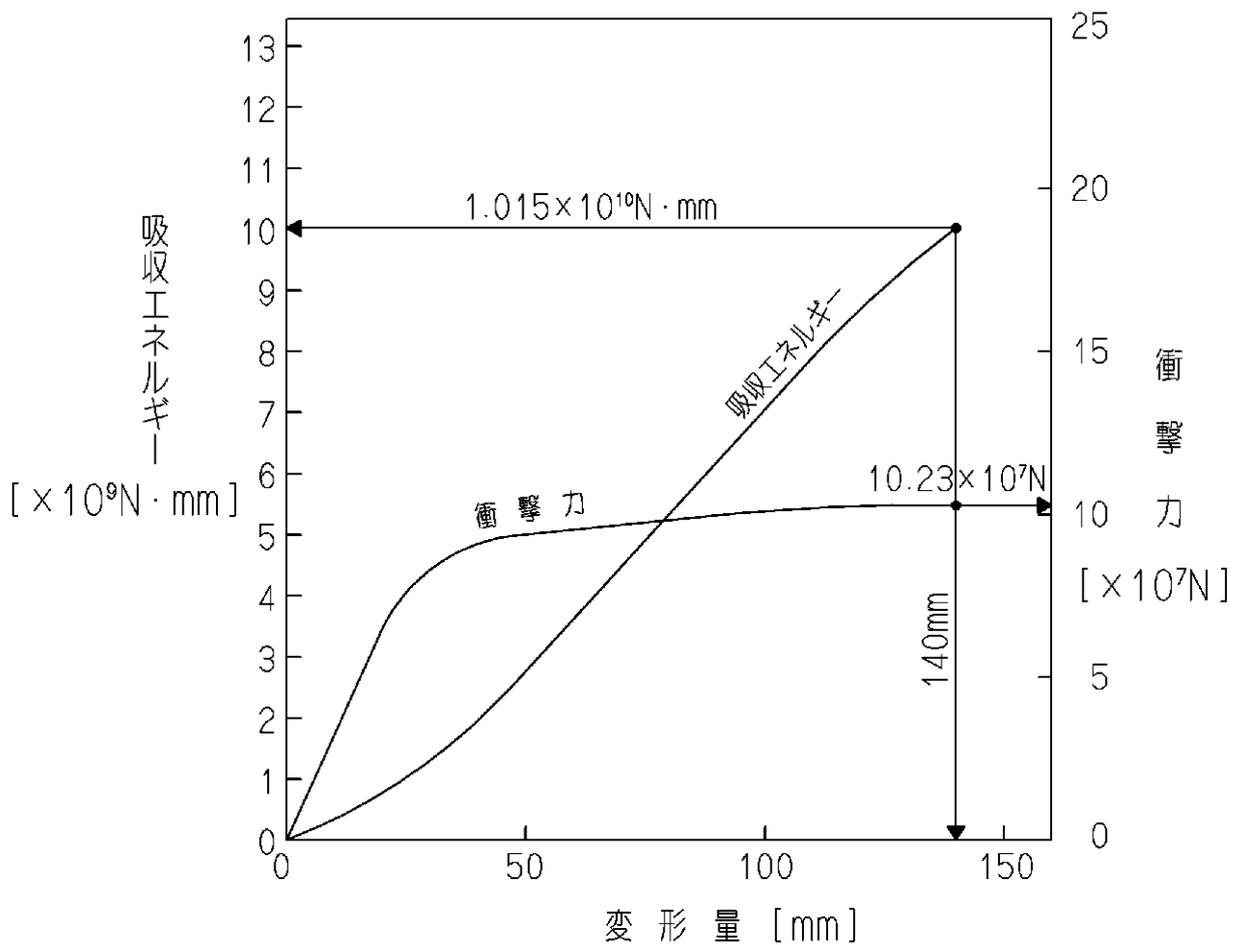
第 50 図 頭部垂直落下解析モデル



第 51 図 頭部垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



第 52 図 底部垂直落下解析モデル



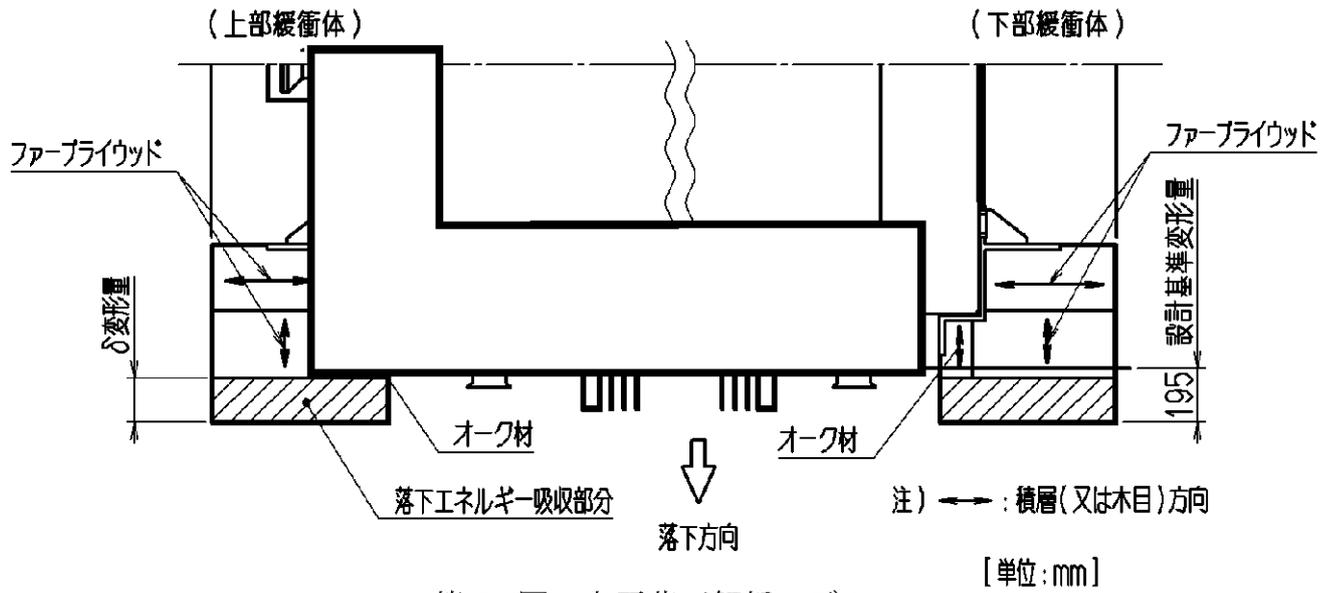
第 53 図 底部垂直落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

d. 水平落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

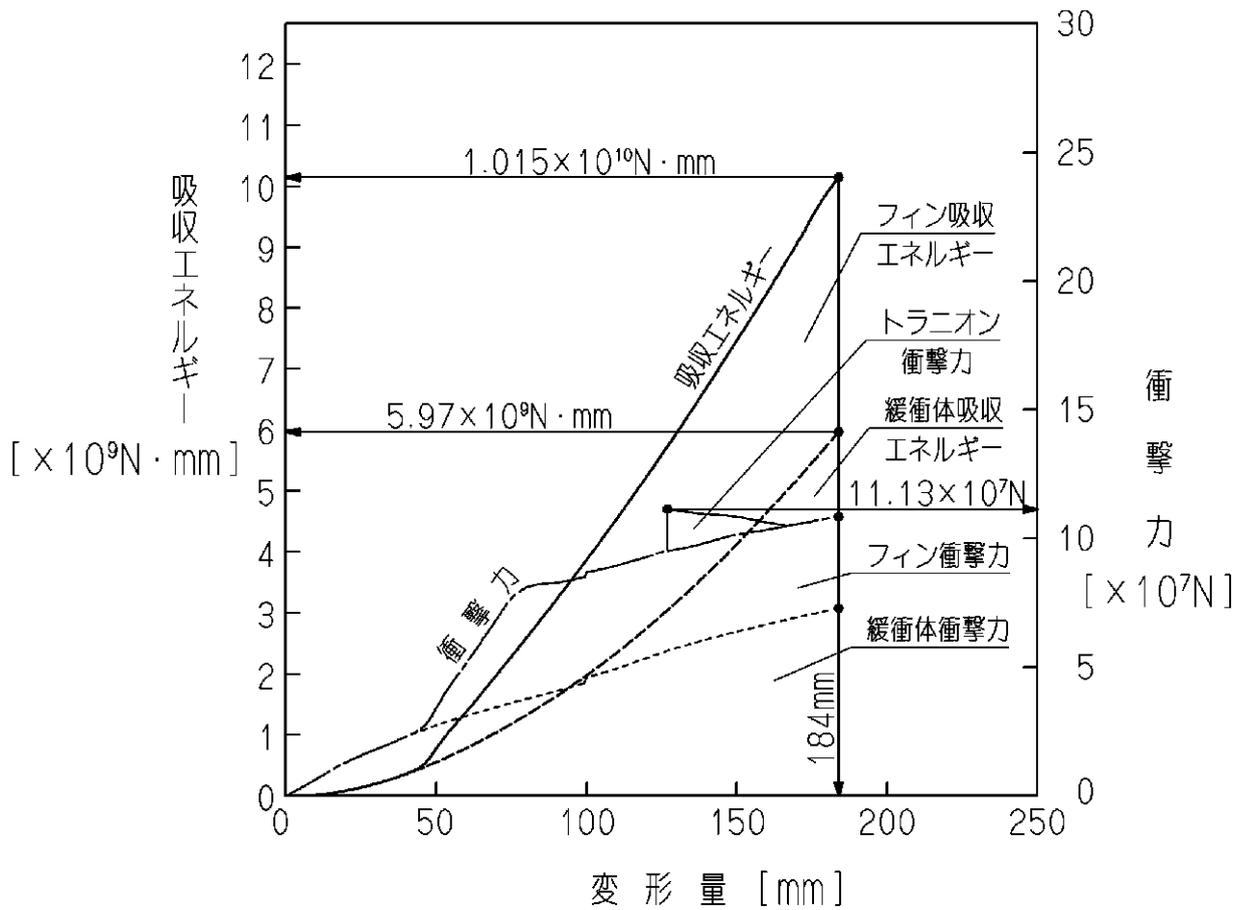
解析モデルを第 54 図に示す。図において斜線を施した部分の木材及びフィンが圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第 55 図に示す。図より、落下エネルギー E_R に対応する変形量は 184mm であり、最大の衝撃加速度はトラニオン衝突時であり次のようになる。

$$\begin{aligned} G_H &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{11.13 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 968 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$



第54図 水平落下解析モデル



第55図 水平落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

e. コーナー落下時の緩衝体の変形量と衝撃加速度

(a) 頭部コーナー落下

2項の重量及び重心の項で述べたように輸送物の頭部コーナーと重心を結ぶ直線及び中心軸のなす角は である。

第56図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第57図に示す。

図より落下エネルギー E_K に対応する変形量は457mmであり、衝撃加速度は、次のようになる。

$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{6.57 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 571 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

(b) 底部コーナー落下

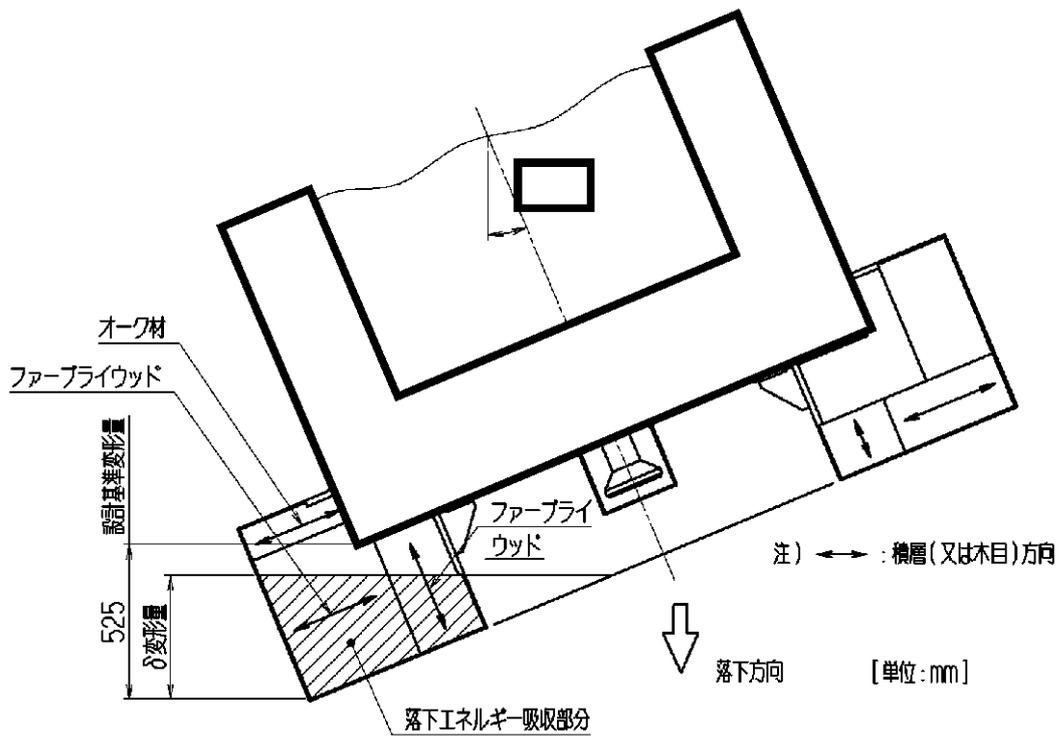
2項の重量及び重心の項で述べたように輸送物の底部コーナーと重心を結ぶ直線及び中心軸のなす角は である。

第58図に示す解析モデルにおいて斜線を施した部分の木材が圧潰して落下エネルギーを吸収するものとする。

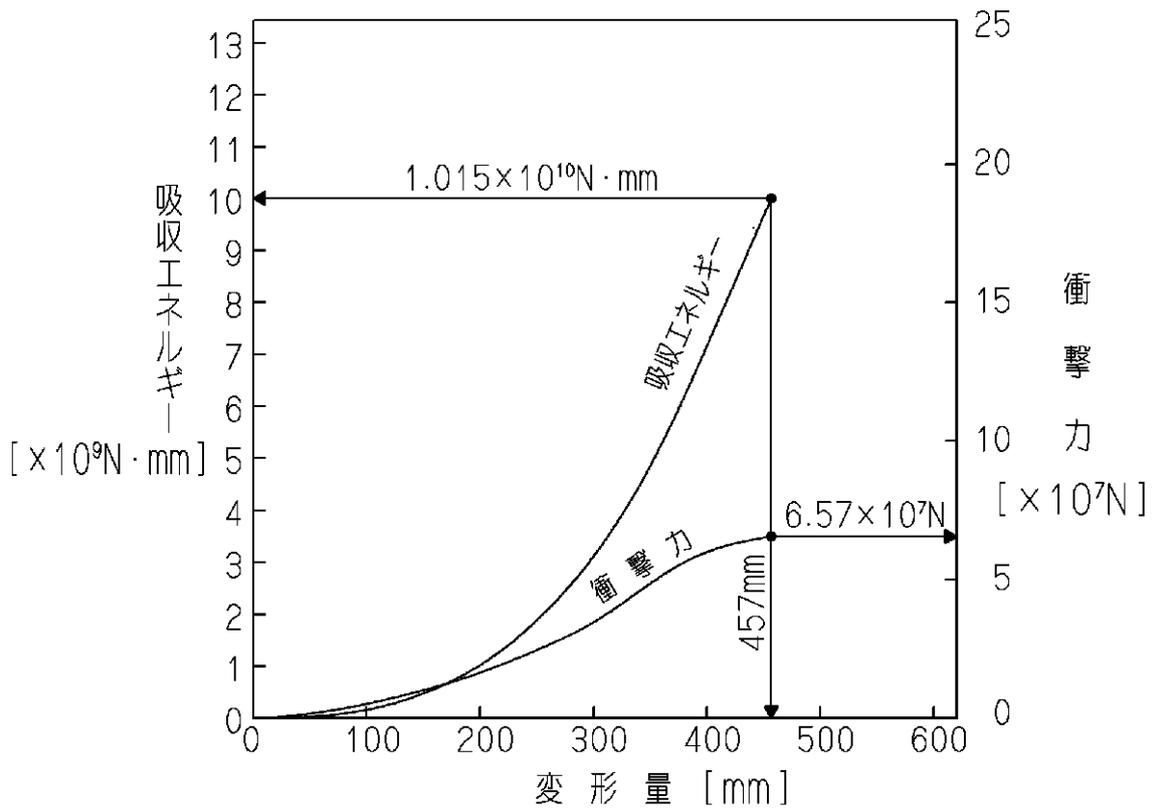
変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係を第59図に示す。

図より落下エネルギー E_K に対応する変形量は460mmであり、衝撃加速度は、次のようになる。

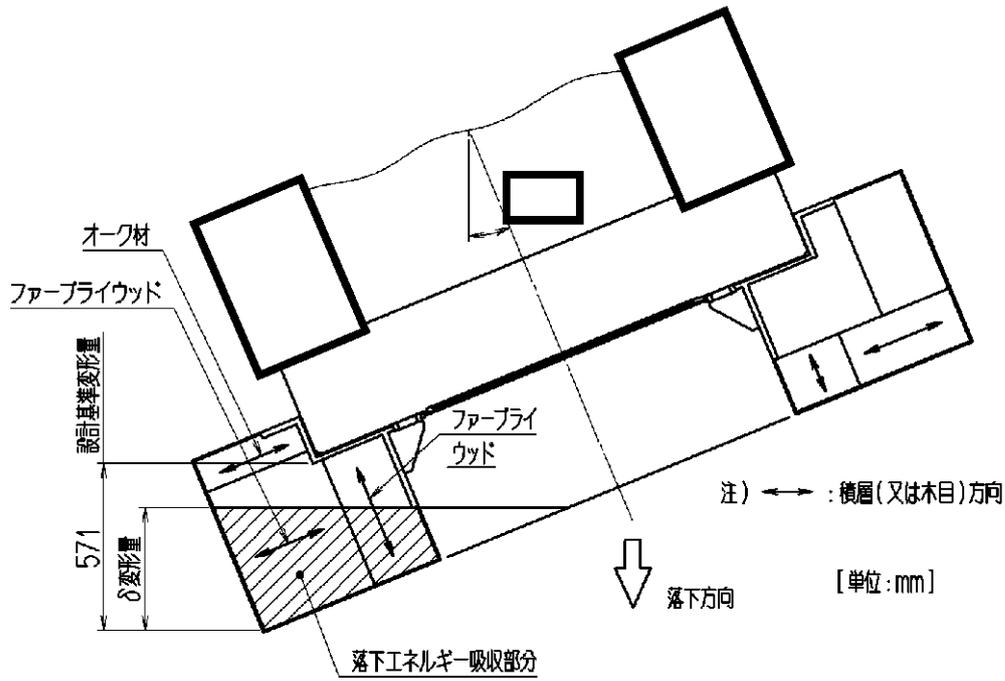
$$\begin{aligned} G_c &= \frac{F}{W} \\ &= \frac{6.65 \times 10^7}{115 \times 10^3} \\ &= 578 \text{m/s}^2 \end{aligned}$$



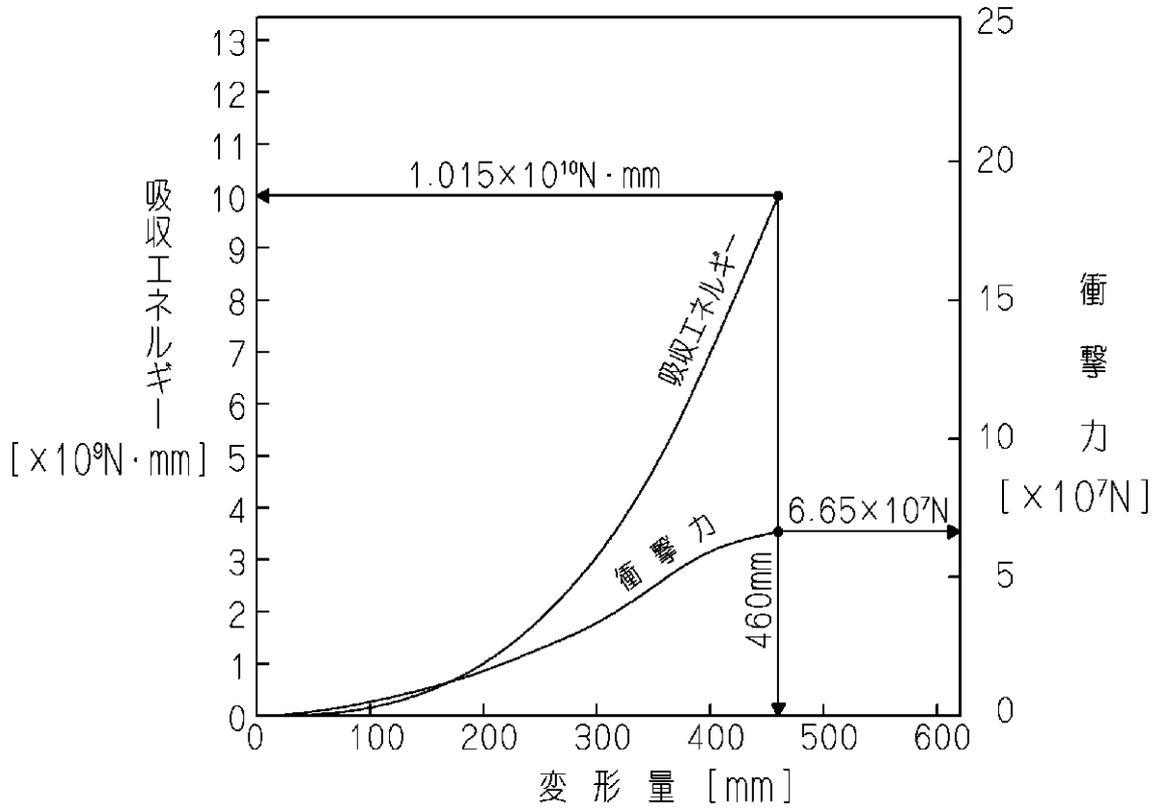
第 56 図 頭部コーナー落下解析モデル



第 57 図 頭部コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係



第 58 図 底部コーナー落下解析モデル



第 59 図 底部コーナー落下時の変形量と吸収エネルギー及び衝撃力との関係

f. 解析結果の要約

9m 落下試験時の緩衝体及びフィンの変形量と衝撃加速度の解析結果の要約を第 23 表に示す。

第 23 表に示すとおり、9m 落下試験時に輸送物の緩衝体及びフィンに圧潰変形が生じる。特別の試験条件における熱解析においては、緩衝体からの入熱量は緩衝体の変形すると多くなると考えられるので、変形を考慮する。

また、遮蔽解析においては緩衝体及びフィンを無視して評価する。

第 23 表 9m 落下試験時の衝撃加速度と緩衝体及びフィンの変形量

落下姿勢		衝撃加速度	緩衝体の変形量	設計基準変形量 ^(注2)
		(m/s ²)	δ (mm)	δmax(mm)
垂直落下	頭部	895	139	194
	底部	890	140	194
水平落下		968	184 (133) ^(注1)	195
コーナー落下	頭部	571	457	525
	底部	578	460	571

(注 1) フィンの変形量を示す。

(注 2) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値であり、垂直落下、水平落下及びコーナー落下でそれぞれ以下のとおり設定している。

垂直落下 : 緩衝体の表面から緩衝体の鋼板（内側リング）までの距離

水平落下 : 緩衝体の表面から外筒までの距離

コーナー落下 : 緩衝体の表面から緩衝体の鋼板（コーナー部）までの距離

(2) 原型試験

該当なし

(3) モデル試験

該当なし

6.1.1 垂直落下

9m 垂直落下時の衝撃力に対して、運搬用容器の本体及びふたは十分な強度で密封性を保持し、運搬用容器内部のバスケット及び燃料集合体は破損することはなく、かつ遮蔽評価に影響を及ぼすような塑性変形が生じないことを示す。

(1) 運搬用容器本体

垂直落下時の衝撃力に対する運搬用容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。また、落下方向は頭部及び底部落下とする。

a. 解析モデル

5.1.2 項と同様に、三次元有限要素を用いた第 24 図に示す三次元 180° 対称モデルを用いる。

b. 荷重条件及び境界条件

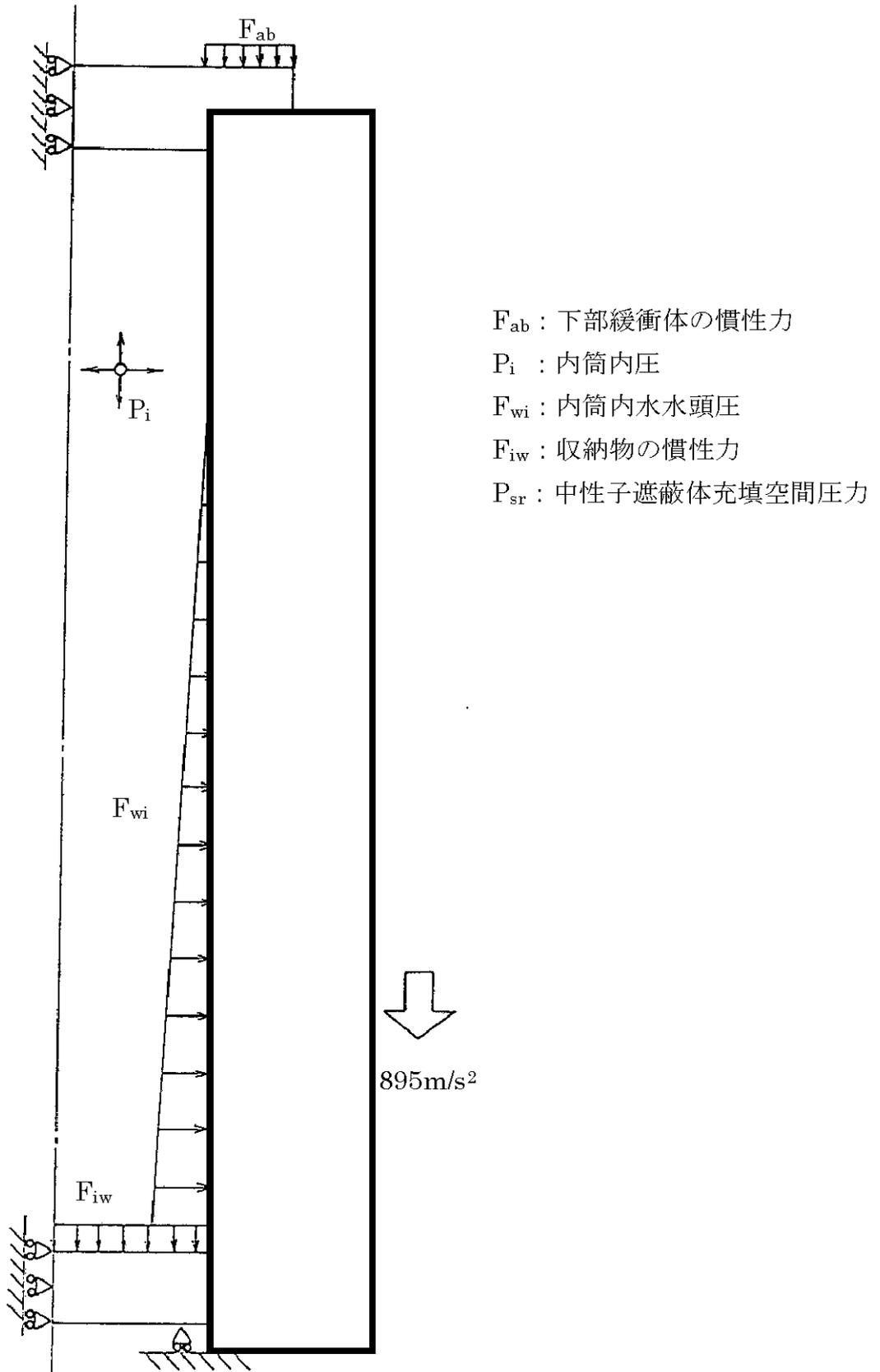
(a) 荷重条件

頭部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。衝撃加速度 (895m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。下部緩衝体の自重による慣性力が底部外面に働く。内部の収納物等（バスケット、収納物、内筒内水）の慣性力がふた部内面へ、内筒内水の衝撃圧が胴部側面に働く。

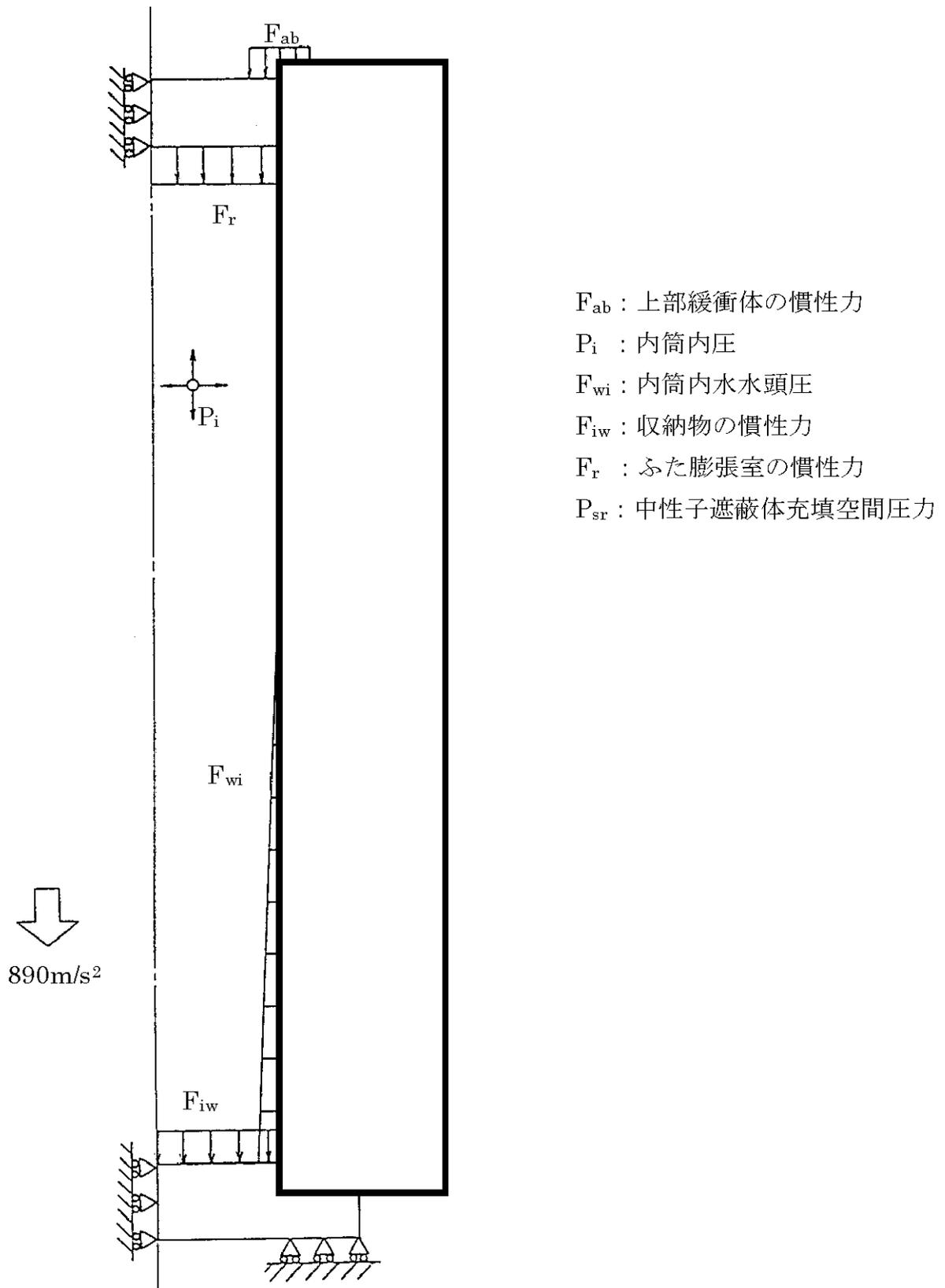
底部垂直落下時に作用する荷重は次のとおりである。衝撃加速度 (890m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。また、上部緩衝体の自重による慣性力がふた外面に、ふた膨張室の慣性力がふた部内面に働く。内部の収納物等（バスケット、収納物、内筒内水）の慣性力が底部内面へ、内筒内水の衝撃圧が胴部側面に働く。

(b) 境界条件

境界条件は衝撃力を受ける面の節点の軸方向変位及び対称面上の法線方向変位を拘束し、他は変位自由とした。それぞれの落下方向に対する荷重条件及び境界条件を第 60 図及び第 61 図に示す。



第 60 図 頭部 9m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件



第 61 図 底部 9m 垂直落下時の荷重条件及び境界条件

(c) 解析結果

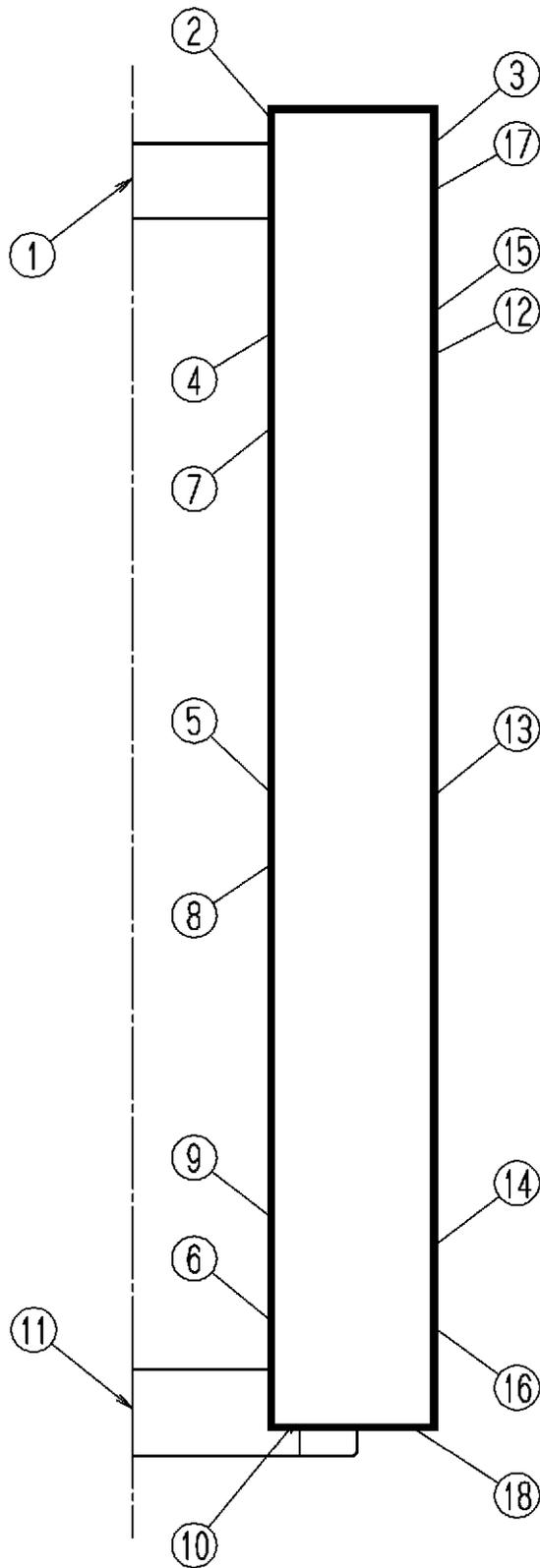
頭部垂直落下時の主要な位置（第 62 図参照）に対する一次応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 24 表に、また、底部垂直落下時の主要な位置（第 63 図参照）に対する一次応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 25 表に示す。

それぞれの表に示すように、すべての評価位置において 1.3 項に示す解析基準を満足する。

なお、ふたボルトの応力は Cにおける設計降伏点(821MPa)より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

頭部垂直落下時には、ふたに内部の収納物等の自重による慣性力が作用し、ふた O リング位置においてふたとフランジとの間に口開き変形が生じる。その値は 0.1mm 以下であり、O リングの初期締付代 2.5mm に比べて小さくふた部の密封性は維持される。

底部垂直落下時には、ふたはフランジに押し付けられる方向に慣性力が作用し、口開き変形は生じない。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 62 図 頭部 9m 垂直落下時の応力評価位置

第 24 表 頭部 9m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力及びふたボルトの評価

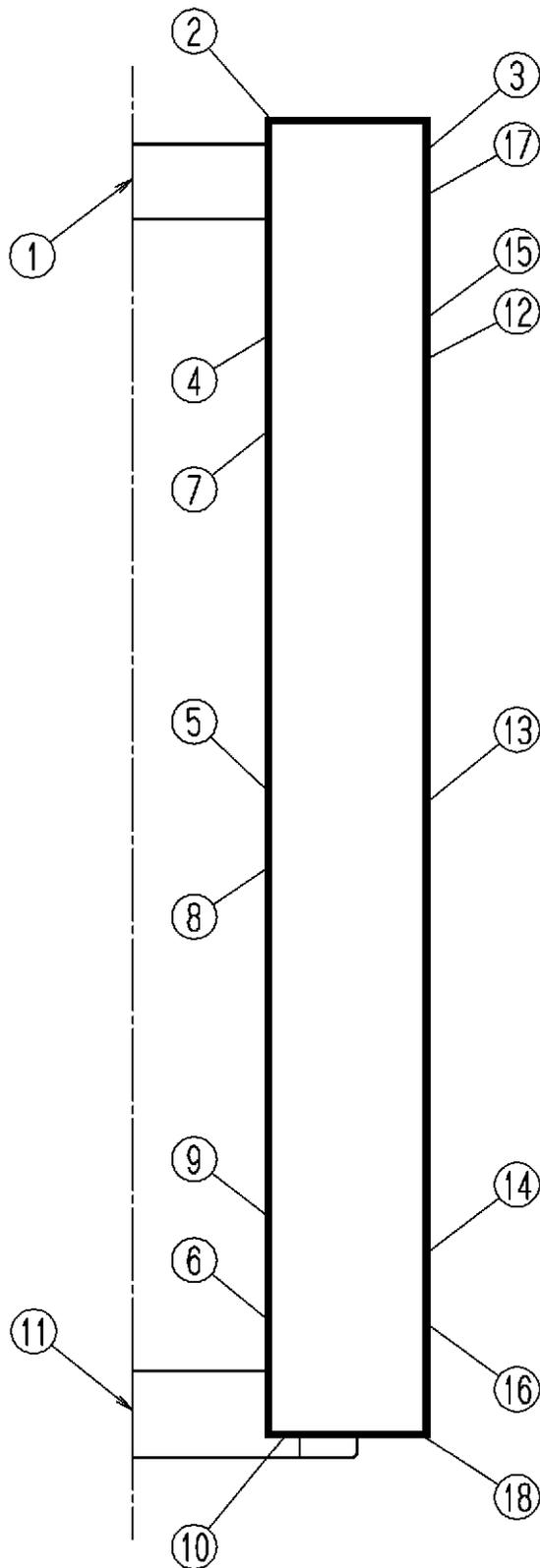
部位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表面	応力 強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) (注3)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	7.30		276	36.8
		$P_L + P_b$	内	44.7		414	8.26
			外	54.3		414	6.62
フランジ	②	P_L	—	240		414	0.73
	③	P_L	—	72.7		414	4.69
内筒	④	P_L	—	167		410	1.46
	⑤	P_m	—	57.6		273	3.74
	⑥	P_L	—	22.4		410	17.3
中間筒	⑦	P_L	—	120		423	2.53
	⑧	P_m	—	57.8		282	3.88
	⑨	P_L	—	30.7		423	12.8
底板	⑩	P_L	—	3.11		410	131
	⑪	P_m	—	1.12		273	243
		$P_L + P_b$	内	9.55		410	41.9
外	7.61		410	52.9			
外筒	⑫	P_L	—	96.4		425	3.41
	⑬	P_m	—	145		284	0.96
	⑭	P_L	—	70.5		425	5.03
仕切板	⑮	P_L	—	122	418	2.43	
	⑯	P_L	—	33.5	418	11.5	
レジ ン カ バ ー	⑰	P_L	—	101	418	3.14	
	⑱	P_L	—	24.2	418	16.3	
ふた ボルト (注4)	σ_m			110	597	4.43	
	$\sigma_m + \sigma_b$			182	896	3.92	

(注 1) 第 62 図参照

(注 2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ
 σ_m : 断面平均応力、 σ_b : 曲げ応力

(注 3) P_m 及び σ_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L 、 $P_L + P_b$ 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対する基準値は $1.5 \times (2/3S_u)$ である。

(注 4) 添付資料 6 「使用済燃料運搬用容器の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」 3.4.2 項に示す一般の試験条件下の温度分布による熱膨張を考慮



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 63 図 底部 9m 垂直落下時の応力評価位置

第 25 表 底部 9m 垂直落下時の容器本体に対する一次応力及びふたボルトの評価

部位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表面	応力 強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) (注3)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	0.66		276	417
		$P_L + P_b$	内	8.14		414	49.9
			外	7.51		414	54.1
フランジ	②	P_L	—	13.9		414	28.8
	③	P_L	—	9.05		414	44.7
内筒	④	P_L	—	32.4		410	11.7
	⑤	P_m	—	63.4		273	3.31
	⑥	P_L	—	103		410	2.98
中間筒	⑦	P_L	—	33.2		423	11.7
	⑧	P_m	—	64.1		282	3.40
	⑨	P_L	—	125		423	2.38
底板	⑩	P_L	—	66.9		410	5.13
	⑪	P_m	—	10.3		273	25.5
		$P_L + P_b$	内	42.1		410	8.74
外	60.0		410	5.83			
外筒	⑫	P_L	—	73.9		425	4.75
	⑬	P_m	—	171		284	0.66
	⑭	P_L	—	90.7		425	3.69
仕切板	⑮	P_L	—	34.0	418	11.3	
	⑯	P_L	—	128	418	2.27	
レジ ン カ バ ー	⑰	P_L	—	12.0	418	33.8	
	⑱	P_L	—	159	418	1.63	
ふた ボルト (注4)	σ_m			177	597	2.37	
	$\sigma_m + \sigma_b$			274	896	2.27	

(注 1) 第 63 図参照

(注 2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ
 σ_m : 断面平均応力、 σ_b : 曲げ応力

(注 3) P_m 及び σ_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L 、 $P_L + P_b$ 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対する基準値は $1.5 \times (2/3S_u)$ である。

(注 4) 添付資料 6 「使用済燃料運搬用容器の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」 3.4.2 項に示す一般の試験条件下の温度分布による熱膨張を考慮

(2) 伝熱フィン

垂直落下時には、伝熱フィンの胴部取り付け部において外筒、フィン及び自重による慣性力によりせん断応力 τ (MPa)が生じる。

$$\tau = \frac{W \cdot G_V}{A}$$

但し、 W : フィン 1 ピッチ当たりの外筒、フィン及び自重の全重量 (kg)

G_V : 頭部垂直落下時の衝撃加速度(m/s²)

A : フィン 1 ピッチ当たりの溶接部のど部の面積(mm²)

5.3.1(2)項より

$$W = 156\text{kg}$$

$$A = 1.93 \times 10^4 \text{mm}^2$$

$$G_V = 895 \text{m/s}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{156 \times 895}{1.93 \times 10^4} \\ &= 7.23 \text{MPa}\end{aligned}$$

応力強さ S は

$$S = 2\tau = 14.5 \text{MPa}$$

160°Cにおける伝熱フィン材料の引張強さ σ_u は 177MPa であるので、一次一般膜応力強さ(P_m)に対する基準値は

$$2/3 \sigma_u = 118 \text{MPa}$$

したがって、余裕率 MS は、次のようになる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{2/3 \sigma_u}{S} - 1 = \frac{118}{14.5} - 1 \\ &= 7.14\end{aligned}$$

(3) ふた膨張室支持パイプ

頭部垂直落下時に 15 本の支持パイプ（150A×sch160×14 本、250A×sch120×1 本）には燃料、バスケット及び内筒内水の慣性力が作用し、圧縮応力 σ_c (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_V}{A}$$

但し、 W : 燃料重量(10200kg)+バスケット重量(6700kg)+内筒内水重量(3900kg)+自重(600kg)

G_V : 頭部垂直落下時の衝撃加速度(m/s²)

A : 支持パイプの全断面積(mm²)

ここで、 $W = 10200 + 6700 + 3900 + 600 = 2.14 \times 10^4$ kg

$G_V = 895$ m/s²

$$A = \frac{\pi}{4} \times \{14 \times (165.2^2 - 128.8^2) + (267.4^2 - 224.6^2)\}$$

$$= 1.34 \times 10^5 \text{mm}^2$$

したがって、

$$\sigma_c = \frac{2.14 \times 10^4 \times 895}{1.34 \times 10^5}$$

$$= 143 \text{MPa}$$

Cにおけるステンレス鋼の設計降伏点 S_y は 151MPa であるので、支持パイプは塑性変形しない。

次に座屈強度について評価する。

支持パイプの座屈限界応力 σ_{cr} (MPa)は次式で与えられる。¹³⁾

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot (k/\ell')^2$$

但し、 E : 縦弾性係数(MPa)

$$k = (I/A)^{1/2}$$

I : 断面二次モーメント(mm⁴)

A : 断面積(mm²)

ℓ' : 座屈長さ(mm)

ここで、 $E=1.84 \times 10^5 \text{MPa}$ (C)

$$I = \pi \times (165.2^4 - 128.8^4) / 64 = 2.31 \times 10^7 \text{mm}^4$$

$$A = \pi \times (165.2^2 - 128.8^2) / 4 = 8.41 \times 10^3 \text{mm}^2$$

$$K = (2.31 \times 10^7 / (8.41 \times 10^3))^{1/2} = 52.4 \text{mm}$$

$$\ell' = 2 \times 400 = 800 \text{mm} \quad (\text{一端固定梁})$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \pi^2 \times 1.84 \times 10^5 \times (52.4 / 800)^2 \\ &= 7.79 \times 10^3 \text{MPa} \end{aligned}$$

$\sigma_c < \sigma_{cr}$ であるので支持パイプは座屈することはない。

余裕率 MS は S_y に対して次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{MS} &= \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{151}{143} - 1 \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

(4) バスケット

底部垂直落下時にバスケットの下部スペーサには、燃料及びバスケットの慣性力が作用し、圧縮応力 σ_c (MPa) が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_V}{A}$$

但し、 W : 燃料重量(10200kg ÷ 14 × 13) + バスケット重量(6700kg)

G_V : 底部垂直落下時の衝撃加速度(m/s²)

A : 下部スペーサの全断面積(mm²)

ここで、 $W = 10200 \div 14 \times 13 + 6700 = 1.62 \times 10^4 \text{kg}$

$G_V = 890 \text{m/s}^2$

$A = 52 \times 1900 + 52 \times 564.4 = 1.28 \times 10^5 \text{mm}^2$

(アングル L100 × 100 × 10(t) 4 × 13 個、

L50 × 50 × 6(t) 4 × 13 個)

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \frac{1.62 \times 10^4 \times 890}{1.28 \times 10^5} \\ &= 113 \text{MPa} \end{aligned}$$

190°Cにおけるステンレス鋼の設計降伏点 S_y は 146MPa であるので、下部スペーサは塑性変形しない。また、スペーサの高さは 82mm と細長比が小さいので座屈することもない。

したがって、余裕率 MS は、次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{146}{113} - 1 \\ &= 0.29 \end{aligned}$$

(5) 燃料被覆管

10.4 項実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験に示すように、9m 頭部及び底部垂直落下時において燃料集合体にわずかな残留変形が認められるものの、燃料被覆管は破損しない。

(6) スツール

底部垂直落下時にスツールには燃料の慣性力が作用し、圧縮応力 σ_c (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W \cdot G_V}{A}$$

但し、 W : 燃料の重量(730kg)+スツールの重量(11kg)

G_V : 底部垂直落下時の衝撃加速度(m/s²)

A : スツール本体の断面積

ここで、 $W = 741\text{kg}$

$G_V = 890\text{m/s}^2$

$A = 1888 \times 4 + 513.1 \times 4 = 9604\text{mm}^2$

したがって、

$$\sigma_c = \frac{741 \times 890}{9604}$$

$$= 68.7\text{MPa}$$

190°Cにおけるステンレス鋼の設計降伏点 S_y は 146MPa であるのでスツールは塑性変形しない。

次に座屈強度について評価する。

スツール本体の座屈限界応力 σ_{cr} (MPa)は次式で与えられる。¹³⁾

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot (k/\ell)^2$$

但し、 E : 縦弾性係数(MPa)

$$k = (I/A)^{1/2}$$

I : 断面二次モーメント(mm⁴)(L100×100×10(t))

A : 断面積(mm²)(L100×100×10(t))

ℓ' : 座屈長さ(mm)

ここで、E=1.83×10⁵MPa(190℃)

$$I=7.20 \times 10^5 \text{mm}^4$$

$$A=1888 \text{mm}^2$$

$$k=(7.20 \times 10^5/1888)^{1/2}=19.5 \text{mm}$$

$$\ell'=2 \times 85=170 \text{mm} \quad (\text{一端固定梁})$$

したがって、

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \times 1.83 \times 10^5 \times (19.5/170)^2$$

$$=2.38 \times 10^4 \text{MPa}$$

$\sigma_c < \sigma_{cr}$ であるので支持脚は座屈することはない。

余裕率 MS は S_y に対して次のようになる。

$$MS = \frac{S_y}{\sigma_c} - 1 = \frac{146}{68.7} - 1$$

$$=1.13$$

6.1.2 水平落下

9m 水平落下時の衝撃力に対して、運搬用容器の本体及びふたは十分な強度で密封性を保持することを示す。運搬用容器内部のバスケット及び燃料集合体は破損することはない、かつ、遮蔽評価に影響を及ぼすような塑性変形が生じないことを示す。

(1) 運搬用容器本体

水平落下時の衝撃力に対する運搬用容器本体の解析を有限要素法による ABAQUS コードにより行う。

a. 解析モデル

5.3.2 項と同様に、三次元有限要素を用いた第 44 図に示す三次元 180° 対称モデルを用いる。

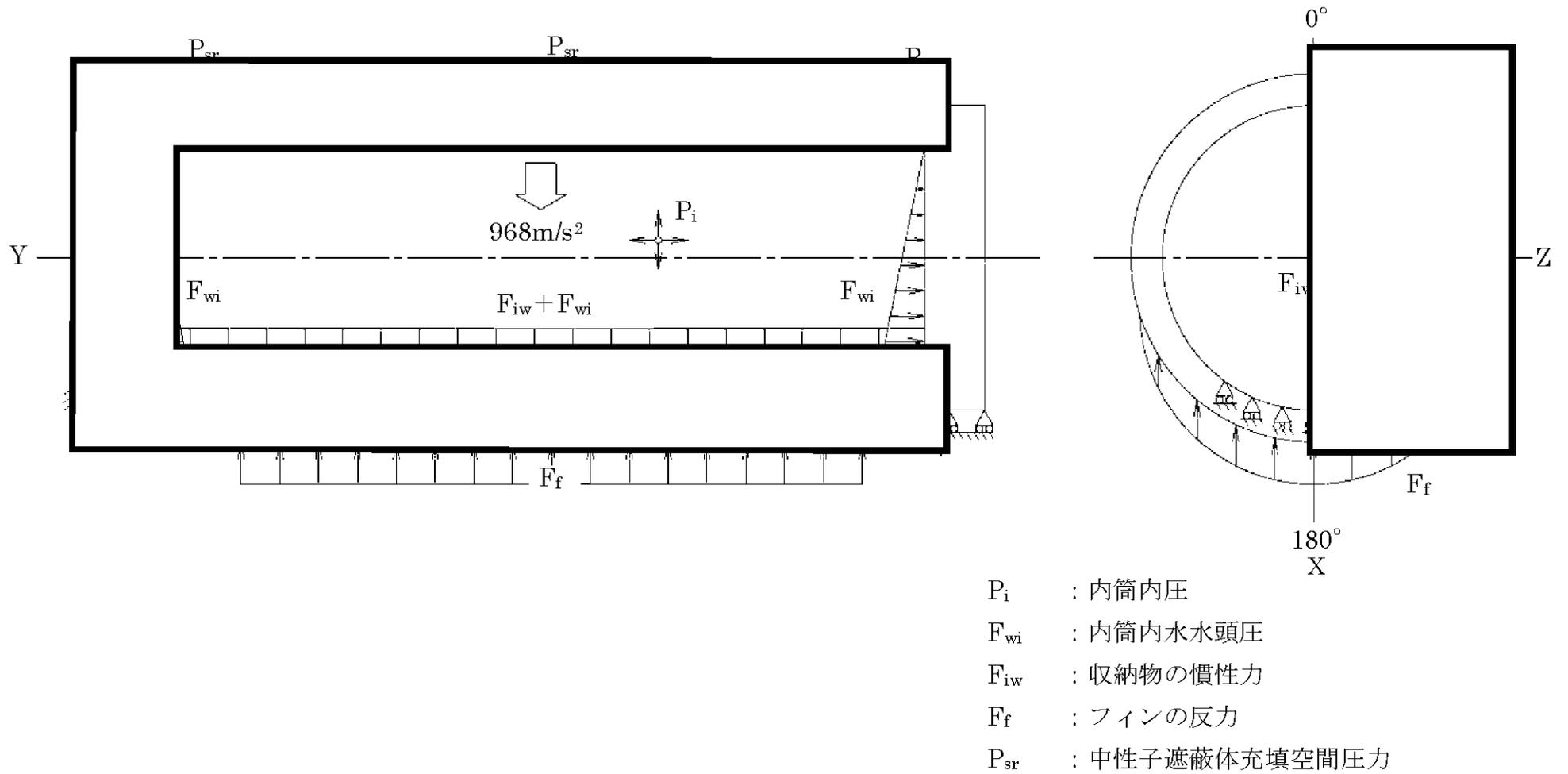
b. 荷重条件及び境界条件

(a) 荷重条件

水平落下時に作用する荷重を第 64 図に示す。ここで、衝撃加速度 (968m/s^2) による自重の慣性力が落下方向に働く。内部の収納物等 (バスケット、収納物、内筒内水) の慣性力が内筒内面に、内筒内水の衝撃圧がふた及び底部内面に、また、フィンの反力が外筒に働く。

(b) 境界条件

第 64 図に示すように底板とふた及びフランジの緩衝体に取り付く箇所において落下方向(X)の変位を、また、 $0^\circ - 180^\circ$ 面において落下方向と直角方向(Z)の変位を拘束した。



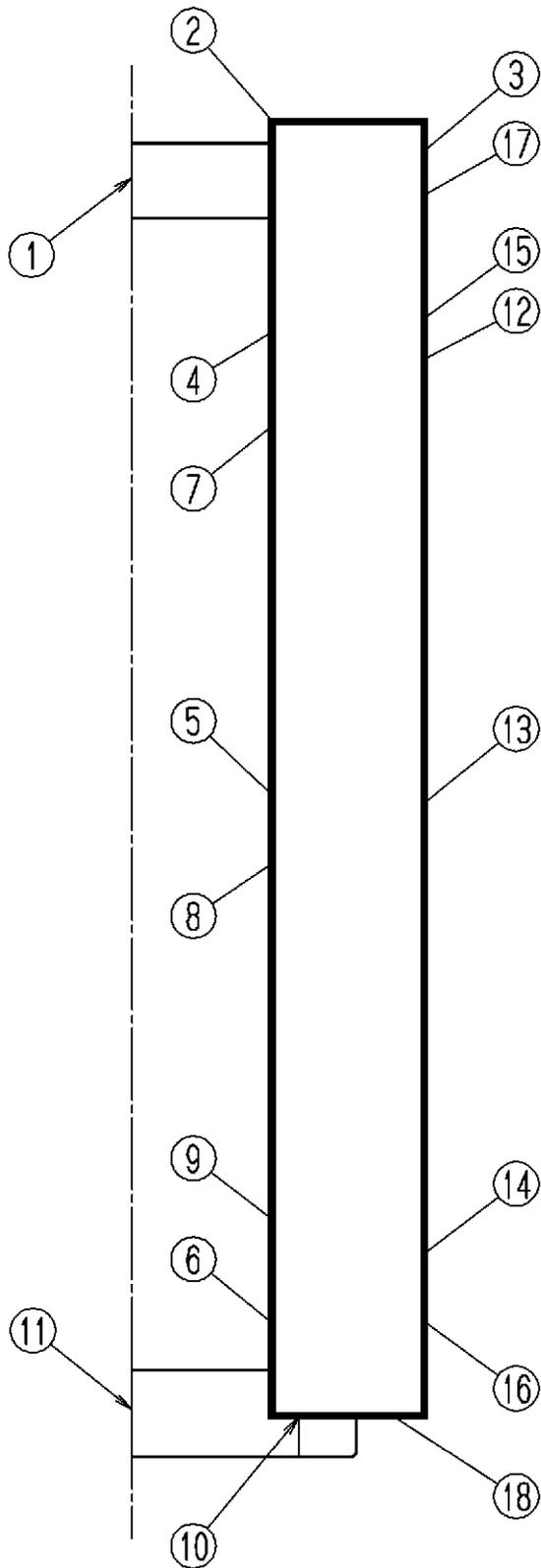
第 64 図 9m 水平落下時の荷重条件及び境界条件

c. 解析結果

水平落下時の主要な位置（第 65 図参照）に対する一次応力強さ及びふたボルトの評価結果を第 26 表に示す。表に示すように、全ての評価位置において 1.3 項に示す解析基準値を満足する。

なお、ふたボルトの応力は Cにおける設計降伏点(821MPa)より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

水平落下時には、ふたに緩衝体からの慣性力が作用し、ふた O リング位置においてふたとフランジとの間に口開き変形が生じる。その値は 0.5mm 以下であり、O リングの初期締付代 2.5mm に比べて小さくふた部の密封性は維持される。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部
⑫	外筒上部
⑬	外筒中央部
⑭	外筒下部
⑮	上部仕切板
⑯	下部仕切板
⑰	上部レジンカバー
⑱	下部レジンカバー

第 65 図 9m 水平落下時の応力評価位置

第 26 表 9m 水平落下時の容器本体に対する一次応力及びふたボルトの評価

部位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表面	応力 強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 (注3) 基準値 (MPa)	余裕率 MS
ふた	①	P_m	—	34.9		276	6.91
		$P_L + P_b$	内	46.8		414	7.85
			外	42.5		414	8.74
フランジ	②	P_L	—	107		414	2.87
	③	P_L	—	132		414	2.14
内筒	④	P_L	—	108		410	2.80
	⑤	P_m	—	138		273	0.98
	⑥	P_L	—	73.6		410	4.57
中間筒	⑦	P_L	—	94.5		423	3.48
	⑧	P_m	—	149		282	0.89
	⑨	P_L	—	81.1		423	4.22
底板	⑩	P_L	—	55.8		410	6.35
	⑪	P_m	—	45.0		273	5.07
		$P_L + P_b$	内	54.5		410	6.52
外	35.5		410	10.5			
外筒	⑫	P_L	—	118		425	2.60
	⑬	P_m	—	240		284	0.18
	⑭	P_L	—	99.8		425	3.26
仕切板	⑮	P_L	—	104	418	3.02	
	⑯	P_L	—	88.2	418	3.74	
レジン カバー	⑰	P_L	—	129	418	2.24	
	⑱	P_L	—	84.4	418	3.95	
ふた ボルト (注4)	σ_m			367	597	0.63	
	$\sigma_m + \sigma_b$			643	896	0.39	

(注 1) 第 65 図参照

(注 2) P_m : 一次一般膜応力強さ、 P_L : 一次局部膜応力強さ、 P_b : 一次曲げ応力強さ

(注 3) P_m 及び σ_m に対する基準値は $2/3S_u$ 、 P_L 、 $P_L + P_b$ 及び $\sigma_m + \sigma_b$ に対する基準値は $1.5 \times (2/3S_u)$ である。

(注 4) 添付資料 6 「使用済燃料運搬用容器の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」 3.4.2 項に示す一般の試験条件下の温度分布による熱膨張を考慮

(2) バスケット

a. チャンネル

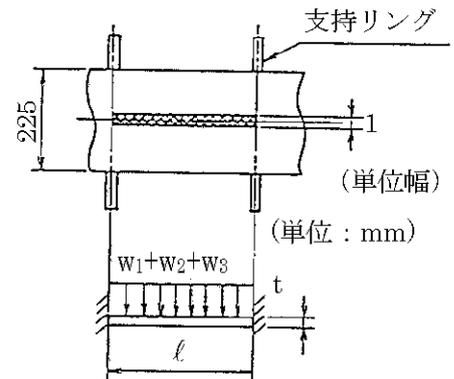
水平落下時に、チャンネルには、燃料、チャンネル内水及びチャンネル板自体の慣性力により曲げ応力が生じる。チャンネル板を第 66(a) 図に示す。

支持リングにおいて固定する単位幅の梁を考えると、曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{1}{12} (w_1 + w_2 + w_3) \cdot \ell^2 \cdot G_H$$

$$Z = \frac{t^2}{6}$$



第 66(a) 図 チャンネル板
水平落下時の解析モデル

但し、 M : 曲げモーメント
($N \cdot mm/mm$)

Z : 断面係数(mm^3/mm)

G_H : 衝撃加速度(m/s^2)

w_1 : 燃料の単位面積当たりの重量(kg/mm^2)

w_2 : チャンネル内水の単位面積当たりの重量(kg/mm^2)

w_3 : チャンネル板自体の単位面積当たりの重量(kg/mm^2)

t : 板厚(mm)

ここで、 $G_H = 968 m/s^2$

$t = 10 mm$

$\ell = 205 mm$

$$\begin{aligned} w_1 &= (\text{燃料重量}) / (\text{チャンネル板全長} \times \text{幅}) \\ &= 10200 / 14 / (4155 \times 225) \\ &= 7.79 \times 10^{-4} kg/mm^2 \end{aligned}$$

14×14 配列型燃料棒の排水を考慮して、

$$w_2 = (225^2 - \pi/4 \times 10.72^2 \times 14^2) \times 10^{-6} / 225$$

$$= 1.46 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2$$

$$w_3 = 10 \times 7.93 \times 10^{-6}$$

$$= 7.93 \times 10^{-5} \text{ kg/mm}^2$$

したがって、

$$M = (7.79 \times 10^{-4} + 1.46 \times 10^{-4} + 7.93 \times 10^{-5}) \times 205^2 \times 968 / 12$$

$$= 3.40 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm/mm}$$

$$Z = 10^3 / 6 = 16.7 \text{ mm}^3/\text{mm}$$

$$\sigma_b = 3.40 \times 10^3 / 16.7$$

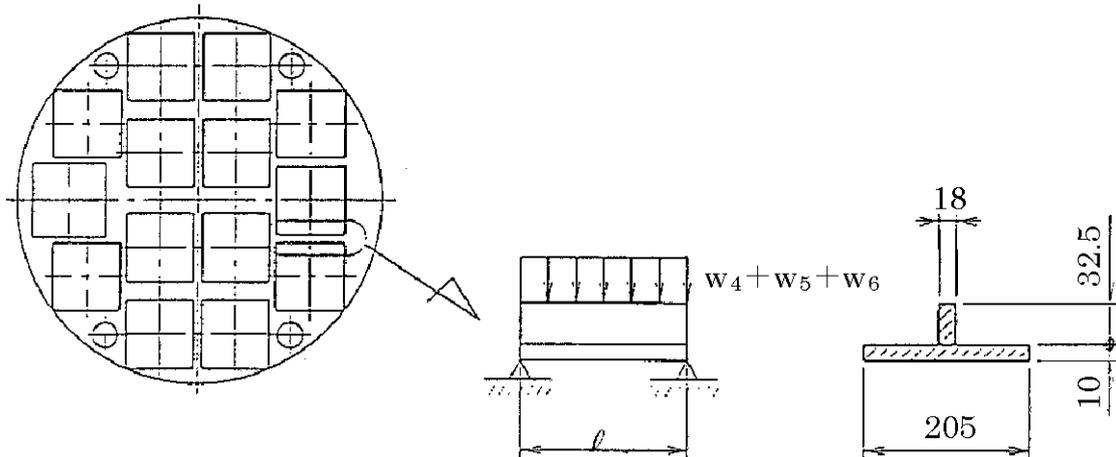
$$= 204 \text{ MPa}$$

190°Cにおけるチャンネル板材料の降伏応力 σ_y は227MPaであるので、曲げ応力に対する基準値は、 $1.5\sigma_y=341\text{MPa}$ となり、余裕率MSは、次のようになる。

$$MS = \frac{1.5\sigma_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{341}{204} - 1 = 0.67$$

b. 支持リング

第66(b)図に示すチャンネル支持部に生じる曲げ応力 σ_b (MPa)は支持部とチャンネル板との組合せ部材を両端支持梁として考えると、次式で与えられる。



(単位 : mm)

第66(b)図 チャンネル支持部解析モデル

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{1}{8}(w_4 + w_5 + w_6) \cdot \ell_1 \cdot G_H$$

但し、 M : 曲げモーメント(N・mm)

Z : 断面係数(mm³)

w₄ : チャンネル支持部に作用する燃料の重量(kg)

w₅ : チャンネル支持部に作用するチャンネル内水の重量(kg)

w₆ : 自重(kg)

G_H : 衝撃加速度(m/s²)

ℓ₁ : チャンネル支持部長さ(mm)

ここで、 ℓ₁ = 225mm

$$\begin{aligned} w_4 &= (\text{燃料重量}) / (\text{支持リング数}) \\ &= 10200 / 14 / 21 = 34.7\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_5 &= w_2 \times \ell \times \ell_1 \\ &= 1.46 \times 10^{-4} \times 205 \times 225 = 6.73\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_6 &= (2 \times 205 \times 10 + 32.5 \times 18) \times 225 \times 7.93 \times 10^{-6} \\ &\quad (\text{第 66(b) 図参照}) \\ &= 8.36\text{kg} \end{aligned}$$

$$Z = 2.82 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$$G_H = 968 \text{m/s}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} M &= (34.7 + 6.73 + 8.36) \times 225 \times 968 / 8 \\ &= 1.36 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 1.36 \times 10^6 / (2.82 \times 10^4) \\ &= 48.2 \text{MPa} \end{aligned}$$

190°Cにおける支持リング材料の設計降伏点 S_y は 146MPa であるので、余裕率 MS は、次のようになる。

$$\begin{aligned} MS &= \frac{1.5 S_y}{\sigma_b} - 1 = \frac{219}{48.2} - 1 \\ &= 3.54 \end{aligned}$$

(3) 燃料被覆管

10.4 項実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験に示すように、9m 水平落下時において燃料集合体に残留変形が認められるものの、燃料被覆管は破損しない。

6.1.3 コーナー落下

第 23 表に示すように、コーナー落下時の衝撃加速度は垂直落下及び水平落下に比べて小さい。

したがって、コーナー落下時の運搬用容器の各部の応力は垂直及び水平落下時の結果より厳しくなることはない。但し、頭部コーナー落下時は、頭部垂直落下時と違いふた部に作用する緩衝体の圧潰力がふた全面に作用しないので内部の収納物等による慣性力がふたを介してふたボルトに作用するのでふたボルトの健全性を評価する。

(1) ふたボルト

頭部コーナー落下時に、ふたボルトには、ふた自重及び内部の収納物等（バスケット、収納物、内筒内水）の慣性力と内筒内圧による引張応力が生じる。ここで、初期締付トルクによる応力と熱応力によるボルト引張力と等しい圧縮力がふたボルト穴部に反力として作用し両者は釣合った状態になるが、この圧縮力よりも大きな外力の慣性力が作用すると、ふたボルトに引張力が付加されることによりふたボルトは伸びてふたボルト穴部の圧縮力は解放される。したがって、頭部コーナー落下時にふたボルトに生じる応力は外力の慣性力と内筒内圧による引張応力となる。

a. 慣性力により生じる引張応力

慣性力によりボルトに生じる引張応力 σ_{t1} (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_{t1} = W \cdot G_c \cdot \cos \theta / ((\pi/4) \cdot d^2 \cdot n)$$

但し、 W : ふた・バスケット・燃料・内筒内水の重量 = 26100kg
(ふた 5300kg、バスケット 6700kg、燃料 10200kg、
内筒内水 3900kg)

G_c : 衝撃加速度 = 571m/s²

θ : 落下角度 =

d : ボルト最小径 = mm

n : ボルトの数 = 本

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{t1} &= 26100 \times 571 \times \cos / ((\pi/4) \times ^2 \times) \\ &= 366 \text{MPa} \end{aligned}$$

b. 内筒内圧により生じる引張応力

内筒内圧によりボルトに生じる引張応力 σ_{t2} (MPa)は、次式で与えられる。

$$\sigma_{t2} = (\pi/4) \cdot d_G^2 \cdot P / ((\pi/4) \cdot d^2 \cdot n)$$

但し、 d_G : ふた O リング溝中心径 = 1451mm

P : 内筒内圧 = 1.70MPaG

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_{t2} &= (\pi/4) \times 1451^2 \times 1.70 / ((\pi/4) \times \square^2 \times \square) \\ &= 74.6\text{MPa}\end{aligned}$$

c. ボルトに生じる引張応力の合計

各荷重によりボルトに生じる引張応力の合計 σ_t (MPa)は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \sigma_{t1} + \sigma_{t2} \\ &= 366 + 74.6 \\ &= 441\text{MPa}\end{aligned}$$

ボルト材料の \square Cにおける解析基準値 $2/3S_u$ は 597MPa であるので余裕率 MS は、次のようになる。

$$\begin{aligned}\text{MS} &= 2/3S_u / \sigma_t - 1 \\ &= 0.35\end{aligned}$$

なお、ふたボルトの応力は \square Cにおける設計降伏点(821MPa)より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

6.1.4 傾斜落下

傾斜落下については、落下方向がコーナー落下と垂直落下との間の場合とコーナー落下と水平落下との間の場合がある。前者の場合は、落下エネルギーの一部が輸送物を垂直方向に回転させるのに費やされるので、エネルギーの吸収は垂直落下とコーナー落下よりも小さくなり、これらのいずれよりも条件が厳しくなることはない。また、後者の場合、細長い輸送物では落下時エネルギーの一部が輸送物の回転エネルギーとなり二次衝突側の吸収エネルギーが増加する場合がある。本輸送物は直径に対する長さの比が約 2.4 と小さく細長い輸送物には該当しないが、10.7 項に示すように細長い輸送物に関する解析例を基にした二次衝撃側の衝撃加速度の影響を評価しても、傾斜落下時に輸送物の健全性が損なわれることはない。

6.1.5 結果の要約

(1) 結果の要約

落下試験 I の解析結果の要約は第 23 表のとおりである。

本試験では、緩衝体は変形するが、緩衝体は運搬用容器本体から外れることはない。

(2) 結果の検討

落下試験 I による塑性変形は、緩衝体及びフィンに生じるが、運搬用容器本体及びバスケットの構造上の健全性が損われることはない。

以上の解析及び評価は周囲温度 38℃の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、4.2 項に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性に問題はない。

6.2 強度試験・落下試験Ⅱ（1m 落下時）

本項では、落下試験Ⅰに引き続いて落下試験Ⅱが起こるとして輸送物が 1m 高さから直径 150mm の軟鋼棒へ落下した場合に対して、輸送物が耐えることを解析によって示す。

落下試験Ⅱは、輸送物が最大破損を受けるよう垂直及び水平方向に落下し、バルブ部以外の部分については軟鋼棒が重心を直撃するとして解析した。

これ以外の落下は、落下エネルギーが回転モーメントとして作用するので輸送物に対して上記落下より大きな破損を生じることはない。

解析は垂直方向においてふた部及び底部、また、水平方向においては胴部及びバルブ部について行う。

(1) 垂直落下

a. ふた部及び底部の貫通強度

押し抜きせん断によって板にせん断破壊を引き起こすのに必要な力 $F(N)$ は、次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

但し、 d : 軟鋼棒直径 = 150mm

t : 板厚 (mm)

S : せん断強さ(MPa)

ふた部の板厚は mm、底部の板厚は mm であるので、薄い方のふたに対して検討する。

$$t = \text{ mm}$$

せん断強さはせん断ひずみエネルギー説に基づき設計引張強さの $1/\sqrt{3}$ とすると、せん断強さは第 17 図より C において、

$$S = 414 / \sqrt{3} = 239 \text{ MPa}$$

したがって、

$$F = \pi \times 150 \times \square \times 239 \\ = \square \text{ N}$$

落下時に軟鋼棒が圧潰することにより運搬用容器に加わる最大荷重 F_{bar} (N)は軟鋼棒が塑性変形するときであるから、

$$F_{\text{bar}} = \sigma_u \cdot A$$

但し、 σ_u : 軟鋼棒の引張強さ(MPa)

A : 軟鋼棒の断面積(mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

d : 軟鋼棒の直径 = 150mm

したがって、

$$A = \frac{\pi}{4} \times 150^2$$

$$= 1.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

σ_u を 400MPa とすると、

$$F_{\text{bar}} = 400 \times 1.77 \times 10^4$$

$$= 7.08 \times 10^6 \text{ N}$$

となる。

したがって、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{F}{F_{\text{bar}}} - 1 \\ = \frac{\square}{7.08 \times 10^6} - 1 \\ = \square$$

以上より、ふた部及び底部が貫通されることはない。

b. 水平落下

(a) 中間筒の貫通強度

水平落下の場合、軟鋼棒にはフィン及び外筒が衝突して変形し、破損する可能性がある。したがって、水平落下では中間筒に対して検討する。

中間に鉛を有する三層構造の外側胴の耐貫通板厚 $t_r(\text{in})$ は、次式¹⁵⁾で与えられる。

$$t_r = (W/S_u)^{0.71}$$

但し、 W : 輸送物重量(ℓbs)

S_u : 設計引張強さ($\ell\text{b/in}^2$)

ここで、 $W = 115 \times 10^3 \text{kg} = 2.54 \times 10^5 \ell\text{bs}$

$S_u = 423 \text{MPa} = 6.13 \times 10^4 \ell\text{b/in}^2$ C)

したがって、

$$t_r = (2.54 \times 10^5 / (6.13 \times 10^4))^{0.71}$$

$$= 2.74 \text{in}$$

$$= 69.6 \text{mm}$$

中間筒の板厚は、

$$t = \text{} \text{mm}$$

であるので、余裕率 MS は、次のようになる。

$$MS = \frac{t}{t_r} - 1$$

$$= \frac{\text{}}{69.6} - 1$$

$$= \text{}$$

したがって、中間筒が貫通されることはない。

(b) バルブ部の貫通強度

ベント・水位調整バルブ、ドレンバルブ及び水位調整用加圧バルブは、第9図、第10図及び第12図に示すようにカバープレートが付いており、軟鋼棒の直撃に対してバルブ本体を保護する。

解析は、(1)a項と同様にして、カバープレートの貫通強度を検討する。

押し抜きせん断によって板にせん断破壊を引き起こすのに必要な力 $F(N)$ は、次式で与えられる。

$$F = \pi \cdot d \cdot t \cdot S$$

但し、 d : 軟鋼棒直径 = 150mm

t : 板厚 = mm

カバープレート材料の Cにおける設計引張強さは 834MPa であるので、

$$S = 834 / \sqrt{3} = 482 \text{MPa}$$

したがって、

$$F = \pi \times 150 \times \text{} \times 482 \\ = \text{} \text{N}$$

落下時に軟鋼棒が運搬用容器に加える最大荷重 $F_{\text{bar}}(N)$ は、(1)a項より、

$$F_{\text{bar}} = 7.08 \times 10^6 \text{N}$$

である。

したがって、余裕率 MS は次式で与えられる。

$$MS = \frac{F}{F_{\text{bar}}} - 1 \\ = \frac{\text{$$

したがって、カバープレートが貫通されることはない。

6.2.1 結果の要約

落下試験Ⅱにおいては緩衝体、フィン、外筒及びレジンに貫通又は変形が生じるおそれがあるが、容器本体に破損が生じることはない。

以上の解析及び評価は周囲温度 38℃の高温側の環境下に対して行った。低温側の環境下に対しては、4.2 項に示すように低温になっても材料は脆化等がなく、機械的性質が低下することがないので、輸送物の構造上の健全性に問題はない。

6.3 熱的試験

6.3.1 温度及び圧力の要約

(1) 圧 力

特別の試験条件における運搬用容器内の圧力は添付資料6「使用済燃料運搬用容器の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」3.5.4 項において 4.97MPaG である。構造解析では 5.20MPaG として評価する。

(2) 温 度

各部位の最高温度と解析基準値に適用する温度を第 27 表に示す。

第 27 表 特別の試験条件における最高温度の要約

(単位：℃)

部 位	熱解析結果	解析基準値に適用する温度
ふ た	375	
ふたボルト	253	
フランジ	431	
外 筒	501	
中 間 筒	252	
内 筒	207	
底 板	398	
仕 切 板	596	

6.3.2 熱膨張

本項では、特別の試験条件下における運搬用容器本体各部の応力計算を行う。添付資料6「使用済燃料運搬用容器の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」3.5.3項に示す温度分布と内筒内圧を考慮し、解析は有限要素法によるABAQUSコードを用いて行う。

(1) 解析モデル

解析モデルとしては上下レジン部が落下試験Ⅱにより破損したとして上下レジン部を取り除いた第67図に示す三次元180°対称モデルを用いる。

(2) 荷重条件及び境界条件

a. 荷重条件

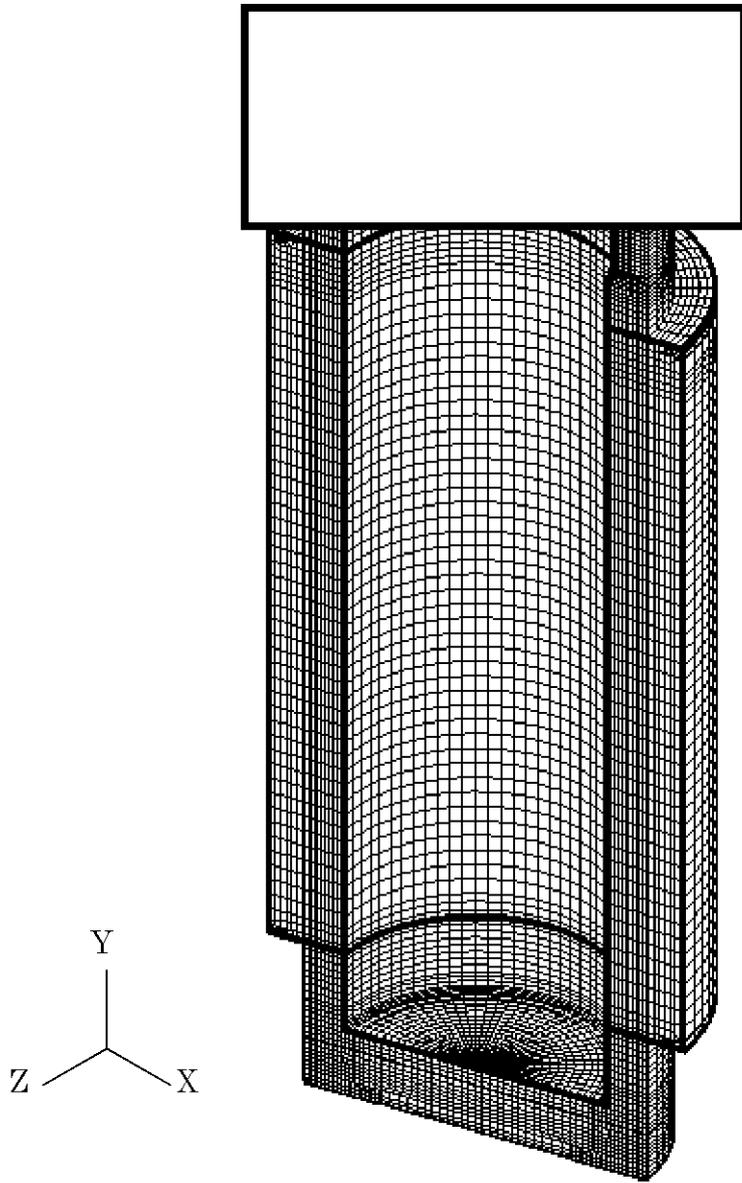
添付資料6「使用済燃料運搬用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」3.5.3項に示される容器本体の温度差が一番大きくなる火災発生30分後における温度分布（添付資料6「使用済燃料運搬用容器の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書」第24図参照）を考慮する。容器本体に対しては、内筒内圧(5.20MPaG)を荷重条件とし、又、ふたボルトに対しては熱膨張及び内筒内圧(5.20MPaG)を荷重条件とする。なお、中性子遮蔽体充填空間の圧力は、可溶栓によって開放される。

b. 境界条件

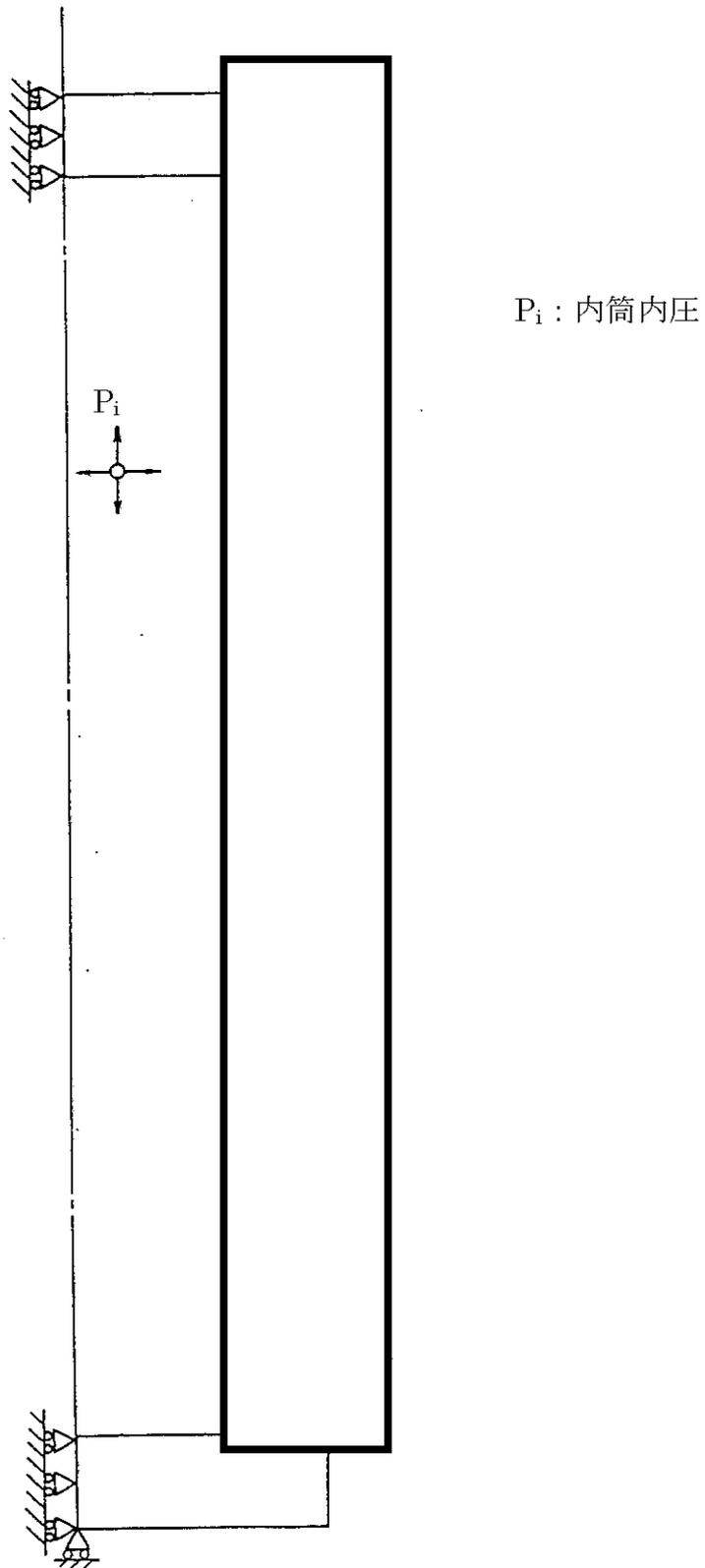
第68図に示すように、底部の軸方向変位及び対称面上の法線方向変位を拘束し、他は変位自由とする。

(3) 解析結果

応力評価は、6.3.3項において行う。



第 67 図 特別の試験条件の熱的試験における解析モデル



第 68 図 特別の試験条件の熱的試験における荷重条件及び境界条件

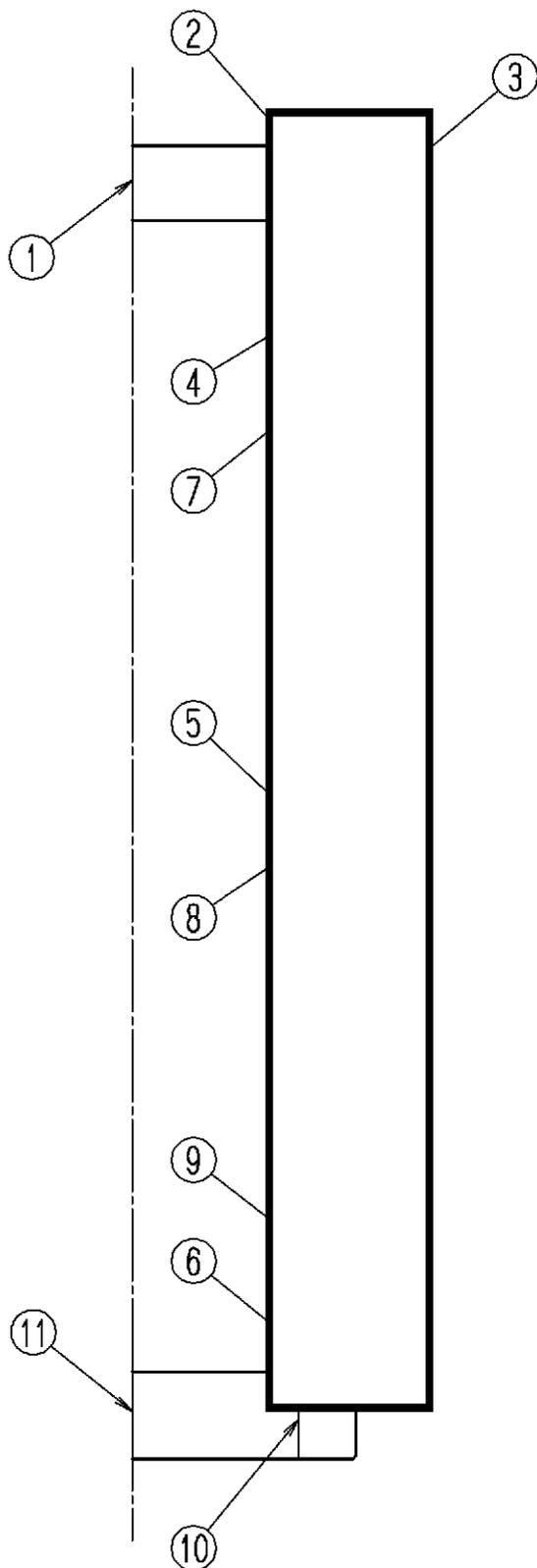
6.3.3 許容応力との比較

(1) 容器本体各部

第 69 図に示す容器本体の主要な評価位置における一次応力及びふたボルトの評価結果を第 28 表に示す。表に示すように、いずれの応力も 1.3 項に定めた解析基準値以下である。

なお、ふたボルトの応力は C での設計降伏点 (777MPa) より低いので、ふたボルトは塑性変形しない。

また、ふたとフランジとのふた O リング位置での相対口開き変形量は 1.1mm となり、O リングの初期締付代 2.5mm より小さく密封性を損うことはない。



評価断面	部 位
①	ふた中央部
②	ふた端部
③	フランジ
④	内筒上部
⑤	内筒中央部
⑥	内筒下部
⑦	中間筒上部
⑧	中間筒中央部
⑨	中間筒下部
⑩	底板端部
⑪	底板中央部

第 69 図 特別の試験条件の熱的試験における応力評価位置

第 28 表 特別の試験条件における内筒内圧による容器本体の一次応力
及びふたボルトの応力の評価

部位	断面 No. (注1)	応力 分類 (注2)	表面	応力 強さ (MPa)	温度 (°C)	解析 基準値 (MPa) (注3)	余裕率 MS
ふた	①	P _m	—	3.69	[Redacted]	261	69.7
			内	46.3		391	7.44
		外	45.9	391		7.52	
	②	P _L	—	34.9		391	10.2
フランジ	③	P _L	—	20.5		368	17.0
内筒	④	P _L	—	42.9		401	8.35
	⑤	P _m	—	47.4		267	4.63
	⑥	P _L	—	43.3		401	8.26
中間筒	⑦	P _L	—	29.9		421	13.1
	⑧	P _m	—	30.5		281	8.21
	⑨	P _L	—	27.6		421	14.3
底板	⑩	P _L	—	9.18	385	40.9	
	⑪	P _m	—	4.53	257	55.7	
		P _L +P _b	内	12.6	385	29.6	
			外	21.1	385	17.2	
ふた ボルト (注4)	σ _m			527	579	0.10	
	σ _m +σ _b			766	868	0.13	

(注 1) 第 69 図参照

(注 2) P_m：一次一般膜応力強さ、P_L：一次局部膜応力強さ、P_b：一次曲げ応力強さ
σ_m：断面平均応力、σ_b：曲げ応力

(注 3) P_m及びσ_mに対する基準値は 2/3S_u (但し、オーステナイト系ステンレス鋼に対しては 2/3S_u 又は 2.4S_m の小さい方の値)、P_L、P_L+P_b及びσ_m+σ_bに対する基準値は 1.5×(2/3S_u) (但し、オーステナイト系ステンレス鋼に対しては 1.5×(2/3S_u)又は 3.6S_m の小さい方の値) である。

(注 4) 添付資料 6 「使用済燃料運搬用容器の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」 3.5.3 項に示す火災発生 30 分後における温度分布による熱膨張を考慮

(2) 伝熱フィン

熱的試験時には外筒の温度がレジンより非常に高くなり、伝熱フィンに生じる熱ひずみは外筒の熱膨張による径の増加が支配的となる。今、第70図に示すように外筒の熱膨張によって外筒と中間筒との間隔が広がる量だけ伝熱フィンが伸びるとすると、伝熱フィンの熱ひずみ ε は次式で与えられる。

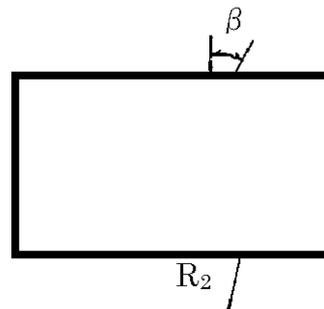
$$\varepsilon = (\ell_1 - \ell_f) / \ell_f$$

$$\ell_1 = \lambda_1 / \cos \beta$$

$$\lambda_1 = R_1 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot (T_1 - 20)) - R_2 \cdot (1 + \alpha_2 \cdot (T_2 - 20))$$

$$\ell_f = \ell_0 \cdot (1 + \alpha_3 \cdot (T_3 - 20))$$

$$\ell_0 = (R_1 - R_2) / \cos \beta$$



第70図 伝熱フィン形状

- 但し、 ℓ_1 : 火災発生後30分における伝熱フィン長さ (mm)
 ℓ_f : 火災発生後30分における伝熱フィンの自由伸び長さ (mm)
 λ_1 : 火災発生後30分における外筒と中間筒の距離 (mm)
 β : 伝熱フィン取り付け角 ($^\circ$)
 ℓ_0 : 伝熱フィン長さ (mm)
 R_1 : 外筒内半径 (mm)
 R_2 : 中間筒外半径 (mm)
 T_1 : 火災発生後30分における外筒の温度 ($^\circ\text{C}$)
 T_2 : 火災発生後30分における中間筒の温度 ($^\circ\text{C}$)
 T_3 : 火災発生後30分における伝熱フィンの温度 ($^\circ\text{C}$)
($= (T_1 + T_2) / 2$)
 α_1 : 外筒の熱膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)
 α_2 : 中間筒の熱膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)
 α_3 : 伝熱フィンの熱膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

ここで、 $R_1 = \boxed{} \text{mm}$
 $R_2 = \boxed{} \text{mm}$
 $\beta = 30^\circ$
 $T_1 = \boxed{} \text{C}$
 $T_2 = \boxed{} \text{C}$
 $T_3 = 371^\circ\text{C}$
 $\alpha_1 = 14.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \quad \boxed{} \text{C}$
 $\alpha_2 = 12.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \quad \boxed{} \text{C}$
 $\alpha_3 = 19.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \quad (371^\circ\text{C})$

したがって、

$$\lambda_1 = \boxed{} \times (1 + 14.2 \times 10^{-6} \times (\boxed{} - 20)) - \boxed{} \times (1 + 12.3 \times 10^{-6} \times (\boxed{} - 20)) = 173 \text{mm}$$

$$\ell_0 = \boxed{} - \boxed{} / \cos 30^\circ = \boxed{} \text{mm}$$

$$\ell_f = \boxed{} \times (1 + 19.3 \times 10^{-6} \times (371 - 20)) = 195 \text{mm}$$

$$\ell_1 = 173 / \cos 30^\circ = 200 \text{mm}$$

$$\varepsilon = (200 - 195) / 195 = 0.026 \quad (2.6\%)$$

生じる熱ひずみは伝熱フィン材料の最小破断ひずみ (25% JIS H 3100(2006)) より十分小さく、伝熱フィン健全性を維持する。

6.4 浸漬

本輸送物の収納物は、最大放射エネルギーが A_2 値の 10 万倍を超えるので、7 項において 200m 浸漬に相当する水頭圧で解析を行い、密封装置の破損のないことを確認している。

特別の試験条件の 15m 浸漬試験においては、200m 浸漬試験の負荷条件より厳しくないため密封装置は 1.3 項で定めた基準を満足する。

6.5 結果の要約及びその評価

(1) 解析結果の要約

特別の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を第 29 表に示す。

表に示すように、各試験条件下において輸送物各部は 1.3 項に定めた基準を満足し構造上の健全性が損われることはない。

第 29 表 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約 (1/2)

条件	項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率 (MS) 等	
特 別 の 試 験 条 件	落 下 試 験 (I)					
	1. 頭部垂直落下					
	ふ た	(P _L)	S _u	414	240	0.73
	フランジ	(P _L)	S _u	414	72.7	4.69
	内 筒	(P _m)	2/3S _u	273	57.6	3.74
	内 筒	(P _L)	S _u	410	167	1.46
	中 間 筒	(P _m)	2/3S _u	282	57.8	3.88
	中 間 筒	(P _L)	S _u	423	120	2.53
	底 板	(P _L +P _b)	S _u	410	9.55	41.9
	外 筒	(P _m)	2/3S _u	284	145	0.96
	外 筒	(P _L)	S _u	425	96.4	3.41
	仕 切 板	(P _L)	S _u	418	122	2.43
	レジンカバー	(P _L)	S _u	418	101	3.14
	ふたボルト	(σ _m)	2/3S _u	597	110	4.43
	ふたボルト	(σ _m +σ _b)	S _u	896	182	3.92
	伝熱フィン		2/3σ _u	118	14.5	7.14
	ふた膨張室支持パイプ 燃料被覆管		S _y	151	143	0.06
	燃料集合体にわずかな残留変形が認められるものの、燃料被覆管は破損しない。					
	2. 底部垂直落下					
	ふ た	(P _L)	S _u	414	13.9	28.8
	フランジ	(P _L)	S _u	414	9.05	44.7
	内 筒	(P _m)	2/3S _u	273	63.4	3.31
	内 筒	(P _L)	S _u	410	103	2.98
	中 間 筒	(P _m)	2/3S _u	282	64.1	3.40
	中 間 筒	(P _L)	S _u	423	125	2.38
	底 板	(P _L)	S _u	410	66.9	5.13
	外 筒	(P _m)	2/3S _u	284	171	0.66
	外 筒	(P _L)	S _u	425	90.7	3.69
	仕 切 板	(P _L)	S _u	418	128	2.27
	レジンカバー	(P _L)	S _u	418	159	1.63
ふたボルト	(σ _m)	2/3S _u	597	177	2.37	
ふたボルト	(σ _m +σ _b)	S _u	896	274	2.27	
バスケット下部スペーサ 燃料被覆管		S _y	146	113	0.29	
燃料集合体にわずかな残留変形が認められるものの、燃料被覆管は破損しない。						
スツール		S _y	146	68.7	1.13	

第 29 表 特別の試験条件に対する構造解析結果の要約 (2/2)

条件	項 目	解析基準	解析基準値 (MPa)	解析結果等 (MPa)	余裕率 (MS) 等
特別の試験条件	3.水平落下				
	ふ た (P _L)	S _u	414	107	2.87
	フランジ (P _L)	S _u	414	132	2.14
	内 筒 (P _m)	2/3S _u	273	138	0.98
	内 筒 (P _L)	S _u	410	108	2.80
	中 間 筒 (P _m)	2/3S _u	282	149	0.89
	中 間 筒 (P _L)	S _u	423	94.5	3.48
	底 板 (P _m)	2/3S _u	273	45.0	5.07
	外 筒 (P _m)	2/3S _u	284	240	0.18
	外 筒 (P _L)	S _u	425	118	2.60
	仕 切 板 (P _L)	S _u	418	104	3.02
	レジンカバー (P _L)	S _u	418	129	2.24
	ふたボルト (σ _m)	2/3S _u	597	367	0.63
	ふたボルト (σ _m +σ _b)	S _u	896	643	0.39
	バスケット チャンネル 支持リング 燃料被覆管	1.5σ _y 1.5S _y	341 219	204 48.2	0.67 3.54
	4.コーナー落下				
ふたボルト (σ _m)	2/3S _u	597	441	0.35	
燃料集合体に残留変形が認められるものの、燃料被覆管は破損しない。 他の部位については衝撃加速度が垂直及び水平落下時の衝撃加速度に比べて小さいので、1 項、2 項及び 3 項の結果より厳しくない。					
落下試験 (II)					
1. 垂直落下					
ふた部及び底部	許容貫通強度			7.08×10 ⁶ N	
2. 水平落下					
中間筒 バルブ部	耐貫通板厚 許容貫通強度			69.6mm 7.08×10 ⁶ N	
熱的試験					
ふ た (P _L +P _b)	S _u	391	46.3	7.44	
フランジ (P _L)	3.6S _m	368	20.5	17.0	
内 筒 (P _m)	2/3S _u	267	47.4	4.63	
内 筒 (P _L)	S _u	401	43.3	8.26	
中 間 筒 (P _m)	2/3S _u	281	30.5	8.21	
中 間 筒 (P _L)	S _u	421	29.9	13.1	
底 板 (P _L +P _b)	3.6S _m	385	21.1	17.2	
ふたボルト (σ _m)	2/3S _u	579	527	0.10	
ふたボルト (σ _m +σ _b)	S _u	868	766	0.13	
伝熱フィン					
生じる熱ひずみは伝熱フィン材料の最小破断ひずみより十分小さく、伝熱フィンは健全性を維持する。					

(2) ふた部 O リングの密封性の評価 (歪レベルの評価)

各試験条件においてふた部に作用する荷重に対して O リング位置でのふたの口開き変形量を各項において求めた。その変形量と O リングの初期締付代との比較を第 30 表に示すが、各条件においていずれも基準値の初期締付代より口開き変形量は小さく密封性が損われることはない。

第 30 表 特別の試験条件に対するふた部密封境界の歪レベル評価

条 件	O リング位置でのふたとフランジとの相対口開き変形量	基準値
9m 落下	頭部垂直	9m 落下時の口開き変形量は 0.1mm 以下である。
	底部垂直	ふたがフランジに押し付けられ、口開き変形は生じない。
	水 平	9m 落下時の口開き変形量は 0.5mm 以下である。
	頭 部 コーナ	垂直、水平に比べて条件が厳しくない。
1 m 貫通	頭部垂直	ふたがフランジに押し付けられ、口開き変形は生じない。
熱的試験	熱的試験時の口開き変形量は 1.1mm である。	O リング 初期締付代 = 2.5mm
15m 浸漬	ふたがフランジに押し付けられ、口開き変形は生じない。	

(3) 破損の要約

特別の試験条件下における破損の要約を各試験項目に従って説明する。

a. 落下試験 I (9m 落下)

本試験では緩衝体及びフィンが塑性変形、また、トラニオンが破損する。最大変形は底部コーナー落下時に下部緩衝体に生じ、最大 460mm 圧潰する。緩衝体は変形するが、容器本体から外れることはない。

b. 落下試験 II (貫通試験)

本試験では、緩衝体、レジンカバー、フィン及び外筒に貫通又は変形が生じる。緩衝体には貫通が生じるが、容器本体から外れることはない。

c. 熱的試験

本試験では、添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」4.2 項に示すように中性子遮蔽体のレジンは一部が焼損するが、添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」3.5.6 項に示すように鉛が溶融することなく、容器本体各部の応力及びひずみは解析基準値以下で容器本体は構造健全性を維持する。

d. 15m 及び 200m 浸漬試験

15m 及び 200m のいずれの水頭下においても、本運搬用容器本体は破断することなくかつ密封性を損うことはない。

e. ま と め

特別の試験条件下における輸送物の主な破損の要約を第 31 表に示す。これらの破損が、容器の熱解析及び遮蔽解析に与える影響は、第 32 表に示すとおりである。

第 31 表 特別の試験条件下の輸送物破損の評価

(備考) ○印は破損あり

—印は破損なし

試験 \ 部位	本体	フィン	緩衝体	バスケット	燃料集合体	備考
落下試験 I	—	○	○	—	—	・トラニオンが破損する。
落下試験 II	○	○	○	—	—	・レジンカバー、外筒及びレジンに局所的な塑性変形が生じる。 ・緩衝体のカバープレートが貫通される。 ・フィンは局所的に塑性変形する。
熱的試験	—	—	—	—	—	・鉛の溶融はない。 ・レジンが一部焼損する。
浸漬試験	—	—	—	—	—	————

第 32 表 特別の試験条件における他の解析への影響

熱解析	遮蔽解析
<p>落下試験 I による緩衝体の変形量を考慮して解析する。落下試験 I 又は II によるフィン及び外筒の変形については局所的であり、また、変形すると熱的試験時の入熱面積が減少するので、より厳しい条件となるようにフィンは健全であるとして解析する。</p> <p>また、落下試験 II により上下レジン部に貫通が生じる恐れがあるので安全側に貫通部分をモデルより除外する。</p>	<p>緩衝体の変形が大きいので、解析モデル上、緩衝体がないとし緩衝体による放射線の減衰効果を見捨てる。</p> <p>落下試験 I 又は II により上下レジン部、フィン及び外筒と中央レジン部の一部が破損する恐れがある。また、熱的試験によりレジンが一部焼損するので、安全側に上下レジン及びフィンの全部、また、外筒及び中央レジンの一部を見捨てる。</p>

7. 強化浸漬試験

(1) 外圧に対する中間筒の耐圧強度

本輸送物の収納物は最大放射エネルギーが、 A_2 値の 10 万倍を超えるので、200m 浸漬に相当する水頭圧で解析を行う。

設計・建設規格¹⁾においては、本試験条件に対応する供用状態 D における円筒の許容外圧 P_a (MPaG)は、次のように与えられる。

$$P_a = 1.5 \times \frac{4B \cdot t}{3D_o}$$

但し、 t : 中間筒板厚 (mm)

D_o : 中間筒外径 (mm)

B : L/D_o 、 D_o/t 及び温度で定まる係数

L : 中間筒支持間隔 (mm)

ここで、 $t = \square$ mm

$D_o = \square$ mm

$L = \square$ mm

設計・建設規格¹⁾付録材料図表 Part 7 図 1 及び図 3 より、 \square Cにおける炭素鋼に対する B 値は、

$L/D_o = \square$ 、 $D_o/t = \square$ から、

$B = 110$

したがって、

$$P_a = 1.5 \times \frac{4 \times 110 \times \square}{3 \times \square}$$
$$= 9.77 \text{MPaG}$$

本試験条件において中間筒に作用する外圧 P_o は、2.00MPaG であるから、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{P_a}{P_o} - 1$$
$$= \frac{9.77}{2.00} - 1$$
$$= 3.89$$

したがって、中間筒の耐圧強度は十分である。

(2) 外圧に対する運搬用容器本体底板の強度

底板を端部固定の円板にモデル化すると、その最大曲げ応力 σ_b (MPa)は、次式で与えられる。¹³⁾

$$\sigma_b = 0.75 \frac{P \cdot a^2}{t^2}$$

但し、 a : 円板の半径(mm)

P : 外 圧(MPaG)

t : 板 厚(mm)

ここで、 a = mm

P = 2.00MPaG

t = mm

したがって、

$$\begin{aligned}\sigma_b &= 0.75 \times \frac{2.00 \times \text{}}{\text{}^2} \\ &= 5.51 \text{MPa}\end{aligned}$$

この応力を一次曲げ応力に分類すると基準値は 1.3 項より、 S_u 又は $3.6S_m$ の小さい方である。

底板の温度 °C における設計引張強さ S_u は 410MPa、 S_m は 132MPa であるので、基準値は S_u の 410MPa である。

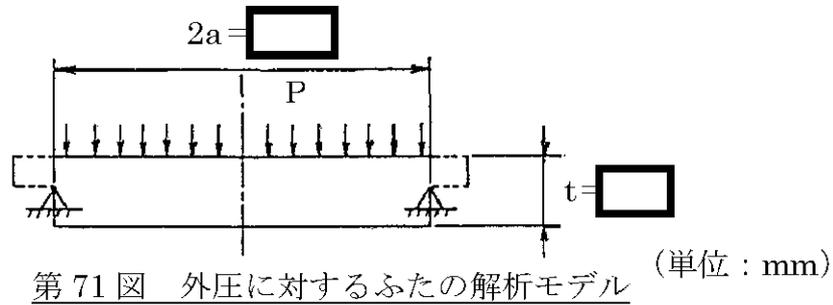
したがって、余裕率 MS は、次のようになる。

$$\begin{aligned}MS &= \frac{S_u}{\sigma_b} - 1 \\ &= \frac{410}{5.51} - 1 \\ &= 73.4\end{aligned}$$

したがって、底板は、外圧に対して十分な強度を有する。

(3) 外圧に対するふたの強度

ふたの強度解析モデルを第 71 図に示す。



ふたの最大応力はふた中央部に生じる。この半径方向曲げ応力 σ_b (MPa) は、次式で与えられる。

$$\sigma_b = \frac{3(3+\nu) P \cdot a^2}{8 t^2}$$

但し、 a : ふた半径(mm)
P : 圧 力(MPaG)
t : 板 厚(mm)
 ν : ポアソン比

ここで、 a = mm
P = 2.00MPaG
t = mm
 $\nu = 0.3$

したがって、

$$\sigma_b = \frac{3 \times (3 + 0.3) \times 2.00 \times \text{}}{8 \times \text{}}$$
$$= 13.2 \text{MPa}$$

ふたの温度 °C における設計引張強さ S_u は 414MPa、 S_m は 134MPa であるので、基準値は S_u の 414MPa である。したがって、余裕率 MS は、次式で与えられる。

$$MS = \frac{S_u}{\sigma_b} - 1$$
$$= \frac{414}{13.2} - 1$$
$$= 30.4$$

したがって、外圧に対しふたは十分な強度を有する。なお、上記の発生応力値は Cにおける設計降伏点($S_y = 151\text{MPa}$)より低く、また、外圧はふたをフランジに押し付けるように作用するので、ふたOリングの密封性は200m浸漬時において保持される。

8. 放射性収納物

本輸送物の放射性収納物は、PWR 使用済燃料集合体である。

燃料集合体の強度解析については、特別の試験条件である 9m 落下時に運搬用容器と等しく落下衝撃を受けるものとして行っている。その結果、燃料被覆管が変形する可能性はあるものの、破損することはないことから、燃料被覆管内の核分裂生成物は、外部に放散されることはない。

これより、特別の試験条件では各安全解析における燃料集合体の状態を第 33 表に示すように設定して評価を行う。

第 33 表 各安全解析における燃料集合体の設定

解析項目	各解析における燃料集合体の設定
熱解析	燃料棒ピッチの変化が熱解析の結果に与える影響は小さいので、変形を無視する。
遮蔽解析	燃料棒ピッチの変化が遮蔽解析の結果に与える影響は小さいので、変形を無視する。

9. 核分裂性輸送物

本輸送物は核分裂性輸送物に該当し、周囲温度 -20°C 以上で使用する。

本輸送物は、4.2 項で示すとおり、周囲温度 $-20\sim 38^{\circ}\text{C}$ の温度条件において、き裂、破損等の生じるおそれはない。したがって本項では、臨界解析において想定する輸送物の損傷状態を、以下の試験条件に対して評価する。

9.1 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件

核分裂性輸送物に係る一般の試験条件は、告示により次の 4 種類が定められており、a の条件においた後、b～d の条件の下に置く。

- a. 水噴霧
- b. 0.3m 自由落下
- c. 積み重ね試験
- d. 6kg 棒貫通試験

臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を 5 項及び 9.2 項の解析結果を基に評価すると次のようになる。

(1) 水噴霧

5.2 項と同一であり、輸送物に損傷はない。

(2) 0.3m 自由落下

5.3 項と同一であり、緩衝体に変形が生じるがそれ以外の部位に損傷はない。

(3) 積み重ね試験

5.4 項と同一であり、運搬用容器に損傷はない。

(4) 6 kg 棒貫通試験

5.5 項と同一であり、運搬用容器に損傷はない。

以上の結果より、一般の試験条件下の輸送物の損傷状態は第 34 表のようにまとめられる。本輸送物は、第 35 表に示すように、一般の試験条件において、規則及び告示に定められている核分裂性輸送物としての要件を満足する。

第 34 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下の輸送物の損傷状態

試験条件	輸送物の損傷状態	備 考
水 噴 霧	損傷なし	——
0.3m 落下	緩衝体の変形	緩衝体は臨界解析で無視する。
積み重ね	損傷なし	——
6kg 棒貫通	損傷なし	——

第 35 表 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件における適合性評価

核分裂性輸送物としての要件	評 価
<p>構造部に一辺 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じないこと及び外接する直方体の各辺が 10cm 以上であること。</p>	<p>緩衝体に変形するが一辺が 10cm の立方体を包含するようなくぼみが生じることはなく、外接する直方体の各辺は 10cm 以上である。なお、緩衝体は臨界解析で無視する。</p>

9.2 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件

9.1 項の一般の試験条件に続いて 15m 浸漬試験が実施される場合には、6.4 項に示すように本輸送物の損傷が拡大することはないので、本輸送物に関する特別の試験条件は最大破損条件となる以下の順序で実施する。

- a. 9.1 項の一般の試験条件
- b. 9m 落下試験
- c. 1m 貫通試験
- d. 熱的試験（耐火）
- e. 0.9m 浸漬試験

ここで、一般の試験条件としては第 34 表に示すように損傷がある 0.3m 落下試験を考慮する。

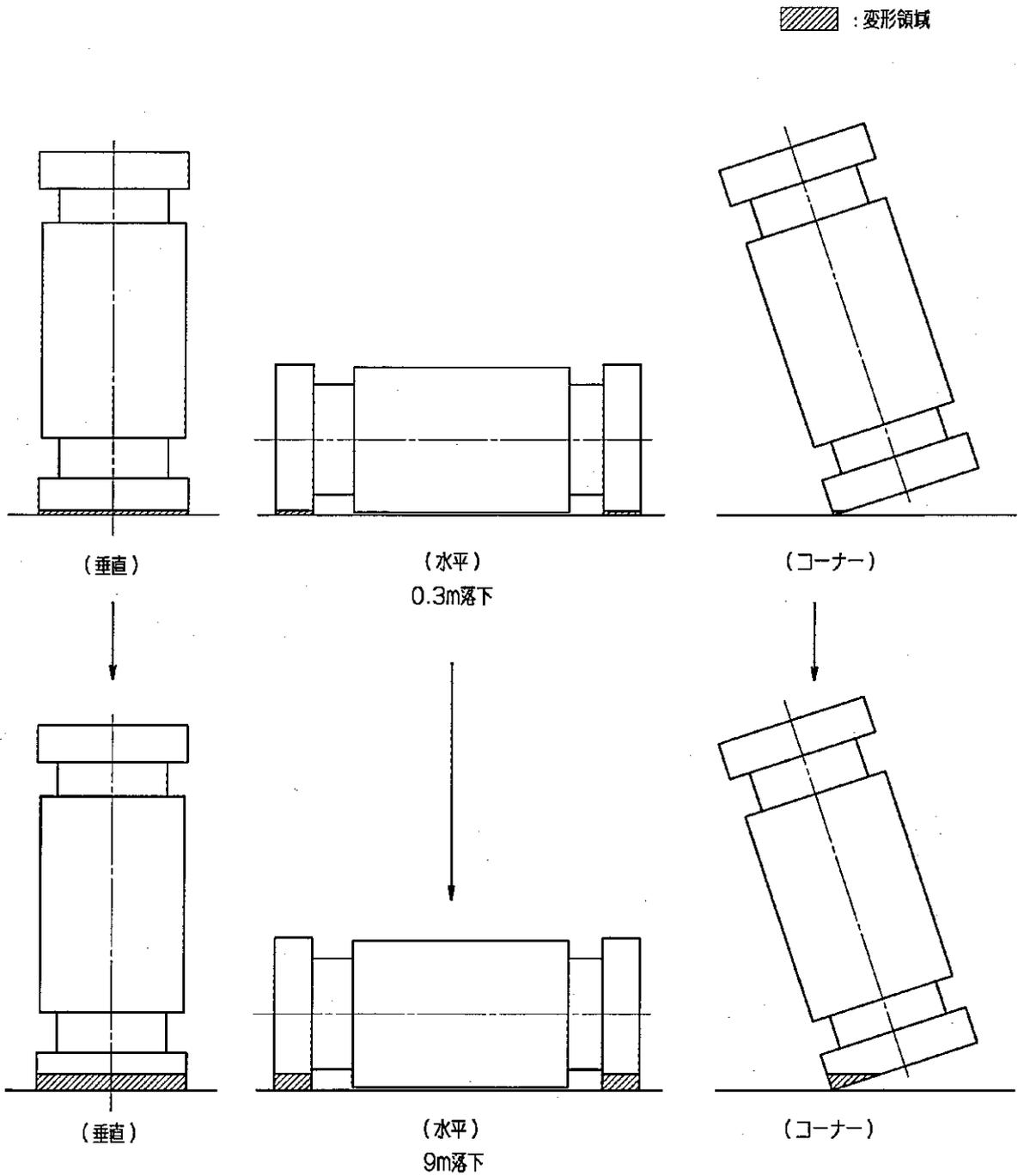
臨界解析における評価方法を考慮して、影響する輸送物の損傷状態を評価すると次のようになる。

(1) 9m 落下試験

a. 落下姿勢と落下試験の順序

第 72 図に落下姿勢と落下試験の順序を示す。

9.1 項の 0.3m 落下と 9m 落下の落下方向が同一の場合に緩衝体の変形量が最大になると考えられるので、この場合について検討を行う。



第72図 落下姿勢と試験の順序

b. 9m 落下試験時の変形量と衝撃加速度

(a) 垂直落下

落下高さとしては、0.3m 落下と 9m 落下との合計 9.3m を与える。

イ. 頭部垂直落下

6.1(1)b.(b)項と同様に、落下エネルギー E_K は、次のように与えられる。

$$\begin{aligned} E_K &= W \cdot g \cdot H \\ &= 115 \times 10^3 \times 9.8 \times 9300 \\ &= 1.05 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

6.1(1)c.(a)項に示す手法を用いて、変形量 δ を求めると次のとおりである。

$$\delta = 142 \text{mm}$$

また、衝撃加速度 G_V は、

$$G_V = 901 \text{m/s}^2$$

である。

ロ. 底部垂直落下

落下エネルギーはイ項と同様に、

$$E_K = 1.05 \times 10^{10} \text{N} \cdot \text{mm}$$

である。6.1(1)c.(b)項に示す手法を用いて、変形量 δ を求めると次のようになる。

$$\delta = 143 \text{mm}$$

また、衝撃加速度 G_V は、

$$G_V = 895 \text{m/s}^2$$

である。

(b) 水平落下

6.1(1)d 項と同様に、落下高さを 0.3m 落下と 9m 落下の総落下エネルギーに対応する 9.3m として計算を行うと、緩衝体の変形量 δ は、

$$\delta = 187 \text{mm}$$

となる。

このときの最大衝撃加速度 G_H は、

$$G_H = 968 \text{m/s}^2$$

である。

(c) コーナー落下

落下高さが、0.3m 落下及び 9m 落下の合計 9.3m であるとして、6.1(1)e 項と同様な方法により計算を行うと、その結果は以下のとおりである。

イ. 頭部コーナー落下

上部緩衝体の変形量=463mm

衝撃加速度=576m/s²

ロ. 底部コーナー落下

下部緩衝体の変形量=466mm

衝撃加速度=583m/s²

(d) まとめ

9m 落下試験後の緩衝体及びフィンの累積変形量及び最大衝撃加速度は第 36 表に示すとおりである。

第 36 表 9m 落下試験における緩衝体及びフィンの累積変形量と衝撃加速度

落下姿勢		緩衝体の 累積変形量 (mm)	設計基準 ^(注2) 変形量 (mm)	衝撃加速度 (m/s ²)	落下試験 I (9m 単独) における衝撃加速度 との比
垂 直	頭 部	142	194	901	1.01
	底 部	143	194	895	1.01
水 平		187 (136) ^(注1)	195	968	1.00
コーナ-	頭 部	463	525	576	1.01
	底 部	466	571	583	1.01

(注 1) フィンの変形量を示す。

(注 2) 設計基準変形量とは、それぞれの落下方向において衝撃力を急激に上昇させないための設計上の基準値である。

(e) 輸送物各部の損傷評価

9m 落下試験時の衝撃加速度は第 36 表に示すように 6.1 項の落下試験 I 時に比べて最大で 1% の増加である。落下試験 I の構造解析結果の要約を示す第 29 表において、運搬用容器及び収納物に関する構造評価の余裕率は 1% 以上あるので、本落下試験においても運搬用容器及び収納物の構造健全性は維持される。

(2) 1m 貫通試験

(1)項の落下試験において緩衝体及びフィンが変形するが、これらは 6.2 項に示すように 1m 貫通試験に対する評価において関係しない。したがって、本試験における輸送物の損傷状態は 6.2 項の結果（6.5 項に示す要約参照）と同一である。

(3) 熱的試験

熱的試験においては、緩衝体の変形は考慮しているが、緩衝体の変形量による影響は微小であると考えられる。したがって、本試験における輸送物の損傷評価は 6.5(3)c 項と同一となる。

(4) 0.9m 浸漬試験

6.4 項の 15m 浸漬試験の結果から明らかなように、0.9m 浸漬試験において輸送物は損傷が拡大することはない。

(5) 輸送物の損傷状態の要約

第 37 表に特別の試験条件下の輸送物の損傷状態の要約を示す。なお、特別の試験条件においては燃料被覆管は破損することはないが、燃料棒の変形が想定される¹⁹⁾ことから、燃料集合体については、臨界解析において第 38 表に示すように条件を設定する。

第 37 表 核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下の輸送物の損傷状態

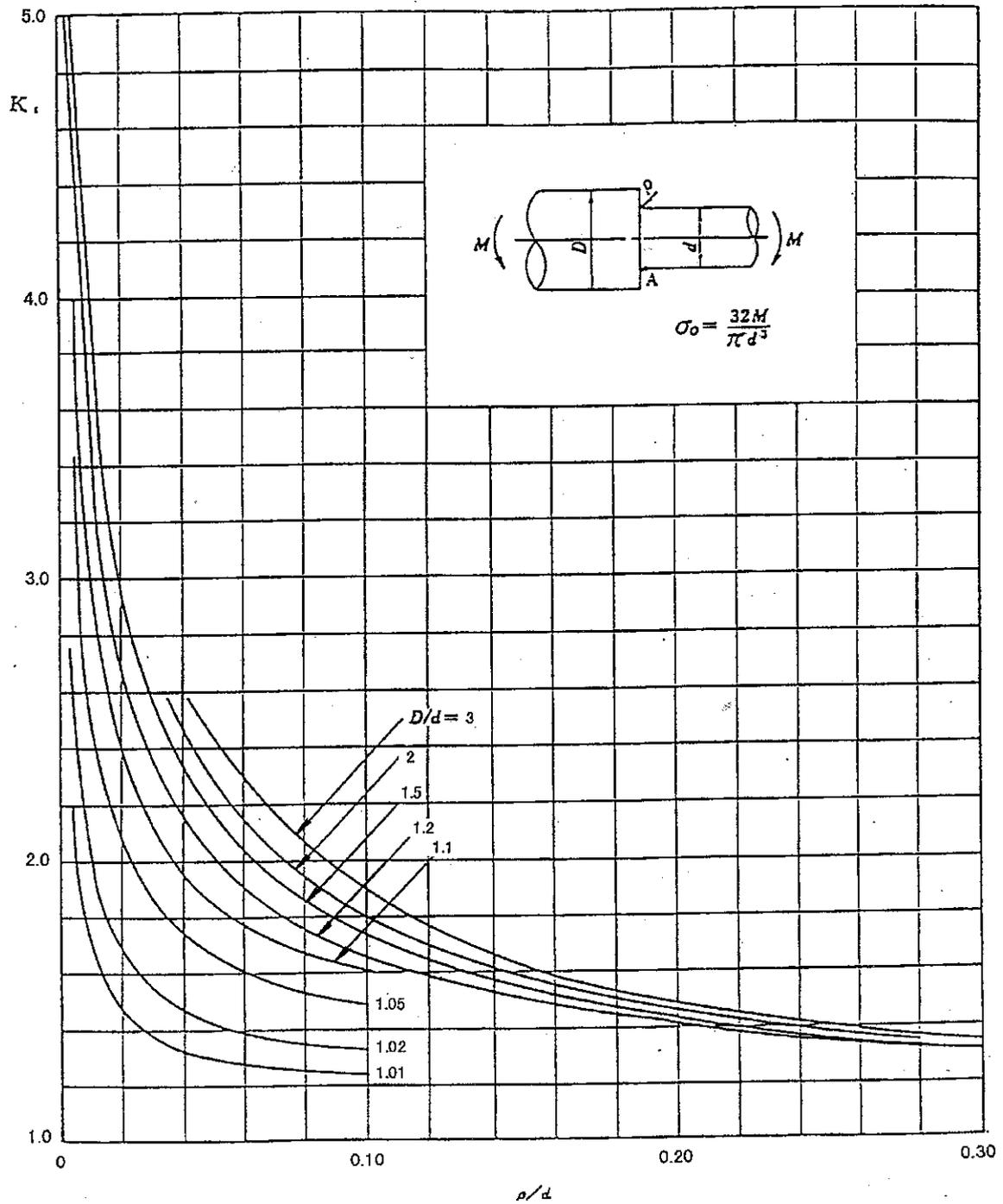
条 件	輸送物の損傷状態	備 考
9m 落下	緩衝体、フィン及びトランニオンの変形	緩衝体、フィン及びトランニオンは臨界解析で無視。
1m 貫通	緩衝体、フィン、外筒及びレジンの変形	緩衝体、フィン及びレジンは臨界解析で無視。
熱的試験 (耐火)	レジンの一部焼損 各部位の温度が上昇	臨界解析上はレジンを無視し、水密度を 1.0g/cm ³ 、燃料温度を 20℃としている。
0.9m 浸漬	損傷なし	臨界解析上は満水で解析する。

第 38 表 臨界解析における燃料集合体の設定

解析項目	臨界解析における燃料集合体の設定
臨界解析	グリッド 1 スパン間の燃料棒ピッチの拡大を仮定する。

10. 附属書類

10.1 段付き部の応力集中係数



第73図 段付き部の応力集中係数線図

10.2 ボロン添加ステンレス鋼の材料特性

(1) 概 要

本輸送物のバスケット格子に使用するボロン添加ステンレス鋼は、中性子吸収体と構造材を兼ねた新しい材料である。

本材料は [] ステンレス鋼を母材に [] ボロンを添加したもので、 [] ステンレス鋼に比べて高強度であるが低延性の特徴を持つ。本材料の機械的強度及び低温じん性について材料試験を行い、本輸送物の運搬及び試験条件下での材料特性に問題がないことを確認した。

(2) 供試体材料

供試体として使用した材料の化学成分を第 39 表に示す。

第 39 表 材料試験に使用したボロン添加ステンレス鋼の化学成分

(単位：%)

メーカー	部 材 (板 厚)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	B
A 社	板 []mm)								
B 社	角パイプ []mm)								
	板 []mm)								
C 社	板 []mm)								

溶接方法としては溶加材 [] を用いる [] 溶接と角パイプに用いる溶加材なしの [] 溶接 ([] 溶接) の 2 種類があり、それぞれの溶接部に対して機械試験を実施した。

(3) シャルピー衝撃試験

a. 試験要領

JIS Z 2242(1980)「金属材料衝撃試験方法」に基づき、吸収エネルギー、横膨出量及び脆性破面率を求めた。試験温度は□□℃～□□℃の温度範囲内において□□℃ごとであり、試験片としてはJIS Z 2202「金属材料衝撃試験片」に示す4号試験片(2mmVノッチ)のサブサイズ試験片を用いた。

b. 試験結果

第74図と第75図に板材及び角パイプとそれぞれの溶接部に対する吸収エネルギー値及び横膨出量と温度との関係を示す。吸収エネルギー及び横膨出量は低温になると下がる傾向にあるが、脆性破面率についてはいずれの試験片も0%であり、すべて延性破面であった。試験温度が□□℃と□□℃における破面の断面写真を写真1及び写真2に示す。写真に示すように、両者の破面の状態はほとんど同一であり、いずれも延性破面を示している。

(4) 落重試験

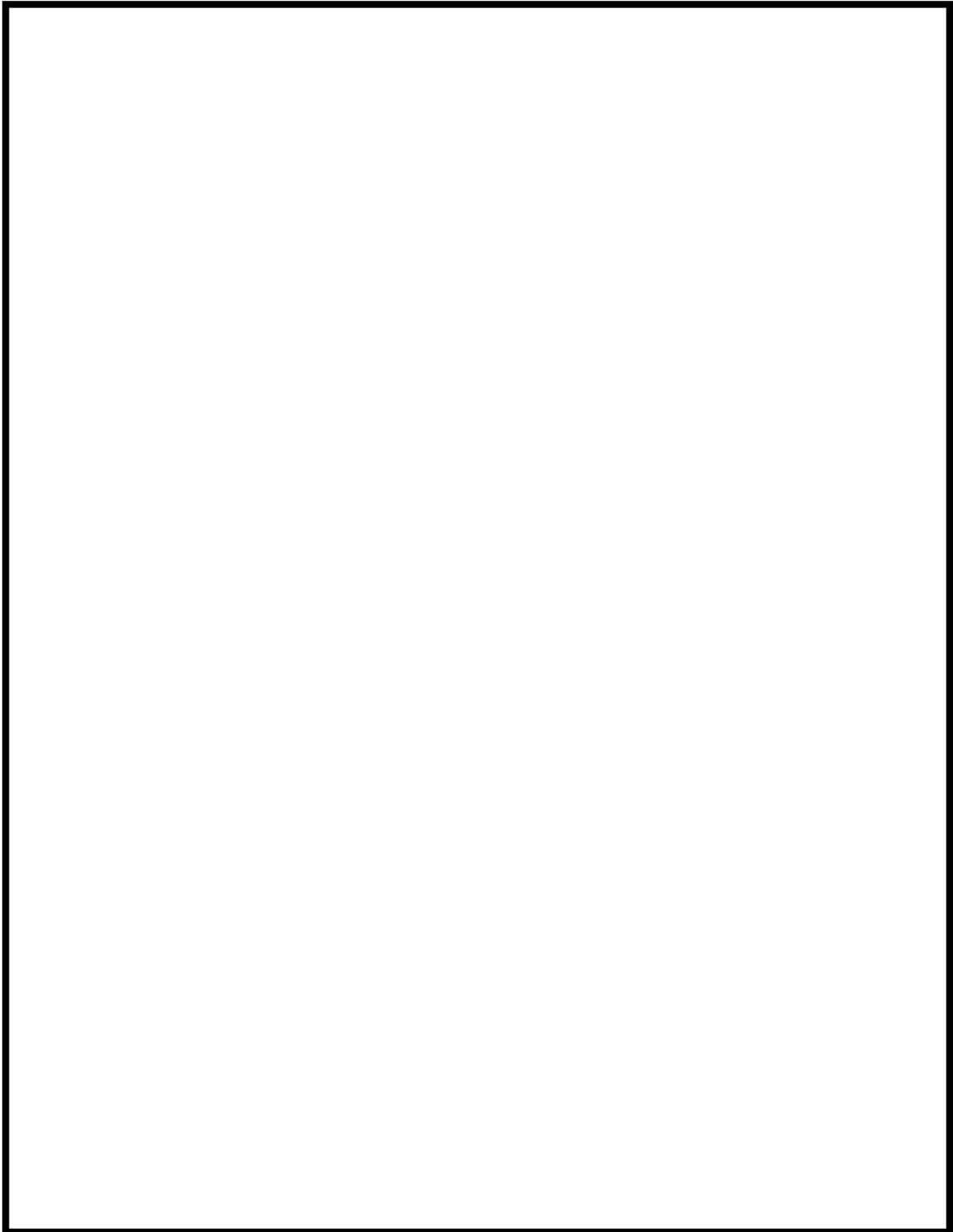
a. 試験要領

発電用原子力設備に関する構造等の技術基準(昭和55年通商産業省告示第501号)第4条(設計・建設規格¹⁾PVB-2300と同等)に示される落重試験の方法に準じて脆性遷移温度を求めた。なお、供試体の板厚が最大□□mmで、試験片の最小板厚16mm(三種試験片)に達しないため、試験は板厚□□mmに対して行い、供試体に生じるひずみ量を三種試験片と同等になるように試験受台の形状を変更して行った。試験温度は□□℃～□□℃の温度範囲において□□℃ごととした。

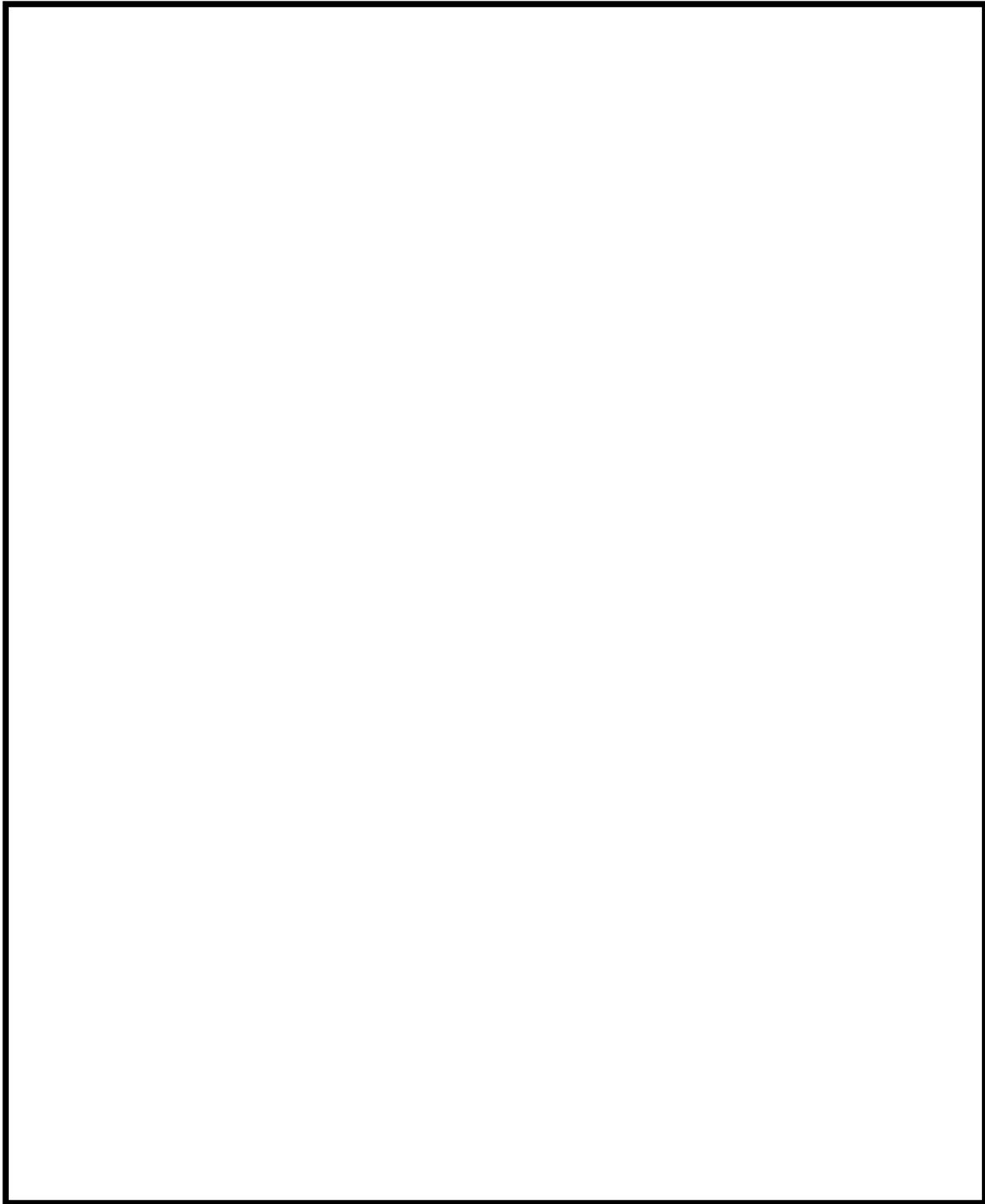
b. 試験結果

いずれの材料いずれの温度においても非破断の結果となり、□□℃～□□℃の温度範囲において脆性遷移温度を特定できなかった。

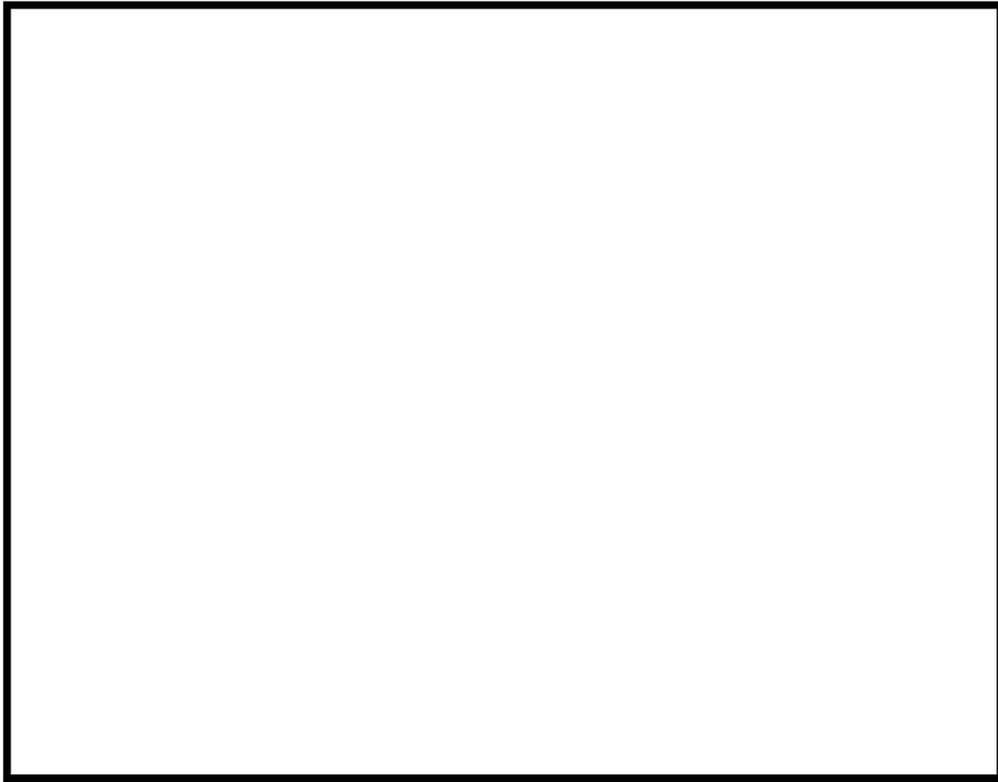
以上の結果より、ボロン添加ステンレス鋼は□□□□ステンレス鋼本来の性質である「低温脆性のない材料」を保持していると判断できる。



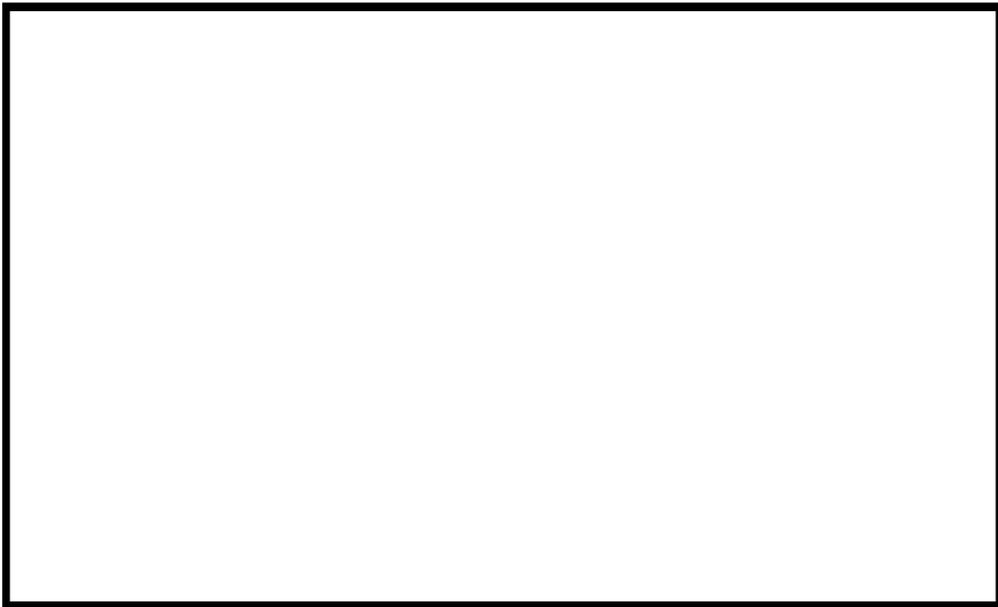
第 74(a)図 ボロン添加ステンレス鋼板材のシャルピー衝撃試験結果 (吸収エネルギー)
(JIS 4 号試験片 幅 7.5mm)



第 74(b)図 ボロン添加ステンレス鋼板材のシャルピー衝撃試験結果（横膨出量）
（JIS 4 号試験片 幅 7.5mm）



(a)吸収エネルギー



(b)横膨出量

第 75 図 ボロン添加ステンレス鋼角パイプのシャルピー衝撃試験結果

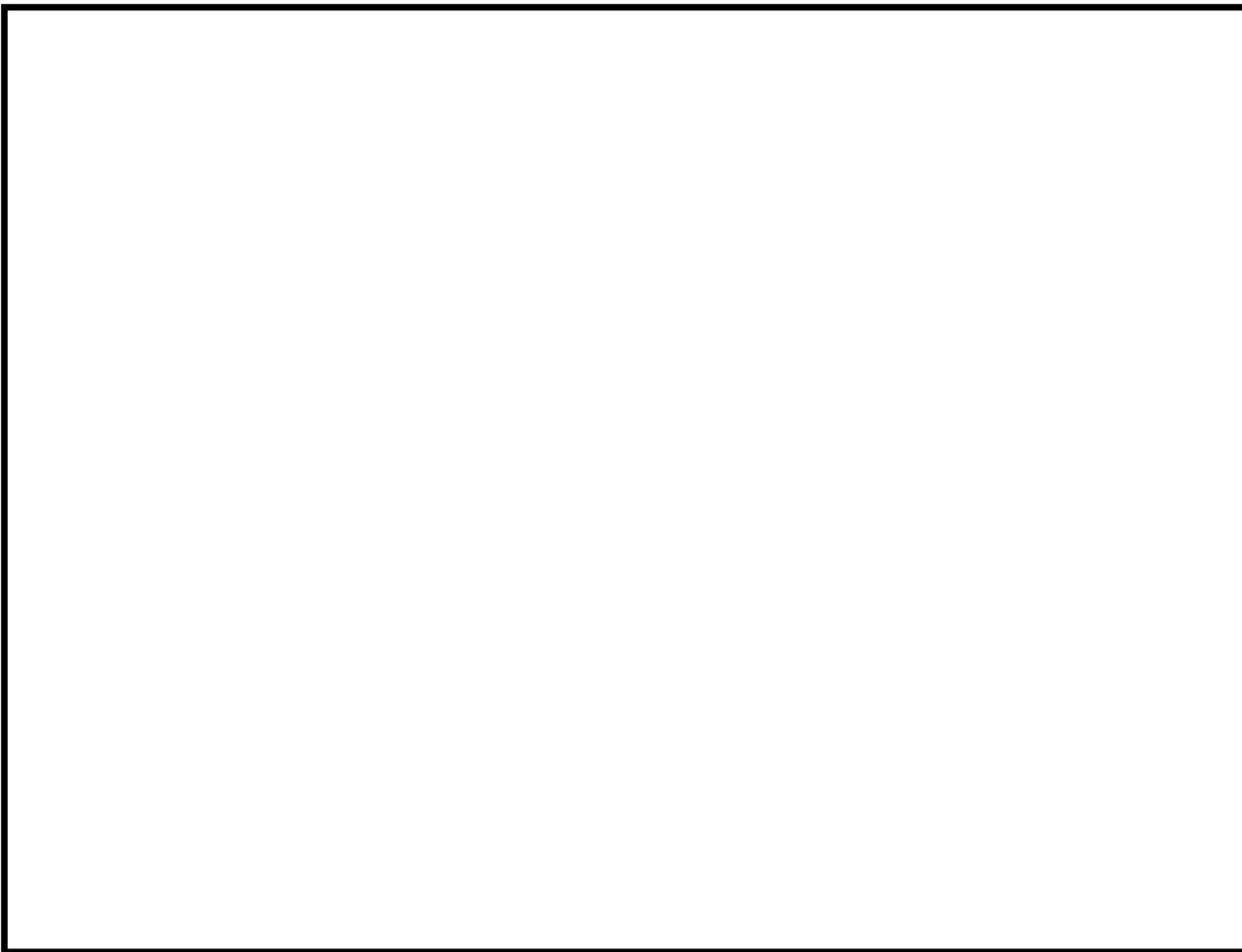


写真1 シャルピー衝撃試験片破断面 (試験温度: ℃)

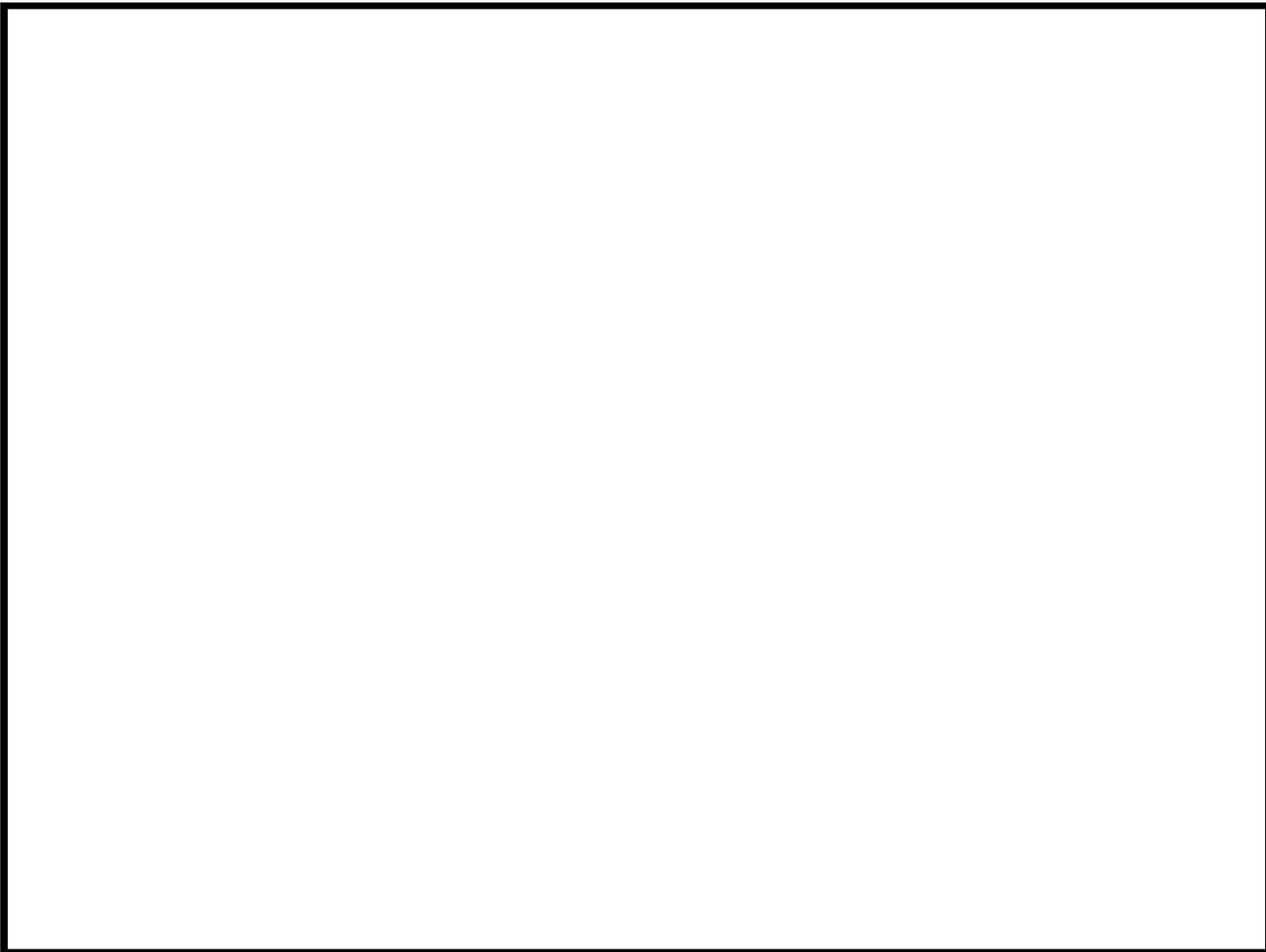


写真2 シャルピー衝撃試験片破断面（試験温度：℃）

(5) 引張試験

a. 試験要領

JIS Z 2241(1980)「金属材料引張試験方法」に基づき引張試験を行い、降伏応力（0.2%耐力）、引張強さ及び伸びを求めた。試験温度は□と□Cとし、試験片はJIS Z 2201「金属材料引張試験片」の5号試験片又はJIS G 0578「鉄鋼材料高温引張試験片」に基づいた。

b. 試験結果

第40表に引張試験結果を示す。0.2%耐力の試験結果は基準値を十分上回っており、常温及び高温とも強度は十分あることが確認できた。

第 40(a)表 ボロン添加ステンレス鋼の [] における引張試験結果

材 料	区 分	メーカー	最小0.2% ^(注) 耐力(MPa)	最小引張強さ (MPa)	最小伸び (%)
板 材	母 材	A 社	[]	[]	[]
		B 社			
		C 社			
	[] 溶 接 部	A 社			
		B 社			
		C 社			
角パイプ	母 材	B 社			
	[] 溶接部	B 社			

(注) [] における基準値は [] MPa である。

第 40(b)表 ボロン添加ステンレス鋼の [] C における引張試験結果

材 料	区 分	メーカー	最小0.2% ^(注) 耐力(MPa)	最小引張強さ (MPa)	最小伸び (%)
板 材	母 材	A 社	[]	[]	[]
		B 社			
		C 社			
	[] 溶 接 部	A 社			
		B 社			
		C 社			
角パイプ	母 材	B 社			
	[] 溶接部	B 社			

(注) [] C における基準値は [] MPa である。

10.3 9m 水平落下時のフィンの衝撃力及び吸収エネルギーの計算

(1) 計算方法

本輸送物は 9m 水平落下時にフィンが落下台に当たり、フィンが座屈変形することにより落下エネルギーを吸収する。この変形による衝撃力及び吸収エネルギー量は、長方形板フィンに対する落下実験データ¹⁶⁾より得られた変形量と吸収エネルギーとの関係を円環フィンに適用して求められる。この計算手法は円環フィンの部分モデルに対する落下実験との比較検討により、衝撃力を修正することにより妥当な評価結果が得られることを確認した。

a. 長方形フィンの実験結果

実験は、第 76 図に示す長方形板の試験片に上方よりハンマーを落下させ、試験片に取り付けたロードセルとハンマーに取り付けた加速度計により衝撃力と加速度の時間的変化を計測した。この計測結果よりフィンの変形量と吸収エネルギーの関係を求めている。第 77 図にフィン高さ mm の場合の関係を示す。ここでは、吸収エネルギーは塑性曲げモーメント、変形量はフィン高さとの無次元数により整理している。

b. 円環フィンに対する衝撃力と吸収エネルギーの計算方法

第 78 図に示すように、円環フィンを長方形板要素に分割し、個々の長方形板要素に対して前項の変形量と吸収エネルギーの関係を適用して円環フィンの変形量と衝撃力及び吸収エネルギーの関係を求める。計算は第 78 図に示す円環フィンの変形量 Δ を与え、その変形領域内にある長方形板要素 i の変形量 δ_i に対する吸収エネルギーを第 77 図に示す関係式より求め、合計したものを円環フィンの吸収エネルギーとする。衝撃力については、求められた変形量と吸収エネルギーの関係より（吸収エネルギー増分）／（変形量増分）を求めることにより得られる。

c. 円環フィン落下実験結果による補正

第 79 図に示す円環フィン部分モデルに対して a 項と同様に上方よりハンマーを落下させ、ハンマーに取り付けた加速度計によりハンマーの加速度応答を計測した。この計測結果より求めた変形量と衝撃力及び吸収エネルギーの関係及び前項の計算方法による結果との比較の一例を第 80 図に示す。図において変形量が小さい範囲において吸収エネルギーの計算値は実験値より高くなっているが、フィンの変形が進むにつれて実験値に近づき 9m 落下時の最終変形量前後では実験値より低く安全側の評価となる。

一方、衝撃力については変形量が大きくなると計算値が実験値より低くなるので、計算値に一定の負荷係数を乗じて安全側に評価する必要がある。第 41 表に各実験モデルに対して実験結果より衝撃力が高くなるように設定した負荷係数の値を示す。また、第 80 図に補正した衝撃力と変形量の関係を示す。変形量の小さい領域では実験結果に合わせて衝撃力は線形に増加するとして評価する。

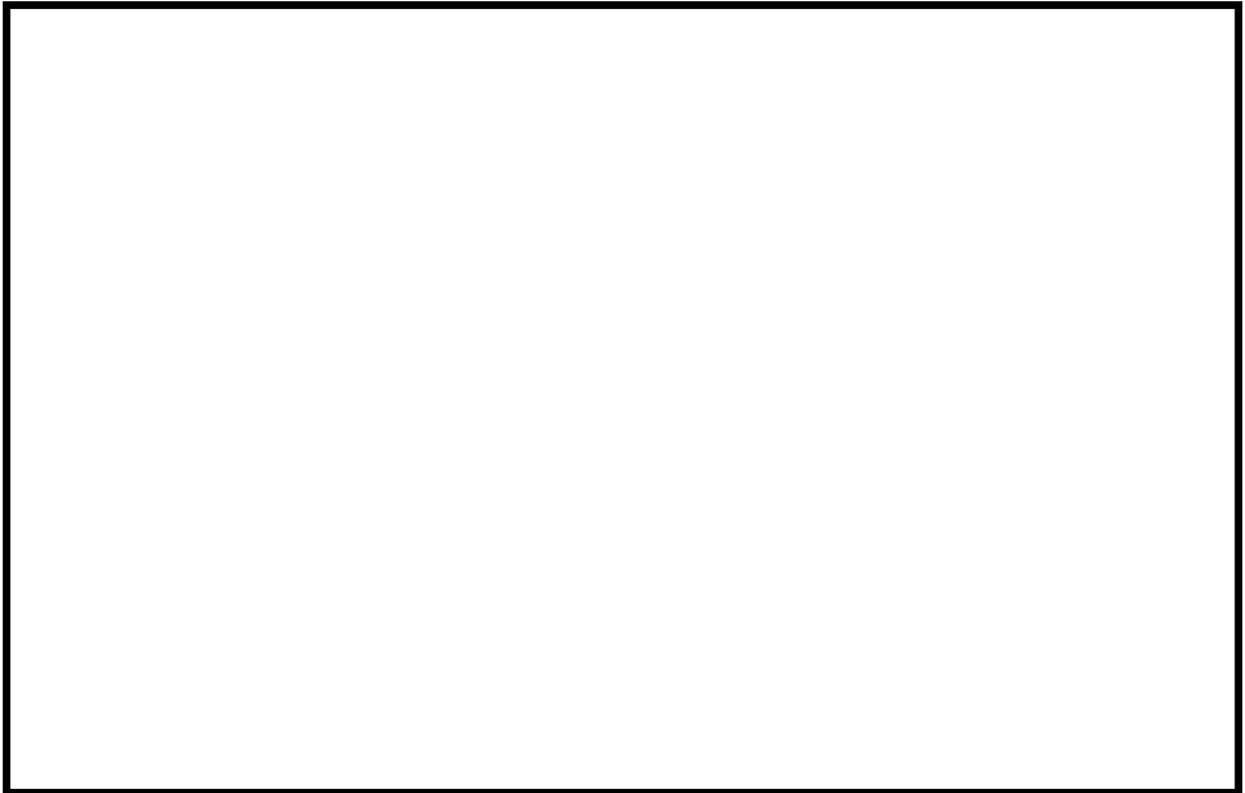
本輸送物のフィン（高さ：160mm、板厚：8mm）に対しては第 41 表より負荷係数を とし、衝撃力を前項の計算値に して評価する。

第 41 表 フィン落下試験モデルに対する負荷係数の設定

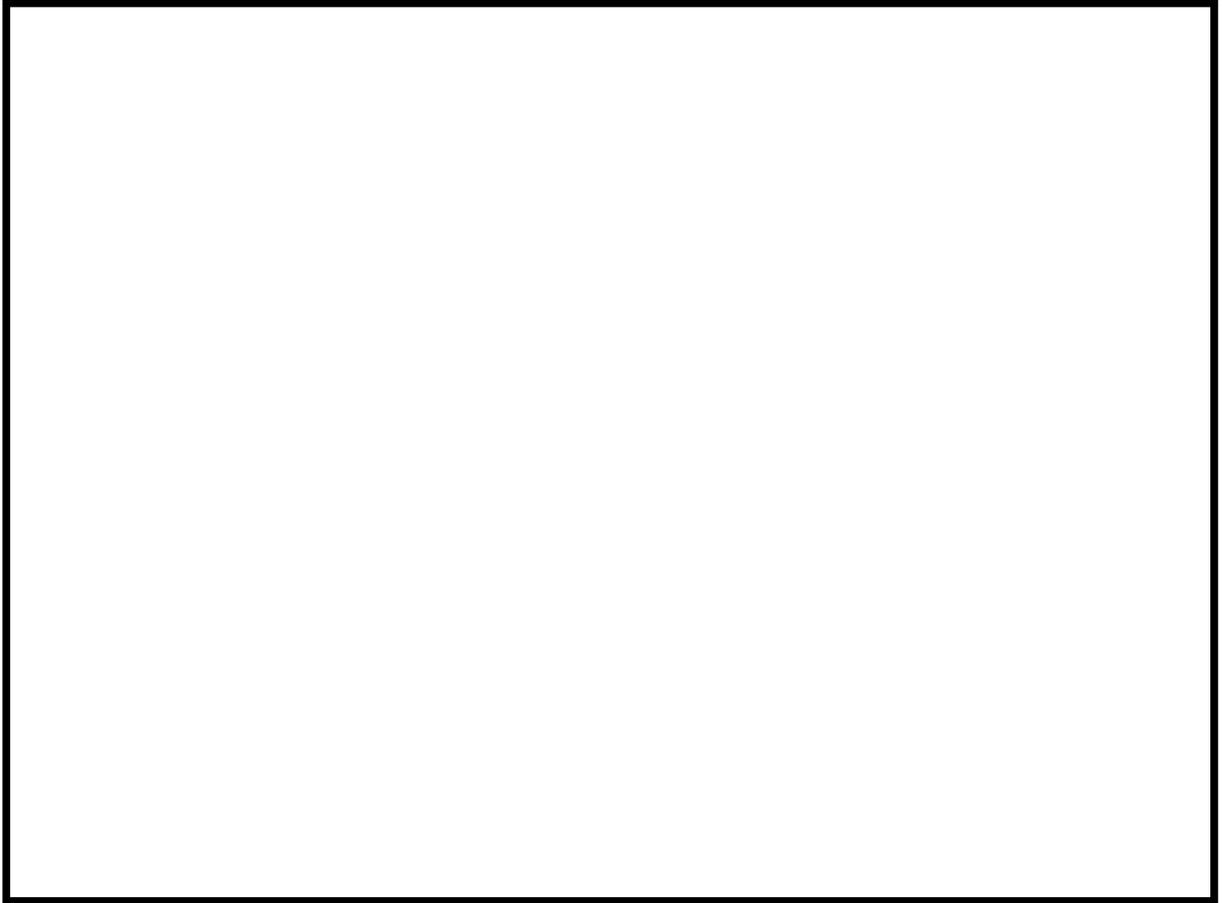
試験片 No.	フィン形状			負荷係数
	高さ H(mm)	板厚 t(mm)	H/t	
I				
II				
III				
IV				



第 76 図 長方形板フィンの試験片形状

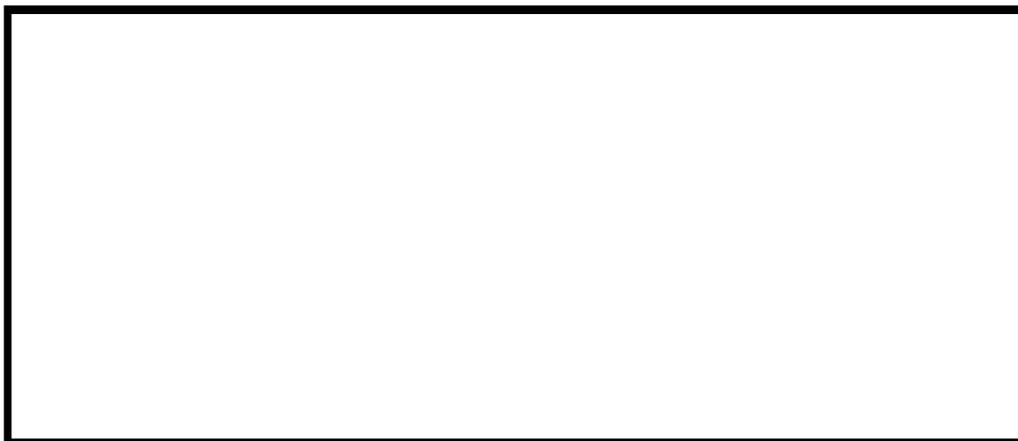


第 77 図 高さ mm の長方形板フィンに対する変形量と吸収エネルギーとの関係

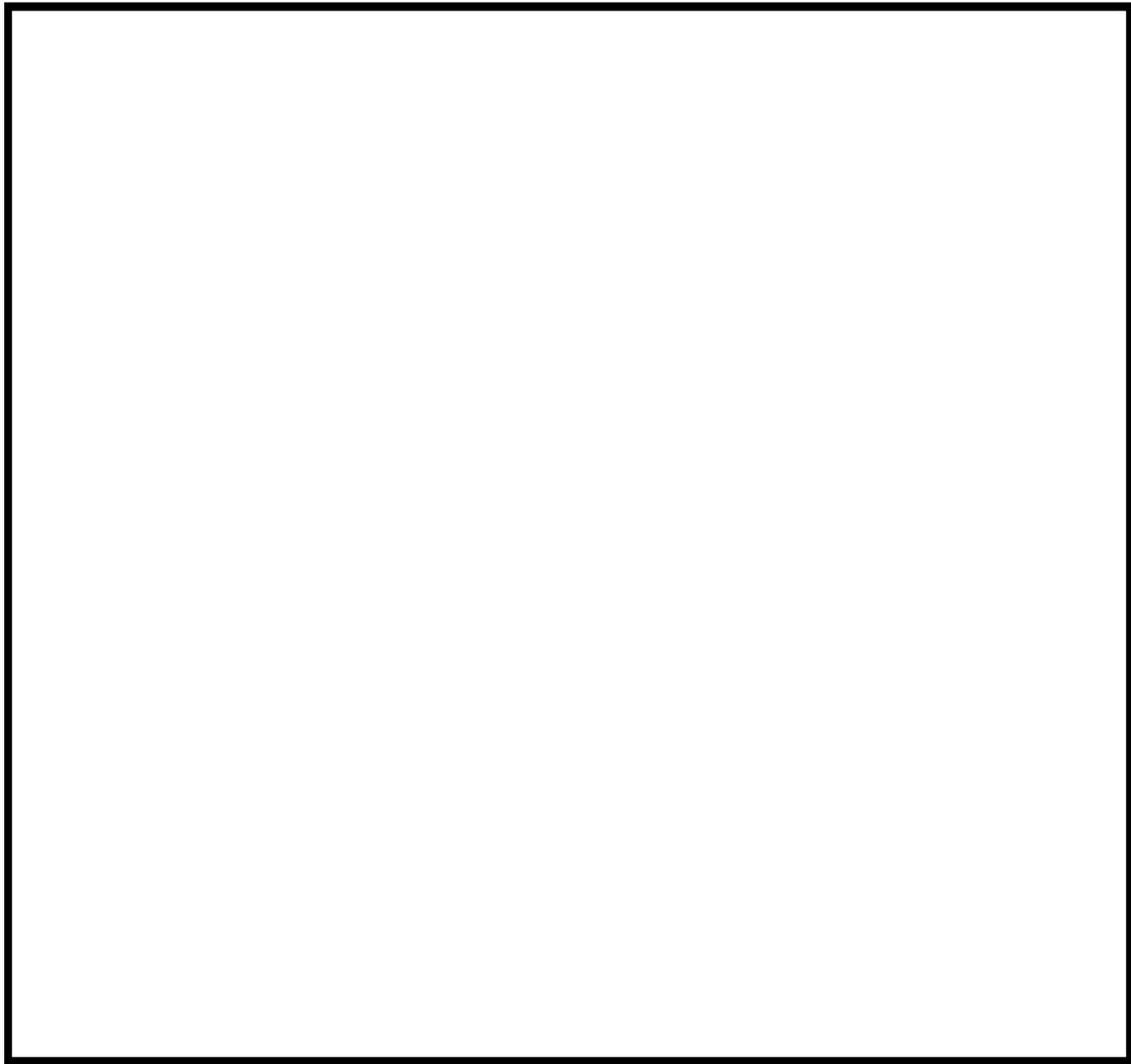


第 78 図 円環フィンの計算モデル

試験モデル	N_0	R	H	t
I				
II				
III				
IV				



第 79 図 円環フィン部分モデル形状



第 80 図 (mm 高さ mm 板厚) 円環フィンの計算結果と実験結果との比較

d. 計算方法の妥当性

本計算方法の妥当性は、10.5 項に示す 1/3 スケールモデル容器に対して水平落下試験を行って確認した。

10.4 実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験

(1) 概要

実機大スケール模擬燃料集合体を用いて 9m 垂直及び水平落下試験を行った。その結果、燃料集合体に残留変形が認められるものの、燃料被覆管は、破損しないことを確認した。

また、臨界評価条件の妥当性を確認するため、模擬燃料集合体の残留変形量を確認した。

なお、本試験では、燃料被覆管の剛性が最も低い燃料タイプとして、燃料被覆管の外径が細く、かつ、肉厚の最も薄い PWR17×17 配列型燃料集合体を対象に試験を実施した。

(2) 試験条件

a. 落下姿勢

(a) 9m 頭部垂直落下

試験用容器内に実機大スケール模擬燃料集合体を収納した状態で、9m の高さから模擬燃料集合体の頭部を下側にして、垂直姿勢にて落下させる。試験用容器に発生する加速度は、実機の 9m 頭部垂直落下時の設計加速度である $895\text{m/s}^2(91\text{G})$ を目標とする。模擬燃料集合体の上下ノズル部には、上下部スツールを装荷して試験を実施する。

(b) 9m 底部垂直落下

試験用容器内に実機大スケール模擬燃料集合体を収納した状態で、9m の高さから模擬燃料集合体の底部を下側にして、垂直姿勢にて落下させる。試験用容器に発生する加速度は、実機の 9m 底部垂直落下時の設計加速度である $890\text{m/s}^2(91\text{G})$ を目標とする。模擬燃料集合体の上下ノズル部には、上下部スツールを装荷して試験を実施する。

(c) 9m 水平落下

試験用容器内に実機大スケール模擬燃料集合体を収納した状態で、9m の高さから模擬燃料集合体を水平姿勢にて落下させる。試験用容器に発生する加速度は、実機の 9m 水平落下時の設計加速度である $968\text{m/s}^2(99\text{G})$ を目標とする。水平落下時には上下部スツールが燃料集合体の落下挙動に与える影響は小さく、燃料被覆管のひずみへの影響は軽微であると考えられることから、模擬燃料集合体の上下ノズル部には、上下部スツールを装荷せずに試験を実施する。

b. 試験装置

(a) 試験用容器

落下試験に使用する試験用容器を第 81 図に示す。試験用容器は、鋼製の円筒容器で、両端に底ふたと上ふたがフランジ／ボルトで結合される。内部には、模擬燃料集合体 1 体を収納できる角型鋼製のバスケットチャンネルが収められる。また、試験用容器には計装配線用貫通孔が設けられており、大気圧とした。

この試験用容器は、各落下試験に共通に使用する。落下試験時には、第 82 図に示すように容器端部に緩衝体を設ける。

(b) 模擬燃料集合体

落下試験に使用する模擬燃料集合体は、剛性が最も小さい燃料タイプとして、燃料被覆管の外径が細く、かつ、肉厚の最も薄い PWR17×17 配列型燃料集合体を対象とし、実機燃料と同一形状、同一重量とした。ペレットには鉛-アンチモンペレットを使用した。第 42 表に落下試験に使用する模擬燃料集合体仕様を示す。

(c) 上下部スツール

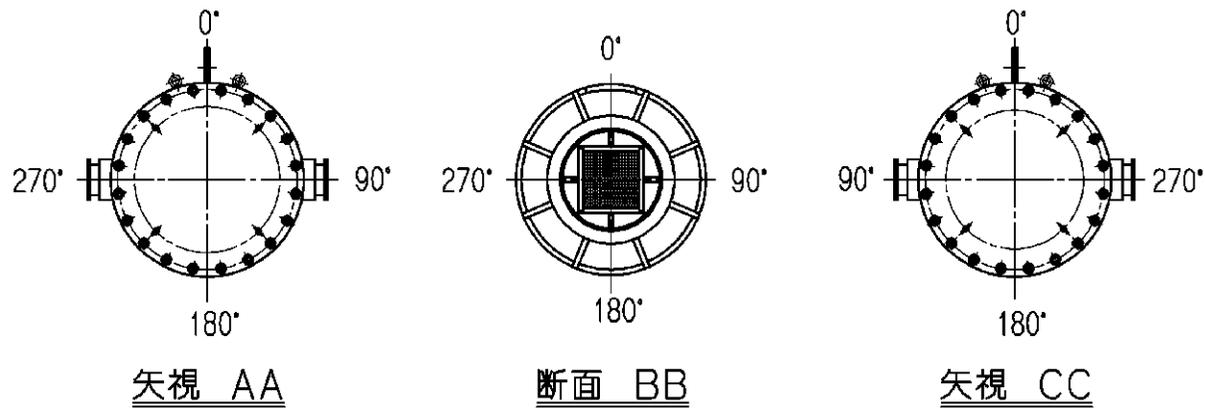
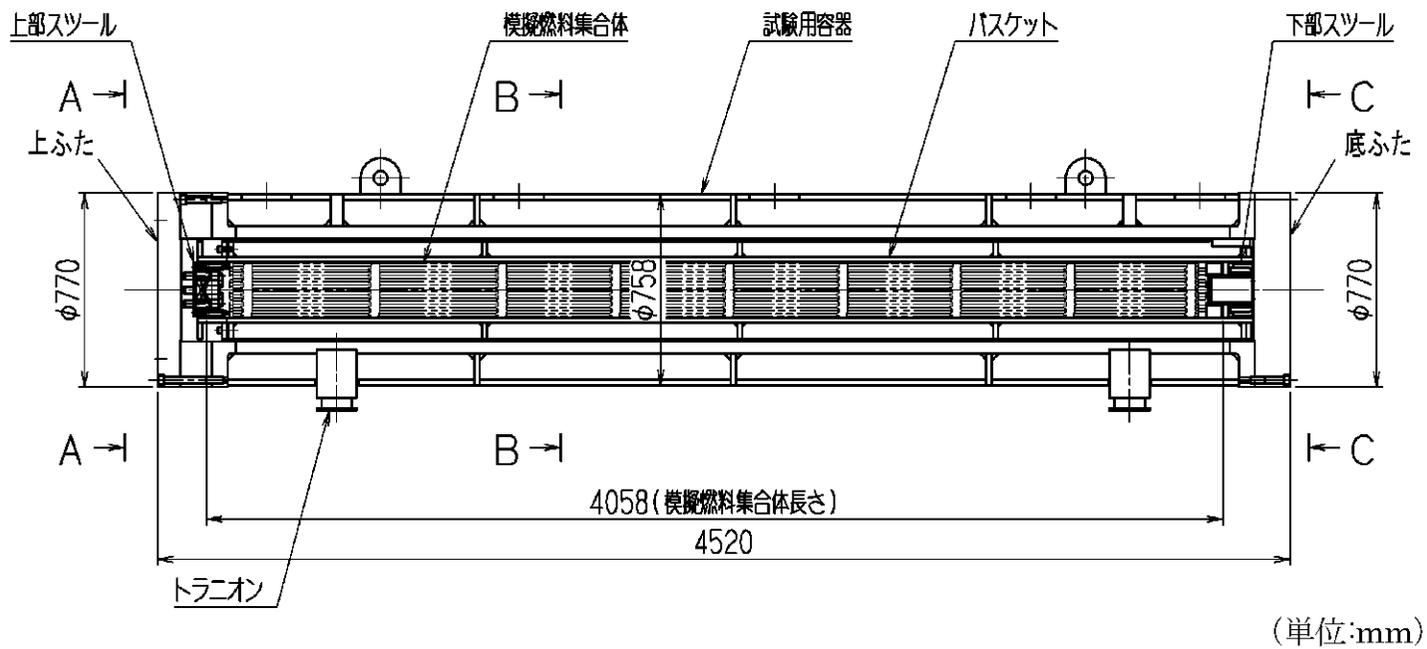
垂直落下時には、模擬燃料集合体上下ノズル部には、実輸送と同様に上部ノズルには上部スツール、下部ノズルには下部スツールを設置した。試験に使用した上下部スツールの種類を第 43 表に示す。なお、水平落下試験時には、上下部スツールが燃料集合体の落下挙動に与える影響は小さく、燃料被覆管のひずみへの影響は軽微であると考えられることから、上下部スツールは設置していない。

第 42 表 落下試験に使用する模擬燃料集合体仕様

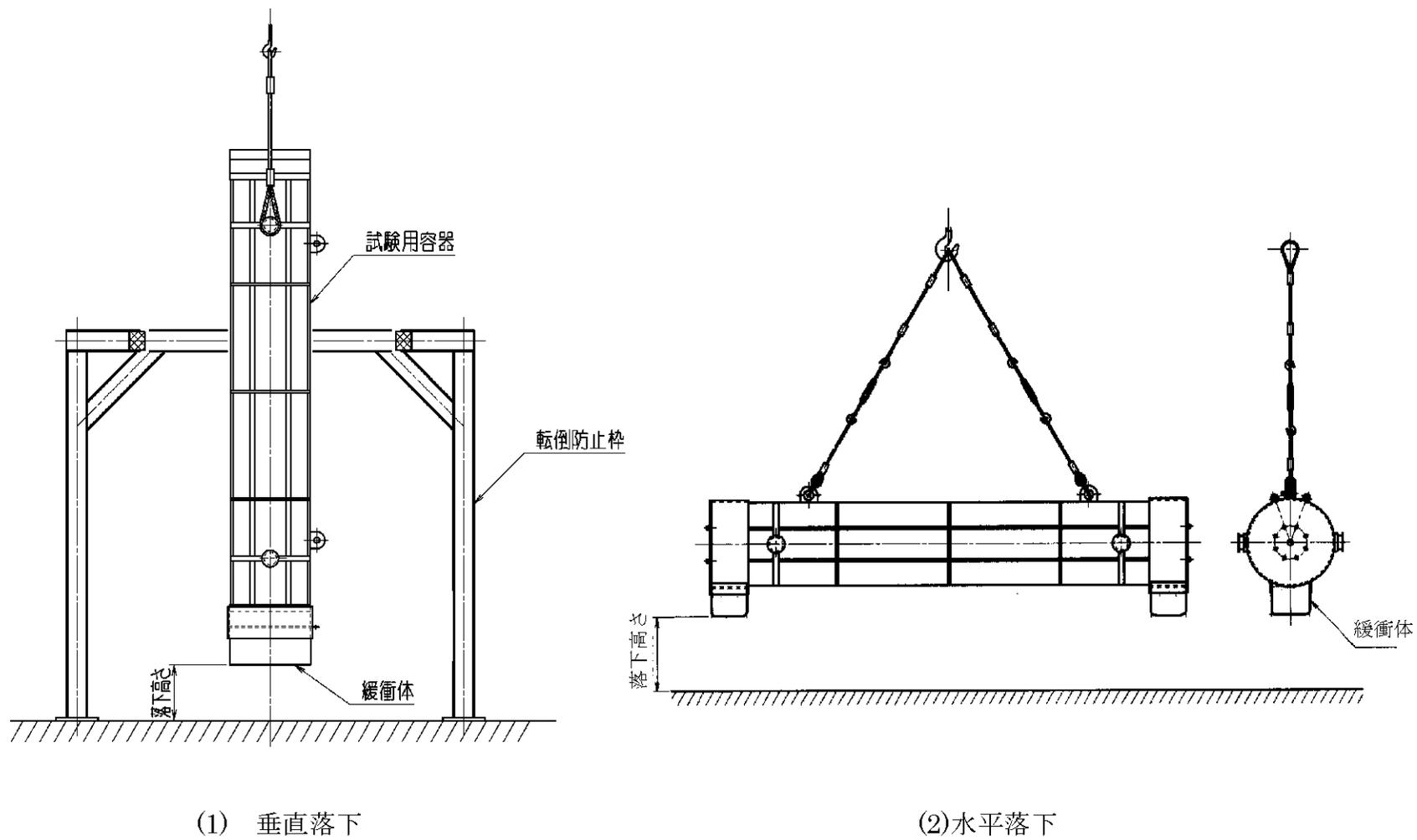
試 験		模擬燃料集合体の仕様	
9m 頭部垂直落下	(1)	・燃料型式 : PWR17×17 配列型燃料集合体 ・構成部材 : 実燃料模擬 ・ペレット : 鉛-アンチモンペレット (重量模擬)	
	(2)		
9m 底部垂直落下			
9m 水平落下			

第 43 表 落下試験に使用した上下部スツールの種類

落下姿勢		燃料タイプ	上下部スツールの種類	
			模擬燃料集合体 上部	模擬燃料集合体 下部
9m 頭部垂直落下	(1)	模擬燃料集合体 PWR17×17 配列型	上部スツール (タイプ I)	下部スツール
	(2)	模擬燃料集合体 PWR17×17 配列型	上部スツール (タイプ II)	下部スツール
9m 底部垂直落下		模擬燃料集合体 PWR17×17 配列型	上部スツール (タイプ I)	下部スツール
9m 水平落下		模擬燃料集合体 PWR17×17 配列型	—	—



第 81 図 試験用容器



第 82 図 落下試験状態図

(3) 測定項目及び測定器

a. 測定項目

模擬燃料集合体を用いた落下試験において測定した主な測定項目とその測定部位及び測定器等について第 83 図及び第 44 表に示す。

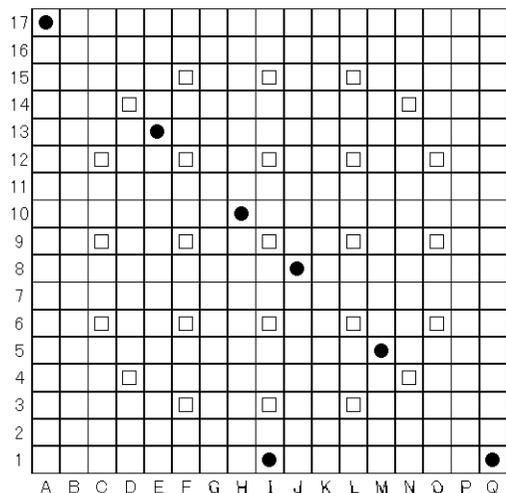
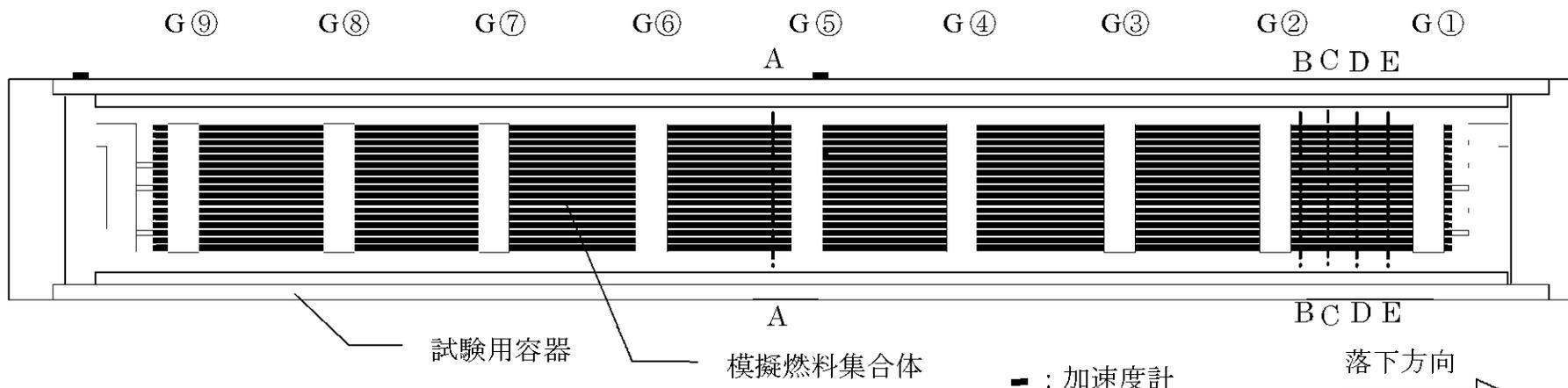
試験用容器の胴には、端部及び中央に加速度計を設置し、落下時に容器に発生する加速度を測定した。

模擬燃料集合体の燃料被覆管については、中央及び端部のグリッドスパン間にひずみゲージを設置し、燃料被覆管に発生するひずみを測定した。垂直落下時には、落下方向に対して燃料被覆管のひずみが最大になると想定される最下段のグリッドスパン間中央にひずみゲージを重点的に設置した。また、ひずみゲージは、燃料被覆管断面の周方向に複数個取り付けた。

さらに、落下試験後、模擬燃料集合体の残留変形量を確認するため、模擬燃料集合体幅を測定した。

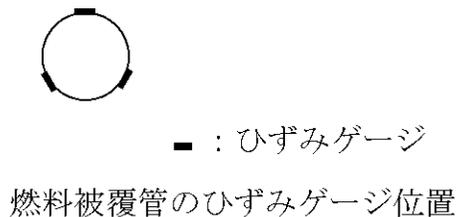
第 44 表 実機大スケール模擬燃料集合体を用いた落下試験における主な測定項目

測定項目	測定部位	測定器等	測定器取り付け個数
加速度	試験用容器（胴）	加速度計	2 点
ひずみ	燃料被覆管	ひずみゲージ	9m 頭部垂直(1) : 54 点 9m 頭部垂直(2)及び底部 : 51 点 9m 水平 : 54 点
残留変形	模擬燃料集合体幅	ノギス	—

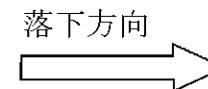


● : 測定箇所
□ : 制御棒案内シンブル

ひずみゲージ計装位置の例
(最も測定箇所が多い E-E 断面の例)



■ : 加速度計

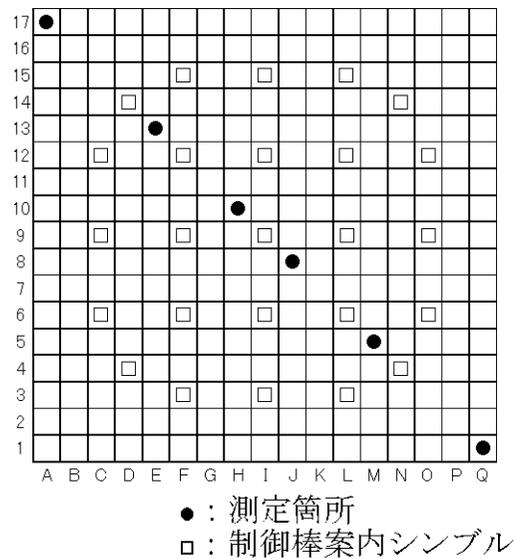
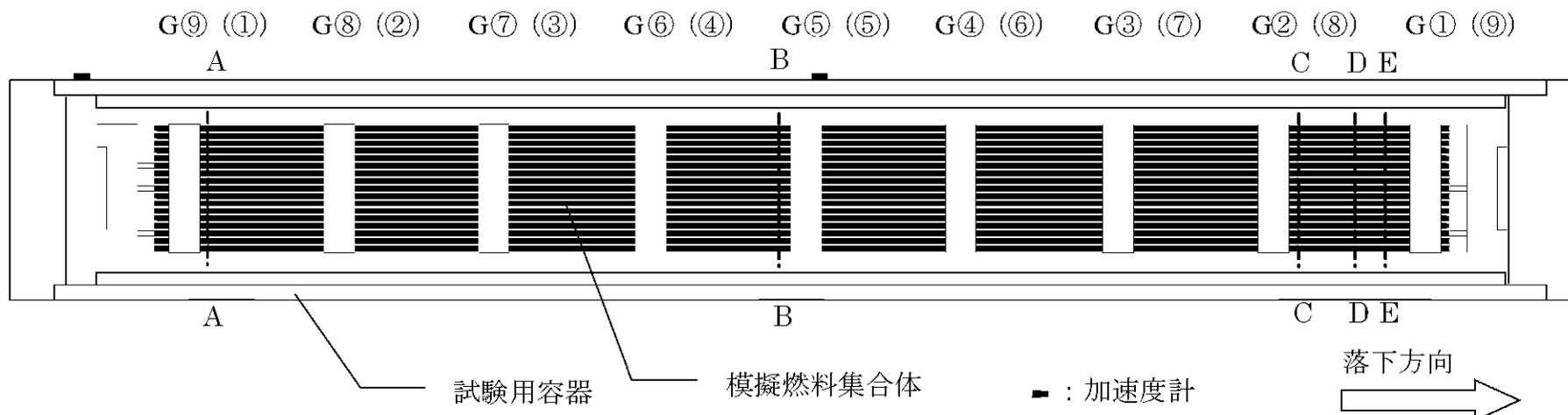


ひずみゲージ測定箇所

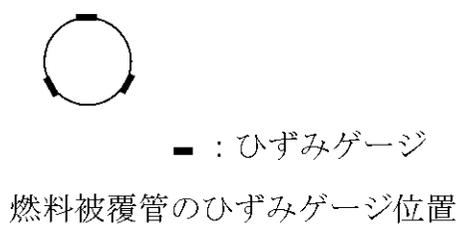
断面	測定箇所 ^(注)	測定点数
A-A	1	3
B-B	2	6
C-C	6	18
D-D	2	6
E-E	7	21

(注) 発生ひずみの対称性、並びに外周燃料棒と内周燃料棒とのひずみの相違を確認するため、最もひずみの大きいことが想定される最下部スパンを重点的に対角線上の複数位置で測定。

第 83(a) 図 9m 頭部垂直落下試験(1)時の加速度計及びひずみゲージ計装位置図



ひずみゲージ計装位置の例
(最も測定箇所が多い D-D 断面の例)



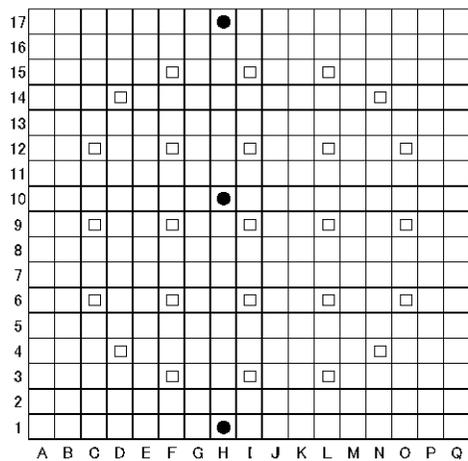
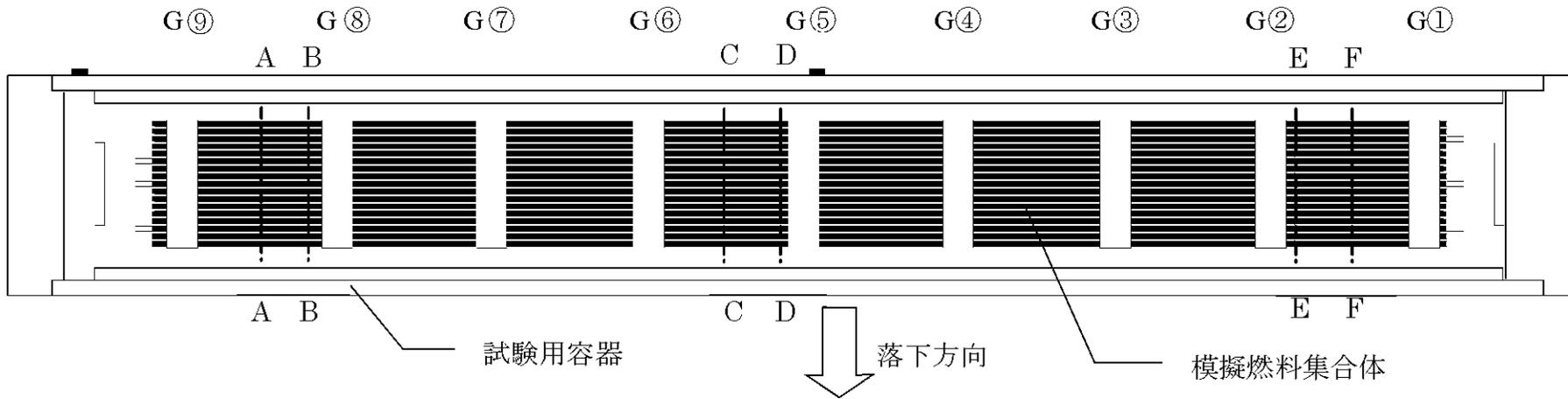
() 内は底部垂直落下試験時のグリッド番号

ひずみゲージ測定箇所

断面	測定箇所 ^(注)	測定点数
A-A	1	3
B-B	1	3
C-C	4	12
D-D	6	18
E-E	5	15

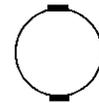
(注) 発生ひずみの対称性、並びに外周燃料棒と内周燃料棒とのひずみの相違を確認するため、最もひずみの大きいことが想定される最下部スパンを重点的に対角線上の複数位置で測定。

第 83(b) 図 9m 頭部垂直落下試験(2)及び 9m 底部垂直落下試験時の加速度計及びひずみゲージ計装位置図



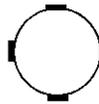
● : 測定箇所
 □ : 制御棒案内シンブル

ひずみゲージ計装位置の例
 (最も測定箇所が多い D-D 断面の例)



■ : ひずみゲージ

H17 燃料被覆管のひずみゲージ



■ : ひずみゲージ

H1 及び H10 燃料被覆管のひずみゲージ
 位置

■ : 加速度計

ひずみゲージ測定箇所

断面	測定箇所 ^(注)	測定点数
A-A	2	8
B-B	3	10
C-C	2	8
D-D	3	10
E-E	3	10
F-F	2	8

(注) 上段、中段及び下段燃料棒の発生ひずみの相違を確認するため、模擬燃料集合体の上部、中央及び下部を対象として複数位置で測定。

第 83(c) 図 9m 水平落下試験時の加速度計及びひずみゲージ計装位置図

(4) 試験結果

模擬燃料集合体を用いて 9m 頭部及び 9m 底部垂直落下試験、並びに 9m 水平落下で得られた試験結果を示す。

a. 試験用容器の加速度

落下試験で得られた試験用容器の加速度と CRUSH コードを用いた実機条件の 9m 垂直落下時の加速度の比較を第 45 表に示す。

9m 頭部及び 9m 底部垂直落下のいずれの試験においても、実機と同等の加速度が発生していることを確認した。試験用容器の格子寸法及び軸方向ギャップ寸法は実機を模擬していること、また、試験用容器は乾式であり内水の緩衝効果がないことから、模擬燃料集合体には実機と少なくとも同等以上の荷重が負荷されたものと判断される。

b. 模擬燃料集合体のひずみ及び残留変形

各落下試験において、測定された燃料被覆管の最大ひずみ及び模擬燃料集合体の残留変形の測定結果を第 46 表に示す。

(a) 9m 頭部垂直落下

測定された燃料被覆管の最大ひずみは $9300\ \mu\text{m}$ であった。

模擬燃料集合体は、落下方向の最下段のグリッド 1 スパン間領域において模擬燃料集合体幅が最大約 2mm 拡大したが、最下段より上位のスパン間領域では、有意な変形は見られなかった。

(b) 9m 底部垂直落下

測定された燃料被覆管の最大ひずみは $3500\ \mu\text{m}$ であった。

模擬燃料集合体は、落下方向の最下段のグリッド 1 スパン間領域において模擬燃料集合体幅が約 1mm 拡大したが、最下段より上位のスパン間領域では、有意な変形は見られなかった。

(c) 9m 水平落下

測定された燃料被覆管の最大ひずみは $3200\ \mu\text{m}$ であった。

模擬燃料集合体は、模擬燃料集合体中央のグリッド位置で、全長にわたり圧縮変形し、さらに第 3 グリッドから第 7 グリッドにおいて模擬燃料集合体幅が約 30mm 縮小した。

第 45 表 試験用容器の加速度と実機条件との比較

試験姿勢		加速度		備考
		落下試験	実機条件	
9m 頭部垂直(1)	端部	1019m/s ² (104G)	895m/s ² (91G)	実機条件の加速度は、 6.1 項による。
	中央	1098m/s ² (112G)		
9m 頭部垂直(2)	端部	882m/s ² (90G)		
	中央	853m/s ² (87G)		
9m 底部垂直	端部	951m/s ² (97G)	890m/s ² (91G)	
	中央	1225m/s ² (125G)		
9m 水平	端部	1001m/s ² (102G)	968m/s ² (99G)	
	中央	716m/s ² (73G)		

第 46 表 模擬燃料集合体を用いた落下試験結果のまとめ

落下姿勢 試験結果	9m 頭部垂直		9m 底部垂直	9m 水平
	(1)	(2)		
燃料被覆管 最大ひずみ () 内は 発生位置	9300 μm (落下方向に 対して最下段グ リッドスパン : E-E 断面 I1)	6900 μm (落下方向に 対して最下段グ リッドスパン : D-D 断面 H10)	3500 μm (落下方向に 対して最下段グ リッドスパン : D-D 断面 Q1)	3200 μm (第 8 グリッド から第 9 グリッ ドの間 : F-F 断面 M10)
模擬燃料集 合体の残留 変形	約 2mm (落下方向に 対して最下段のス パンにおいて模 擬燃料集合体幅 が拡大)	約 1mm (落下方向に 対して最下段のス パンにおいて模 擬燃料集合体幅 が拡大)	約 1mm (落下方向に 対して最下段のス パンにおいて模 擬燃料集合体幅 が拡大)	約 30mm (第 3 グリッド から第 7 グリッ ド間において模 擬燃料集合体幅 が縮小)

(5) 評価

9m 頭部及び底部垂直落下時、並びに 9m 水平落下時に燃料被覆管に発生した最大ひずみは、9300 μm であった。

実機条件では、高温(190℃)であることから燃料被覆管の強度は低下するものの、照射により降伏応力が上昇し、常温及び未照射条件の降伏応力よりも大きくなる。したがって、実機条件において燃料被覆管に発生するひずみは、常温及び未照射条件の燃料被覆管を用いた落下試験で得られたひずみに比べて同等以下となる。

以上より、実機条件における落下時においても照射材燃料被覆管の動的破断ひずみ約 20000 μm (約 2%)²⁰⁾を超えることはない。

(6) まとめ

実機大スケール模擬燃料集合体を用いて 9m 垂直落下試験を実施した結果、模擬燃料集合体の落下方向最下段グリッド 1 スパン間領域の模擬燃料集合体幅が最大約 2mm 拡大する残留変形が見られたものの、9m 落下時に燃料被覆管に発生するひずみは最大 9300 μm であり燃料被覆管が破損しないことが確認された。9m 水平落下試験においては、模擬燃料集合体は圧縮の残留変形が見られたものの、9m 落下時に燃料被覆管に発生するひずみは最大 3200 μm であり燃料被覆管が破損しないことが確認された。

実機条件においては、落下時に燃料被覆管に発生するひずみは落下試験で得られたひずみに比べて同等以下となることから、落下時に燃料被覆管が破損することはない。

10.5 1/3 スケールモデルを用いた 9m 落下試験

(1) 概要

1/3 スケールモデルによる落下試験では、垂直及び水平の 2 つの落下姿勢について実施し、落下時の容器及び収納物の加速度、並びに緩衝体の変形量についてデータを取得した。

取得した容器及び収納物の加速度、並びに緩衝体の変形量を評価し、加速度及び変形量ともに解析値が試験値を上回ることを確認した。また、収納物の加速度が容器の加速度に比べて同等以下となることを確認した。

(2) 試験条件

a. 落下姿勢

落下姿勢を第 47 表に示す。

b. 試験装置

(a) 試験体

試験体は鉛-鋼-レジンタイプの容器を対象とした 1/3 スケールモデルを適用した。モデル形状及び寸法をそれぞれ第 84 図及び第 48 表に示す。

容器本体は、三重円筒構造であり、内筒、中間筒、外筒、ガンマ線遮蔽体及びフィン等により構成されている。

バスケットは、バスケットと燃料集合体の重量を模擬した重量体であり、バスケットへは燃料集合体を模擬した収納物を 1 体収納した。また、実輸送物と同様に内筒内水が充填されている。

緩衝体は、上部・下部とも同じ構造であり、缶体とリブ構造の空間部に緩衝材である 又は を充填したものである。

(b) 試験装置

容器本体及び内部収納物に加速度計を設置し、落下時に容器及び収納物に発生する加速度を測定するとともに、落下試験後には、緩衝体及びフィンの変形量を測定した。加速度の測定位置を第 84 図に示す。

(3) 試験結果

試験で得られた容器及び収納物の加速度、並びに緩衝体の変形量を第 49 表に示す。なお、頭部垂直落下時の容器及び内部収納物の加速度は 300Hz、水平落下時の容器及び内部収納物の加速度はそれぞれ 410Hz 及び 300Hz のローパスフィルター処理を行ったものである。

(4) 評価

1/3 スケールモデルに対して、本輸送物の構造解析で示している落下時の変形量及び衝撃加速度の解析方法を適用し、試験解析を実施した。落下試験結果（試験値）と試験解析結果（解析値）の比較を第 50 表に示す。

同表に示すとおり、加速度及び変形量ともに解析値が試験値を上回ることが確認された。

第 47 表 試験項目

落下姿勢	落下高さ	備考
頭部垂直落下	9m	
水平落下	9m	トラニオン方向に落下

第 48 表 1/3 スケールモデル寸法

	寸法 (mm)	実機想定寸法 ^(注) (mm)
本体 全長（緩衝体除く） 外径（緩衝体除く）		
緩衝体（上部／下部） 外径		
長さ		
カバープレート板厚		

(注) モデル寸法の 3 倍

第 49(a)表 1/3 スケールモデルの落下試験結果

落下姿勢	加速度(m/s ²) (注1)				最大変形量 (mm)	
	容器			内部収納物	緩衝体	フィン
	胴 (90°)	胴 (270°)	ふた			
頭部垂直落下						
水平落下						

(注 1) 表中の加速度及び最大変形量は、1/3 スケールモデルの落下試験における実測データである。なお、実規模モデルにおける加速度、最大変形量は、スケール則に従うとそれぞれ、1/3 倍、3 倍となる。

(注 2)

(注 3)

第 49(b)表 1/3 スケールモデルの落下試験結果

(容器と内部収納物の加速度の比較)

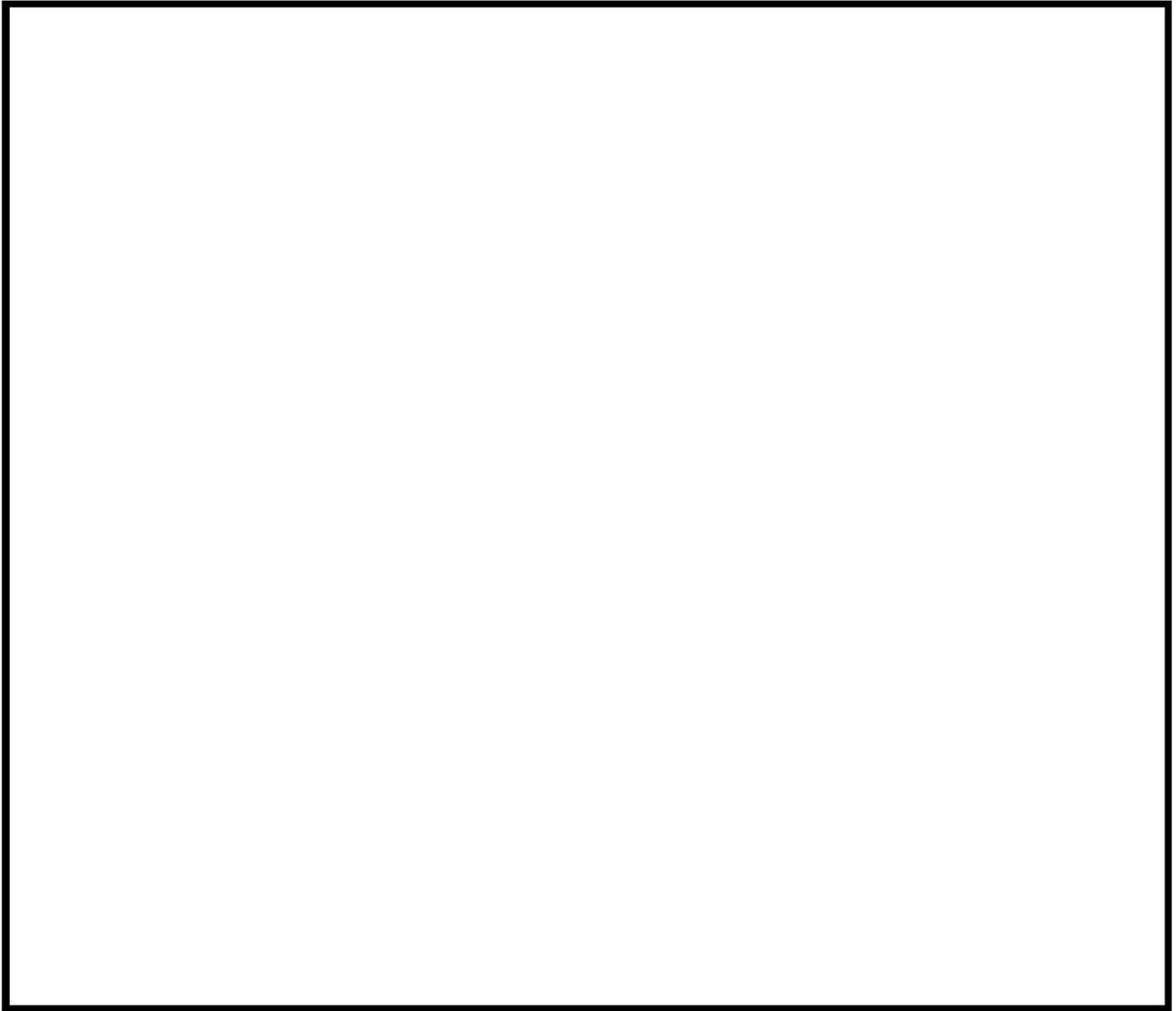
落下姿勢	加速度(m/s ²)		(B)/(A)
	容器 (注) (A)	内部収納物 (B)	
頭部垂直落下			0.93
水平落下			0.91

(注) 測定された最大の値。

第 50 表 1/3 スケールモデルの落下試験結果と試験解析結果の比較

落下姿勢	落下試験(A)		解析結果(B)		(B)/(A)	
	加速度 (注) (m/s ²)	変形量 (mm)	加速度 (m/s ²)	変形量 (mm)	加速度	変形量
頭部垂直落下					1.02	1.07
水平落下					1.61	1.54

(注) 測定された最大の値。



第 84 図 1/3 スケールモデル容器形状図

10.6 実規模モデルを用いた実証試験

(1) 概要

国内の原子力発電所から再処理工場への使用済燃料輸送に用いられる NFT 型輸送容器の実規模試験体を用いて安全性実証試験²¹⁾が実施された。安全性実証試験として、環境伝熱試験、自由落下試験、落下試験 I、落下試験 II、耐火試験、及び浸漬試験（15m、200m）が同一供試体にて実施され、いずれの試験においても構造の健全性が維持され、規則に定められた技術基準を満足することが確認された。

本附属書類では、自由落下試験（0.3m 落下試験）及び落下試験 I（9m 落下試験）を対象として、5.3 項及び 6.1 項に示された落下時の衝撃力及び変形量の算出方法を検証した。

(2) 試験条件

a. 落下姿勢

落下姿勢を第 51 表に示す。

b. 試験装置

(a) 試験体

試験体は NFT-14P 型輸送容器を用いた。NFT-14P 型輸送容器の主要寸法及び輸送物全体図をそれぞれ第 52 表及び第 85 図に示す。

容器本体は、三重円筒構造であり、内筒、中間筒、外筒、ガンマ線遮蔽体及びフィン等により構成されている。

容器内部に実機と同じバスケットを有し、重量、外形寸法及び発熱量を模擬した模擬収納物を 14 体収納した。また、実輸送物と同様に内筒内水が充填されている。

緩衝体は、缶体とリブ構造の空間部に緩衝材である 又は を充填したものである。

(b) 試験装置

容器本体に加速度計を設置し、落下時に容器に発生する加速度を測定するとともに、落下試験後には、緩衝体及びフィンの変形量を測定した。測定位置を第 86 図に示す。

(3) 試験結果

試験で得られた加速度及び変形量を第 53 表に示す。なお、加速度はそれぞれ 160Hz のローパスフィルター処理を行ったものである。

(4) 評価

落下試験結果（試験値）と NFT-14P 型輸送容器の構造解析結果（解析値）の比較を第 54 表に示す。同表に示すとおり、加速度及び変形量ともに解析値が試験値を上回ることが確認された。

NFT-14P 型輸送容器以外の NFT 型輸送容器についても、基本構造が同じであるため、上記において検証された解析手法が適用可能である。

第 51 表 試験項目

試験項目	落下姿勢	落下高さ	備考
自由落下試験 (0.3m 落下)	水平落下	0.3m	トラニオン方向 に落下
落下試験 I (9m 落下)	水平落下	9m	同上

第52表 NFT-14P型輸送容器の主要寸法

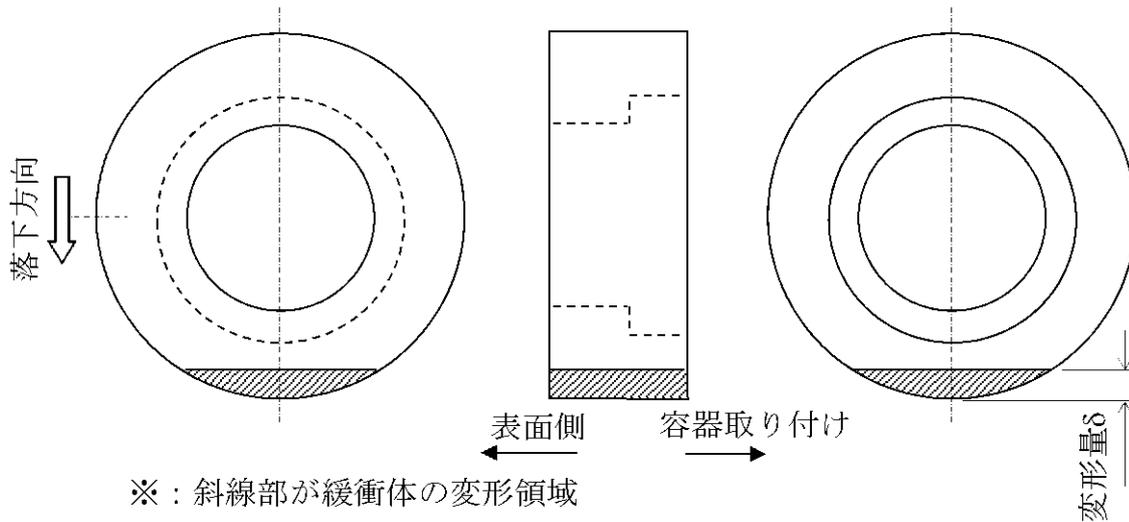
部 品 名	寸 法(mm)
本 体	
内筒内径	
板厚	
中間筒内径	
板厚	
外筒内径	
板厚	
フィン高さ	
厚さ	
枚数	
底板厚さ	
全 長	5164
ふ た	
ふた外径	1680
厚さ	
バスケット	
外 径	1331
長 さ	4255
チャンネル数	14
チャンネル内幅	225×225 245×245
緩 衝 体	
外 径	2600
上部緩衝体長さ	636
下部緩衝体長さ	636

第53表 実規模モデルの落下試験結果

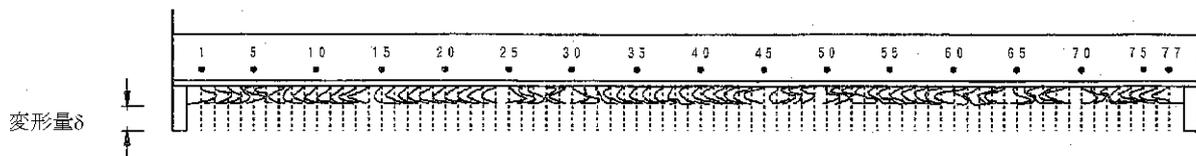
落下姿勢	加速度 (m/s ²)	変形量 δ (mm)
自由落下試験 (0.3m 落下)	108 (11G ^(注1))	15 (緩衝体)
落下試験 I (9m 落下)	755 (77G ^(注1))	150 (緩衝体) 99 ^(注2) (フィン)

(注1) 加速度の時刻歴を積分して求めた速度履歴の勾配より求めた値

(注2) フィン変形量の平均値



(1) 水平落下時の緩衝体変形量測定位置

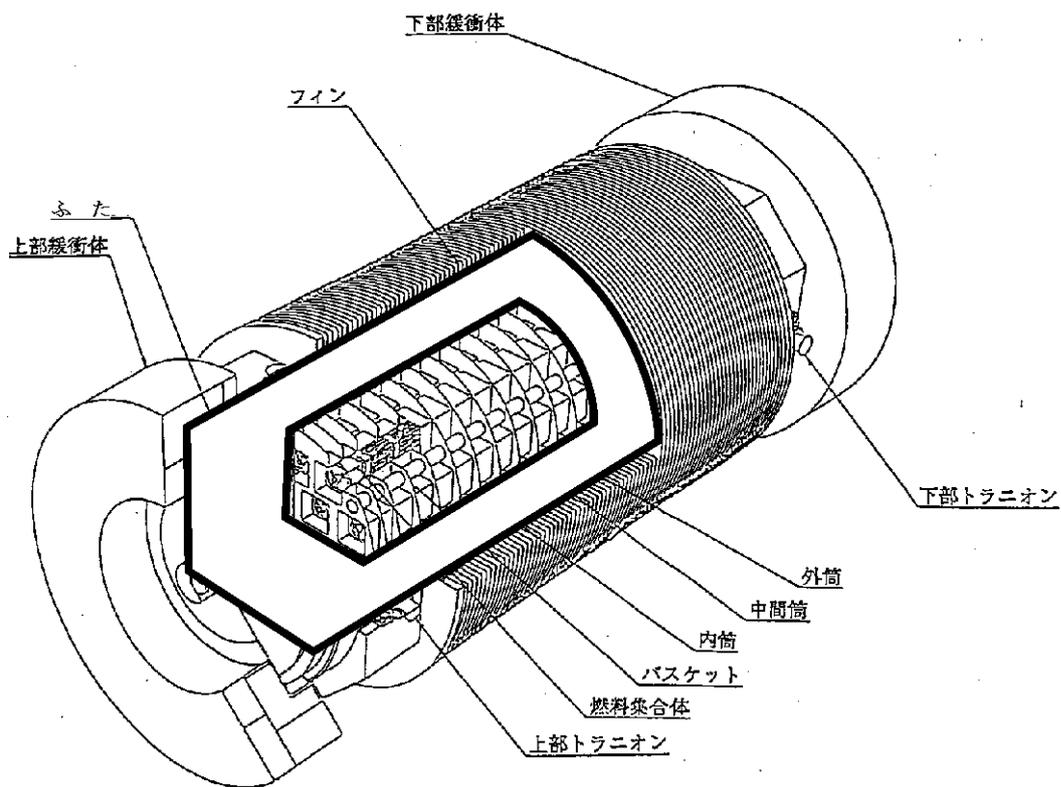


(2) 水平落下時のフィン変形量計測位置

第54表 実規模モデルの落下試験結果と試験解析結果の比較

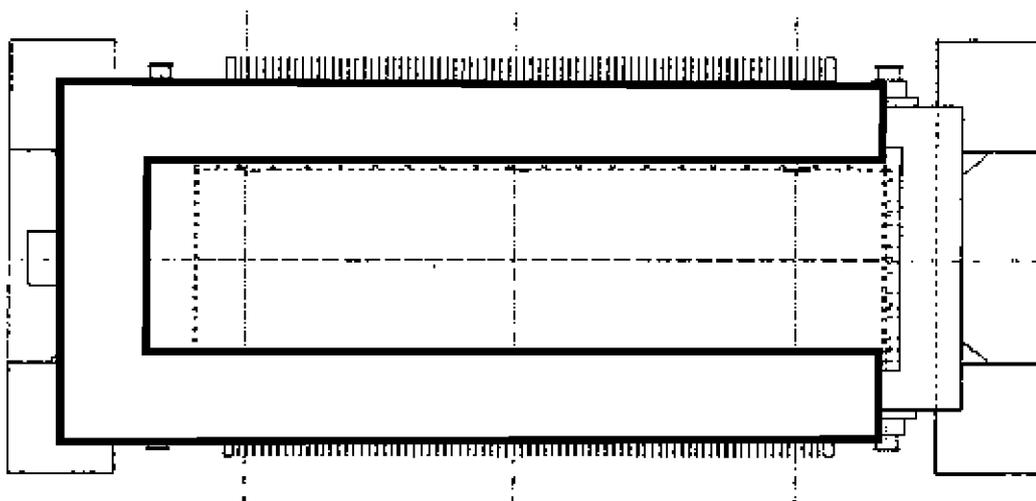
落下姿勢	落下試験(A)		解析結果 ^(注) (B)		(B)/(A)	
	加速度 (m/s ²)	変形量 (mm)	加速度 (m/s ²)	変形量 (mm)	加速度	変形量
自由落下試験 (0.3m 落下)	108 (11G)	15 (緩衝体)	194 (20G)	38.4 (緩衝体)	1.80	2.56 (緩衝体)
落下試験 I (9m 落下)	755 (77G)	150 (緩衝体) 99 (フィン)	968 (99G)	184 (緩衝体) 133 (フィン)	1.28	1.23 (緩衝体) 1.34 (フィン)

(注) NFT-14P 型の構造解析の評価結果



全長	6250mm	(含、上下部緩衝体)
最大外径	φ2600mm	(含、上下部緩衝体)

第 85 図 輸送物全体図 (NFT-14P 型輸送容器)



▲ : 加速度計

第 86 図 測定位置

10.7 傾斜落下時の輸送物健全性

本輸送物の直径に対する長さの比は約 2.4 であり、細長い輸送物には該当しないが、直径に対する長さの比が 4 の輸送物モデルの解析例²²⁾によると、傾斜落下時の二次衝撃側の衝撃加速度は水平落下より大きくなる場合があり、その比率は約 1.2~1.3 である。

第 54 表より、CRUSH コードにより得られた水平落下の衝撃加速度は、試験で得られた値より 1.2 倍以上大きいため、傾斜落下時の衝撃加速度は 6.1 項に示した水平落下の衝撃加速度に包絡されると考えられる。したがって、傾斜落下時にも輸送物の健全性が損なわれることはない。

10.8 参考文献

- 1) (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 NC1-2005 (2007年追補版含む)、(2007).
- 2) ASTM、“Elevated Temperature Properties of Coppers and Copper Alloys” ASTM STP181
- 3) 日本機械学会、“非弾性構造解析法の実用化に関する研究(I)”、(1977)
- 4) 高分子学会編集、“高分子工学講座 18-高分子材料の応用と開発”
- 5) 石森富太郎、“原子炉工学講座 4”
- 6) JIS B 8270、“压力容器(基盤規格)”(1993)
- 7) 日本鉄鋼協会編、“第3版鉄鋼便覧”
- 8) 産業技術センター、“複合材料技術集成”
- 9) 日本工業新聞社、“ステンレス鋼便覧”
- 10) 日本鉛亜鉛需要研究会、“鉛ハンドブック”(1975)
- 11) 原燃輸送株式会社、“レジンに関する基礎試験結果”、(1991)
- 12) 木材工業ハンドブック編集委員会、“木材工業ハンドブック(改訂3版)”、(昭和57年)
- 13) 日本機械学会編、“機械工学便覧”改訂第5版
- 14) 幾島、浅田、“放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発、(I)緩衝体付輸送容器衝突計算コード CRUSH”、日本原子力学会誌 Vol.33、No.4 (1991)
- 15) L.B.Shappert “Cask Designers Guide”、ORNL-NSIC-681 VC-80-Reactor Technology、Oak Ridge National Laboratory (February、1970)
- 16) K.G.Torr、“Verification of the Performance of Impact Limiting Fins for Transportation Containers”、Monserco Limited、INFO-D146(Dec.、1984 & Sept.、1986).
- 17) S.Doï et al.、“High Burnup Experience of PWR Fuel in Japan”、ANS/ENS International Topical Meeting on LWR Fuel Performance、April 21-24、1991、Avignon France.
- 18) 日本機械学会、“伝熱工学資料(改訂第4版)”(1986)
- 19) L.M.Farrington, W.P.Darby, “An Industry Initiative to Facilitate the Criticality Assessment and Subsequent Licensing of Transport Packages”, Proceedings of the 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 2007, October 21-26 2007, Miami, Florida, USA, (2007).

- 20) 通商産業省 原子力発電技術顧問会（基本設計）、高燃焼度化検討会、
“加圧水型原子炉 高燃焼度化ステップ 2 先行照射燃料 検討結果報告書”、
平成 5 年 4 月。
- 21) 財団法人 電力中央研究所、平成 8 年度「放射性廃棄物輸送容器等安全性実
証試験」事業成果報告書、平成 9 年 3 月。
- 22) T.Sasaki, Y.Kanae, T.Shirakura, “The Effect of Secondary Impact on a
Spent Fuel Shipping Cask Subjected to Slant-Angle Drop Tests” , The
9th International Symposium on the Packaging and Transportation of
Radioactive Materials, PATRAM 1989, June 11 – 16, Washington, DC,
USA, (1989).

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

	頁
1. はじめに	3 (4)・別紙・1
2. 解析コードの概要	3 (4)・別紙・2
2.1 CRUSH	3 (4)・別紙・2
2.2 ABAQUS	3 (4)・別紙・3

1. はじめに

本説明書は、「衝撃、熱等に係る強度計算書」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 CRUSH

項目	コード名
開発機関	CRUSH 日本原子力研究所
開発時期	1991年
使用したバージョン	CRUSH
使用目的	落下試験時の緩衝体の変形量と衝撃力の評価
コードの概要	CRUSH コードは単軸変形法(UDM : Uni - axial Displacement Method)と呼ばれ、緩衝材を互いに干渉しない一次元棒の集合とみなし、一次元棒塑性変形によって衝突エネルギーを吸収すると仮定して、変形、荷重及び加速度を求めるものである。
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)	日本原子力学会誌 Vol.33, No. 4(1991)の「放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発, (I)緩衝体付き輸送容器衝突計算コード CRUSH」において、輸送容器の1/4縮尺模型や1/3縮尺模型等による9m 落下試験の衝撃加速度及び緩衝体の変形量と CRUSH による計算値を比較して、CRUSH の計算結果が妥当であることを確認している。

2.2 ABAQUS

項目 \ コード名	ABAQUS
開発機関	HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen, INC.)
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Version6.8.4
使用目的	使用済燃料運搬用容器の構造解析
コードの概要	このコードは、構造解析の分野における線形及び非線形問題を解析するために開発された汎用有限要素プログラムであり、大変形問題、接触問題及び座屈問題などのような幾何学的非線形解析、弾塑性問題やクリープ問題などの材料非線形解析、動的解析及び熱応力問題に対する熱伝導解析など幅広い解析が可能である。
検証(Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	コード検証については、数多くの問題に対して理論解と比較することにより行われており、それらは「ABAQUS EXAMPLE PROBLEMS MANUAL」と「VERIFICATION MANUAL」に詳細が示されている。検証例として、内圧力を受ける厚肉円筒の ABAQUS による解析結果と手計算による理論解がよく一致していることを確認している。

燃料取扱設備の核燃料物質が
臨界に達しないことに関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 4

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 概 要	4(4) - 1
2. 燃料運搬上の基準	4(4) - 2
3. 解析条件	4(4) - 3
3.1 評価方針	4(4) - 3
3.2 収 納 物	4(4) - 4
3.3 運搬用容器	4(4) - 6
3.4 中性子吸収材	4(4) - 6
4. モデル仕様	4(4) - 7
4.1 解析モデル	4(4) - 7
4.2 解析モデル各領域における原子個数密度	4(4) - 7
5. 未臨界評価	4(4) - 14
5.1 計算条件	4(4) - 14
5.2 輸送物への水の浸入等	4(4) - 15
5.3 計算方法	4(4) - 16
5.4 計算結果	4(4) - 16
6. 結果の要約及びその評価	4(4) - 18
7. 附属書類	4(4) - 19
7.1 ベンチマーク試験	4(4) - 19
7.2 参考文献	4(4) - 28

別紙 計算機プログラム（解析コードの概要）

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第26条第1項第2号及びその「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」に基づき、燃料取扱設備である使用済燃料運搬用容器を用いて玄海4号機の使用済燃料を玄海3号機燃料取扱建屋内の使用済燃料貯蔵設備へ運搬する場合に、使用済燃料運搬用容器内の核燃料物質が臨界に達しないことを説明するものである。

2. 燃料運搬上の基準

使用済燃料運搬用容器内の核燃料物質の未臨界性を保つための基準は、運搬用容器内の水温及び使用済燃料を保持する燃料保持枠内の燃料の配置について想定される厳しい状態を仮定しても、使用済燃料運搬用容器の実効増倍率(k_{eff})が0.95以下とする。

3. 解析条件

3.1 評価方針

本運搬用容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、運搬中燃料集合体が分散・集合しないようになっている。バスケット格子は、未臨界維持のために中性子吸収材であるボロンを含むボロン添加ステンレス鋼で構成される。

添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」9 項で述べているように核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下において、燃料集合体、バスケット、運搬用容器本体、フィン、外筒、レジンカバー及び中性子遮蔽体の変形・破損はなく、緩衝体の一部が落下時に変形する。核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下において、バスケット、運搬用容器本体の変形・破損はなく、燃料集合体、フィン、緩衝体、外筒、レジンカバー及び中性子遮蔽体の一部が落下時に変形する。また、熱的試験では、中性子遮蔽体のレジンの一部が焼損する。

そこで本臨界解析では、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、境界条件として完全反射を仮定することにより、以下の条件より厳しい評価とする。

- (1) 通常運搬時
- (2) 輸送物を孤立系の条件に置く場合
- (3) 一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- (4) 特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合
- (5) 一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合
- (6) 特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合

臨界解析は、SCALE コードシステム¹⁾を用い、実効増倍率(k_{eff})の計算は多群モンテカルロ法による KENO-V.a コード²⁾を用いて行った。

3.2 収 納 物

本運搬用容器には PWR 燃料集合体を 14 体装荷する。第 1 表に示す燃料を対象として未臨界性を評価した。

本臨界解析においては、燃料集合体として実在する部分は燃料有効長に相当する部分のみと考え、PWR 燃料集合体における上・下部ノズル部などを水に置き換えた。これは、中性子の吸収を小さく、また、反射効果を大きく見積もることになるので安全側の仮定である。

燃料集合体は 1 体ずつ独立し、ウラン、ジルコニウム、水素及び酸素からなり、燃料棒配列と水の非均質効果を考慮した均質な領域であるとして取り扱った。被覆管の材料であるジルカロイは純ジルコニウムであるとした。

本運搬用容器に装荷する燃料は照射済のものであるが、ウラン-235 濃縮度は未照射のままの減損していない値をとり、安全側の仮定とした。また、燃料集合体には可燃性毒物としてガドリニウムを添加した燃料棒が含まれる場合があるが、本解析では中性子吸収断面積の大きいガドリニウムの存在を無視し、安全側の仮定とした。

燃料集合体中の制御棒案内シンプルにはバーナブルポイズン棒が充填されることがあるが、バーナブルポイズン棒は中性子吸収材であるため、本解析では安全側にこれらの制御棒案内シンプルの入る格子はすべて水が満たされているものとした。

また、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、運搬用容器に収納される全燃料集合体についてグリッド 1 スパン間の燃料棒ピッチの変化を仮定した。燃料棒がバスケットチャンネル内で均一に広がった場合について評価する。

第1表 臨界解析の対象とした燃料集合体の仕様

燃料タイプ		14×14 配列型	15×15 配列型	17×17 配列型
		(55000MWd/t 燃料)	(55000MWd/t 燃料)	(55000MWd/t 燃料)
項目				
燃料材質	—	二酸化ウラン	二酸化ウラン	二酸化ウラン
被覆管材質	—	ジルコニウム基合金	ジルコニウム基合金	ジルコニウム基合金
燃料棒直径	mm			
燃料ペレット直径	mm			
被覆管肉厚	mm			
燃料有効長	mm			
燃料棒配列	—			
集合体当たり燃料棒数	本	14×14 179	15×15 204	17×17 264
燃料棒ピッチ	mm			
集合体の幅 (注)	mm			
ウラン-235濃縮度	%	4.9	4.7	4.9

(注) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

3.3 運搬用容器

運搬用容器本体については、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」第 2 図等に示すように半径方向に中心から順にステンレス鋼製内筒、鉛、炭素鋼製中間筒、側部中性子遮蔽体及び炭素鋼製外筒で構成され、軸方向頭部はステンレス鋼製ふた、底部はステンレス鋼製底板で構成されている。運搬用容器本体の軸方向には、更にそれぞれ緩衝体が付いている。

本運搬用容器は、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」9 項に示すとおり核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下において、緩衝体の一部が変形するが、臨界評価に影響する構造物の変形や密封装置の形状変化は生じない。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下において、運搬用容器本体は破損せず、フィン、緩衝体、外筒、レジソカバー及び中性子遮蔽体の一部が変形する。また、熱的試験では添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」4.2 項に示すとおり中性子遮蔽体のレジソは一部が焼損する。

したがって、本臨界解析のモデルにおいては、4.1項に示すように緩衝体、フィン及び中性子遮蔽体は、安全側にならないものとし、通常運搬時及び核分裂性輸送物に係る一般及び特別の試験条件下に対して共通して適用できるモデルとしている。これは、中性子吸収を少なくすることになり安全側の仮定である。また、内筒内はすべて水で満たされるものとした。

3.4 中性子吸収材

添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」第 13 図に示すバスケットは、PWR燃料集合体を 14 体収納するように作られており、各バスケット格子は構造材と中性子吸収材を兼ねたボロン添加ステンレス鋼製のチャンネルで形成されている。

核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下においても、バスケット格子の変形はない。

4. モデル仕様

4.1 解析モデル

第 1 図に臨界解析モデルを示す。

本解析モデルは、安全側の評価となるように以下の条件を考慮した。

- ・燃料集合体の変形を考慮し、運搬用容器に収納される全燃料集合体についてグリッド 1 スパン間の燃料棒ピッチを変化させた配列とする。
- ・燃料棒のピッチの変化のない領域は燃料集合体を容器中央に寄せて配置する。
- ・内筒内における燃料集合体として実在する部分は燃料有効長に相当する部分のみとし、上・下部ノズル部などを水に置き換える。
- ・内筒内の燃料有効長の範囲外の構造物は水に置き換える。
- ・中性子遮蔽体、フィン及び緩衝体を無視する。
- ・運搬用容器外部の雰囲気は安全側に真空とし、境界条件を完全反射とすることにより、無限個の配列を仮定する。

4.2 解析モデル各領域における原子個数密度

本臨界解析で用いた輸送物の各領域の構成物質の原子個数密度を第 2 表に、また、均質化燃料領域の構成物質の体積比を第 3 表に示す。

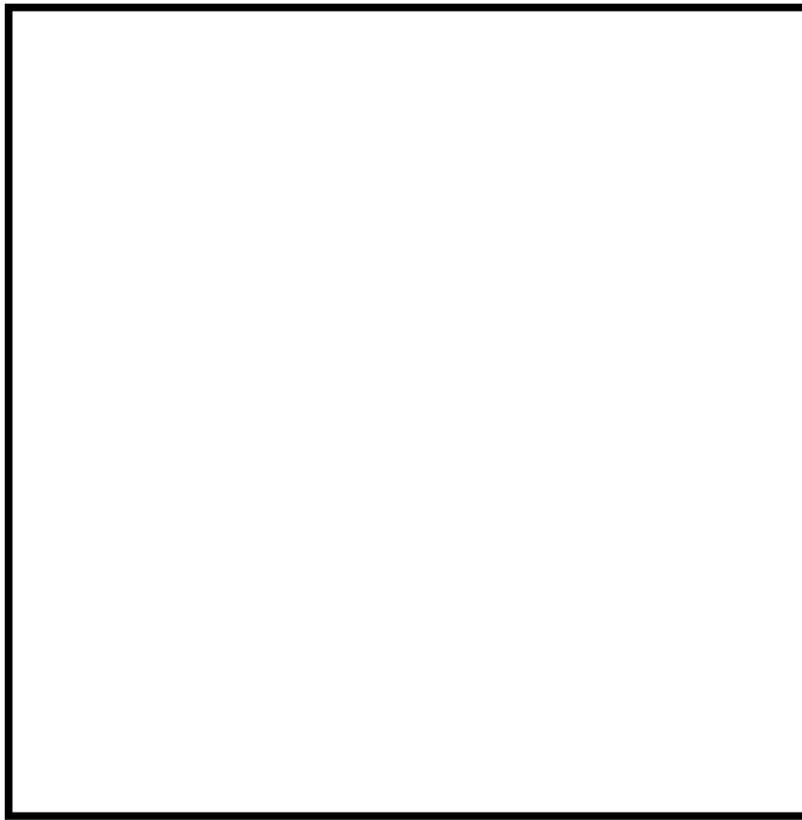
輸送物の k_{eff} を最も大きく評価するために、容器内の水の密度は 1.0g/cm^3 とし、燃料の温度は常温(20°C)とした。



(単位 : cm)

() は 17×17 配列型 (55000MWd/t 燃料) 収納時

第 1 図(a) 臨界計算モデル (縦断面図)



燃料棒ピッチの変化のない領域



(単位：cm)

燃料棒ピッチの変化のある領域

第 1 図(b) 臨界計算モデル (燃料領域部横断面図)

第2表(a) 輸送物各領域の原子個数密度(14×14配列型(55000MWd/t燃料))

領域	密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度(10 ²⁴ atoms/cm ³)		
			燃料棒ピッチ の変化のない 領域	燃料棒ピッチの変化のある 領域	
均質化燃料領域	UO ₂ : <input type="text"/>	²³⁵ U	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		²³⁸ U			
		Zr			
		H			
		O			
ボロン添加 ステンレス鋼	<input type="text"/>	¹⁰ B			
		¹¹ B			
		Cr			
		Fe			
		Ni			
水		<input type="text"/>			H
					O
炭素鋼					Fe
					鉛
ステンレス鋼					
			Fe		
			Ni		

第2表(b) 輸送物各領域の原子個数密度(15×15配列型(55000MWd/t燃料))

領域	密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)	
			燃料棒ピッチ の変化のない 領域	燃料棒ピッチの変化のある 領域
均質化燃料領域	UO ₂ : <input type="text"/>	²³⁵ U	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		²³⁸ U		
		Zr		
		H		
		O		
ボロン添加 ステンレス鋼	<input type="text"/>	¹⁰ B		
		¹¹ B		
		Cr		
		Fe		
		Ni		
水		<input type="text"/>		
			O	
炭素鋼			Fe	
鉛			Pb	
ステンレス鋼			Cr	
			Fe	
	Ni			

第2表(c) 輸送物各領域の原子個数密度(17×17配列型(55000MWd/t燃料))

領域	密度 (g/cm ³)	元素	原子個数密度 (10 ²⁴ atoms/cm ³)		
			燃料棒ピッチ の変化のない 領域	燃料棒ピッチの変化のある 領域	
均質化燃料領域	UO ₂ : <input type="text"/>	²³⁵ U	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		²³⁸ U			
		Zr			
		H			
		O			
ボロン添加 ステンレス鋼	<input type="text"/>	¹⁰ B			
		¹¹ B			
		Cr			
		Fe			
		Ni			
水		<input type="text"/>			H
					O
炭素鋼					Fe
					鉛
ステンレス鋼					
			Fe		
			Ni		

第3表 均質化燃料領域各物質の体積比

燃料タイプ	物 質	燃料棒ピッチ の変化のない 領域	燃料棒ピッチの変化のある 領域
14×14 配列型 (55000MWd/t 燃料)	UO ₂		
	ジルカロイ (注)		
	水		
15×15 配列型 (55000MWd/t 燃料)	UO ₂		
	ジルカロイ (注)		
	水		
17×17 配列型 (55000MWd/t 燃料)	UO ₂		
	ジルカロイ (注)		
	水		

(注) ギャップ領域を含む。

5. 未臨界評価

5.1 計算条件

(1) 収納物

本輸送物の最大燃料装荷量は PWR 燃料集合体 14 体であるため、本解析は最大装荷量の場合を想定している。

解析の対象とした第 1 表に示す燃料に対し、安全側に核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下における燃料集合体の変形を考慮し、グリッド 1 スパン間の燃料棒をバスケットチャンネル内で均一にピッチ拡大させている。

なお、安全側となるように燃料集合体の燃料棒ピッチの変化のない領域は容器中央に寄せた配置でモデル化を行った。

(2) 運搬用容器

本解析では、安全側に中性子遮蔽体、フィン及び緩衝体が存在しないモデルとし、運搬用容器の外側で完全反射境界条件とした。

また、運搬用容器内部は反射効果を最大とするために満水とし、水密度は k_{eff} が最大となる密度(1.0g/cm^3)を仮定した。

(3) 中性子吸収材

添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」9 項で述べたようにバスケットは、核分裂性輸送物に係る特別の試験条件下において変形することはない。また、容器内中性子束が小さいのでボロン添加ステンレス鋼が使用期間中に中性子を吸収して効果を失うこともない。

5.2 輸送物への水の浸入等

本臨界解析では5.1(2)項で述べたように容器内部は満水としているので、水が浸入しても、未臨界性の変化はない。容器内部の水が漏えいした場合には、中性子の減速が行われにくくなるため、 k_{eff} は小さくなる。

また、本臨界解析では中性子遮蔽体、フィン及び緩衝体を見做し、運搬用容器の外側で完全反射境界条件としているので、輸送物の配列変化による接近により k_{eff} がより大きくなることはない。収納物は最も k_{eff} が大きくなる配置をモデル化しているので、収納物の再配列により k_{eff} がより大きくなることはない。

さらに、本臨界解析では運搬用容器の外側で完全反射境界条件とし容器からの漏えい中性子がすべて反射されて容器系内に戻るものとしているので、水中又は雪中への浸漬によって k_{eff} がより大きくなることはない。

本臨界解析では k_{eff} が最大となるように水の密度を 1.0g/cm^3 と仮定した。したがって、温度変化は水の密度を減じ、 k_{eff} を小さくする。

5.3 計算方法

臨界計算には、米国オークリッジ国立研究所で、原子力関連許認可評価用に開発された SCALE(Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation)コードシステム¹⁾を用いた。keff の計算には、KENO-V.a コード¹⁾を用いた。均質化した燃料集合体領域の群定数計算には共鳴処理コード BONAMI¹⁾、CENTRM/PMC/WORKER¹⁾、²⁾及び一次元輸送計算コード XSDRNPM¹⁾を用い、核データライブラリーは SCALE コードシステムの内蔵ライブラリーデータの一つである 238GROUPNDF5 ライブラリーデータを用いた。計算の流れを第 2 図に示す。

燃料集合体領域の均質化の方法としては、単位燃料棒の形状を一次元円柱モデルで近似し、XSDRNPM コードを用いて 238 群の中性子束分布を求め、それを重みとして燃料集合体の均質化領域の 238 群定数を算出した。

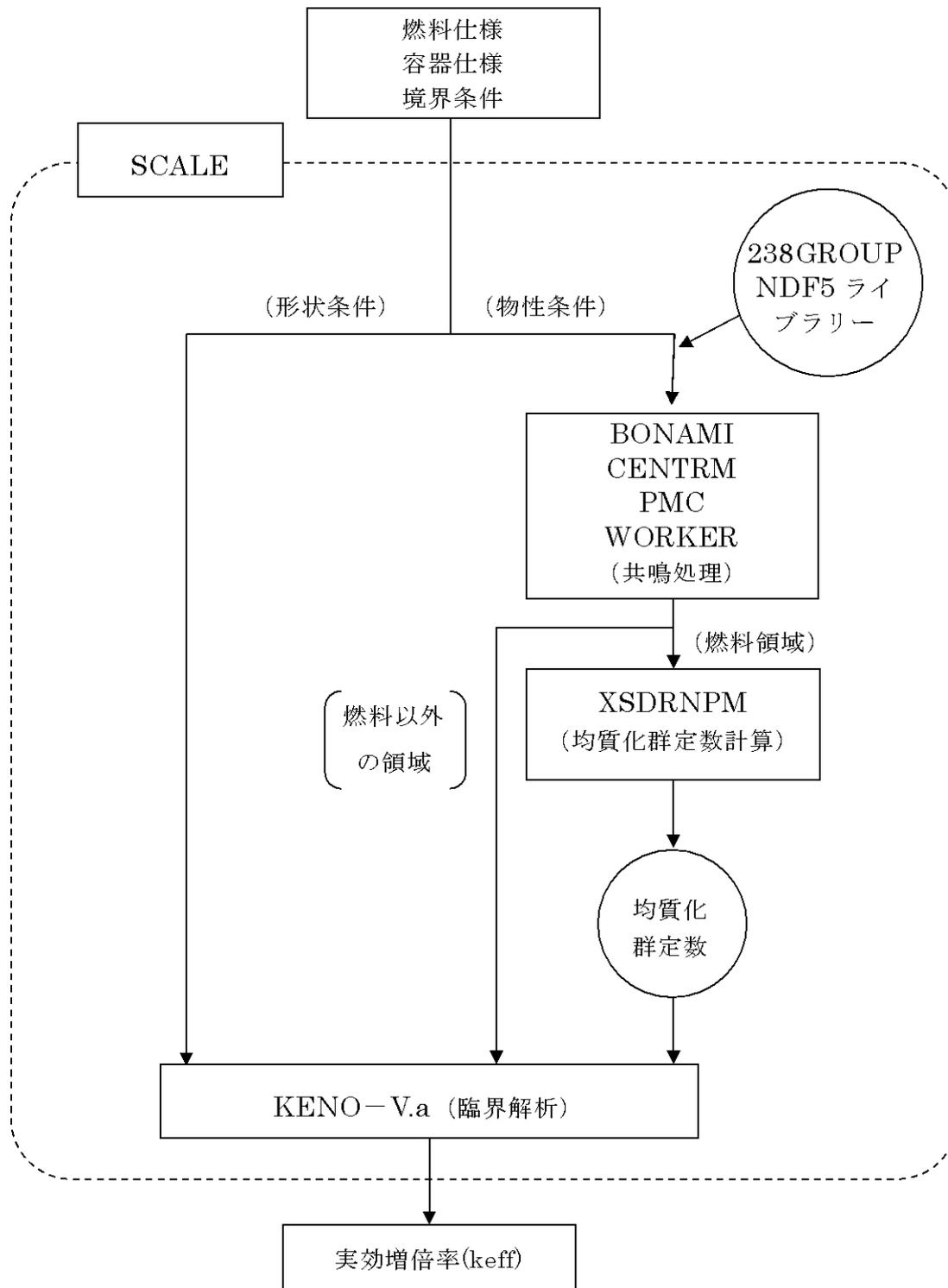
この 238 群定数及び KENO-V.a コードを用い、第 1 図のモデルに対して臨界計算を行った。

5.4 計算結果

第 4 表に臨界計算の結果を示す。本計算は通常運搬時及び核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下に置かれた輸送物の孤立系並びに配列系の各状態と比較して安全側の計算であり、十分未臨界である。

第 4 表 臨界計算結果

	keff	σ	keff + 3 σ
14×14 配列型 (55000MWd/t 燃料)	0.91959	0.00114	0.92301
15×15 配列型 (55000MWd/t 燃料)	0.91133	0.00135	0.91538
17×17 配列型 (55000MWd/t 燃料)	0.90979	0.00116	0.91327



第2図 臨界計算の流れ

6. 結果の要約及びその評価

本運搬用容器には、燃料集合体を収納するバスケットが用いられ、運搬中燃料集合体が分散・集合しないようになっている。バスケット格子は、未臨界維持のために中性子吸収材であるボロンを含むボロン添加ステンレス鋼で構成される。

本運搬用容器の臨界解析は、(1)通常運搬時、(2)輸送物を孤立系の条件に置く場合、(3)一般の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合、(4)特別の試験条件の下に置いた輸送物を孤立系の条件に置く場合、(5)一般の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合、(6)特別の試験条件の下に置いた輸送物を配列系の条件に置く場合のいずれの条件よりも厳しい条件で行い、結果は十分未臨界であった。したがって、上記(1)～(6)のいずれの条件においても未臨界が維持される。

7. 附属書類

7.1 ベンチマーク試験

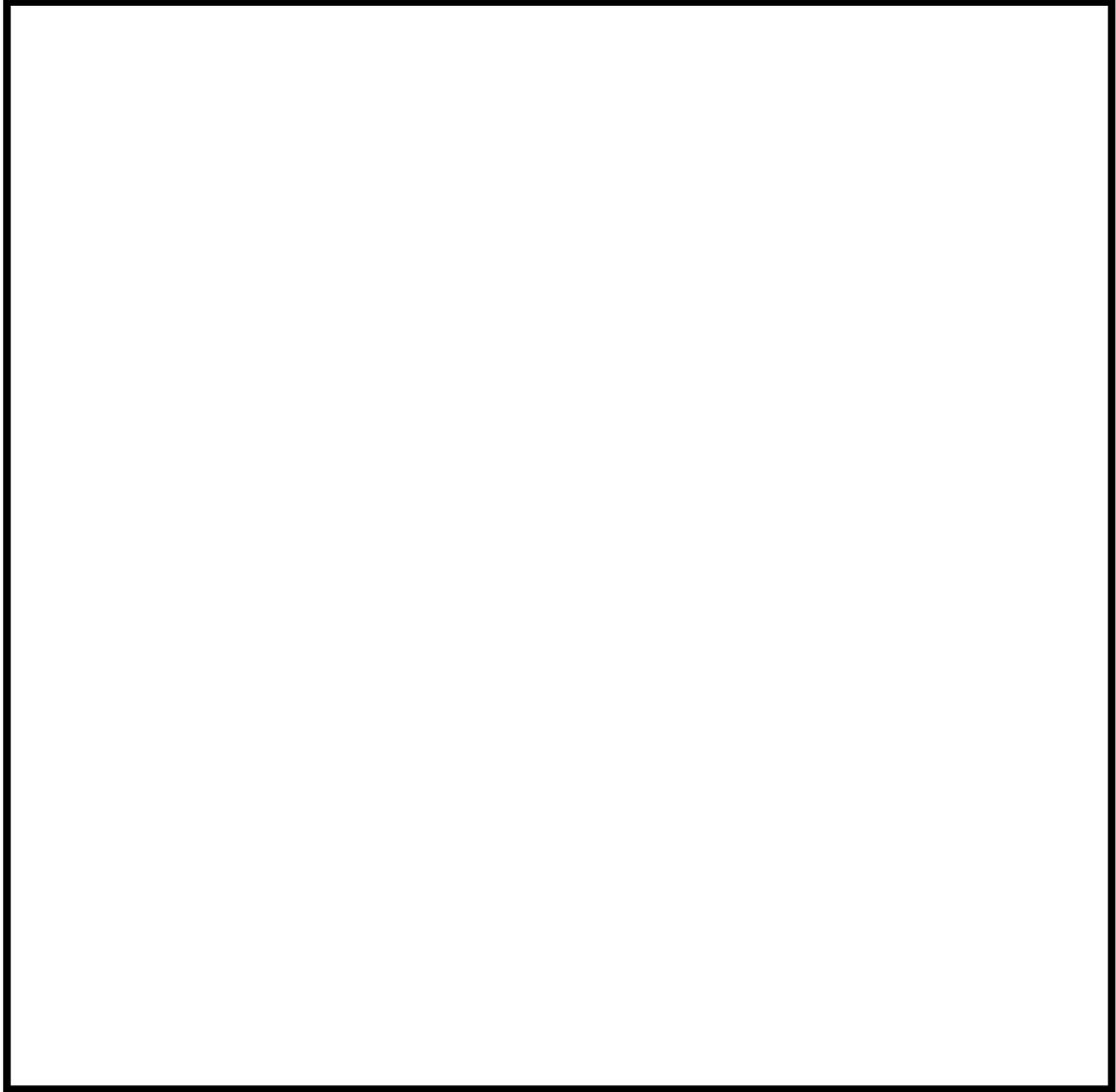
(1) 対象とした臨界実験

□³⁾で行われた臨界実験を対象としたベンチマーク解析を実施した。

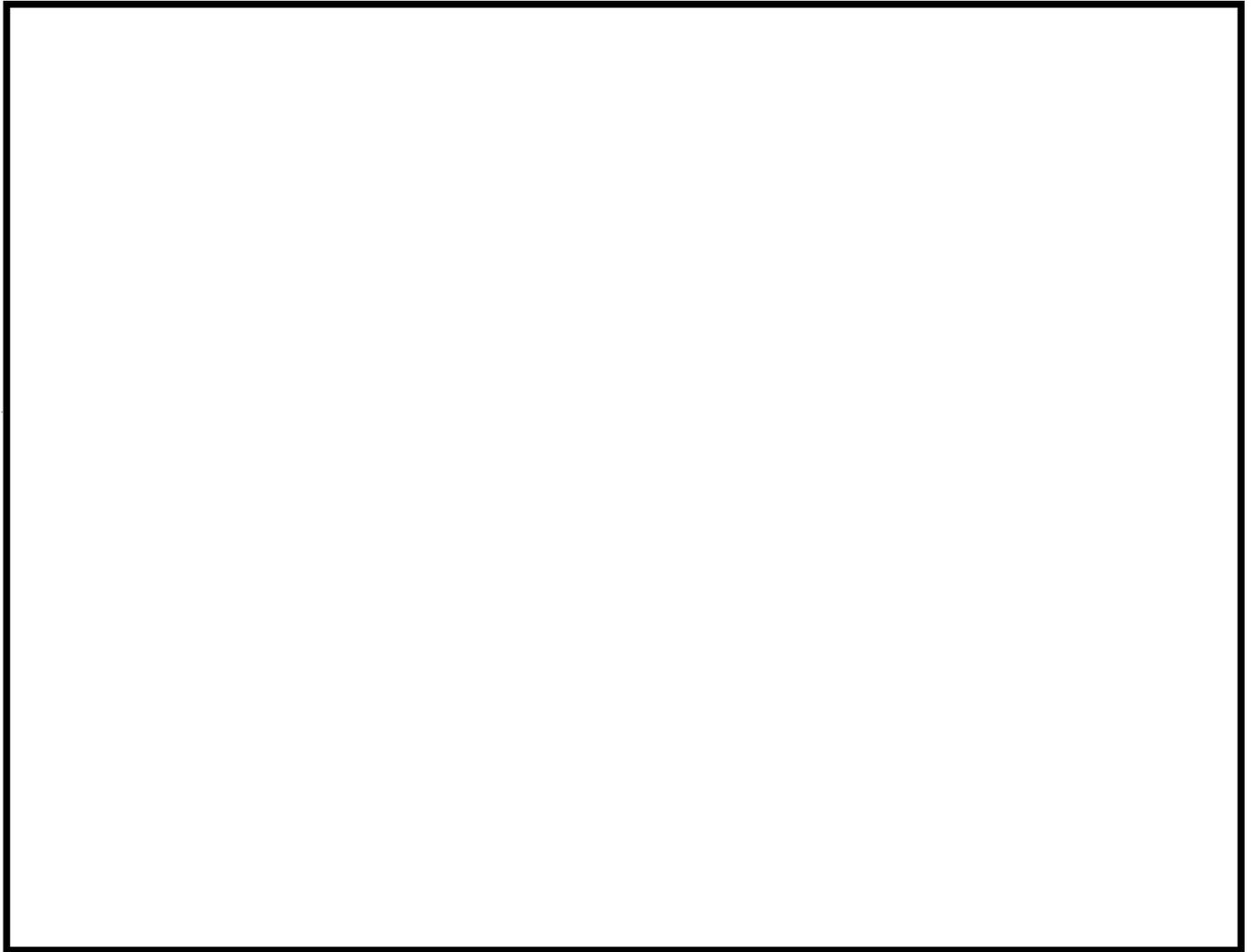
ベンチマーク解析対象とした□の臨界実験の体系は、

ケースの実験が実施されている。燃料集合体の仕様を第 5 表に、各ケースの実験条件を第 6 表に、実験体系を第 3 図に示す。

この臨界実験体系は、



第3図(a) の臨界実験体系（水平断面）



(単位 : mm)

第 3 図(b) の臨界実験体系 (垂直断面)

第5表 臨界実験に使用した燃料集合体の仕様

燃 料 材 質	—	
被 覆 管 材 質	—	
燃 料 棒 直 径	cm	
燃 料 ペ レ ッ ト 直 径	cm	
被 覆 管 肉 厚	cm	
燃 料 有 効 長	cm	
燃 料 棒 配 列	—	
集 合 体 当 たり 燃 料 棒 数	本	
燃 料 棒 ピ ッ チ	cm	
集 合 体 の 幅 ^(注)	cm	
ウ ラ ン - 2 3 5 濃 縮 度	%	

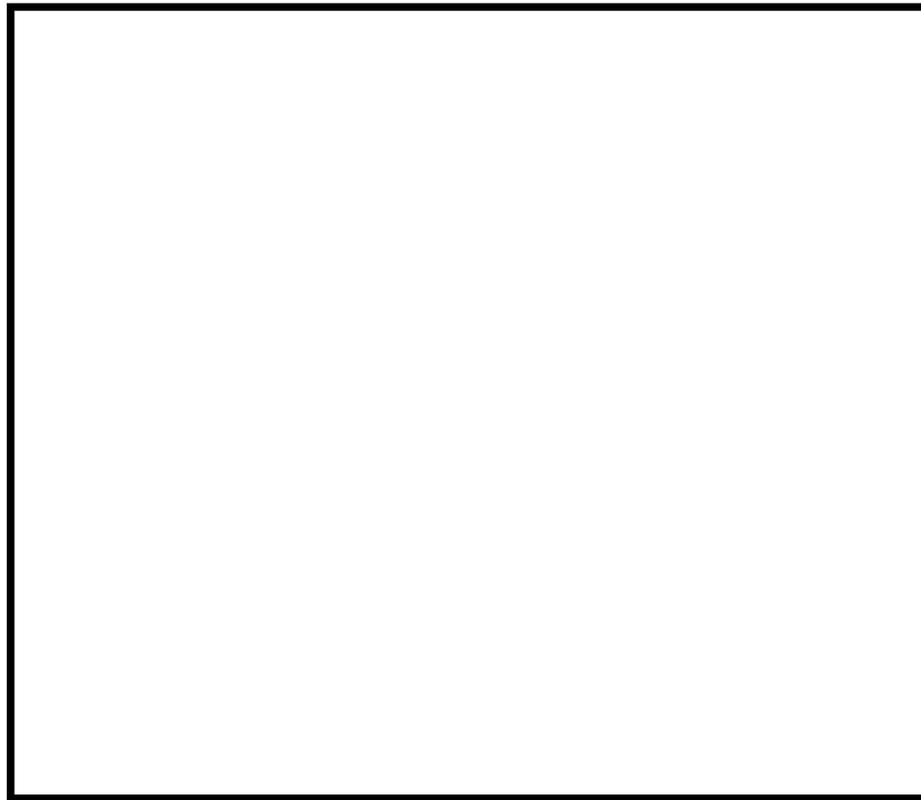
(注) (燃料棒ピッチ) × (燃料棒配列数) を臨界解析上の集合体の幅とする。

第6表 臨界実験条件

ケース	中性子吸収板	中性子反射体	燃料集合体と反射体間のギャップ幅 (cm)	臨界水位(cm)

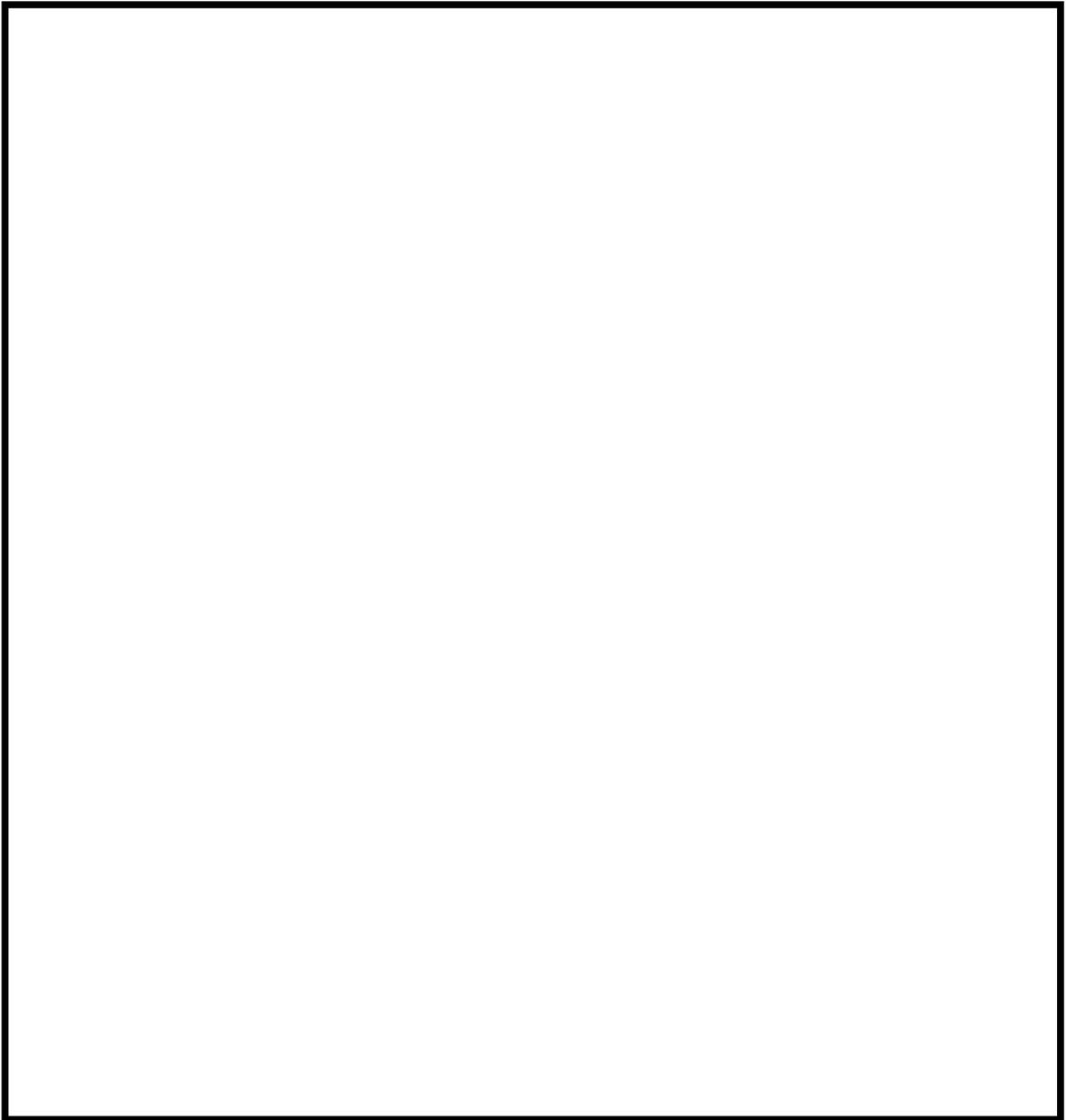
(2) ベンチマーク解析条件

ベンチマーク解析は 238GROUPNDF5 ライブラリーを用い SCALE コードシステムで行った。ベンチマーク解析のモデル図を第 4 図に、解析で用いた各領域の構成物質の原子個数密度を第 7 表に示す。



(単位 : cm)

第 4 図(a) 臨界ベンチマーク解析モデル図 (水平断面) (ケース 2 の例)



(単位 : cm)

第 4 図(b) 臨界ベンチマーク解析モデル図 (垂直断面) (ケース 2 の例)

第7表(a) 各領域の構成物質の原子個数密度 (基本構成部材)

領 域	材 質	元 素	原子個数密度 (10^{24}atoms/cm^3)
燃料ペレット			
被覆管、端栓			
支持部材、 上下部グリッド板、 タイロッド、 計装用シンプル			
減速材			
空気			

(注1)

(注2)

第 7 表(b) 各領域の構成物質の原子個数密度 (中性子吸収板・反射体)

領 域	材 質	元 素	原子個数密度 (10^{24}atoms/cm^3)
中性子吸収板			
中性子反射体			

(3) ベンチマーク解析結果

第 8 表にベンチマーク解析の結果を示す。ベンチマーク解析の結果、本運搬用容器の臨界解析に用いた計算コード及び核データは妥当な結果を与えるといえる。

第 8 表 ベンチマーク解析結果

ケース	keff	σ
[Large empty box for data points]		
平均値	0.99894	—
標準偏差	0.00275	—
最小値	0.99458	—
最大値	1.00471	—

7.2 参考文献

- 1) SCALE : A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation, Vols. 1-3, ORNL/TM-2005/39 Version 5.1, Nov. 2006.
- 2) D. F. Hollenbach and P. B. Fox, "CENTRM Validation", ORNL/TM-2004/66, May 2005
- 3) "International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments", LEU - COMP-THERM - 040, NEA/NSC/DOC(95)03, September 2009

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

	頁
1. はじめに	4 (4) ・ 別紙 ・ 1
2. 解析コードの概要	4 (4) ・ 別紙 ・ 2
2.1 SCALE システム	4 (4) ・ 別紙 ・ 2

1. はじめに

本説明書は、使用済燃料運搬用容器の未臨界性評価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 SCALE システム

項目 \ コード名	SCALE システム
開発機関	ORNL (Oak Ridge National Laboratory)
開発時期	2006 年
使用したバージョン	SCALE 5.1
使用目的	使用済燃料運搬用容器の未臨界性評価
コード概要	<p>SCALE(Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation)システムは、米国オークリッジ国立研究所(ORNL)により米国原子炉規制委員会(NRC)の原子力関連許認可評価用に作成されたコードシステムで、熱、遮蔽及び臨界関係の評価コードが整備されている。</p> <p>臨界解析で用いる SCALE 5.1 システムでは、断面積データとして ENDF/B-V 238 群ライブラリーが使用され、燃料の共鳴処理を BONAMI コード及び CENTRM/PMC コードにて行い、WORKER で断面積ファイルフォーマット変換を行い、1次元輸送計算コード XSDRNPM にて燃料領域の均質化断面積が求められ、この断面積を使用し、3次元モンテカルロ臨界計算コード KENO-V. a にて対象とする体系の臨界計算が実行される。</p> <p>KENO-V. a は米国オークリッジ国立研究所で開発された多群モンテカルロ法にもとづく計算コードであり、複雑な体系の中性子増倍率の計算を行うことができる。統計的手法を用いるため、計算結果には統計誤差を伴う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認(Validation)	<p>仏国原子力庁 Valduc 研究所において実施された臨界実験のうち、10 種類の臨界実験を選択し、ベンチマーク解析により SCALE システムの妥当性の検証を行った。</p> <p>検証の結果、実験値と同システムによる計算値がよく一致していることを確認している。</p>

使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 5

玄海原子力発電所第4号機

使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明は、添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」3 項「熱除去に関する説明書」と同一であるため、添付資料 6「使用済燃料運搬用容器の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」を参照とする。

使用済燃料運搬用容器の放射線遮蔽材の
放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

設計及び工事計画認可申請添付資料 6

玄海原子力発電所第 4 号機

目 次

	頁
1. 概 要	6(4) - 1
2. 放射線の遮蔽に関する説明書	6(4) - 2
2.1 設計上の基準	6(4) - 2
2.2 計算方針	6(4) - 3
2.3 線源仕様	6(4) - 6
2.4 モデル仕様	6(4) - 21
2.5 遮蔽評価	6(4) - 51
2.6 結果の要約と評価	6(4) - 63
3. 熱除去に関する説明書	6(4) - 67
3.1 解析条件及び方法	6(4) - 67
3.2 材料の熱的性質	6(4) - 71
3.3 構成要素の仕様	6(4) - 78
3.4 一般の試験条件	6(4) - 79
3.5 特別の試験条件	6(4) - 106
4. 附属書類	6(4) - 120
4.1 中性子遮蔽体の重量減損を考慮した場合の遮蔽評価	6(4) - 120
4.2 火災時のレジンの損傷状態	6(4) - 125
4.3 平均燃焼度が低い場合の冷却日数について	6(4) - 131
4.4 解析に用いた対流熱伝達率及び熱放射係数	6(4) - 135
4.5 収納物の崩壊熱量	6(4) - 164
4.6 参考文献	6(4) - 166

1. 概 要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第26条第1項第3号及び第6号並びにそれらの「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」に基づき、燃料取扱設備である使用済燃料運搬用容器を用いて玄海4号機の使用済燃料を玄海3号機燃料取扱建屋内の使用済燃料貯蔵設備へ運搬する場合に、使用済燃料運搬用容器内の放射線遮蔽材の放射線の遮蔽及び熱除去の計算について説明するものである。

2. 放射線の遮蔽に関する説明書

2.1 設計上の基準

本運搬用容器の遮蔽設計基準は、「技術基準規則」、「工場又は事業所における核燃料物質等の運搬に関する措置に係る技術的細目等を定める告示」（通商産業省告示第 666 号）及び「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」（総理府令第 57 号）の遮蔽基準に従い第 1 表のとおりとする。

第 1 表 遮蔽基準値

条 件	最大線量当量率(μ Sv/h)		備 考
	輸送物表面	輸送物表面から 1m 離れた所	
通常運搬時	2000	100	技術基準規則第 26 条及び通商産業省告示第 666 号による。
一般の試験条件下	2000	—	総理府令第 57 号第 6 条による。
特別の試験条件下	—	10000	総理府令第 57 号第 6 条による。

2.2 計算方針

添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」第 5 図及び第 6 図に示すとおり本運搬用容器の主要なガンマ線遮蔽材は、側部方向には内筒と中間筒の間にある鉛、内筒のステンレス鋼並びに中間筒及び外筒の炭素鋼であり、軸方向には底板及びふたのステンレス鋼である。主要な中性子遮蔽材は、内筒内水並びに側部方向には中間筒と外筒間のレジンであり、中間筒及び外筒の炭素鋼並びに内筒、底板及びふたのステンレス鋼もその役目をする。

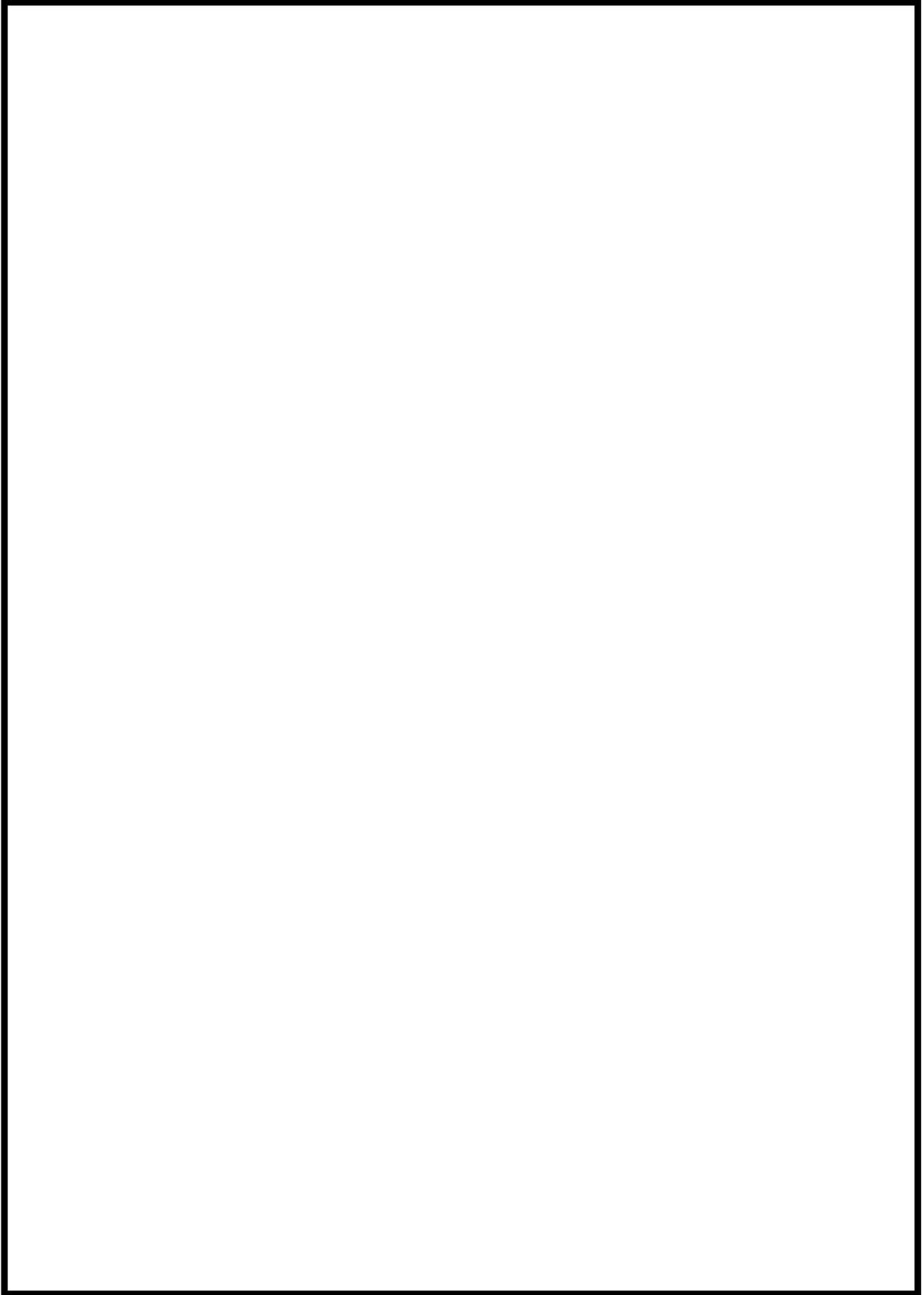
本解析の基とした遮蔽体の概略形状、主要部寸法及び材料を第 1 図に示す。また、遮蔽厚さを第 2 表に示す。

線量当量率評価位置は、通常運搬時及び一般の試験条件下ではフィン部はフィン先端、フィンの無い所は容器本体の外表面、頭部及び底部は緩衝体の表面をそれぞれ輸送物表面とした。特別の試験条件下においては、緩衝体は大幅に変形し、フィンも部分的に変形するので、すべての方向に対して容器本体表面を輸送物表面とした。

線源としては核分裂生成物及び超ウラン元素による線源並びに構造材（バーナブルポイズン集合体を含む。）の放射化による線源を考える。

線源強度は、ORIGEN2 コード¹⁾及び放射化計算式により連続照射を仮定して求める。

通常運搬時、一般及び特別の試験条件下での線量当量率は、DOT3.5 コード²⁾で求める。



(単位 : cm)

第1図 遮蔽体構成

第2表 遮蔽厚さ（公称値）（注1）

	径方向 （胴部）	軸方向				
		上部 カバー プレート	ふた	ふた膨張 室底板	底板	下部 カバー プレート
ステンレス鋼 （内筒、カバープレート、 ふた、ふた膨張室底板、底板）						
鉛 （ガンマ線遮蔽体）						
炭素鋼 （中間筒）						
レジン （中性子遮蔽体）						
炭素鋼 （外筒）						
ボロン添加ステンレス鋼 （バスケットチャンネル板）						

（注1） []内は、遮蔽計算での設計確認値で、密度係数により考慮する。

（注2） バスケットチャンネル No.1～No.12 及び No.14

（注3） バスケットチャンネル No.13

2.3 線源仕様

線源計算に当たって、燃料集合体上下の構造材部は後述する解析モデルで示すように、上部ノズル部、上部プレナム部及び下部ノズル部（下部端栓部、下部ノズル部）の領域に分けて求める。

線源強度の計算に用いる平均燃焼度、照射日数及び冷却日数を第 3 表に示す。第 3 表には各収納物の最大の平均燃焼度における冷却日数を示しているが、各収納物の平均燃焼度が低い場合の平均燃焼度と冷却日数の関係について第 2 図に示す。

第 3 表の線源条件に基づいて、PWR 燃料集合体を容器に収納した場合のガンマ線源強度及び中性子源強度を求めた。このうち、ガンマ線源としては次の 2 種類に分類できる。

- ・核分裂生成物及び超ウラン元素によるガンマ線源
- ・構造材の放射化生成物によるガンマ線源

計算は、原子炉の実際の運転履歴に基づくものではなく、第 3 表に示した比出力で連続照射したものとして行った。

各収納物の線源強度の比較を第 4 表に示す。遮蔽解析対象を以下のとおり設定した。

- ・タイプ 1、タイプ 2 及びタイプ 3 については、冷却日数が同じであるため、タイプ 3 で代表する。
- ・タイプ 5 については、冷却日数が同じタイプ 6 で代表する。
- ・遮蔽解析は、タイプ 3、タイプ 4 及びタイプ 6 を対象とする。

第3表 収納物の線源計算条件(1/2)

燃料タイプ 条件	PWR 燃料集合体		
	タイプ 1 (14×14 配列型) (48000MWd/t 燃料)	タイプ 2 (15×15 配列型) (48000MWd/t 燃料)	タイプ 3 (17×17 配列型) (48000MWd/t 燃料)
平均燃焼度 ^(注1) (MWd/t 以下)			
比出力 ^(注2) (MW/t)	34.0	33.7	38.4
照射日数 ^(注3) (日以下)			
冷却日数 ^(注1) (日以上)			
制限放射能強度 (PBq/輸送物以下)	□		

(注1) 平均燃焼度と冷却日数の関係は第2図による。

(注2) 比出力は100%出力に相当する炉平均値を用いる。

(注3) () 内はバーナブルポイズン集合体の値 (90000MWd/t 相当)

第3表 収納物の線源計算条件(2/2)

燃料タイプ 条件	PWR 燃料集合体		
	タイプ4 (14×14 配列型) (55000MWd/t 燃料)	タイプ5 (15×15 配列型) (55000MWd/t 燃料)	タイプ6 (17×17 配列型) (55000MWd/t 燃料)
平均燃焼度 ^(注1) (MWd/t 以下)			
比出力 ^(注2) (MW/t)	33.7	33.5	37.7
照射日数 ^(注3) (日以下)			
冷却日数 ^(注1) (日以上)			
制限放射能強度 (PBq/輸送物以下)			

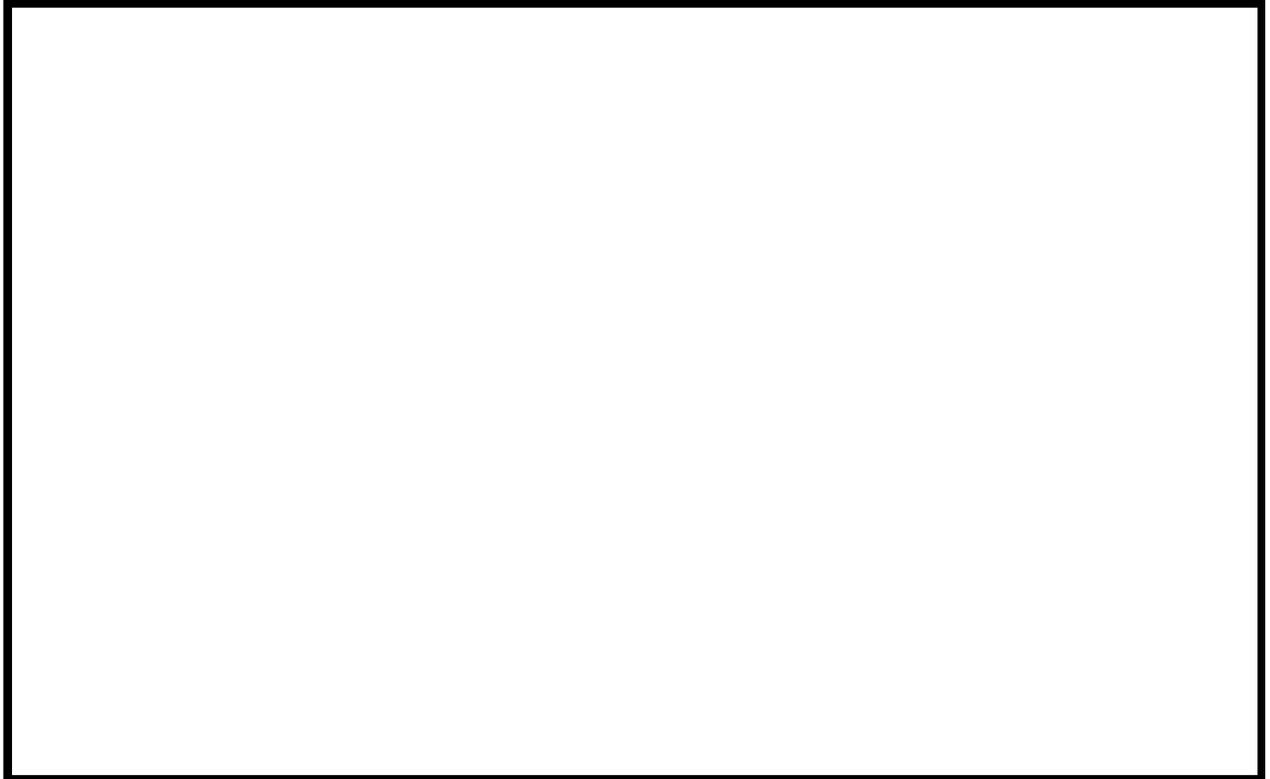
(注1) 平均燃焼度と冷却日数の関係は第2図による。

(注2) 比出力は100%出力に相当する炉平均値を用いる。

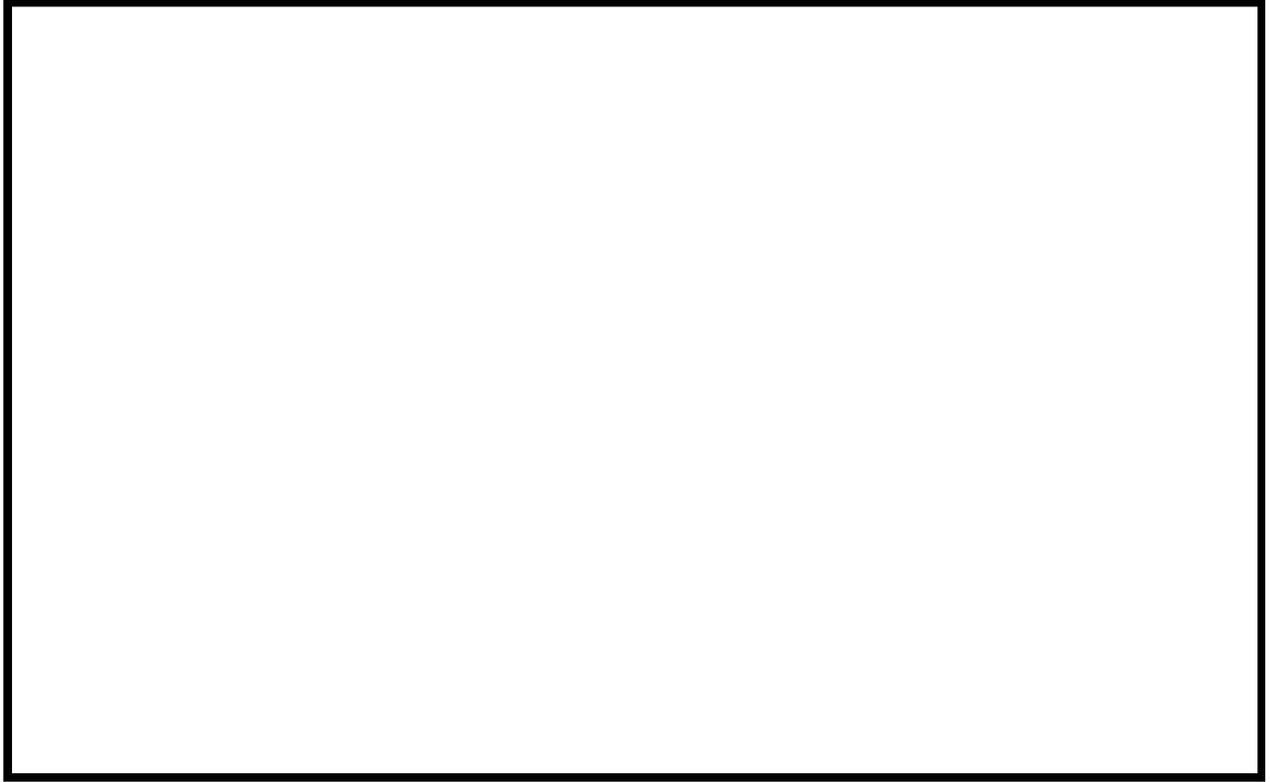
(注3) () 内はバーナブルポイズン集合体の値 (90000MWd/t 相当)



第2図(a) タイプ1、タイプ2及びタイプ3燃料の冷却日数と平均燃焼度



第2図(b) タイプ4燃料の冷却日数と平均燃焼度



第2図(c) タイプ5及びタイプ6燃料の冷却日数と平均燃焼度

第4表 線源強度の比較(1/2)

燃料集合体の種類 項 目		PWR 燃料集合体 (14 体)		
		タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3
ガンマ線源	燃料有効部 (photons/s)	3.327×10^{17}	3.802×10^{17}	4.026×10^{17}
	上部ノズル部 ^(注) (⁶⁰ Co TBq)	19.0	23.0	23.8
	上部プレナム部 ^(注) (⁶⁰ Co TBq)	182	216	222
	下部ノズル部 ^(注) (⁶⁰ Co TBq)	58.6	64.9	66.8
	バーナブルポイズン 集合体 ^(注) (⁶⁰ Co TBq)	927	1097	1154
	構造材放射化合物計 (⁶⁰ Co TBq)	1187	1401	1467
全中性子源	燃料有効部 (n/s)	2.723×10^{10}	3.270×10^{10}	3.111×10^{10}

(注) 燃料構造材中の各領域の⁵⁹Co含有量を考慮した。

第4表 線源強度の比較(2/2)

燃料集合体の種類 項 目		PWR 燃料集合体 (14 体)		
		タイプ 4	タイプ 5	タイプ 6
ガンマ線源	燃料有効部 (photons/s)	2.835×10^{17}	2.610×10^{17}	2.774×10^{17}
	上部ノズル部 ^(注) (^{60}Co TBq)	61.3	62.4	76.3
	上部プレナム部 ^(注) (^{60}Co TBq)	459	466	341
	下部端栓部 ^(注) (^{60}Co TBq)	71.6	85.7	68.8
	下部ノズル部 ^(注) (^{60}Co TBq)	147	137	136
	バーナブルポイズン 集合体 ^(注) (^{60}Co TBq)	794	845	1002
	構造材放射化合物計 (^{60}Co TBq)	1533	1596	1624
全中性子源	燃料有効部 (n/s)	3.020×10^{10}	3.217×10^{10}	3.124×10^{10}

(注) 燃料構造材中の各領域の ^{59}Co 含有量を考慮した。

2.3.1 ガンマ線源

(1) 燃料有効部のガンマ線源

燃料有効部のガンマ線源は、核分裂生成物及びアクチノイドによるものである。

ガンマ線源強度の計算は、ORIGEN2 コードを用いて行った。

燃料有効部の各エネルギーごとのガンマ線源強度を第5表に示す。

第5表 燃料有効部のガンマ線の各エネルギーごとの線源強度

(運搬用容器1基当り)

エネルギー群数	平均エネルギー(MeV)	燃料有効部(photons/s)					
		タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4	タイプ5	タイプ6
1	0.01	9.043×10^{16}	1.036×10^{17}	1.115×10^{17}	7.076×10^{16}	6.243×10^{16}	6.731×10^{16}
2	0.025	2.108×10^{16}	2.402×10^{16}	2.584×10^{16}	1.632×10^{16}	1.448×10^{16}	1.561×10^{16}
3	0.0375	2.107×10^{16}	2.399×10^{16}	2.583×10^{16}	1.684×10^{16}	1.514×10^{16}	1.626×10^{16}
4	0.0575	1.870×10^{16}	2.131×10^{16}	2.299×10^{16}	1.447×10^{16}	1.268×10^{16}	1.370×10^{16}
5	0.085	1.302×10^{16}	1.483×10^{16}	1.603×10^{16}	1.000×10^{16}	8.702×10^{15}	9.413×10^{15}
6	0.125	1.437×10^{16}	1.634×10^{16}	1.777×10^{16}	1.090×10^{16}	9.416×10^{15}	1.021×10^{16}
7	0.225	1.138×10^{16}	1.297×10^{16}	1.402×10^{16}	8.606×10^{15}	7.431×10^{15}	8.052×10^{15}
8	0.375	6.561×10^{15}	7.486×10^{15}	8.060×10^{15}	4.910×10^{15}	4.276×10^{15}	4.630×10^{15}
9	0.575	9.492×10^{16}	1.086×10^{17}	1.119×10^{17}	9.206×10^{16}	9.027×10^{16}	9.424×10^{16}
10	0.85	3.458×10^{16}	3.957×10^{16}	4.084×10^{16}	3.284×10^{16}	3.077×10^{16}	3.229×10^{16}
11	1.25	5.860×10^{15}	6.718×10^{15}	6.940×10^{15}	5.258×10^{15}	5.051×10^{15}	5.273×10^{15}
12	1.75	3.331×10^{14}	3.819×10^{14}	4.059×10^{14}	2.520×10^{14}	2.174×10^{14}	2.323×10^{14}
13	2.25	3.742×10^{14}	4.238×10^{14}	4.753×10^{14}	2.398×10^{14}	1.792×10^{14}	2.035×10^{14}
14	2.75	9.197×10^{12}	1.056×10^{13}	1.134×10^{13}	6.381×10^{12}	5.143×10^{12}	5.602×10^{12}
15	3.5	1.166×10^{12}	1.338×10^{12}	1.434×10^{12}	8.116×10^{11}	6.556×10^{11}	7.131×10^{11}
16	5.0	4.005×10^8	4.775×10^8	4.545×10^8	4.443×10^8	4.736×10^8	4.598×10^8
17	7.0	4.618×10^7	5.505×10^7	5.240×10^7	5.125×10^7	5.461×10^7	5.302×10^7
18	9.5	5.308×10^6	6.325×10^6	6.020×10^6	5.889×10^6	6.275×10^6	6.090×10^6
合計		3.327×10^{17}	3.802×10^{17}	4.026×10^{17}	2.835×10^{17}	2.610×10^{17}	2.774×10^{17}

(2) 放射化線源

燃料集合体構造材の放射化によるガンマ線源のうち、容器外部の線量当量率に寄与するものは、構造材中に含まれる ^{59}Co の(n, γ)反応により生じる ^{60}Co が大部分である。

^{60}Co の放射化線源強度は次式を用いて求めた。

$$A = N_0 \cdot \sigma \cdot \phi \{1 - \exp(-\lambda T_1)\} \cdot \exp(-\lambda T_2)$$

ここで、A : 放射化核種(^{60}Co)の放射能(Bq)

N_0 : ターゲット核種(^{59}Co)の個数(atoms)

σ : 2200m/s の中性子による ^{59}Co の(n, γ)反応断面積(cm^2)
(37.2barn^3) = $37.2 \times 10^{-24} \text{cm}^2$)

ϕ : 炉内照射熱中性子束($\text{n}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$) (注)

λ : ^{60}Co の崩壊定数 ($3.601 \times 10^{-4}/\text{日}$)

T_1 : 照射日数 (日)

T_2 : 冷却日数 (日)

^{60}Co の放射化線源強度計算に用いた計算条件と結果を第6表に示す。

なお、 ^{60}Co は1崩壊で1.17MeVと1.33MeVのガンマ線を1個ずつ放出する。

(注) 炉設計コードによる炉心計算で求められた軸方向炉内中性子束分布の典型例の放射化評価部位での熱中性子束を用いている。

第6表(a) 燃料集合体端部構造材の放射化によるガンマ線源強度

(運搬用容器1基当り)

PWR 燃料集合体 (14 体)					
領 域		上部 ノズル部	上部 プレナム部	下部ノズル部	
				下部 端栓部	下部 ノズル部
コバルト含有量 ^(注) (g)	タイプ1				
	タイプ2				
	タイプ3				
	タイプ4				
	タイプ5				
	タイプ6				
照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s))	タイプ1	1.5×10 ¹²	2.2×10 ¹³	6.1×10 ¹²	
	タイプ2	1.5×10 ¹²	2.1×10 ¹³	5.9×10 ¹²	
	タイプ3	1.7×10 ¹²	2.4×10 ¹³	6.7×10 ¹²	
	タイプ4	6.3×10 ¹²	2.3×10 ¹³	2.3×10 ¹³	1.7×10 ¹³
	タイプ5	5.7×10 ¹²	2.2×10 ¹³	2.3×10 ¹³	1.8×10 ¹³
	タイプ6	8.1×10 ¹²	2.6×10 ¹³	2.3×10 ¹³	2.0×10 ¹³
照射日数 (日)	タイプ1				
	タイプ2				
	タイプ3				
	タイプ4				
	タイプ5				
	タイプ6				
冷却日数 (日)	タイプ1				
	タイプ2				
	タイプ3				
	タイプ4				
	タイプ5				
	タイプ6				
線源強度 (⁶⁰ Co TBq)	タイプ1	19.0	182	58.6	
	タイプ2	23.0	216	64.9	
	タイプ3	23.8	222	66.8	
	タイプ4	61.3	459	71.6	147
	タイプ5	62.4	466	85.7	137
	タイプ6	76.3	341	68.8	136

(注) 燃料構造材中の各領域の⁵⁹Co含有量を考慮した。

第6表(b) バーナブルポイズン集合体構造材の放射化によるガンマ線源強度

(運搬用容器 1 基当り)

バーナブルポイズン集合体 (14 体)				
領 域		ホールドダウン アセンブリ	シンプルプラグ	BP 棒被覆管
コバルト含有量 ^(注) (g)	タイプ 1			
	タイプ 2			
	タイプ 3			
	タイプ 4			
	タイプ 5			
	タイプ 6			
モデル化領域		上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部
照射熱中性子束 (n/(cm ² ・s))	タイプ 1	1.5×10 ¹²	2.2×10 ¹³	3.3×10 ¹³
	タイプ 2	1.5×10 ¹²	2.1×10 ¹³	3.2×10 ¹³
	タイプ 3	1.7×10 ¹²	2.4×10 ¹³	3.6×10 ¹³
	タイプ 4	3.1×10 ¹²	1.9×10 ¹³	3.1×10 ¹³
	タイプ 5	3.0×10 ¹²	1.8×10 ¹³	3.3×10 ¹³
	タイプ 6	4.0×10 ¹²	2.1×10 ¹³	3.5×10 ¹³
照射日数 (日)	タイプ 1			
	タイプ 2			
	タイプ 3			
	タイプ 4			
	タイプ 5			
	タイプ 6			
冷却日数 (日)	タイプ 1			
	タイプ 2			
	タイプ 3			
	タイプ 4			
	タイプ 5			
	タイプ 6			
線源強度 (⁶⁰ Co TBq)	タイプ 1	9.6	29.3	888
	タイプ 2	13.8	30.3	1053
	タイプ 3	14.5	31.7	1108
	タイプ 4	20.1	21.9	752
	タイプ 5	21.6	39.3	784
	タイプ 6	29.2	21.3	951

(注) 燃料構造材中の各領域の ⁵⁹Co 含有量を考慮した。

2.3.2 中性子源

照射済燃料中には中性子源となる超ウラン元素が生成される。これらの核種から中性子が生成する反応は、自発核分裂及び (α, n) 反応である。一次中性子源強度の計算は、ORIGEN2 コードを用いて行った。

体系の増倍効果を考慮した全中性子源強度(N_s)は次式で求められる。

$$N_s = N_o / (1 - k_{eff})$$

ここで、 N_o : 運搬用容器 1 基当りの一次中性子源強度

k_{eff} : 照射済燃料を収納した場合の輸送物の実効増倍率

燃焼に伴い k_{eff} は減少するので、ここでは添付資料 4「燃料取扱設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書」に記載の計算方法と同一の手法により照射済燃料を収納した場合の輸送物の k_{eff} を求めた。

中性子源強度を第 7 表に示す。

上記の中性子源強度のうち大部分は、 ^{244}Cm の自発核分裂線源と増倍による ^{235}U 、 ^{239}Pu の核分裂線源であり、 (α, n) 反応による線源はわずかである。

そこで、計算に用いる線源のエネルギースペクトルは、線源強度に支配的な核分裂線源のうち最もスペクトルが硬い ^{239}Pu の核分裂スペクトルとする。計算に使用する ^{239}Pu の核分裂スペクトルを第 8 表に示す。

第7表 中性子源強度

(運搬用容器1基当り)

		PWR 燃料集合体 (14 体)					
		タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5	タイプ 6
一次中性子源 強 度 No (n/s)	(α , n) 反 応	1.473×10^8	2.544×10^8	2.383×10^8	1.511×10^8	1.571×10^8	1.542×10^8
	自発核分裂	9.111×10^9	1.086×10^{10}	1.034×10^{10}	1.012×10^{10}	1.078×10^{10}	1.047×10^{10}
	計	9.258×10^9	1.112×10^{10}	1.058×10^{10}	1.027×10^{10}	1.094×10^{10}	1.062×10^{10}
輸送物の実効増倍率 ^(注) (keff)		0.660	0.660	0.660	0.660	0.660	0.660
全中性子源強度 Ns(n/s)		2.723×10^{10}	3.270×10^{10}	3.111×10^{10}	3.020×10^{10}	3.217×10^{10}	3.124×10^{10}

(注) ORIGEN2 コードにより、燃焼に伴う核分裂性物質の減少及びポイズンとなる核分裂生成物の生成量を求め、これらを考慮した核種構成を用いて臨界解析に示す手法と同一手法 (KENO-V.a コード) により得られた値である。

第 8 表 中性子線源スペクトル

エネルギー群数	上限エネルギー(eV)	スペクトル ^(注)
1	1.492×10^7	5.72×10^{-4}
2	1.220×10^7	2.02×10^{-3}
3	1.000×10^7	6.07×10^{-3}
4	8.180×10^6	2.00×10^{-2}
5	6.360×10^6	4.12×10^{-2}
6	4.960×10^6	5.27×10^{-2}
7	4.060×10^6	1.10×10^{-1}
8	3.010×10^6	8.74×10^{-2}
9	2.460×10^6	2.28×10^{-2}
10	2.350×10^6	1.15×10^{-1}
11	1.830×10^6	2.07×10^{-1}
12	1.110×10^6	1.89×10^{-1}
13	5.500×10^5	1.31×10^{-1}
14	1.110×10^5	1.59×10^{-2}
15	3.350×10^3	8.12×10^{-5}
16	5.830×10^2	5.89×10^{-6}
17	1.010×10^2	3.89×10^{-7}
18	2.900×10^1	5.53×10^{-8}
19	1.070×10^1	1.33×10^{-8}
20	3.060×10^0	1.88×10^{-9}
21	1.120×10^0	4.19×10^{-10}
22	4.140×10^{-1}	1.20×10^{-10}
合 計		1.0

(注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを DLC-23/CASK ライブラリー⁴⁾ の中性子 22 群構造に振り分けたものである。

2.4 モデル仕様

2.4.1 解析モデル

第 1 図の基本遮蔽体構造に基づき、遮蔽解析モデルは二次元(R-Z)モデルを設定する。輸送物頭部方向は、横置時に水位のできる方向のトランニオン部断面をモデル化する。底部方向は、横置時水位方向並びに横方向のトランニオン部断面をモデル化する。

各試験条件におけるモデル化は以下に示す条件を考慮する。

(1) 通常運搬時及び一般の試験条件下

通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデルは、一般の試験条件下において 0.3m 落下における緩衝体の変形（最大変形量：133mm）を考慮すること以外は同一とし、以下の条件とする。解析モデルを第 3 図、第 4 図及び第 5 図に示す。

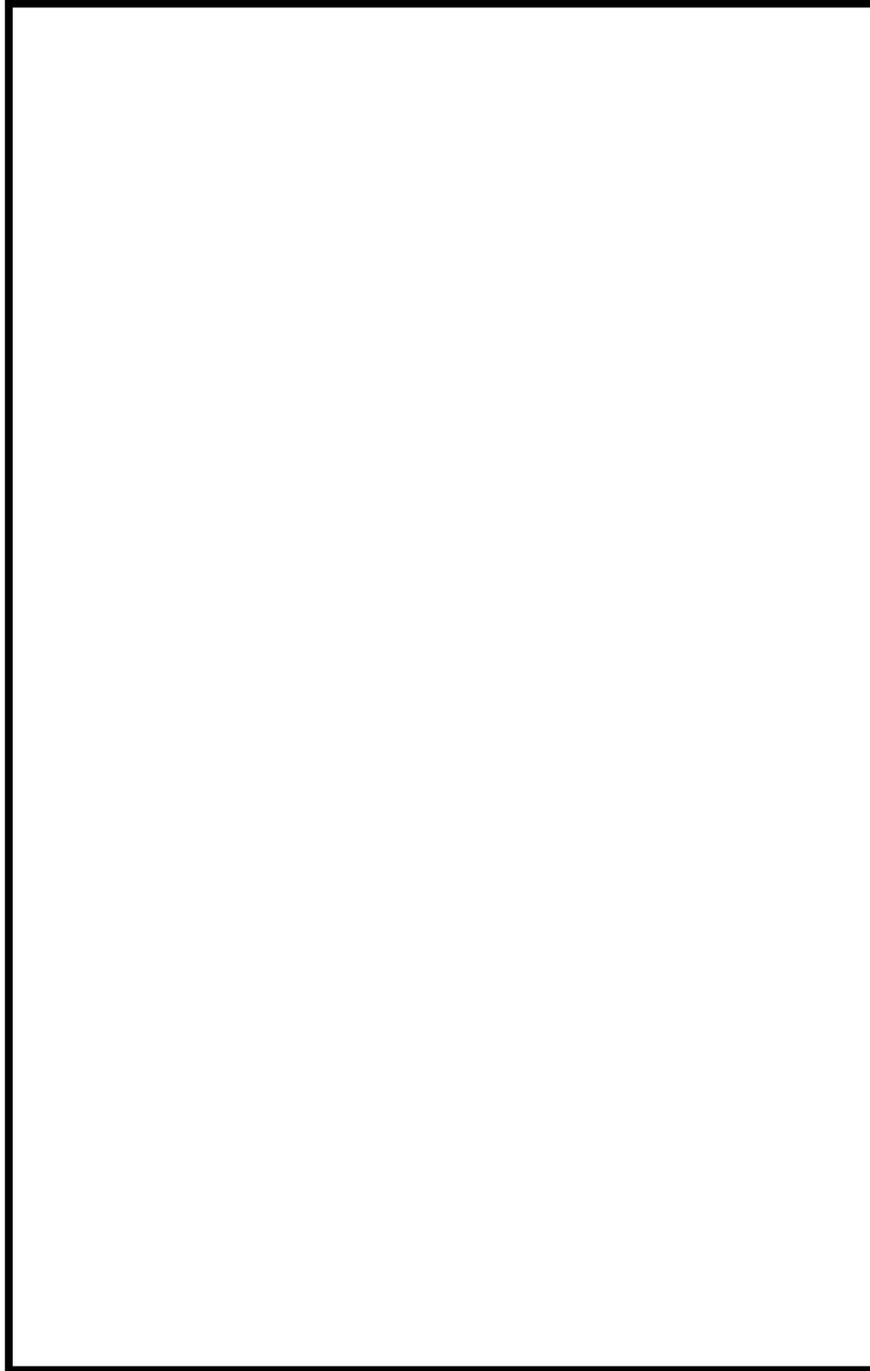
- a. 内筒内での燃料集合体の軸方向の移動を考慮し、安全側に頭部方向評価モデルではふた方向に、底部方向評価モデルでは底方向に移動したモデルとする。
- b. 内筒内水温度は、安全側に 3.4 項で求めた一般の試験条件下における水温(179℃)より高い 180℃に設定する。
- c. 内筒内水位は、安全側に水の膨張を考慮しない場合の水位とする。
- d. バスケットの最外周部は遮蔽体として考慮し、他の部分については、水没部は燃料領域に均質化し、非水没部はボイドに置き換え、均質化領域から除外する。
- e. フィンは、空気に置き換え、距離のみ考慮する。
- f. 緩衝体は、カバープレートのみ遮蔽体として考慮し、他の部材は安全側に空気に置き換え、距離のみ考慮する。
- g. 各部寸法はすべて公称値とし、公差は密度係数として考慮する。

なお、各バルブは空隙の少ないプラグタイプバルブであり、ストリーミングの少ない構造である。本体のバルブに至る貫通孔のストリーミングに対しては、貫通孔を屈曲させる等により、また、ふたのバルブに至る貫通孔のストリーミングに対しては、緩衝体への補助遮蔽体の設置により、ストリーミングを含めたバルブ部の線量当量率は当該近傍表面の最大線量当量率より十分低いことを確認している。



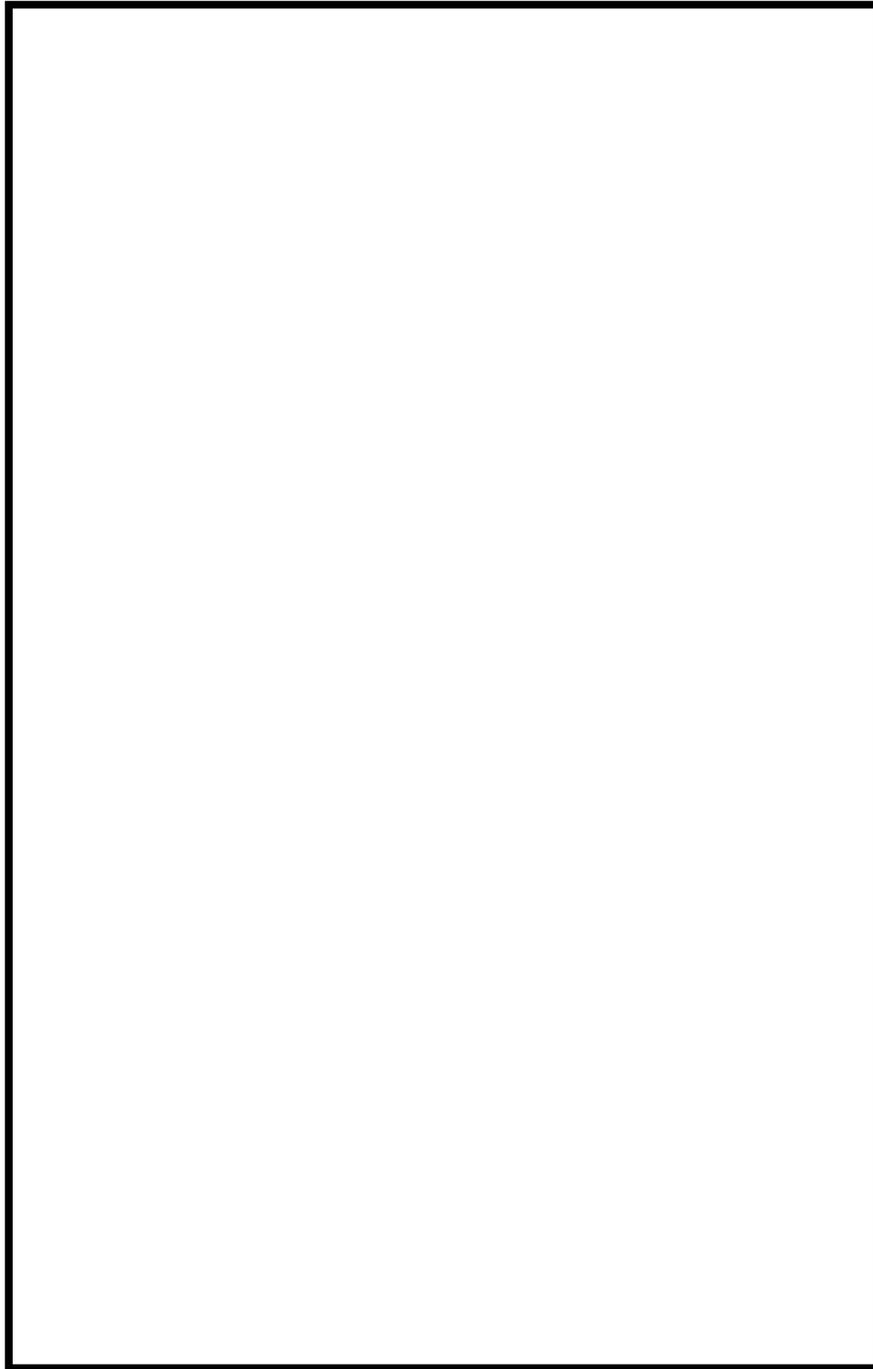
(単位 : cm)

第 3 図(a) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 3 (頭部))



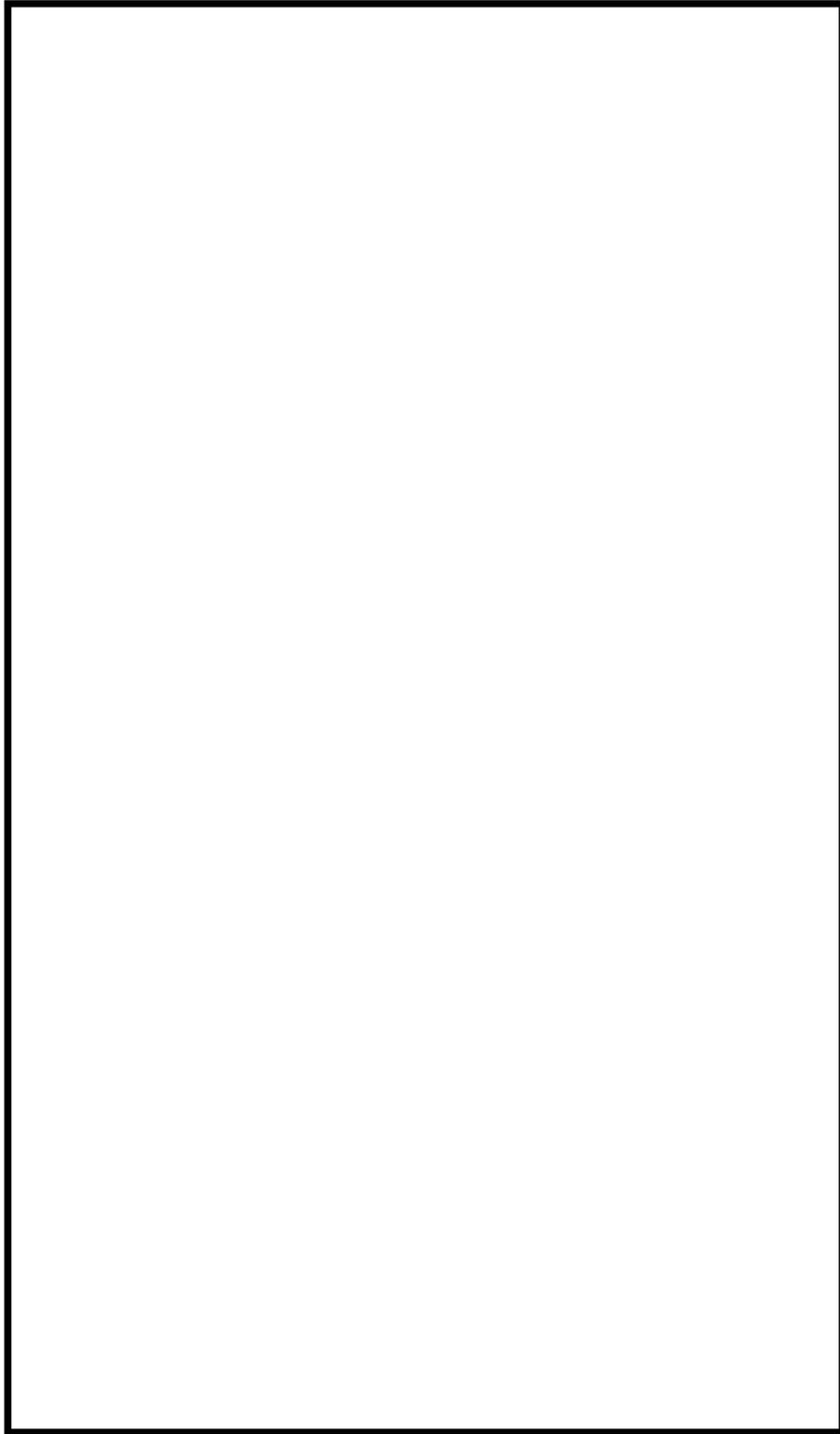
(単位：cm)

第3図(b) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ3 (底部水位方向))



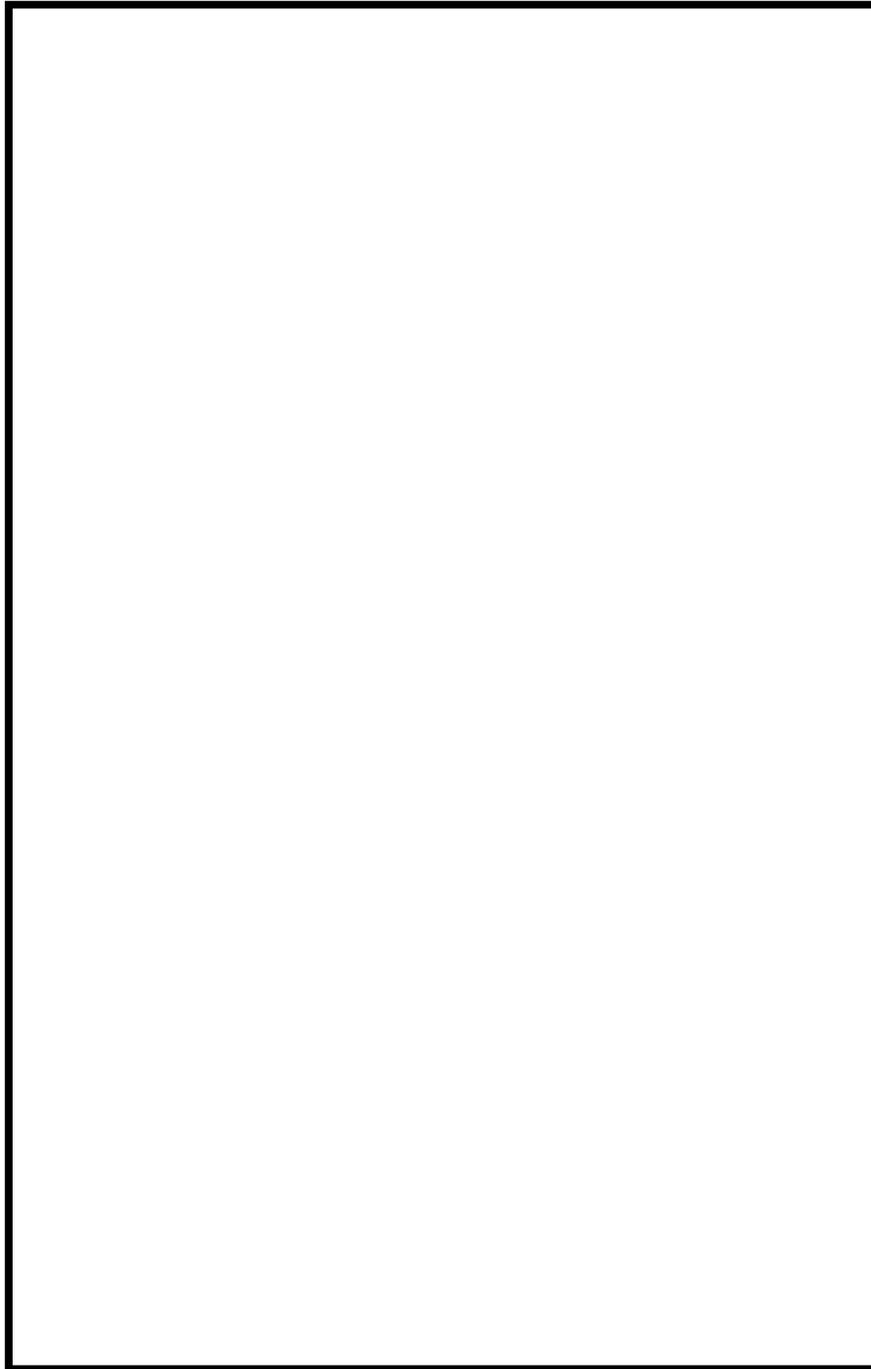
(単位 : cm)

第 3 図(c) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 3 (底部トラニオン方向))



(単位 : cm)

第 4 図(a) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 4 (頭部))



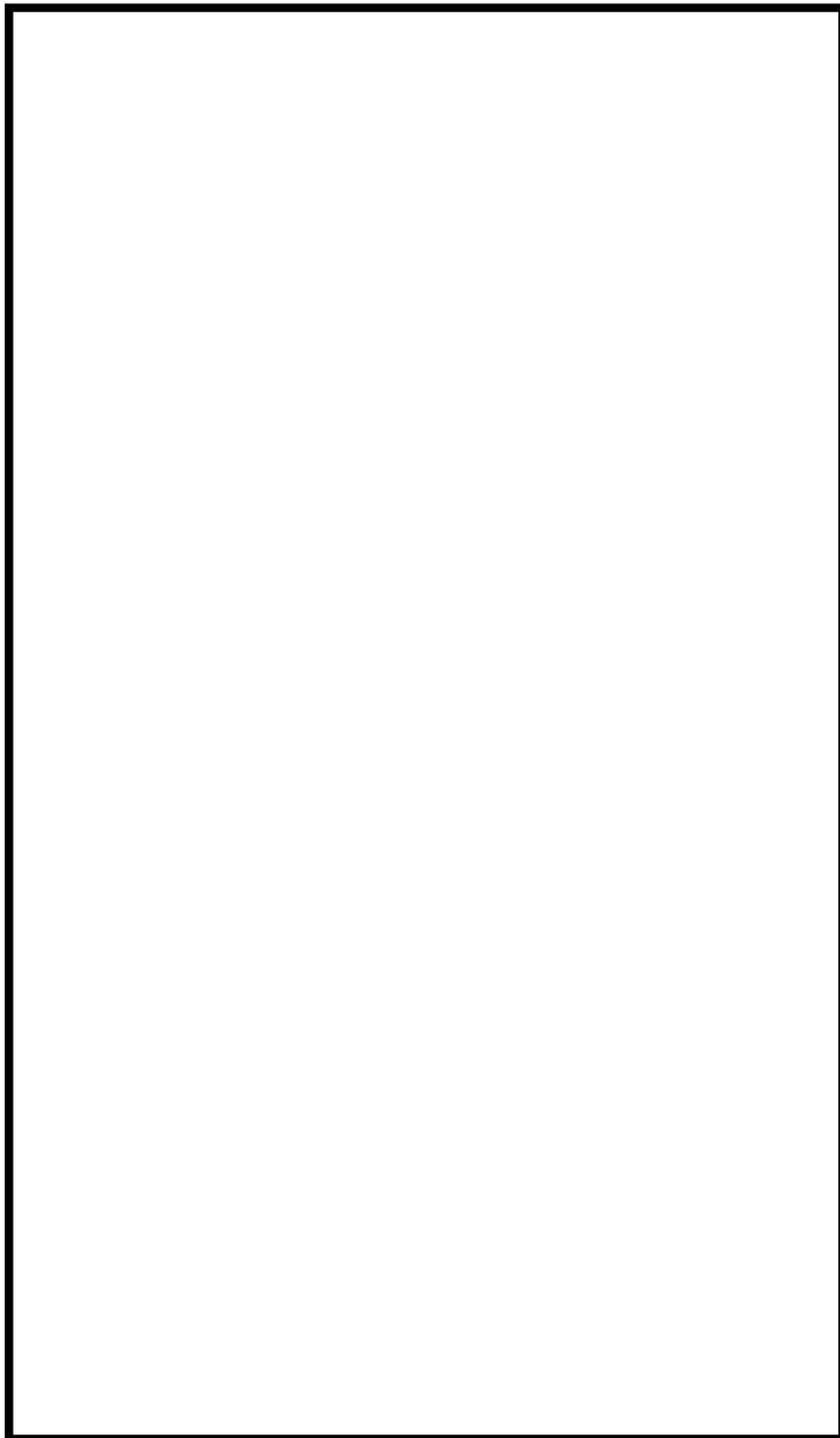
(単位 : cm)

第 4 図(b) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 4 (底部水位方向))



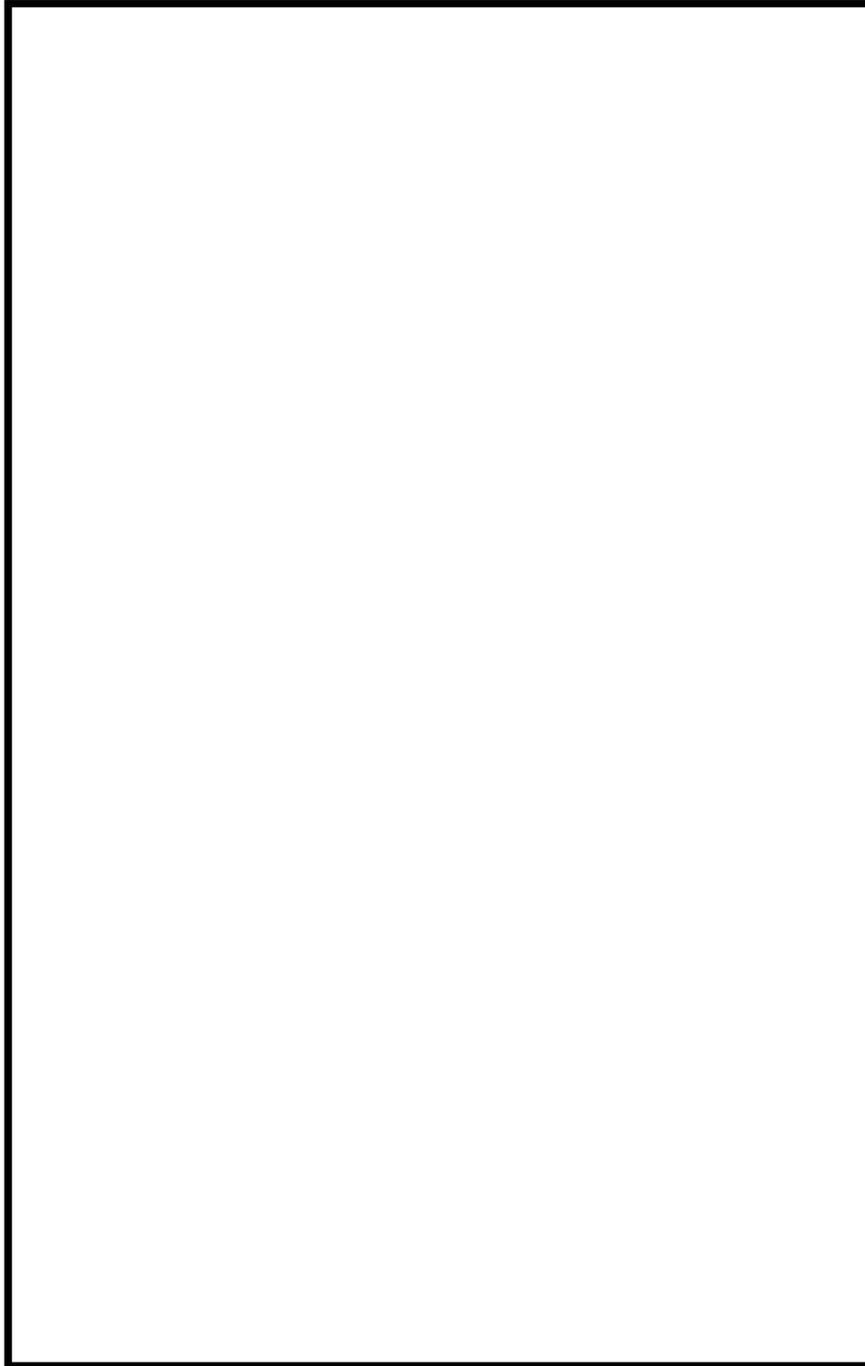
(単位 : cm)

第 4 図(c) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 4 (底部トラニオン方向))



(単位 : cm)

第5 図(a) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ6 (頭部))



(単位 : cm)

第 5 図(b) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 6 (底部水位方向))



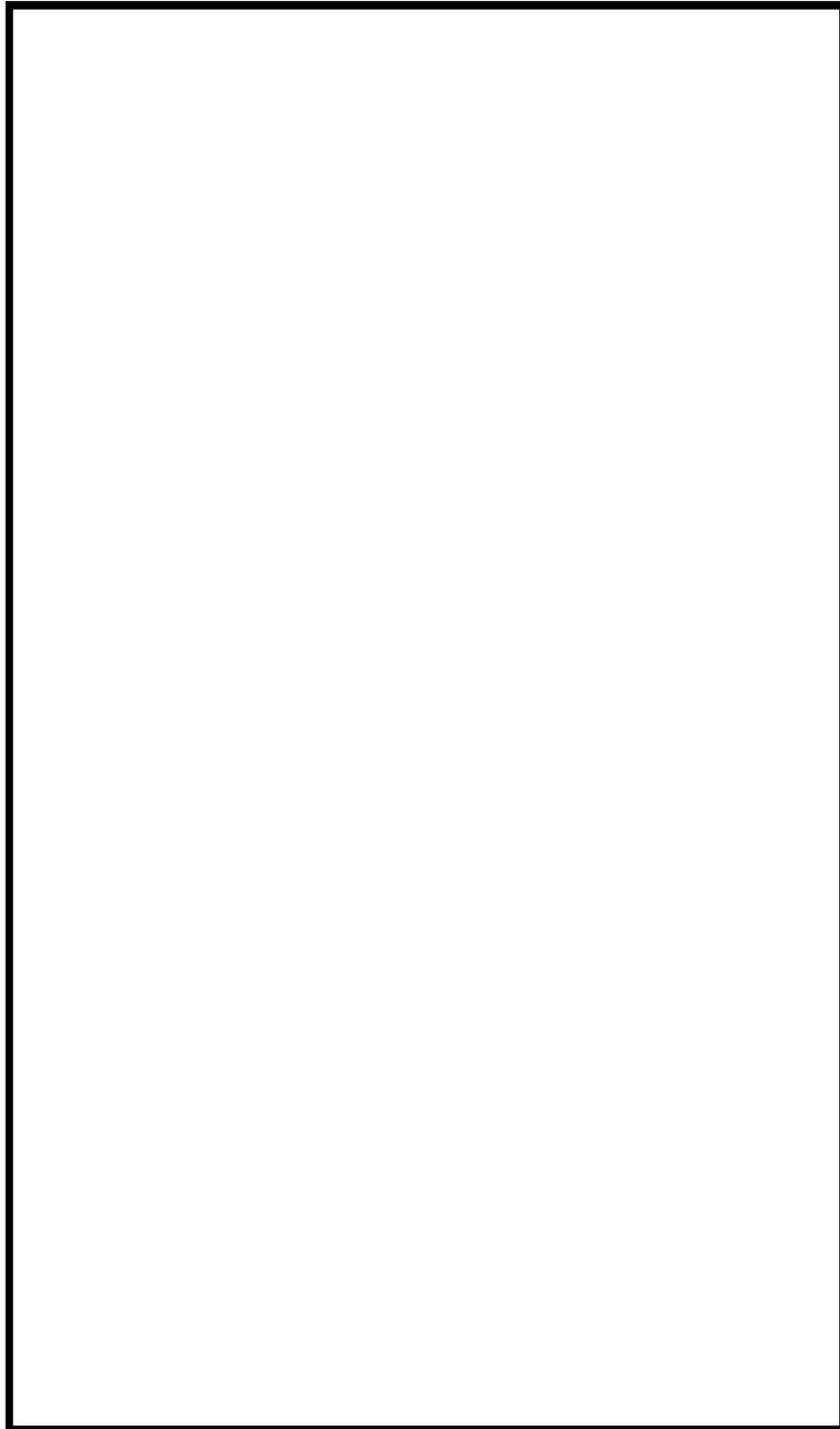
(単位 : cm)

第 5 図(c) 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析モデル
(タイプ 6 (底部トラニオン方向))

(2) 特別の試験条件下

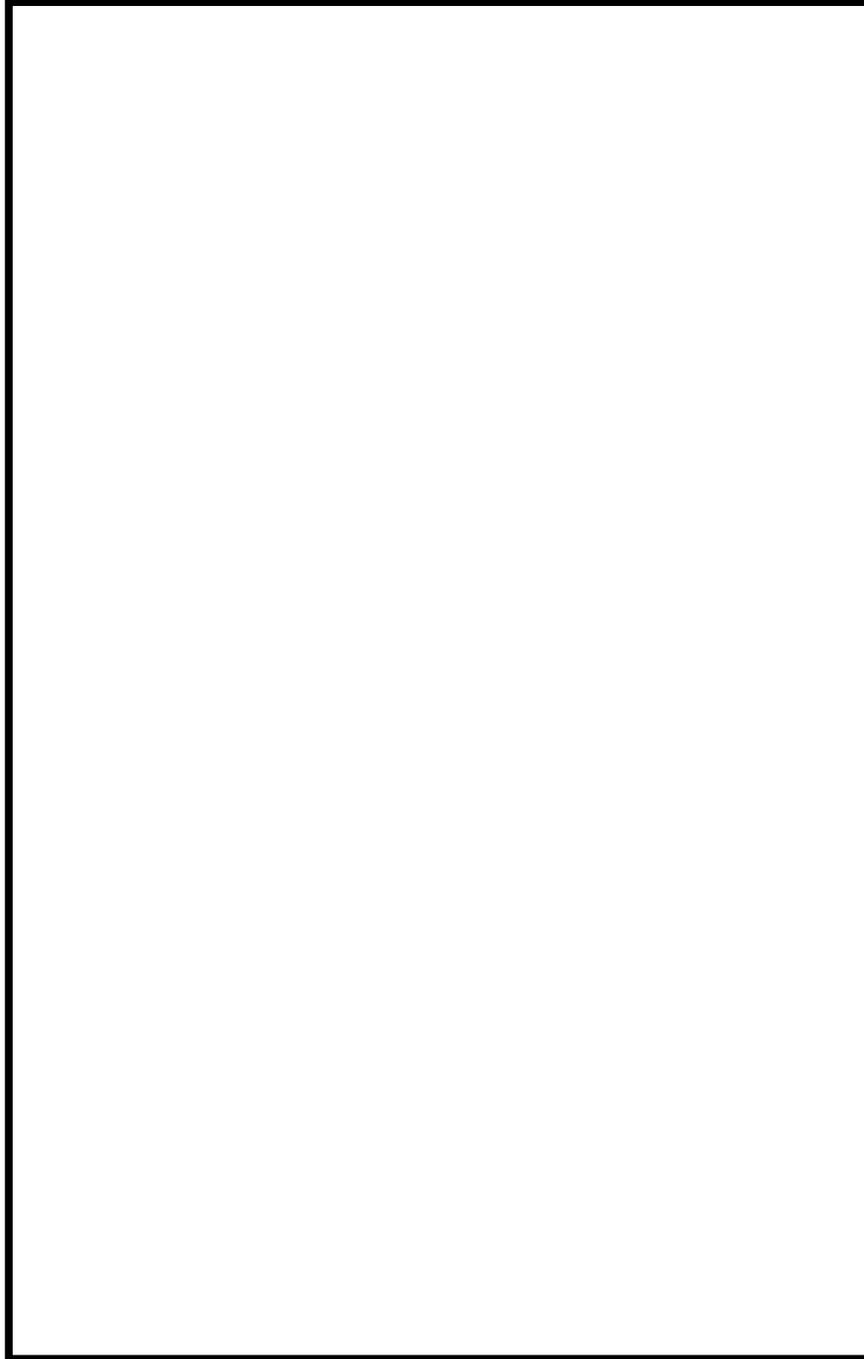
特別の試験条件下における解析モデルは一般の試験条件下の場合と次の点で異なる。解析モデルを第6図、第7図及び第8図に示す。

- a. 内筒内水温度は、安全側に3.5項で求めた特別の試験条件下における水温(209℃)より高い210℃に設定する。
- b. 内筒内水位は、横置の他、ふた及び底を上にした縦置状態も考慮する。
- c. 下部スペーサ部は無視し、空気に置換する。
- d. 側部中性子遮蔽体のレジンの焼損は、4.2項附属書類に示すように少ないが、安全側にその密度が半分に減少するものとする。また、落下試験Ⅱにより外筒及びレジンは部分的に変形することが考えられるので、安全側に貫通孔を模擬して側部中性子遮蔽体中央部の外筒及びレジンを無視するものとする。
- e. 上・下部中性子遮蔽体及びレジンカバーは、落下試験Ⅱにより破損することが考えられるので、無視するものとする。また、トラニオンは安全側に無視するものとする。
- f. フィンは、落下試験により変形するのでモデルでは無視し、外筒表面を輸送物表面とする。
- g. 緩衝体は外れることはないが、落下試験により大幅に変形するので、無視するものとする。



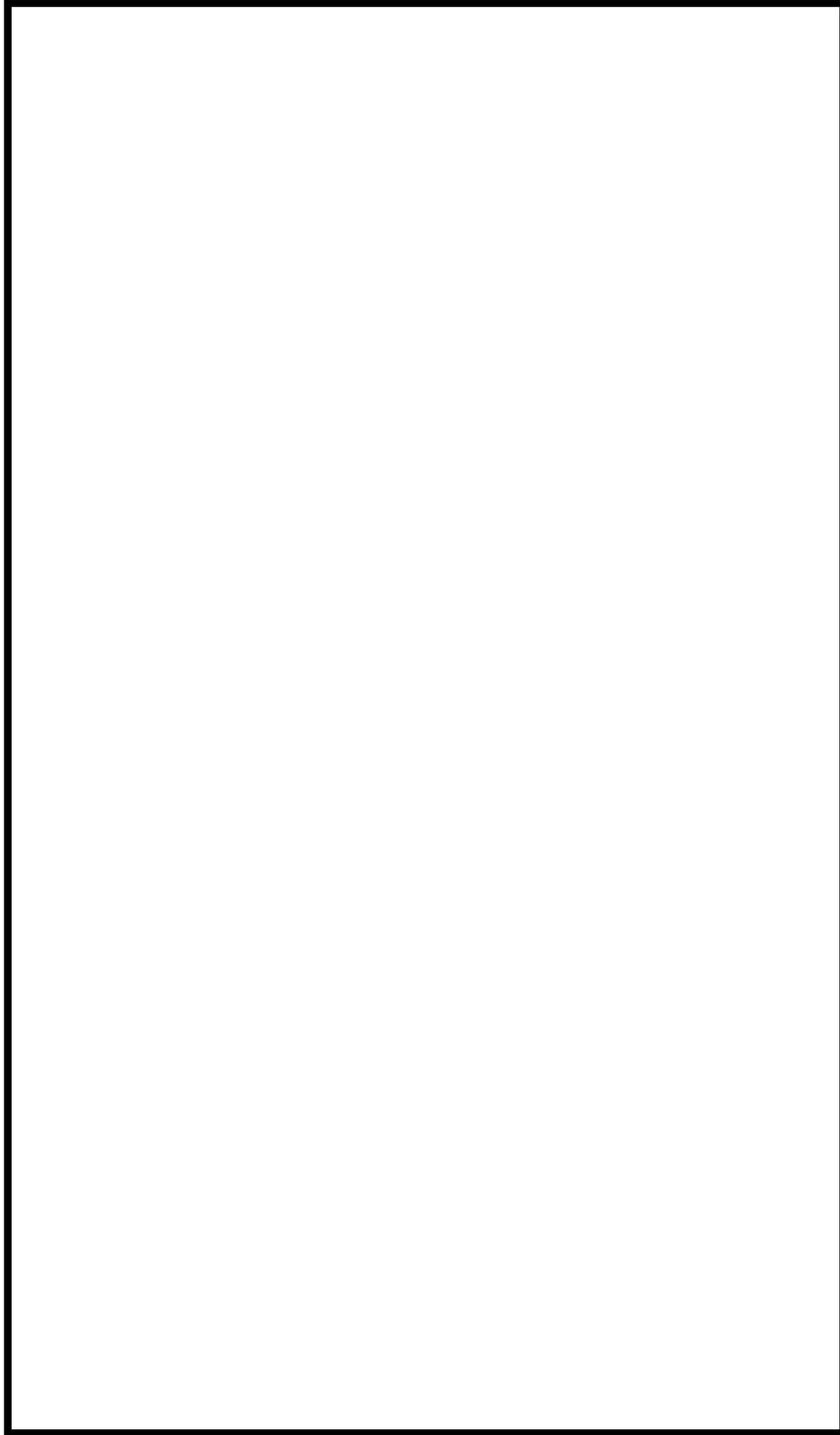
(単位 : cm)

第 6 図(a) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ 3 (頭部))



(単位 : cm)

第 6 図(b) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ 3 (底部))



(単位 : cm)

第7図(a) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ4 (頭部))



(単位 : cm)

第 7 図(b) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ 4 (底部))



(単位 : cm)

第 8 図(a) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ 6 (頭部))



(単位 : cm)

第 8 図(b) 特別の試験条件下の解析モデル (タイプ 6 (底部))

2.4.2 解析モデル各領域における原子個数密度

遮蔽解析に用いる均質化領域の構成物質体積比を第 9 表に示す。

また、遮蔽解析に用いる各領域の原子個数密度を第 10 表及び第 11 表に示す。

原子個数密度算出に用いた内筒内水温度は、3 項の解析の結果に安全余裕を見込んで、一般の試験条件下では 180℃、特別の試験条件下では 210℃とした。

また、解析に用いる各部位の密度係数を第 12 表に示す。

以下に主要な遮蔽材の使用密度を示す。

(1) レジン

密度 (g/cm³) : 1.62

B₄C (g/cm³) : 0.0155

H (g/cm³) : 0.086

なお、上記の炭化ホウ素濃度及び水素濃度については、工程中の誤差を考慮して設定した。

(2) 炭素鋼()

密度 (g/cm³) :

(3) ステンレス鋼()

密度 (g/cm³) :

(4) 1%ボロン添加ステンレス鋼

密度 (g/cm³) :

(5) 鉛

密度 (g/cm³) :

第9表 解析に用いる均質化領域の構成物質体積比(1/3)

領域 構成物質		均質化燃料領域(タイプ3)			
		上部ノズル部	上部 プレナム部	燃料有効部	下部ノズル部
燃料 集合 体	UO ₂				
	Zr				
	ステンレス鋼				
	インコネル				
バスケット	ボロン添加 ステンレス鋼				
	ステンレス鋼				
水					
レジン	—				
伝熱フィン	—	—	—	—	
ボイド					

第9表 解析に用いる均質化領域の構成物質体積比(2/3)

領域 構成物質		均質化燃料領域(タイプ4)								
		上部ノズル部	上部 プレナム部	燃料有効部	下部端栓部	下部ノズル部				
燃料 集 合 体	UO ₂									
	Zr									
	ステンレス鋼									
	インコネル									
バスケット	ボロン添加 ステンレス鋼									
	ステンレス鋼									
水										
レジン	—						—	—	—	—
伝熱フィン	—						—	—	—	—
ボイド										

第9表 解析に用いる均質化領域の構成物質体積比(3/3)

領域 構成物質		均質化燃料領域(タイプ6)					下部 スペーサ部	内筒内水	側部中性子 遮蔽体
		上部 ノズル部	上部 プレナム部	燃料有効部	下部端栓部	下部 ノズル部			
燃料 集合 体	UO ₂						—	—	—
	Zr						—	—	—
	ステンレス鋼						—	—	—
	インコネル						—	—	—
バスケット	ボロン添加 ステンレス鋼						—	—	—
	ステンレス鋼						—	—	—
水									
レジ ン	—	—	—	—	—	—			
伝熱 フィン	—	—	—	—	—	—	—		
ボ イ ド						—	—	—	

第 10 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(1/4)

(単位： 10^{24}atoms/cm^3)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 3) (注)			
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部ノズル部
H				
^{10}B				
C				
N				
O				
Al				
Cr				
Fe				
Ni				
Cu				
Zr				
Pb				
^{235}U				
^{238}U				

(注) () 内は底部のトラニオン方向の評価に用いる値である。

第 10 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(2/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 4) (注)				
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部端栓部	下部ノズル部
H					
¹⁰ B					
C					
N					
O					
Al					
Cr					
Fe					
Ni					
Cu					
Zr					
Pb					
²³⁵ U					
²³⁸ U					

(注) () 内は底部のトランニオン方向の評価に用いる値である。

第 10 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(3/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 6) (注)				
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部端栓部	下部ノズル部
H					
¹⁰ B					
C					
N					
O					
Al					
Cr					
Fe					
Ni					
Cu					
Zr					
Pb					
²³⁵ U					
²³⁸ U					

(注) () 内は底部のトランニオン方向の評価に用いる値である。

第 10 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(4/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	下部 スペーサ部 (注)	内筒内水 (180℃)	ボロン添加 ステンレス鋼	ステンレス鋼	炭 素 鋼	鉛	中性子遮蔽体		空 気
							側 部	上・下部	
H									
¹⁰ B									
C									
N									
O									
Al									
Cr									
Fe									
Ni									
Cu									
Zr									
Pb									
²³⁵ U									
²³⁸ U									

(注) () 内は底部のトラニオン方向の評価に用いる値である。

第 11 表 特別の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(1/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 3) (注)			
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃料有効部	下部ノズル部
H				
¹⁰ B				
C				
N				
O				
Al				
Cr				
Fe				
Ni				
Cu				
Zr				
Pb				
²³⁵ U				
²³⁸ U				

(注) () 内は非水没領域の値である。

第 11 表 特別の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(2/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 4) (注)				
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃 料 有 効 部	下部端栓部	下部ノズル部
H					
¹⁰ B					
C					
N					
O					
Al					
Cr					
Fe					
Ni					
Cu					
Zr					
Pb					
²³⁵ U					
²³⁸ U					

(注) () 内は非水没領域の値である。

第 11 表 特別の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(3/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	均 質 化 燃 料 領 域 (タ イ プ 6) ^(注)				
	上部ノズル部	上部プレナム部	燃 料 有 効 部	下部端栓部	下部ノズル部
H					
¹⁰ B					
C					
N					
O					
Al					
Cr					
Fe					
Ni					
Cu					
Zr					
Pb					
²³⁵ U					
²³⁸ U					

(注) () 内は非水没領域の値である。

第 11 表 特別の試験条件下の解析に用いる各領域の原子個数密度(4/4)

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

領域 元素	内筒内水 (210℃)	ボロン添加 ステンレス鋼	ステンレス鋼	炭 素 鋼	鉛	側部中性子 遮蔽体	空 気
H							
¹⁰ B							
C							
N							
O							
Al							
Cr							
Fe							
Ni							
Cu							
Zr							
Pb							
²³⁵ U							
²³⁸ U							

第12表 解析に用いる密度係数

部 位	材 質	密 度 係 数
内 筒	ステンレス鋼	
中 間 筒	炭 素 鋼	
外 筒	炭 素 鋼	
上 部 ト ラ ニ オ ン 部	ステンレス鋼	
下 部 ト ラ ニ オ ン 部		
フ ラ ン ジ		
レ ジ ン カ バ ー	ステンレス鋼	
緩衝体カバープレート	ステンレス鋼	
ふ た	ステンレス鋼	
ふた膨張室側板上部		
ふた膨張室側板下部		
ふ た 膨 張 室 底 板	ステンレス鋼	
仕 切 板	ステンレス鋼	
底 板	ステンレス鋼	
バスケット格子（外周板）	ボロン添加ステンレス鋼	
ガ ン マ 線 遮 蔽 体	鉛	
上 部 中 性 子 遮 蔽 体	レ ジ ン	
下 部 中 性 子 遮 蔽 体 水位方向		
下 部 中 性 子 遮 蔽 体 トラニオン方向		
側 部 中 性 子 遮 蔽 体	レジン+銅	

2.5 遮蔽評価

輸送物の外部の指定場所でガンマ線量当量率、中性子線量当量率を評価するために使用した基本手法とコードについて以下に説明する。

2.5.1 基本手法

遮蔽計算はガンマ線、中性子共に DOT3.5 コードを用いて行った。

DOT3.5 コードは二次元輸送計算プログラムであり、角度方向を S_n 近似により、散乱の角度依存性を P_1 近似によりそれぞれ扱っている。本解析では、 P_3S_8 近似を用いた。

断面積は、DLC-23/CASK ライブラリー⁴⁾ のデータを使用した。

本ライブラリーは、米国オークリッジ国立研究所により ENDF/B 核データファイルを用いて照射済燃料運搬用容器の遮蔽計算用に作成されたもので、既に多くの使用実績を持っている。このデータの中性子のエネルギー群数は 22 であり、ガンマ線のエネルギー群数は 18 である。この群構造に対応した線束から線量当量率への変換係数は ICRP Publ.74⁵⁾ の値に基づいており、これを第 13 表に示す。

第 13 表(a) 中性子線量当量率変換係数

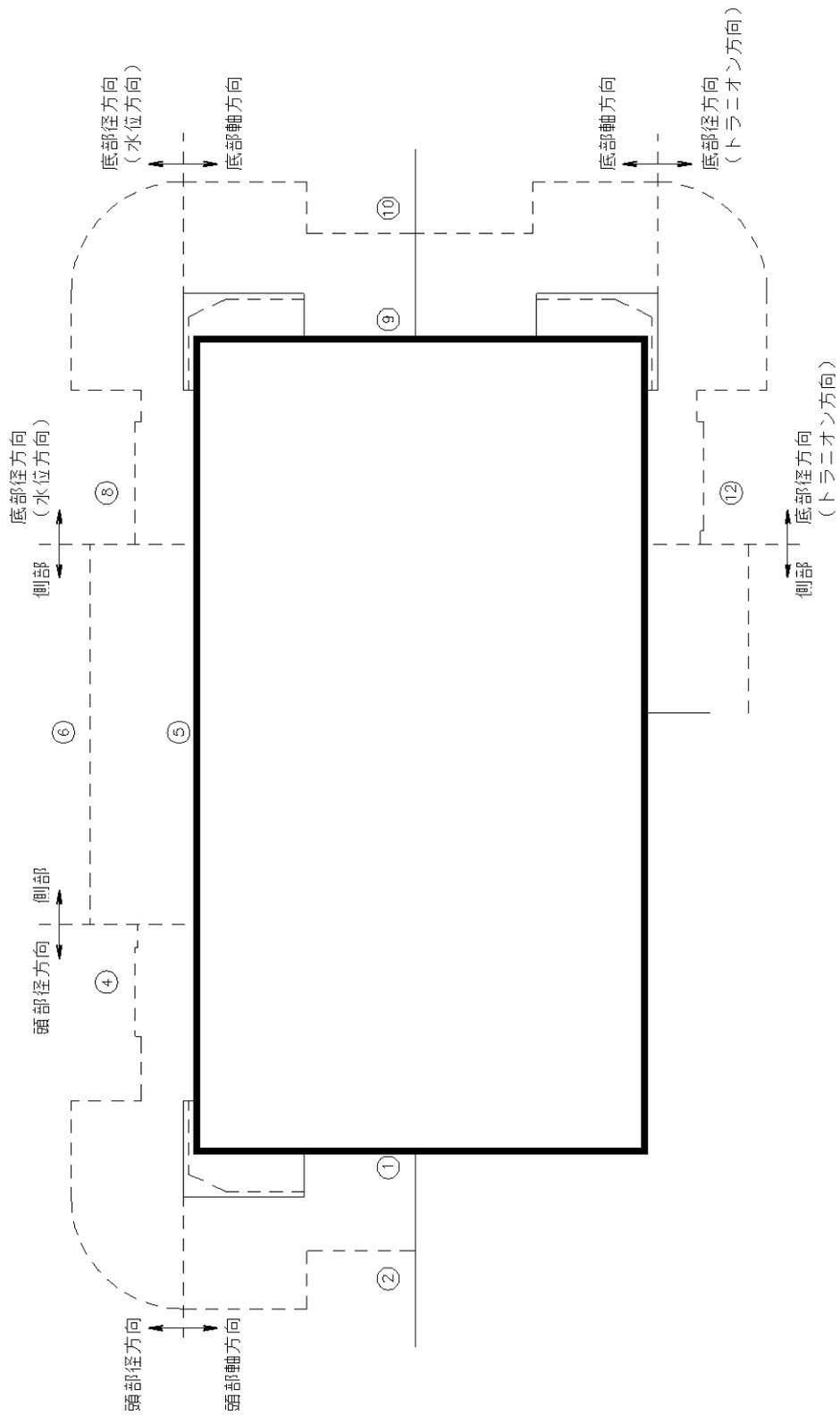
エネルギー群数	上限エネルギー(eV)	線量当量率変換係数 ((μ Sv/h)/(n/cm ² ・s))
1	1.4920×10^7	1.8107×10^0
2	1.2200×10^7	1.6435×10^0
3	1.0000×10^7	1.5115×10^0
4	8.1800×10^6	1.4577×10^0
5	6.3600×10^6	1.4475×10^0
6	4.9600×10^6	1.4642×10^0
7	4.0600×10^6	1.4758×10^0
8	3.0100×10^6	1.4901×10^0
9	2.4600×10^6	1.4989×10^0
10	2.3500×10^6	1.5100×10^0
11	1.8300×10^6	1.5319×10^0
12	1.1100×10^6	1.4016×10^0
13	5.5000×10^5	8.9057×10^{-1}
14	1.1100×10^5	1.1054×10^{-1}
15	3.3500×10^3	2.8151×10^{-2}
16	5.8300×10^2	3.1602×10^{-2}
17	1.0100×10^2	3.5432×10^{-2}
18	2.9000×10^1	3.8652×10^{-2}
19	1.0700×10^1	4.2723×10^{-2}
20	3.0600×10^0	4.6532×10^{-2}
21	1.1200×10^0	4.8504×10^{-2}
22	4.1400×10^{-1}	4.1010×10^{-2}

第 13 表(b) ガンマ線量当量率変換係数

エネルギー群数	上限エネルギー(eV)	線量当量率変換係数 ((μ Sv/h)/(photons/cm ² · s))
1	1.0000×10^7	8.4944×10^{-2}
2	8.0000×10^6	7.2388×10^{-2}
3	6.5000×10^6	6.1456×10^{-2}
4	5.0000×10^6	5.2036×10^{-2}
5	4.0000×10^6	4.4163×10^{-2}
6	3.0000×10^6	3.7842×10^{-2}
7	2.5000×10^6	3.3385×10^{-2}
8	2.0000×10^6	2.8967×10^{-2}
9	1.6600×10^6	2.4817×10^{-2}
10	1.3300×10^6	2.0800×10^{-2}
11	1.0000×10^6	1.7275×10^{-2}
12	8.0000×10^5	1.4112×10^{-2}
13	6.0000×10^5	1.0523×10^{-2}
14	4.0000×10^5	7.5325×10^{-3}
15	3.0000×10^5	5.4060×10^{-3}
16	2.0000×10^5	3.2205×10^{-3}
17	1.0000×10^5	1.9332×10^{-3}
18	5.0000×10^4	2.6973×10^{-3}

2.5.2 計算結果

各モデルにおける主要部位での評価位置を第 9 図、第 10 図に示す。また、ガンマ線量当量率及び中性子線量当量率の計算結果を第 14 表、第 15 表に示す。



第9図 通常運搬時及び一般の試験条件下の線量当量率評価位置

第14表(a) 通常運搬時及び一般の試験条件下の線量当量率 (タイプ3)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

			頭 部		側 部	底 部		
			軸 方 向	径 方 向		径 方 向 (水位方向)	軸 方 向	径 方 向 (トランニオン方向)
評 価 点			①	③	⑤	⑦	⑨	⑪
表 面	ガン マ 線	燃料有効部	9.5	69.5	96.2	219.5	5.9	157.7
		構造材放射化	132.5	189.0	6.5	27.0	6.0	20.8
		二次ガンマ線	< 0.1	4.8	6.2	19.7	0.3	12.0
	中 性 子		15.8	292.0	32.0	940.6	65.1	1070.9
	合 計		157.9	555.3	140.9	1206.8	77.3	1261.4
評 価 点			②	④	⑥	⑧	⑩	⑫
表 面 か ら 1m	ガン マ 線	燃料有効部	2.7	16.4	43.7	29.3	5.2	27.5
		構造材放射化	34.7	23.7	3.4	5.4	5.2	2.6
		二次ガンマ線	< 0.1	0.9	2.5	1.8	< 0.1	1.5
	中 性 子		4.2	12.9	12.9	26.6	15.1	44.4
	合 計		41.7	53.9	62.5	63.1	25.6	76.0

第 14 表(b) 通常運搬時及び一般の試験条件下の線量当量率 (タイプ 4)

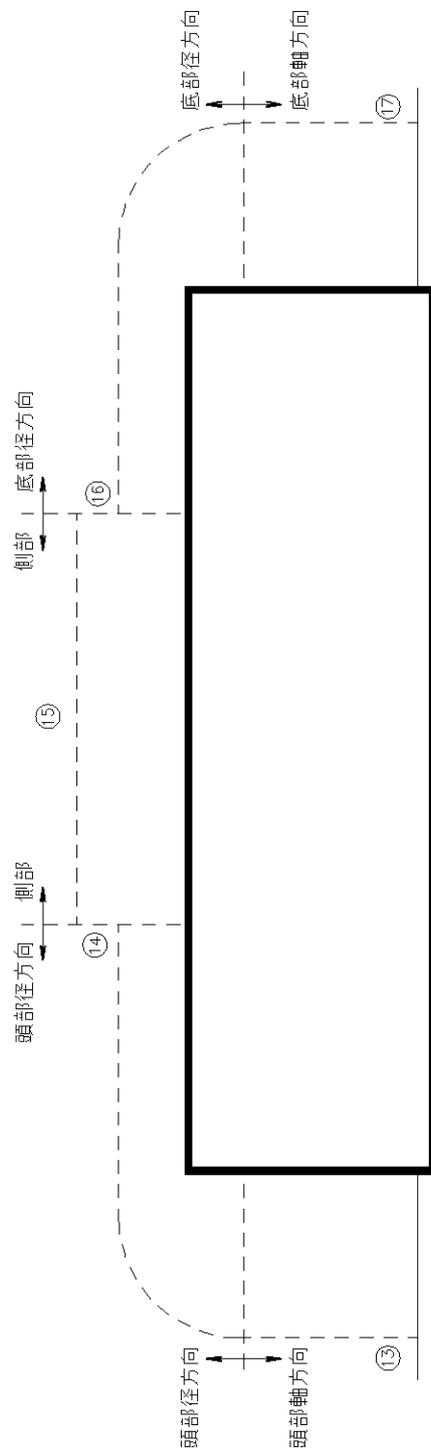
(単位: μ Sv/h)

		頭 部		側 部	底 部			
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向 (水位方向)	軸 方 向	径 方 向 (トラニオン方向)	
評 価 点		①	③	⑤	⑦	⑨	⑪	
表 面	ガン マ 線	燃料有効部	5.8	39.1	60.1	129.6	6.5	129.1
		構造材放射化	272.4	411.8	5.4	38.3	45.0	33.2
		二次ガンマ線	< 0.1	3.6	6.4	18.0	0.1	14.9
	中 性 子		11.7	183.3	31.4	889.0	31.6	906.6
	合 計		290.0	637.8	103.3	1074.9	83.2	1083.8
評 価 点		②	④	⑥	⑧	⑩	⑫	
表 面 か ら 1m	ガン マ 線	燃料有効部	1.6	8.7	27.4	17.6	2.6	17.0
		構造材放射化	74.2	47.8	3.4	12.0	16.4	3.7
		二次ガンマ線	< 0.1	0.7	2.4	1.7	< 0.1	1.4
	中 性 子		3.1	10.2	12.3	23.9	12.2	37.9
	合 計		79.0	67.4	45.5	55.2	31.3	60.0

第14表(c) 通常運搬時及び一般の試験条件下の線量当量率 (タイプ6)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

		頭 部		側 部	底 部			
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向 (水位方向)	軸 方 向	径 方 向 (トラニオン方向)	
評 価 点		①	③	⑤	⑦	⑨	⑪	
表 面	ガンマ線	燃料有効部	5.0	35.8	50.4	110.5	5.6	110.0
		構造材放射化	274.8	343.2	5.4	36.4	43.2	31.6
		二次ガンマ線	<0.1	3.9	6.8	19.1	0.1	15.7
	中 性 子		13.2	205.6	32.6	930.6	34.0	951.2
	合 計		293.1	588.5	95.2	1096.6	82.9	1108.5
評 価 点		②	④	⑥	⑧	⑩	⑫	
表 面 か ら 1m	ガンマ線	燃料有効部	1.4	6.7	23.0	14.8	2.2	14.3
		構造材放射化	72.8	45.9	3.3	11.6	15.8	3.6
		二次ガンマ線	<0.1	0.7	2.5	1.8	<0.1	1.5
	中 性 子		3.5	10.8	12.8	25.2	13.0	40.1
	合 計		77.8	64.1	41.6	53.4	31.1	59.5



第 10 図 特別の試験条件下の線量当量率評価位置

第 15 表(a) 特別の試験条件下の線量当量率 (タイプ 3)

(単位 : μ Sv/h)

		頭 部		側 部	底 部		
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向	
評 価 点		⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	
表面から 1m	ガンマ線	燃料有効部	26.0	55.3	217.8	191.5	76.8
		構造材放射化	141.3	243.4	20.9	64.0	40.2
		二次ガンマ線	0.7	10.2	37.6	15.5	4.9
	中 性 子		195.8	487.8	1141.3	2094.8	1551.5
	合 計		363.8	796.7	1417.6	2365.8	1673.4

第 15 表(b) 特別の試験条件下の線量当量率 (タイプ 4)

(単位 : μ Sv/h)

		頭 部		側 部	底 部		
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向	
評 価 点		⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	
表面から 1m	ガンマ線	燃料有効部	19.1	35.0	146.5	127.9	46.2
		構造材放射化	318.2	544.9	26.7	247.4	113.2
		二次ガンマ線	0.6	9.4	37.5	17.5	4.7
	中 性 子		175.8	428.4	1141.6	2029.3	1520.9
	合 計		513.7	1017.7	1352.3	2422.1	1685.0

第 15 表(c) 特別の試験条件下の線量当量率 (タイプ 6)

(単位 : μ Sv/h)

		頭 部		側 部	底 部		
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向	軸 方 向	
評 価 点		⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	
表面から 1m	ガンマ線	燃料有効部	14.8	28.9	118.3	100.7	35.2
		構造材放射化	265.2	468.7	25.5	235.6	107.3
		二次ガンマ線	0.7	9.7	38.2	17.6	4.6
	中 性 子		174.8	434.1	1151.3	1979.8	1459.2
	合 計		455.5	941.4	1333.3	2333.7	1606.3

2.6 結果の要約と評価

通常運搬時、一般及び特別の試験条件下の遮蔽解析条件の要約を第 16 表に示す。

また、計算から得られた最大線量当量率の要約は第 17 表に示すとおりであり、いずれの燃料タイプにおいても基準値を満足する。また、一般の試験条件下における輸送物表面の最大線量当量率は著しく増加することはない。

第 16 表 遮蔽解析条件の要約

条 件		通常運搬時	一般の試験条件下	特別の試験条件下
項 目				
線 源		軸方向移動考慮 <ul style="list-style-type: none"> ・ 頭部方向評価モデルではふた方向に移動 ・ 底部方向評価モデルでは底方向に移動 		
遮 蔽 体	内筒内水	通常運搬時の水位（熱膨張は無視） 水温は、一般の試験条件下の温度より高く設定		水位は横置、縦置状態を考慮（熱膨張は無視） 水温は特別の試験条件下の最高温度より高く設定
	本 体	内筒、ふた、底板（ステンレス鋼） 中間筒、外筒（炭素鋼） ガンマ線遮蔽体（鉛） 中性子遮蔽体（レジン）		同左 但し上・下部中性子遮蔽体無視（また、トランニオンは安全側に無視するものとする） 側部中性子遮蔽体及び外筒の変形を考慮
	フ ィ ン	空気に置き換え、距離のみ考慮		無 視
	緩 衝 体	カバープレートのみ遮蔽体として考慮し、他は空気に置換し、距離のみ考慮	変形を考慮	無 視
バルブ部のストリーミング	各バルブ部のストリーミングを含む線量当量率は当該近傍の最大線量当量率より十分低いのでモデル上考慮していない。			

第 17 表(a) 最大線量当量率の要約 (タイプ 3)

(単位 : μ Sv/h)

部 位 項 目	輸送物表面					表面から 1m				
	頭 部		側 部	底 部		頭 部		側 部	底 部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常運搬時 ガンマ線 中性子	142.1 15.8	263.3 292.0	108.9 32.0	190.5 1070.9	12.2 65.1	37.5 4.2	41.0 12.9	49.6 12.9	31.6 44.4	10.5 15.1
合 計	157.9	555.3	140.9	1261.4	77.3	41.7	53.9	62.5	76.0	25.6
一般の試験条件下 ガンマ線 中性子	142.1 15.8	263.3 292.0	108.9 32.0	190.5 1070.9	12.2 65.1					
合 計	157.9	555.3	140.9	1261.4	77.3					
特別の試験条件下 ガンマ線 中性子						168.0 195.8	308.9 487.8	276.3 1141.3	271.0 2094.8	121.9 1551.5
合 計						363.8	796.7	1417.6	2365.8	1673.4
基 準 値 通常運搬時 一般の試験条件下 特別の試験条件下	2000 2000 —					100 — 10000				

第 17 表(b) 最大線量当量率の要約 (タイプ 4)

(単位 : μ Sv/h)

部 位 項 目	輸送物表面					表面から 1m				
	頭 部		側 部	底 部		頭 部		側 部	底 部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常運搬時 ガンマ線 中性子	278.3 11.7	454.5 183.3	71.9 31.4	177.2 906.6	51.6 31.6	75.9 3.1	57.2 10.2	33.2 12.3	22.1 37.9	19.1 12.2
合 計	290.0	637.8	103.3	1083.8	83.2	79.0	67.4	45.5	60.0	31.3
一般の試験条件下 ガンマ線 中性子	278.3 11.7	454.5 183.3	71.9 31.4	177.2 906.6	51.6 31.6	/				
合 計	290.0	637.8	103.3	1083.8	83.2					
特別の試験条件下 ガンマ線 中性子	/					337.9 175.8	589.3 428.4	210.7 1141.6	392.8 2029.3	164.1 1520.9
合 計						513.7	1017.7	1352.3	2422.1	1685.0
基 準 値 通常運搬時 一般の試験条件下 特別の試験条件下	/					/				
	2000 2000 —					100 — 10000				

第17表(c) 最大線量当量率の要約 (タイプ6)

(単位: μ Sv/h)

部 位 項 目	輸送物表面					表面から 1m				
	頭 部		側 部	底 部		頭 部		側 部	底 部	
	軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
通常運搬時										
ガンマ線	279.9	382.9	62.6	157.3	48.9	74.3	53.3	28.8	19.4	18.1
中性子	13.2	205.6	32.6	951.2	34.0	3.5	10.8	12.8	40.1	13.0
合 計	293.1	588.5	95.2	1108.5	82.9	77.8	64.1	41.6	59.5	31.1
一般の試験条件下						/				
ガンマ線	279.9	382.9	62.6	157.3	48.9					
中性子	13.2	205.6	32.6	951.2	34.0					
合 計	293.1	588.5	95.2	1108.5	82.9					
特別の試験条件下	/									
ガンマ線						280.7	507.3	182.0	353.9	147.1
中性子						174.8	434.1	1151.3	1979.8	1459.2
合 計	455.5	941.4	1333.3	2333.7	1606.3					
基 準 値										
通常運搬時						2000				
一般の試験条件下						2000				
特別の試験条件下	—					10000				

3. 熱除去に関する説明書

3.1 解析条件及び方法

3.1.1 熱設計

本運搬用容器の熱設計の要点は、容器内部に収納された使用済燃料により発生する崩壊熱を外部に放散するシステムである。本運搬用容器は添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」第 5 図に示すように三重円筒構造である。

内筒内に収納された使用済燃料により発生する崩壊熱は、内筒内に充填された水及び空気（飽和水蒸気）の自然対流及び伝導によって内筒に伝えられる。

内筒に伝えられた熱は、ガンマ線遮蔽体である鉛層の伝導によって中間筒に伝えられる。内筒及び中間筒の鉛と接する表面は熱伝導を向上させるため接着処理が施されている。

中間筒に伝えられた熱は、主として中性子遮蔽体部のレジン中に設けられた 42 枚の銅製の伝熱フィンの伝導によって外筒に伝えられる。外筒に伝えられた熱は、外筒に 46mm 間隔で溶接された 77 枚のフィンから大気に放散される。

使用済燃料収納時、内筒内は内筒内水の温度上昇並びに膨張により圧力上昇を生じる。

内筒内の圧力上昇は、内筒内及びふた膨張室に内筒内水膨張部として空気層を設けることにより制限される。内筒内水の膨張分の一部は、ふた膨張室底に設けられた小孔を通過してふた膨張室へ流入するようになっている。

なお、輸送物の崩壊熱量は、54kW 以下であり、自然冷却にて運搬を行う。

3.1.2 熱解析

通常運搬時及び一般の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

a. 最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を1週間受ける。

b. 人の近づきうる表面の最高温度条件

輸送物は、38℃の大気中において太陽熱放射を受けない。

c. 最低崩壊熱量を求める条件

輸送物は大気中において太陽熱放射を受けない。また、輸送物の最低使用温度は、-20℃であり、輸送物の内筒内水は、収納物の崩壊熱量と周囲温度との関係で凍結しないこととする。

特別の試験条件下における熱的条件は、次のとおりである。

a. 火災前の輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を受け、熱的に平衡な状態に置く。

b. 輸送物は、0.9の周囲放射率を持つ800℃の熱環境に30分間さらされる。この場合、輸送物表面の吸収率は0.8である。^(注)

また、火災中においても太陽熱放射を受ける。

c. 火災後の輸送物は、38℃の大気中において12時間ごとに太陽熱放射を受ける。

d. 以上の試験は、設計上最大となる内部発熱量があるという条件下で行う。

(注) 輸送物が火炎にさらされた場合、輸送物表面の吸収率は0.8より小さいので、「IAEA Safety Standards Series “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”(1996 Edition)」に基づき、安全側に0.8とする。

本輸送物は、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」で示したように一般の試験条件下及び特別の試験条件下において緩衝体等に変形を生じるので、輸送物の熱的性能は、これらの変形の影響を受けると考えられる。

一般の試験条件のうち、水噴霧試験及び積み重ね試験では輸送物は変形しないが、自由落下試験及び貫通試験において緩衝体に変形を生じる。

一般の試験条件下では、緩衝体に変形していないとする方が収納物の温度を高く評価できる。したがって、緩衝体には変形がないものとし、38℃の環境に1週間放置したものとして一般の試験条件下の熱解析を行う。

特別の試験条件下では、落下試験Ⅰ及びⅡによりフィン、緩衝体等に変形や破損が生じる。フィンについては変形していない方が周囲よりの入熱量が大きくなるので変形がないものとする。緩衝体等については変形及び破損を考慮して評価する。

一般の試験条件下及び特別の試験条件下の熱解析は、有限要素法によるABAQUS コード⁶⁾を用いて行った。

3.1.3 最大崩壊熱量

熱解析に用いた最大崩壊熱量は全体で54kWとした。

3.1.4 熱解析の条件及び方法

熱解析の条件及び方法を第18表に示す。

第 18 表 熱解析の条件及び方法

項 目		条 件		一般の試験	特 別 の 試 験		
		通常運搬時	最低温度評価条件		最高温度評価条件	火 災 前	火 災 時
崩 壊 熱 量		54kW	54kW 以下	54kW	54kW	54kW	54kW
環 境 条 件	周 囲 温 度	静止空気 38℃	静止空気 0～-20℃	静止空気 38℃	静止空気 38℃	火災 30 分間 800℃	静止空気 38℃
	太 陽 熱 放 射	な し	な し	照 射	照 射	照 射	照 射
	周 囲 吸 収 率	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9 ^(注1)	1.0
容器表面放射率/吸収率 ^(注2)		0.15	0.15	0.15	0.15	0.8	0.15
計 算 モ デ ル	輸 送 物	輪切り半ピッチモデル及び軸対称全体モデル (緩衝体を含む)					
	燃料集合体	均質化近似					
温度分布計算プログラム		有限要素法による ABAQUS コード					
使 用 物 性 値		3.2 項 材料の熱的性質に示す。					
最 大 内 圧		$\frac{P V}{T} = \text{一定}$ 及び蒸気分圧					

(注 1) 火災の放射率を示す。

(注 2) 放射率と吸収率を等しいとしている。

3.2 材料の熱的性質

運搬用容器の熱解析で用いた材料の熱的性質を以下に示す。

(1) ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼

ステンレス鋼の熱的性質を第 19 表に示す。ボロン添加ステンレス鋼は熱的には第 19 表に示すステンレス鋼と同じと見なす。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

なお、放射率/吸収率のうち、(a)項は火炎にさらされない鋼板表面の放射率/吸収率であり、伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。また、(b)項は火炎にさらされている鋼板表面の吸収率であり、「IAEA Safety Standards Series “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”(1996 Edition)」に基づいている。

(2) 鉛

鉛の熱的性質を第 20 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

(3) 炭素鋼

炭素鋼()の熱的性質を第 21 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

(4) 水 (飽和水)

水の熱的性質を第 22 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

(5) 燃料集合体

燃料集合体は、二酸化ウラン、ジルカロイ及びステンレス鋼で構成されている。二酸化ウランの熱的性質を第 23 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

ジルカロイの熱的性質を第 24 表に示す。

このデータは MATPRO-VERSION 11(Rev.2) A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior⁸⁾ 及び原子炉材料ハンドブック⁹⁾に基づいている。

(6) 銅

銅の熱的性質を第 25 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾及び JIS ハンドブック「非鉄」¹⁰⁾に基づいている。

(7) レジン

レジンの熱的性質を第 26 表に示す。このデータはメーカー資料¹¹⁾¹²⁾に基づいている。

(8) ファープライウッド

ファープライウッドの熱的性質を第 27 表に示す。このデータは木材工業ハンドブック¹³⁾に基づいている。

(9) オーク材

オーク材の熱的性質を第 28 表に示す。このデータは木材工業ハンドブック¹³⁾に基づいている。

(10) 空 気

空気の熱的性質を第 29 表に示す。このデータは伝熱工学資料⁷⁾に基づいている。

第 19 表 ステンレス鋼()の熱的性質

ステンレス鋼()		
密 度	7.92 × 10 ³ kg/m ³	
放射率/吸収率	(a)0.15/(b)0.8	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
253(-20)	15.8	0.493
300 (27)	16.0	0.499
400 (127)	16.5	0.511
600 (327)	19.0	0.556
800 (527)	22.5	0.620
1000 (727)	25.7	0.644

第 20 表 鉛の熱的性質

鉛		
密 度	$1.13 \times 10^4 \text{kg/m}^3$	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
150(-123)	37.7	0.122
200(-73)	36.6	0.124
250(-23)	35.8	0.128
300(27)	35.2	0.130

第 21 表 炭素鋼()の熱的性質

炭 素 鋼()		
密 度	$7.85 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
253(-20)	44.0	0.450
300(27)	43.0	0.465
500(227)	38.6	0.528
800(527)	27.7	0.622

第 22 表 水（飽和水）の熱的性質

水						
温 度 K(°C)	密 度 kg/m ³	比 熱 kJ/(kg·K)	動 粘 性 係 数 mm ² /s	熱伝導率 W/(m·K)	膨 張 率 K ⁻¹	プラン トル数
273 (0)	999.78	4.217	1.792	0.5619	-6.00×10^{-5}	13.44
300 (27)	996.62	4.179	0.8573	0.6104	2.50×10^{-4}	5.850
400(127)	937.22	4.257	0.2331	0.6842	9.87×10^{-4}	1.359
500(227)	831.57	4.661	0.1409	0.6423	1.76×10^{-3}	0.850
600(327)	649.30	6.980	0.1165	0.4917	2.53×10^{-3}	1.073

第 23 表 二酸化ウランの熱的性質

二酸化ウラン		
密 度	10.63 × 10 ³ kg/m ³	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 KJ/(kg·K)
273 (0)	8.44	0.230
300 (27)	8.21	0.237
500 (227)	6.53	0.286
800 (527)	4.73	0.300
1300(1027)	3.17	0.322
1800(1527)	2.53	0.369

第 24 表 ジルカロイの熱的性質

ジルカロイ		
密 度	$6.55 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 KJ/(kg·K)
273 (0)	12.4	0.275
300 (27)	12.7	0.281
400(127)	14.0	0.302
600(327)	16.5	0.326
1000(727)	21.6	0.366

第 25 表 銅の熱的性質

銅		
密 度	$8.94 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	
温 度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比 熱 kJ/(kg·K)
150(-123)	428	0.322
250 (-23)	404	0.376
300 (27)	398	0.386
600 (327)	383	0.425
800 (527)	371	0.447
1000 (727)	357	0.471
1200 (927)	342	0.492

第 26 表 レジンの熱的性質

レジン		
密度	1.67×10 ³ kg/m ³	
温度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比熱 kJ/(kg·K)
常温	0.645	1.00

第 27 表 ファープライウツドの熱的性質

ファープライウツド		
密度	560kg/m ³	
温度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比熱 kJ/(kg·K)
300 (27)	0.258	1.24
400(127)	0.395	1.73

第 28 表 オーク材の熱的性質

オーク材		
密度	820kg/m ³	
温度 K(°C)	熱伝導率 W/(m·K)	比熱 kJ/(kg·K)
300 (27)	0.360	1.24
400(127)	0.465	1.73

第 29 表 空気の熱的性質

空 気					
温 度 K(°C)	密 度 kg/m ³	比 熱 kJ/(kg·K)	動 粘 性 係 数 mm ² /s	熱伝導率 W/(m·K)	プ ラ ン ト ル 数
253(-20)	1.3976	1.007	11.61	0.02249	0.726
300 (27)	1.1763	1.007	15.83	0.02614	0.717
400 (127)	0.8818	1.015	26.39	0.03305	0.715
500 (227)	0.7053	1.031	38.58	0.03951	0.710
600 (327)	0.5878	1.052	52.36	0.0456	0.710
700 (427)	0.5038	1.076	67.7	0.0513	0.715
800 (527)	0.4408	1.099	84.5	0.0569	0.719
900 (627)	0.3918	1.122	102.7	0.0625	0.722
1000 (727)	0.3527	1.142	122.1	0.0672	0.732

3.3 構成要素の仕様

(1) ふた部シール

ふっ素ゴム Oリング

使用可能温度 $-50\sim 300^{\circ}\text{C}^{14)}$

太 さ 約 $\phi 12.0\text{mm}$

(2) ベント・水位調整バルブ、ドレンバルブ及び水位調整用加圧バルブ

ステンレス鋼製プラグタイプバルブ

シール材 ふっ素ゴム Oリング (形状を除き、(1)項と同じ仕様)

(3) 中性子遮蔽材

レジン

使用可能温度 $170^{\circ}\text{C}^{15)}$

3.4 一般の試験条件

3.4.1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、有限要素法による ABAQUS コードを用いて行った。

(1) 解析モデル

a. 形状モデル

本輸送物の通常運搬時及び一般の試験条件における各部温度を評価するために解析モデルとして以下の2つのモデルを用いた。

- ・半径方向輪切り軸方向フィン半ピッチモデル（以下「輪切り半ピッチモデル」という）
- ・軸方向二次元軸対称全体モデル（以下「全体モデル」という）

各モデルにおいて評価する輸送物部位は次のとおりである。

輪切り半ピッチモデル……フィン先端、外筒、レジン（中央部）、
中間筒、鉛、内筒、内筒内水、
バスケット、燃料集合体

全体モデル……………緩衝体、ふたOリング、レジン（端部）、
ベント・水位調整バルブOリング、
ドレンバルブOリング、
水位調整用加圧バルブOリング、
バギングリング

3.1.2 項で述べたように一般の試験条件下の熱解析では運搬用容器は変形及び破損はしていないとする。本運搬用容器の放熱面積は、外筒とフィンの放熱面積が約 221m^2 であり、これに対し上下緩衝体軸方向端面の放熱面積は約 11m^2 である。

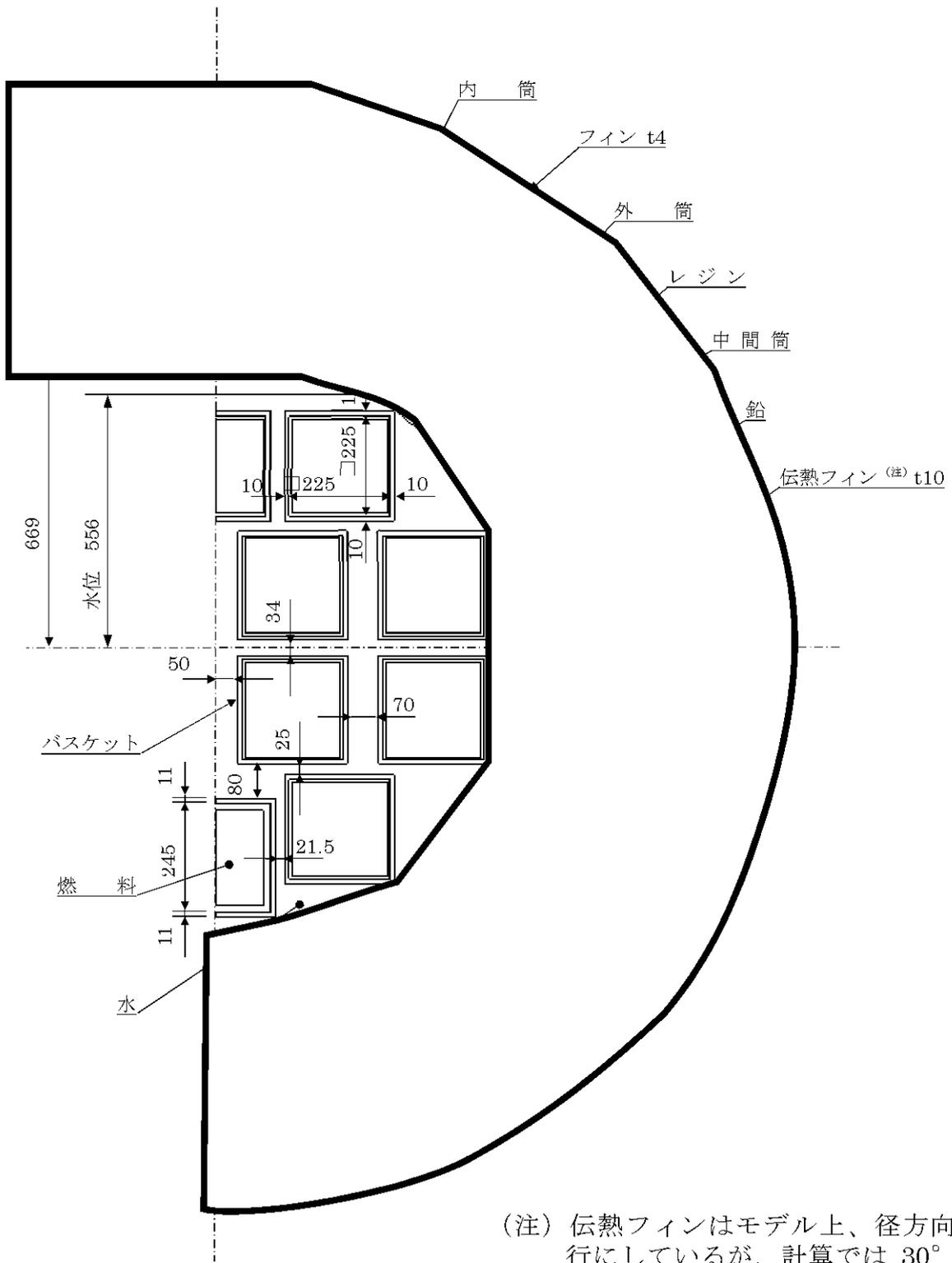
したがって、運搬用容器に収納された燃料より発生する崩壊熱は、そのほとんどが、半径方向に伝達され、外筒及びフィンの表面から外部に放散されるので、軸方向に断熱とする輪切り半ピッチモデルで評価する。

また、輪切り半ピッチモデルで評価できない部位については、軸方向の温度分布が求められる全体モデルで評価する。全体モデルではフィンモデルより除外している。フィンからの放熱は外筒表面での熱伝達率を輪切り半ピッチモデルの解析結果から算出することにより考慮する。

本輸送物は内筒内に水位が生じるので本解析では、水平に置かれた状態とし、運搬用容器中心より 556mm の初期水位を考慮してモデル化する。

各解析モデルに用いる熱伝達率等の諸係数については 4 項附属書類に詳細を示す。

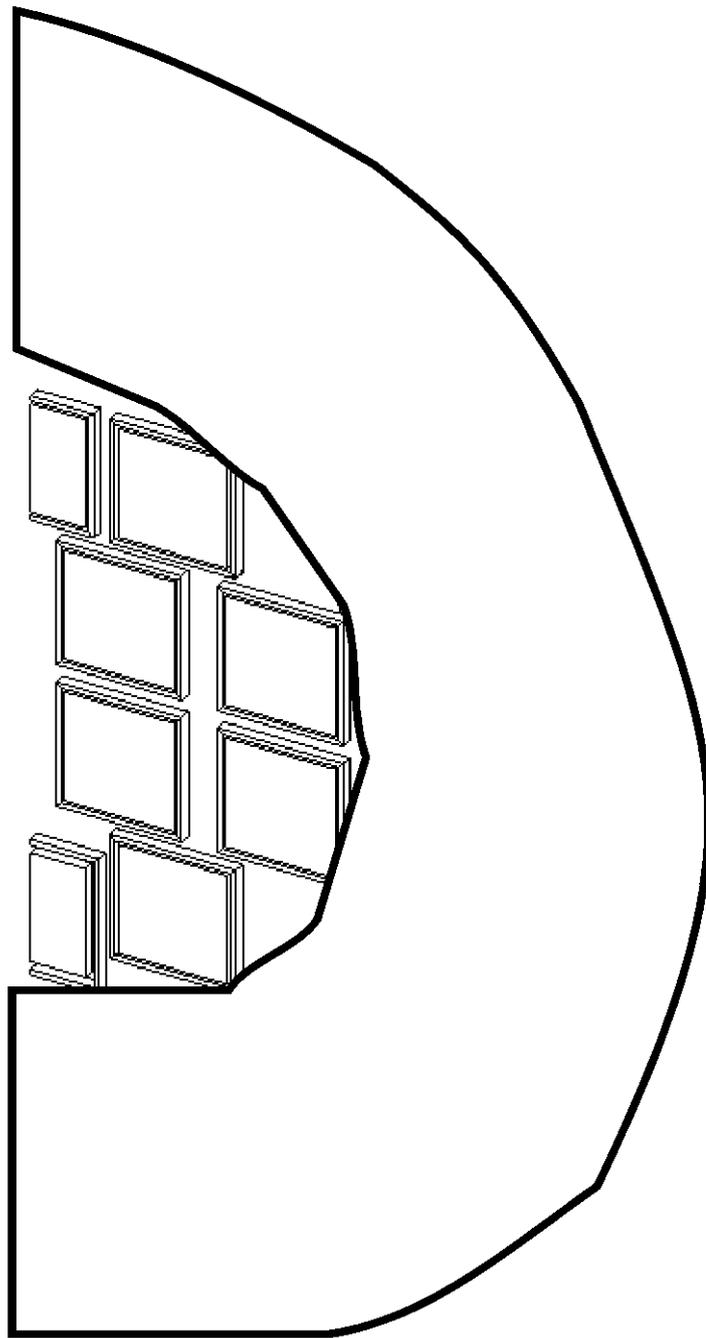
各解析モデルの形状及び要素分割図を第 11 図～第 14 図に示す。



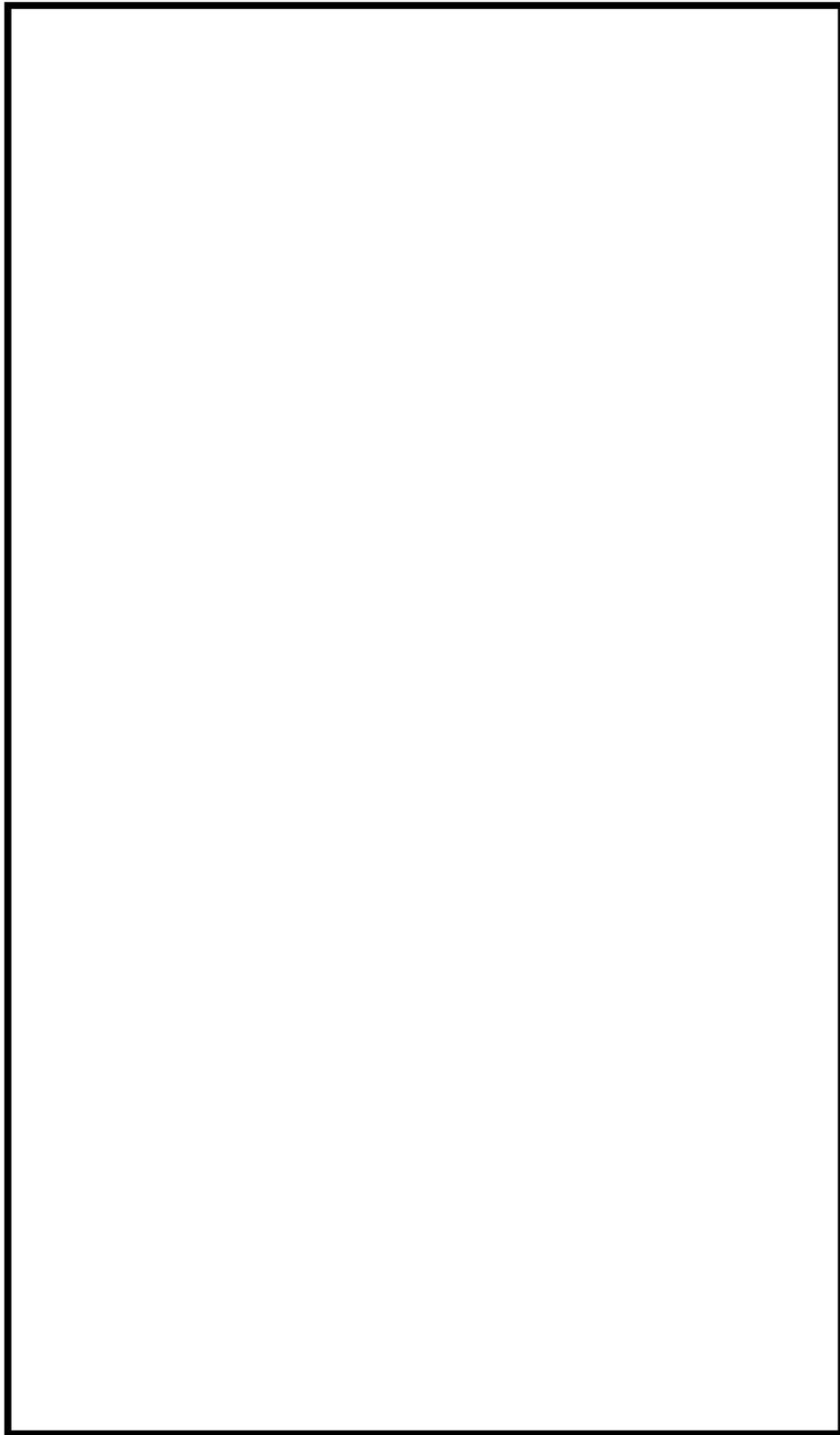
(注) 伝熱フィン(注)はモデル上、径方向に平行にしているが、計算では 30° 傾いた時と等価な物性値を使用している。

(単位 : mm)

第 11 図 輪切り半ピッチモデル形状図

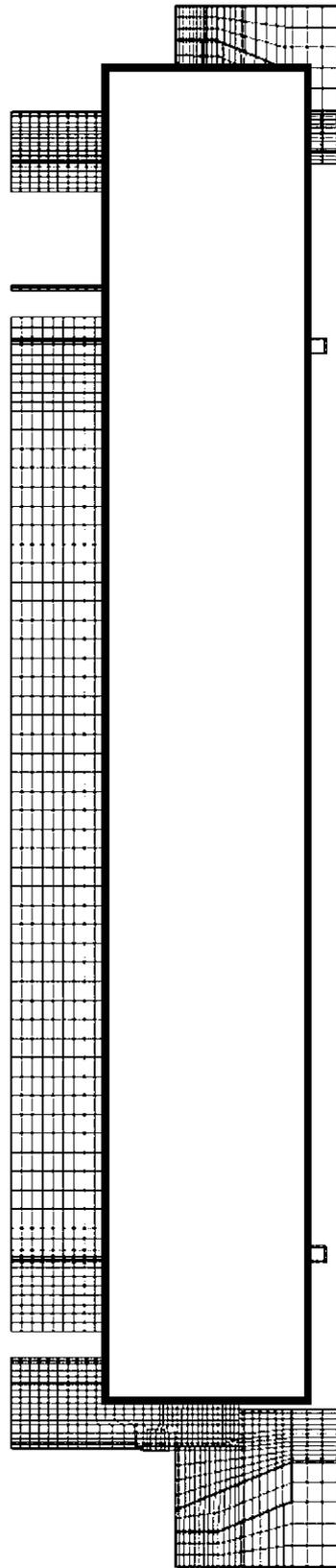


第 12 図 輪切り半ピッチモデル要素分割図



(単位：mm)

第 13 図 一般の試験条件下の全体モデル形状図



第 14 図 一般の試験条件下の全体モデル要素分割図

輪切り半ピッチモデルにおいて燃料集合体は 1 体ずつの独立した均質な領域であると近似し、二酸化ウラン、ジルカロイ、ステンレス鋼（インコネルも含める。）及び水が均一に混合されていると仮定した。均質化した燃料集合体の平均密度及び平均比熱は次の式を用いて計算した。

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

$$C_{pave} = \frac{\sum W_i C_{pi}}{\sum W_i}$$

但し、 ρ_{ave} : 平均密度(kg/m³)

W_i : 二酸化ウラン、ジルカロイ、
ステンレス鋼又は水の重量(kg)

V : 均質化した領域の体積(m³)

C_{pave} : 平均比熱(kJ/(kg・K))

C_{pi} : 二酸化ウラン、ジルカロイ、
ステンレス鋼又は水の比熱(kJ/(kg・K))

均質化した燃料集合体領域の体積と構成材料の重量を第 30 表に示す。

第 30 表 均質化した燃料集合体有効部領域の体積と構成材料の重量

総体積(m ³)		0.1847
総重量(kg)		765.2
内 訳 (kg)	二酸化ウラン	532.9
	ジルカロイ	117.8
	ステンレス鋼	0.8
	水	113.7

均質化した燃料集合体の平均密度及び平均比熱を第 31 表に示す。

第 31 表 均質化した燃料集合体の熱的性質

平均密度 (kg/m ³)	4143
温 度 (°C)	平均比熱(kJ/(kg·K))
0	0.830
20	0.830
100	0.854
200	0.920
300	1.20

全体モデルにおいて中性子遮蔽体部はレジンと伝熱フィンの均質な領域であると近似し、レジンと銅が均一に混合されていると仮定した。均質化した中性子遮蔽体部の平均密度及び平均比熱は次の式を用いて計算した。

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

$$C_{pave} = \frac{\sum W_i C_{pi}}{\sum W_i}$$

但し、 ρ_{ave} : 平均密度(kg/m³)

W_i : レジン又は銅の重量(kg)

V : 均質化した領域の体積(m³)

C_{pave} : 平均比熱(kJ/(kg・K))

C_{pi} : レジン又は銅の比熱(kJ/(kg・K))

均質化した中性子遮蔽体部の体積と構成材料の重量を第 32 表に示す。

第 32 表 均質化した中性子遮蔽体部の体積と構成材料の重量

総体積(m ³)		3.805
総重量(kg)		8416
内訳(kg)	レジン	5882
	銅	2534

均質化した中性子遮蔽体部の平均密度及び平均比熱を第 33 表に示す。

第 33 表 均質化した中性子遮蔽体部の熱的性質

平均密度 (kg/m ³)	2212
温 度 (°C)	平均比熱(kJ/(kg·K))
20	0.815
100	0.818
200	0.822
300	0.826

また、均質化した中性子遮蔽体部の平均熱伝導率を輪切り半ピッチモデルの結果から求めた。

緩衝体も同様に、緩衝材部に対してはリブを考慮し、次のように均質化した。

平均密度及び平均比熱は、次の式を用いて計算した。

$$\rho_{ave} = \frac{\sum W_i}{V}$$

$$C_{pave} = \frac{\sum W_i C_{pi}}{\sum W_i}$$

ここで、 ρ_{ave} : 平均密度(kg/m³)

W_i : フェアプライウッド、オーク材又はステンレス鋼の重量(kg)

V : 均質化した領域の体積(m³)

C_{pave} : 平均比熱(kJ/(kg・K))

C_{pi} : フェアプライウッド、オーク材又はステンレス鋼の比熱(kJ/(kg・K))

また、平均熱伝導率は、次の式を用いて計算した。

$$\lambda_{ave} = \frac{\sum V_i \lambda_i}{V}$$

ここで、 V_i : フェアプライウッド、オーク材又はステンレス鋼の体積(m³)

λ_i : フェアプライウッド、オーク材又はステンレス鋼の熱伝導率(W/(m・K))

λ_{ave} : 平均熱伝導率(W/(m・K))

均質化した緩衝体の体積と構成材料の重量を第 34 表に示す。

第 34(a)表 均質化した上部緩衝体の体積と構成材料の重量

総体積(m ³)		2.228
内訳 (m ³)	ファープライウッド	1.888
	オーク材	0.312
	ステンレス鋼	0.028
総重量(kg)		1536
内訳 (kg)	ファープライウッド	1057
	オーク材	256
	ステンレス鋼	223

第 34(b)表 均質化した下部緩衝体の体積と構成材料の重量

総体積(m ³)		2.288
内訳 (m ³)	ファープライウッド	1.948
	オーク材	0.312
	ステンレス鋼	0.028
総重量(kg)		1568
内訳 (kg)	ファープライウッド	1091
	オーク材	256
	ステンレス鋼	221

均質化した緩衝体の平均密度、平均比熱及び平均熱伝導率を第 35 表に示す。

第 35(a)表 均質化した上部緩衝体の熱的性質

平均密度(kg/m ³)	689	
温 度 (°C)	平均比熱(kJ/(kg·K))	平均熱伝導率(W/(m·K))
20	1.10	0.460
100	1.44	0.570
200	1.86	0.714
300	2.28	0.861

第 35(b)表 均質化した下部緩衝体の熱的性質

平均密度(kg/m ³)	685	
温 度 (°C)	平均比熱(kJ/(kg·K))	平均熱伝導率(W/(m·K))
20	1.11	0.455
100	1.45	0.565
200	1.87	0.708
300	2.29	0.855

b. 解析条件

一般の試験条件下における解析条件を第 36 表に示す。また、太陽熱放射を第 37 表に示す。

使用済燃料の最大崩壊熱量は、燃料 14 体で 54kW である。また、周囲空気温度は最高 38℃、最低 -20℃とし、容器表面の放射率/吸収率は 0.15、周囲吸収率は 1.0 とする。

第 36 表 一般の試験条件下の熱解析条件

項	目	条 件
崩 壊 熱 量		54kW 以下
環 条 境 件	周 围 温 度	-20℃~38℃
	太 陽 熱 放 射	第 37 表に示した熱量が連続照射又はなし
	周 围 吸 收 率	1.0
容器表面放射率/吸収率		0.15

第 37 表 太陽熱放射データ

表面の形状及び位置	1 日当たり 12 時間の放射熱 (W/m ²)
垂直に運搬される表面及び 水平に運搬されない下向きの 表面	200
その他の表面 (曲面)	400

(2) 試験モデル

該当なし

3.4.2 最高温度

3.4.1 項に記載した解析モデル及び条件に基づいて求めた通常運搬時及び一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度の結果を第 38 表に示す。

ABAQUS コードで解析して得られた太陽熱放射のない場合の通常運搬時の運搬用容器とその収納物の各部の温度分布を第 15 図及び第 16 図に、また、最高温度評価条件における温度分布を第 17 図及び第 18 図に示す。

通常運搬時に人が容易に近づきうる表面（近接防止金網の設置を考慮）としては、第 38 表に示すように、通常運搬時（太陽熱放射無の場合）において緩衝体は 76℃、フィン先端は 70℃、バギングリングは 78℃となり、これらは基準値の 85℃以下である。

一般の試験条件における輸送物各部の最高温度は、フィン先端で 103℃、中性子遮蔽体部で 158℃、ガンマ線遮蔽体の鉛部で 171℃、内筒内水（平均）で 179℃及び燃料集合体で 184℃である。また、ふた O リングは 162℃、ベント・水位調整バルブ O リングは 164℃、ドレンバルブ O リングは 155℃、水位調整用加圧バルブ O リングは 156℃となる。

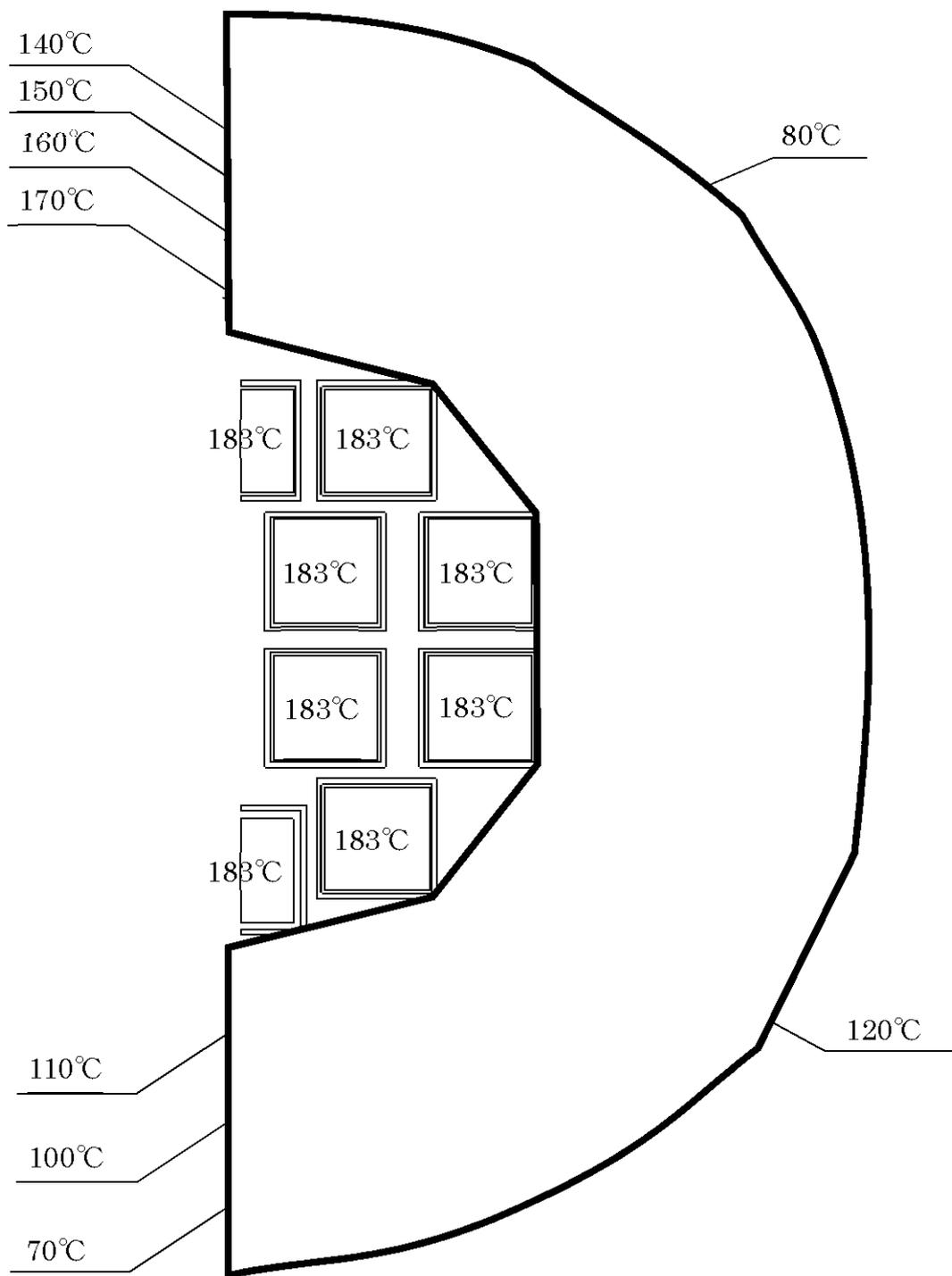
以上の熱解析結果より、一般の試験条件において、密封境界 O リングの最高温度は使用可能温度 300℃を超えることはない。中性子遮蔽材であるレジンは使用可能温度 170℃を超えることはなく、またガンマ線遮蔽材である鉛もその融点 327.5℃を超えず、その他の構成材料についても悪影響を及ぼすような温度にはならない。

第 38 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の最高温度

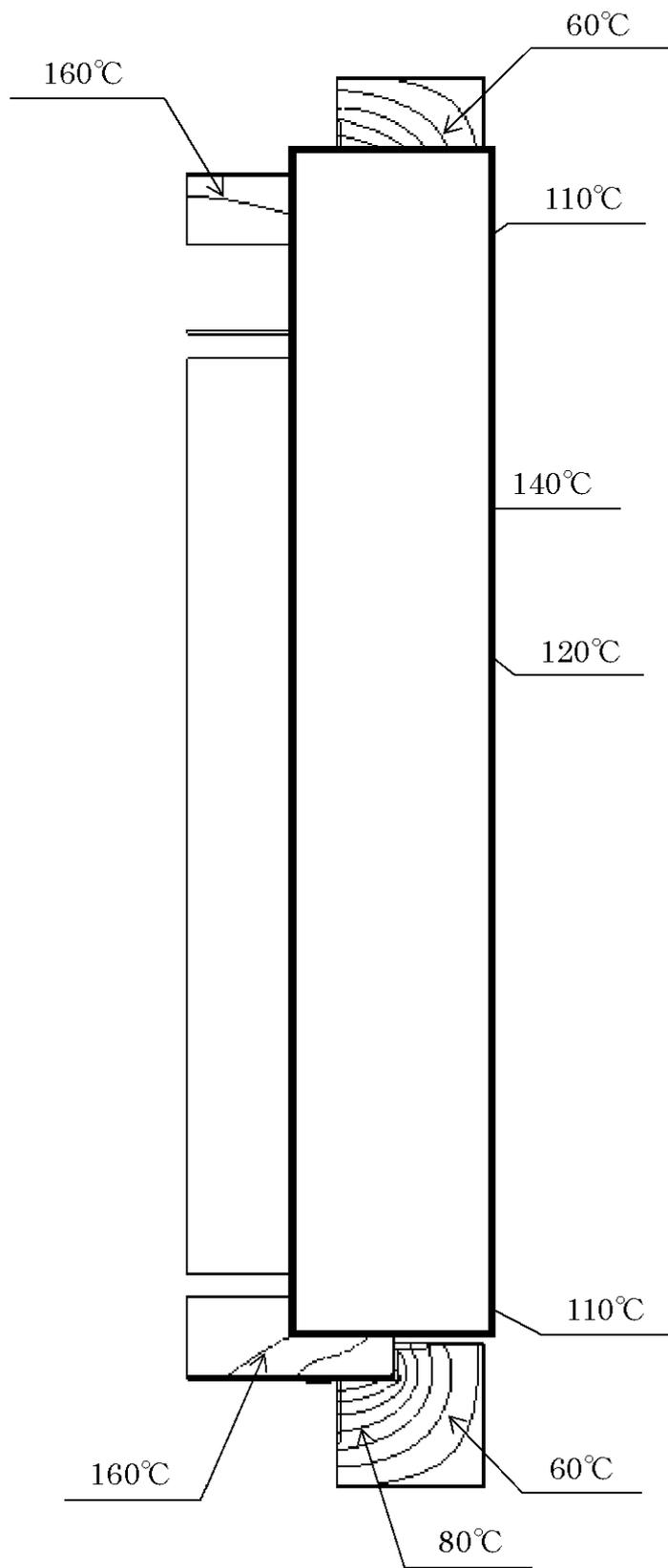
(単位：℃)

部 位 \ 条 件	通常運搬時	一 般
	太陽熱放射無	太陽熱放射有
周 囲 温 度	38	38
緩 衝 体 表 面	76	83
フ ィ ン 先 端	100 (70) ^(注)	103
バギングリング表面	78	81
外 筒	132	134
レ ジ ン	157	158
中 間 筒	160	162
鉛	170	171
内 筒	176	177
内 筒 内 水 (平 均)	178	179
バ ス ケ ッ ト	182	183
燃 料 集 合 体	183	184
ふ た O リ ン グ	162	162
ベ ン ト ・ 水 位 調 整 バルブ O リ ン グ	163	164
ド レ ン バ ル ブ O リ ン グ	154	155
水 位 調 整 用 加 圧 バルブ O リ ン グ	155	156

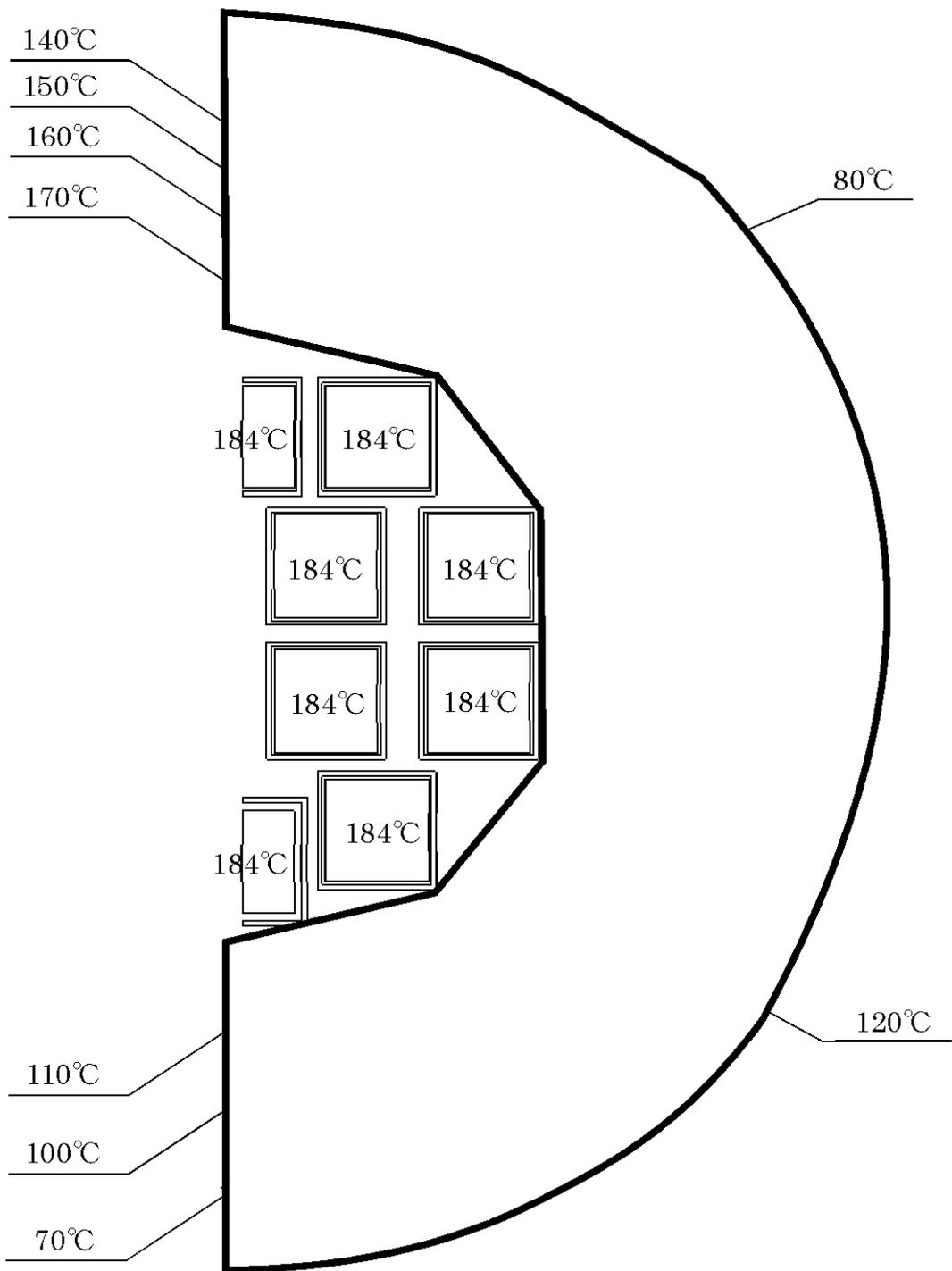
(注) 人が容易に近づきうる位置のフィン先端温度である。



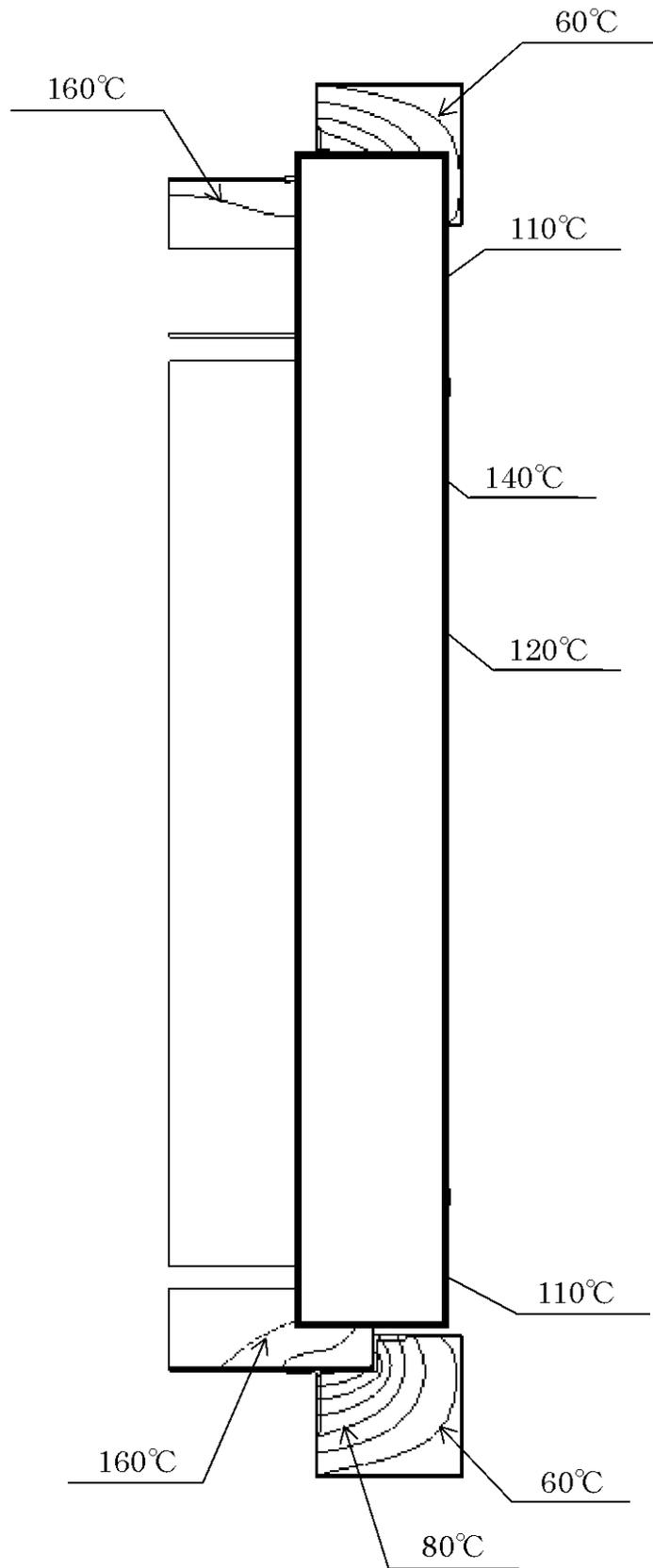
第 15 図 通常運搬時（太陽熱放射：無）における輪切り半ピッチモデル温度分布



第 16 図 通常運搬時（太陽熱放射：無）における全体モデル温度分布



第 17 図 一般の試験条件下の輪切り半ピッチモデル温度分布 (最高温度評価条件)



第 18 図 一般の試験条件下の全体モデル温度分布 (最高温度評価条件)

3.4.3 最低温度

本輸送物の最低使用温度は添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」4.2 項で述べたように -20°C である。

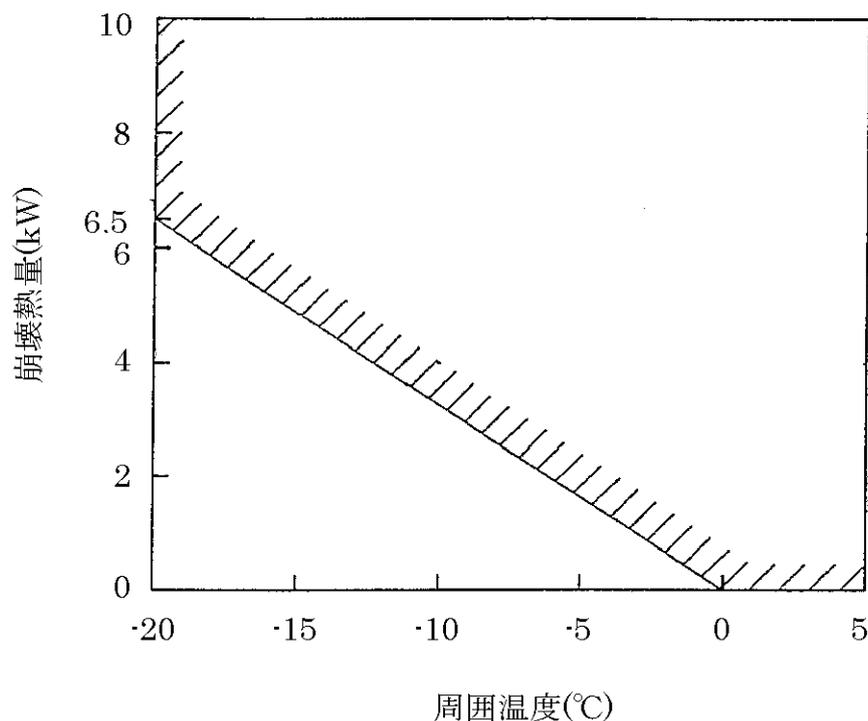
一方、本輸送物は収納物の冷却のため内筒内に水を充填しているため、周囲温度

$-20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ までの使用範囲においてこの内筒内水が凍結しないこととする。

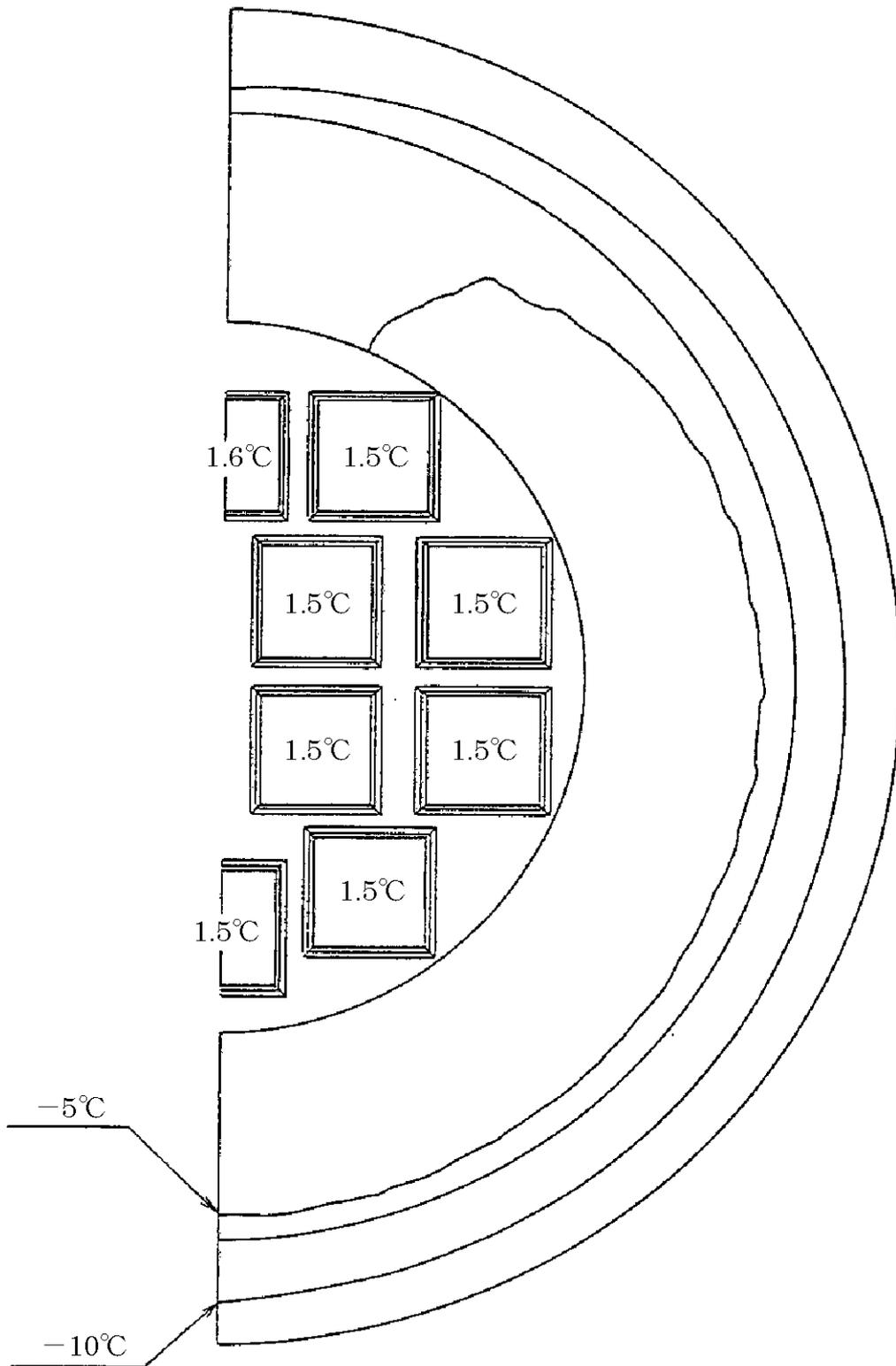
周囲温度が、 $-20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ において内筒内水が凍結しない最低崩壊熱量を、ABAQUS コードを用いて計算した。

この結果、周囲温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ までの使用範囲で、収納物の崩壊熱量に対して内筒内水が凍結しない条件は第 19 図に斜線で示した範囲となる。

また、輸送物の最低使用温度である周囲温度 -20°C における崩壊熱量 6.5kW のときの温度分布を第 20 図に示す。



第 19 図 周囲温度と最低崩壊熱量



第 20 図 周囲温度 -20°C 、崩壊熱量 6.5kW の場合の温度分布

3.4.4 最大内圧

熱解析の結果、一般の試験条件において運搬用容器に最大内圧を生じる崩壊熱量は54kWで、環境温度は38℃の場合である。

以下、このときの内筒内の圧力の計算を示す。

なお、相変化及び化学的分解は起こらないので考慮しない。また、放射線分解により発生する気体による圧力上昇は小さく、本圧力計算では無視できる。

添付資料3別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」5項で述べたように燃料棒は一般の試験条件下において破損することはない。したがって、燃料棒の破損による圧力上昇は生じない。

(1) 内筒内の圧力

内筒内部の圧力は、次のように求められる。

本運搬用容器の内筒内体積（ふた膨張室内体積を含む。） V は、 5.609m^3 である。燃料集合体14体を収納した時の内筒内水温度を 20°C とすると、このときの内筒内部の条件は、以下のように求められる。

a. 燃料収納及び水抜き時の内筒内体積

内筒内体積（ふた膨張室内体積を含む。）を V 、燃料集合体の体積を V_f とすると、燃料収納時における内筒内の空間体積 V_c は、

$$V_c = V - V_f \dots\dots\dots (1)$$

発送前に、水位調整のため規定水位まで水抜きを行い、水抜き後の内筒内水体積を V_w とする。このとき全空气体積 V_a は、

$$V_a = V_c - V_w \dots\dots\dots (2)$$

となる。

b. 一般の試験条件

一般の試験条件下の内筒内圧は、次のように求められる。

一般の試験条件下における内筒内水の平均温度を t_1 °C とすれば、このときの内筒内水体積 V_{wt1} は、

$$V_{wt1} = V_w \frac{\rho_{20}}{\rho_{t1}} \dots\dots\dots (3)$$

但し、 ρ_{20} : 20°C の水の密度(kg/m³)

ρ_{t1} : t_1 °C の水の密度(kg/m³)

したがって、一般の試験条件下における内筒内の空気体積 V_{at1} は、

$$V_{at1} = V_c - V_{wt1} \dots\dots\dots (4)$$

したがって、空気分圧 P_1 は、

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{V_a}{V_{at1}} \cdot \frac{T_{t1}}{T_{20}} \dots\dots\dots (5)$$

但し、 P_1 : 空気分圧 (MPa 絶対圧)

P_0 : 初期圧力 (大気圧 : 0.1013MPa 絶対圧)

V_a : 初期空気体積(m³)

T_{20} : 初期温度(293K)

$T_{t1} = t_1 + 273$ (K)

したがって、内筒内圧 P は、

$$P = P_1 + P_s \dots\dots\dots (6)$$

但し、 P_s : 温度 t_1 °C における飽和蒸気圧 (MPa 絶対圧)

上記(1)式から(6)式より求めた輸送物の内筒内圧を第 39 表に示す。

第 39 表 一般の試験条件下の内筒内圧

項 目	記 号	単 位	式	計 算 値
内筒内体積	V	m ³	—	5.609
燃料集合体の体積	V _f	m ³	—	0.9173
燃料収納時の内筒内空間体積	V _c	m ³	(1)	4.692
内筒内水体積	V _w	m ³	—	3.982
水抜き後の空气体積	V _a	m ³	(2)	0.7100
内筒内水平均温度	t ₁	°C	—	179
20°Cにおける水の密度	ρ ₂₀	kg/m ³	—	998.3
温度 t ₁ における水の密度	ρ _{t1}	kg/m ³	—	888.0
温度 t ₁ における内筒内水体積	V _{wt1}	m ³	(3)	4.477
温度 t ₁ における内筒内空气体積	V _{at1}	m ³	(4)	0.2150
温度 t ₁ における空気分圧 (絶対圧)	P ₁	MPa	(5)	0.5161
温度 t ₁ における飽和蒸気圧 (絶対圧)	P _s	MPa	—	0.9798
内筒内圧 (絶対圧)	P	MPa	(6)	1.50 (1.39MPaG)

3.4.5 最大熱応力

一般の試験条件下においては輸送物に熱応力が生じるが、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」5.1 項に示すようにいずれも評価基準を下回る。

3.4.6 結果の要約と評価

通常運搬時及び一般の試験条件下における輸送物各部の最高温度は第 38 表に、運搬用容器内部の圧力は第 39 表に示すとおりである。

太陽熱放射無の通常運搬時において容易に人の近づきうる部分の最高温度はバギングリング表面の 78℃であり、基準温度の 85℃を超えることはない。

ふた O リングの最高温度は 162℃となり、3.3 項に記載した使用可能温度 300℃を超えることはない。

ベント・水位調整バルブ、ドレンバルブ及び水位調整用加圧バルブの O リングの温度は最高 164℃でふた O リングと同様使用可能温度より低い。

レジン、その最高温度が 158℃であり、使用可能温度 170℃を超えることはない。また鉛は、その最高温度が 171℃であり、融点 327.5℃を超えることはない。その他の構成材料についても悪影響を及ぼすような温度にはならない。

なお、一般の試験条件下の構造解析においては、第 38 表に示す温度及び第 39 表に示す圧力に余裕をとった圧力条件で解析を行っている。

周囲温度が -20℃～0℃で太陽熱放射無の場合、内筒内水が凍らないために必要な最低崩壊熱量は第 19 図に示したとおりである。この図の斜線で示した範囲では、内筒内水の温度が凝固点 0℃より低くなることはなく、凝固凍結することはない。

したがって、周囲温度が -20℃～0℃においても運搬用容器の健全性に問題はない。

通常運搬時及び一般の試験条件下における熱解析結果の要約と評価を第 40 表に示す。

第 40 表 通常運搬時及び一般の試験条件下の熱解析結果の要約と評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
燃料集合体	—	184℃	構造解析に使用 基準に合致 基準に合致 基準に合致 基準に合致 構造解析に使用
中性子遮蔽体（レジン）	170℃	158℃	
ガンマ線遮蔽体（鉛）	融点 327.5℃	171℃	
近接表面 ^(注)	85℃	78℃	
Oリング	300℃	164℃	
外 筒	—	134℃	
中 間 筒	—	162℃	
内 筒	—	177℃	
最大圧力	—	1.50MPa (1.39MPaG)	構造解析では 安全側に 1.70MPaG を 使用
最低崩壊熱量	内筒内水の凍結なし	周囲温度 -20℃、 崩壊熱量 6.5kW で 内筒内水凍結せず	基準に合致

(注) 太陽熱放射無の通常運搬時に対する評価である。

3.5 特別の試験条件

3.5.1 熱解析モデル

輸送物の熱解析は、燃料を 14 体収納した輸送物について、有限要素法による ABAQUS コードを用いて行った。

(1) 解析モデル

a. 形状モデル

一般の試験条件と同様に、各部温度を算出するために解析モデルとして以下の 2 つのモデルを用いた。

- ・ 輪切り半ピッチモデル
- ・ 全体モデル

各モデルにおいて評価する輸送物部位は次のとおりである。

輪切り半ピッチモデル……フィン先端、外筒、レジン（中央部）、
中間筒、鉛、内筒、内筒内水、
バスケット、燃料集合体

全体モデル……………緩衝体、ふた O リング、
ベント・水位調整バルブ O リング、
ドレンバルブ O リング、
水位調整用加圧バルブ O リング

3.1.2 項で述べたように、特別の試験条件下の耐火試験においては、落下試験 I によりフィン及び緩衝体が変形する。

しかし、耐火試験時においては、フィンが変形していないと考えた方が火炎にさらされる面積が多くなり、運搬用容器に対する入熱量が大きくなるので安全側である。さらに、耐火試験後においても、フィンの変形した部分の放熱面積はわずかであり、フィンは太陽熱放射に対する吸収面として働くことを考えれば、フィンは変形していないと仮定することができる。

緩衝体に対しては、変形を考慮する方が運搬用容器への入熱量を大きく与えるので、変形後の形状をモデルに考慮する。

落下試験 II（貫通落下）における輸送物の変形は緩衝体、フィン、外筒及びレジンカバーに生じる変形である。

この場合のフィン及び外筒の最大変形は、フィン4枚、幅150mmの範囲の変形である。

しかし、耐火試験時においては、フィンが変形していないと考えた方が安全側である。

また、この変形は局所的であり、フィン及び外筒が変形していないと仮定しても、輸送物の熱的性能に影響を及ぼすことはない。

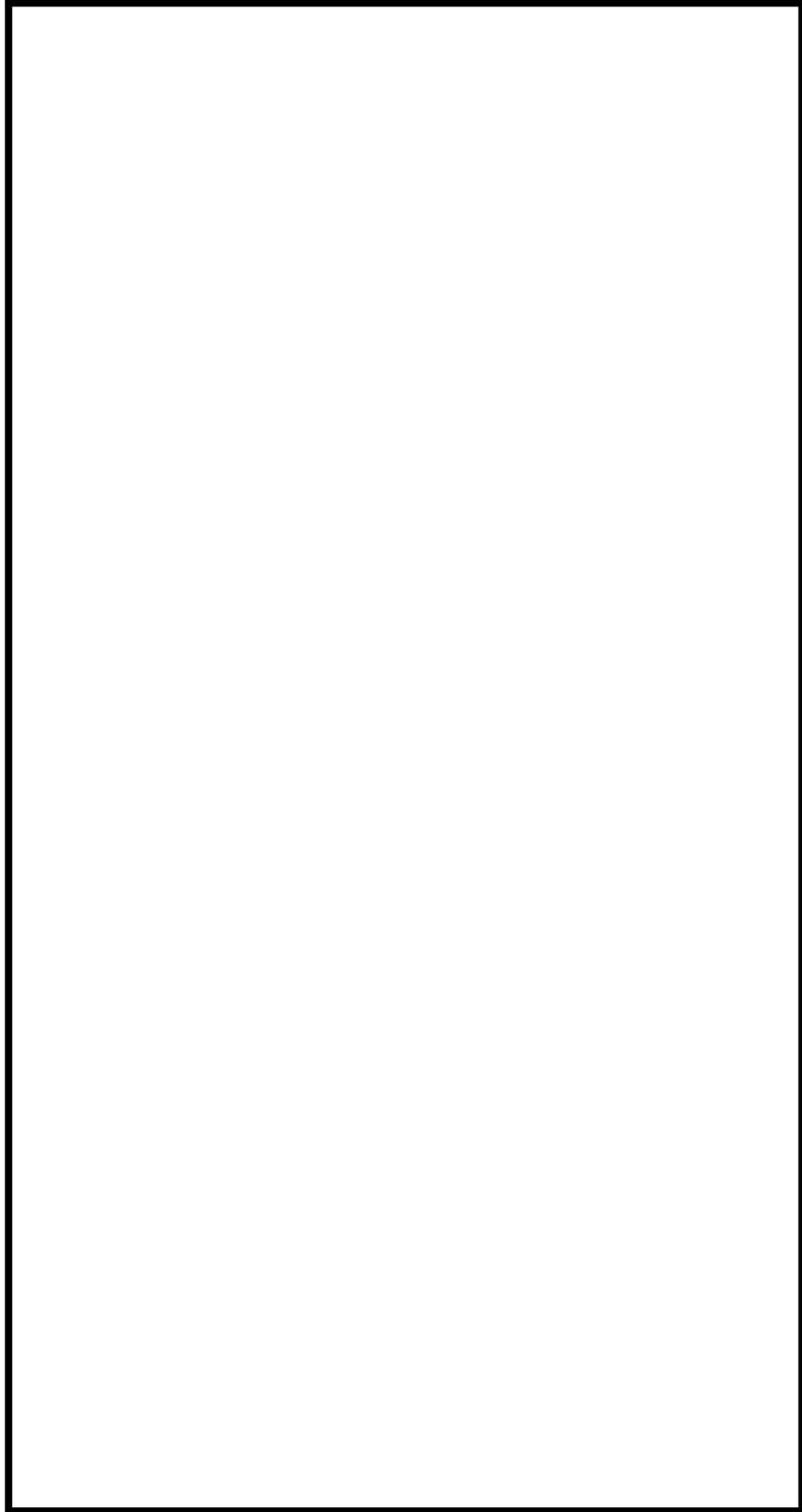
したがって、特別の試験条件下における熱解析では、フィン及び外筒が変形していないとする。

緩衝体については、落下時に緩衝体に穴があく可能性があるが、局所的であり断熱効果に大きな変化はない。

レジンカバーについては、ドレンバルブ及びベント・水位調整バルブの温度を安全側に評価するため、レジンと共に取り除いている。

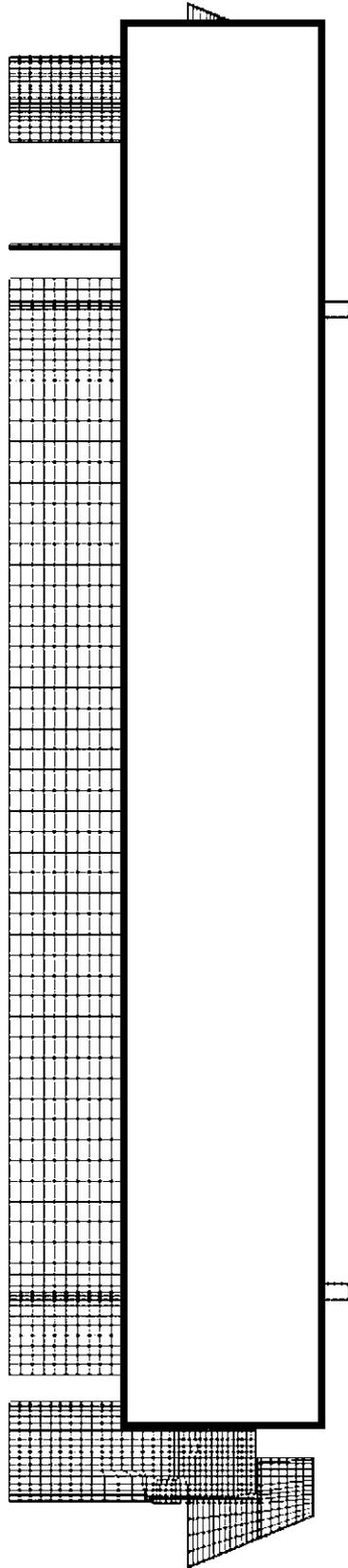
以上の条件を考慮した特別の試験条件に対する、輪切り半ピッチモデルの形状及び要素分割図は第11図及び第12図に示すとおりである。また、全体モデルの形状を第21図に、要素分割図を第22図に示す。

全体モデルにおいては、フィン部をモデル化していない。フィン部の等価熱伝達率を輪切り半ピッチモデルの解析結果より求め、これらの値を全体モデルの境界条件として与える。詳細は4項附属書類に示す。



(単位：mm)

第 21 図 特別の試験条件下の全体モデル形状図



第 22 図 特別の試験条件下の全体モデル要素分割図

b. 解析条件

解析に使用した熱的条件は次のとおりである。

使用済燃料の崩壊熱量は、全体で 54kW である。特別の試験条件下の熱解析は、強度試験（落下試験 I 及び II）条件に引き続いて、耐火試験条件下におかれるものとする。また、火災前の運搬用容器の温度分布は、通常運搬時、周囲温度 38℃太陽熱放射を受ける場合の温度分布（第 17 図及び第 18 図参照）であるとする。

火災時の熱的条件は、周囲温度 800℃、火災時間 30 分、火炎の放射率 0.9、容器表面の吸収率 0.8 であり、太陽熱放射を受けるものとする。

火災後の熱的条件は、周囲温度 38℃であり、太陽熱放射（第 37 表参照）を連続で受けるものとする。このとき、容器表面の放射率／吸収率は、0.15 であり、周囲の吸収率は 1.0 とする。容器表面からの熱放散は自然対流と放射を考慮する。

解析条件のまとめを第 41 表に示す。

第 41 表 特別の試験条件下の熱解析条件

事 象 項 目		火災前	火災時 (30 分間)	火災後
		崩 壊 熱 量		54kW
環 境 条 件	周 囲 温 度	静止空気 38℃	火 災 800℃	静止空気 38℃
	太 陽 熱 放 射	照 射	照 射	照 射
	周 囲 吸 收 率	1.0	0.9 ^(注)	1.0
容器表面放射率／吸収率		0.15	0.8	0.15

(注) 火炎の放射率を示す。

(2) 試験モデル

該当なし

3.5.2 輸送物の評価条件

落下試験Ⅰ（9m 落下）における輸送物の変形は、フィン及び緩衝体に生じる変形である。

フィンについては変形していない方が周囲よりの入熱量が大きくなるので変形がないものとする。

緩衝体の変形は、頭部垂直落下で 139mm、底部垂直落下で 140mm、水平落下で 184mm、頭部コーナー落下で 457mm、底部コーナー落下で 460mm の変形量である。

解析においては、垂直落下、水平落下及びコーナー落下の変形後の形状を包絡するような形状に緩衝体をモデル化する。

落下試験Ⅱ（貫通落下）における輸送物の変形は緩衝体、フィン、外筒、及びレジンカバーに生じる変形である。緩衝体は落下時に穴があく可能性があるが、局所的であるので、断熱効果に大きな変化はない。

フィン及び外筒の最大変形は、フィン 4 枚、幅 150mm の範囲の変形である。この変形は局所的であり、フィン及び外筒が変形していないと仮定しても、輸送物の熱的性能に影響を及ぼすことはない。レジンカバーについては、ドレンバルブ及びベント・水位調整バルブの温度を安全側に評価するため、レジンと共に取り除いている。

3.5.3 輸送物温度

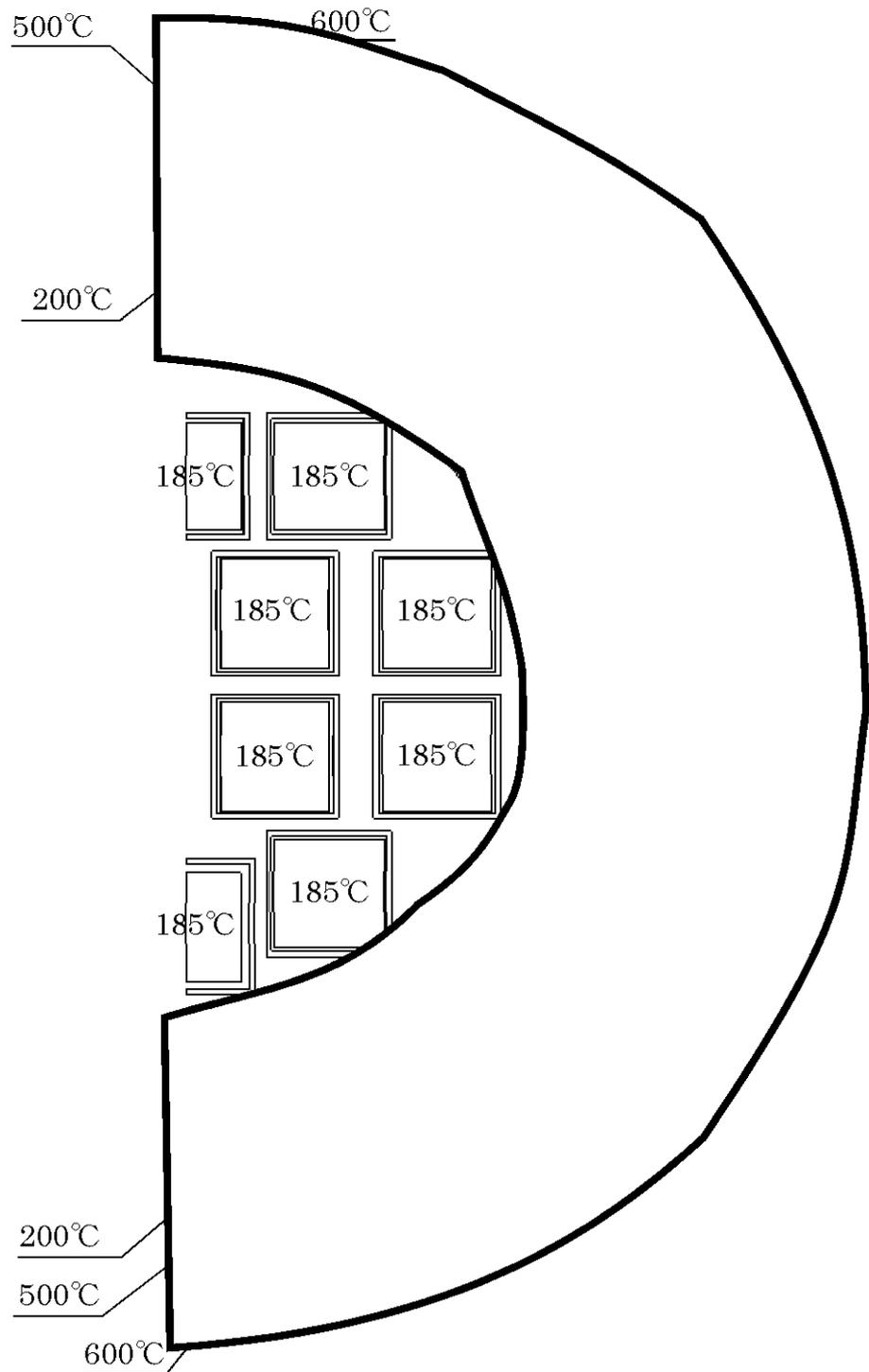
3.5.1 項に記載したモデル及び条件に基づいて、ABAQUS コードにより解析した。特別の試験条件下における最高温度と火災発生後からの時間の結果を第 42 表に示す。

火災発生 30 分後の輸送物の各部の温度分布を第 23 図及び第 24 図に、時刻歴温度変化を第 25 図に示す。

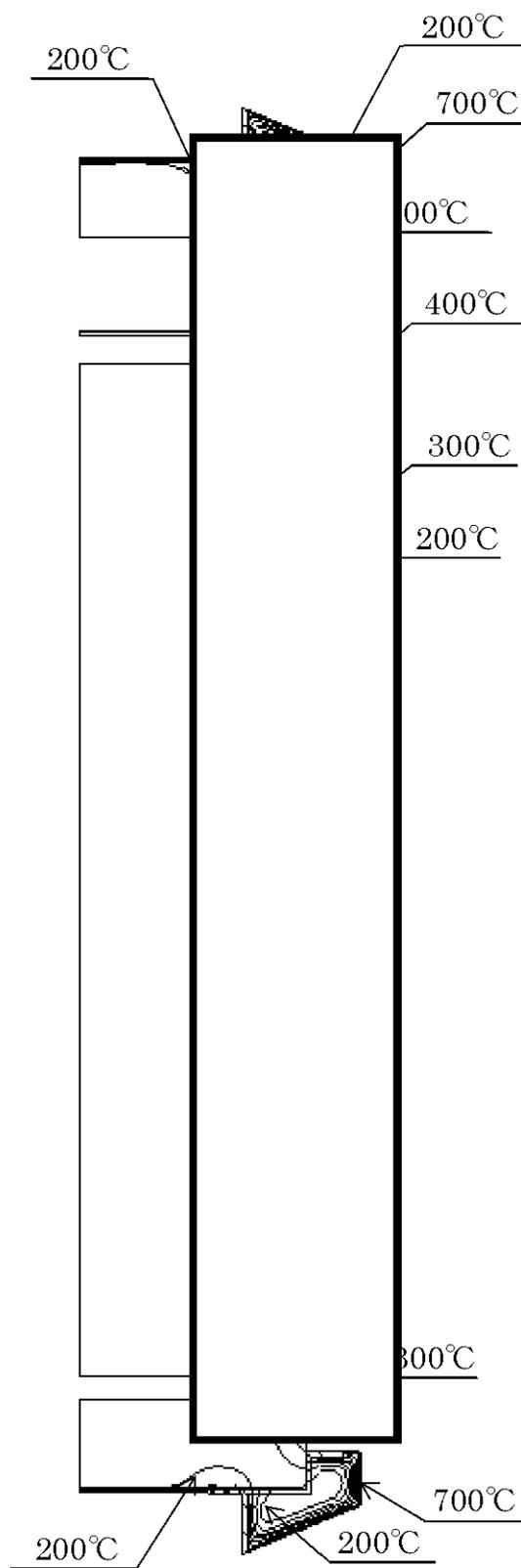
なお、密封境界のふた O リングの最高温度は 213℃、ベント・水位調整バルブ O リングは 222℃、ドレンバルブ O リングは 202℃、水位調整用加圧バルブ O リングは 221℃となり、使用可能温度 300℃を超えることはない。

第 42 表 特別の試験条件下の最高温度

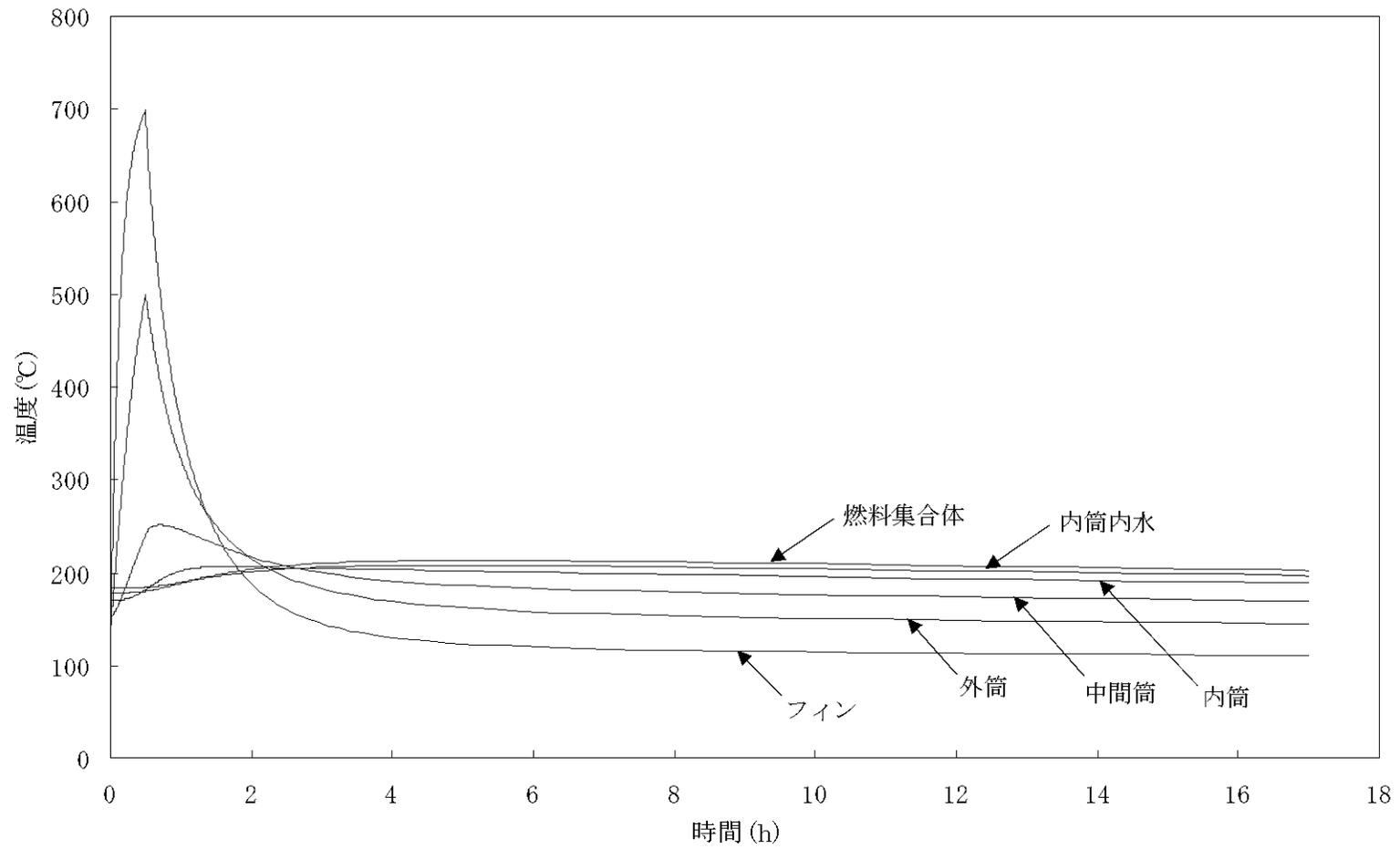
部 位 \ 条 件	特 別	
	温度(°C)	火災発生後の時間(h)
緩 衝 体 表 面	772	0.5
フ ィ ン 先 端	699	0.5
外 筒	501	0.5
レ ジ ン	357	0.6
中 間 筒	252	0.7
鉛	224	1.1
内 筒	207	1.6
内 筒 内 水 (平 均)	209	4.8
バ ス ケ ッ ト	212	5.1
燃 料 集 合 体	214	5.1
ふ た O リ ン グ	213	1.3
ベ ン ト ・ 水 位 調 整 バ ル ブ O リ ン グ	222	0.8
ド レ ン バ ル ブ O リ ン グ	202	1.9
水 位 調 整 用 加 圧 バ ル ブ O リ ン グ	221	0.7



第 23 図 特別の試験条件下の輪切り半ピッチモデルの温度分布 (火災発生 30 分後)



第 24 図 特別の試験条件下の全体モデルの温度分布 (火災発生 30 分後)



第 25 図 特別の試験条件下の時刻歴温度変化

3.5.4 最大内圧

輸送物の熱解析から、特別の試験条件下において運搬用容器内筒内の圧力は、内筒内水の温度が最高になる火災発生後 4.8 時間の時に最大になる。

以下、この条件における内筒内の圧力の計算を行う。

なお、放射線分解により発生する気体による圧力上昇は小さく、本圧力計算では無視する。

また、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」6 項に述べたように燃料棒は特別の試験条件下において破損しないので、燃料棒からの放射性ガスの放出による圧力上昇はない。

(1) 内筒内の圧力

水位調整時の諸条件は、一般の試験条件で示した第 39 表と同様である。

また、特別の試験条件後の内筒内圧は、3.4.4 項と同様に、(1)から(6)式を用いて求められる。

特別の試験条件における輸送物の内筒内圧の計算結果を第 43 表に示す。

第 43 表 特別の試験条件下の内筒内圧

項 目	記 号	単 位	式	計 算 値
内筒内体積	V	m ³	—	5.609
燃料集合体の体積	V _f	m ³	—	0.9173
燃料集合体収納時の内筒内空間体積	V _c	m ³	(1)	4.692
内筒内水体積	V _w	m ³	—	3.982
水抜き後の空气体積	V _a	m ³	(2)	0.7100
内筒内水平均温度	t ₁	°C	—	209
20°Cにおける水の密度	ρ ₂₀	kg/m ³	—	998.3
温度 t ₁ における水の密度	ρ _{t1}	kg/m ³	—	854.0
温度 t ₁ における内筒内水体積	V _{wt1}	m ³	(3)	4.655
温度 t ₁ における内筒内空气体積	V _{at1}	m ³	(4)	0.0370
温度 t ₁ における空気分圧 (絶対圧)	P ₁	MPa	(5)	3.198
温度 t ₁ における飽和蒸気圧 (絶対圧)	P _s	MPa	—	1.870
内筒内圧 (絶対圧)	P	MPa	(6)	5.07 (4.97MPaG)

3.5.5 最大熱応力

特別の試験条件下における輸送物各部の温度分布は 3.5.3 項に記載したとおりである。特別の試験条件下において輸送物に生じる熱応力については、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」6.3 項で説明したように容器各部位が熱膨張を拘束しあって生じ、温度差が最大になる火災発生 30 分後の時に最大熱応力が生じる。

最大熱応力は、添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」6.3 項に示すようにいずれも評価基準を下回る。

3.5.6 結果の要約と評価

特別の試験条件下における輸送物の性能評価は、崩壊熱量が 54kW、周囲温度 38℃の環境条件下で 800℃の熱環境に 30 分間さらされるとして行った。この場合の輸送物各部の温度変化は、第 25 図に示すとおりである。

輸送物各部について最高温度と火災発生時からの時間をまとめると、第 42 表に示すとおりである。また、運搬用容器内部の最大圧力は第 43 表に示すとおりである。

ふっ素ゴム製 O リングの温度は第 42 表に示したように 300℃を超えることはない。ふっ素ゴム製 O リングは 300℃に耐えられ、特別の試験条件下で密封性が損われることはない。

レジン、その最高温度が 357℃であり、使用可能温度 170℃を超えるがこれによりレジンが全て失われることはない。遮蔽解析ではレジンの密度減少を考慮する。レジンの焼損について、4 項附属書類に示す。

鉛は、その最高温度が 224℃であり、融点 327.5℃を超えることはなく、遮蔽能力が低下することはない。その他の構成材料については、悪影響を及ぼす温度にはならない。

臨界解析においては、外筒までをモデル化し、レジン、鉛は全て喪失することにより、これらの中性子の吸収効果を見逃し、安全側の解析を行っている。

なお、特別の試験条件に対する構造解析においては、第 42 表に示す温度及び第 43 表に示す圧力に余裕をとった圧力条件で解析を行っており、特別の試験条件下の熱的試験において輸送物が健全性を保持していることを示している。(添付資料 3 別添「衝撃、熱等に係る強度計算書」6.3 項参照)
特別の試験条件下における輸送物の総合的評価を第 44 表に示す。

第 44 表 特別の試験条件下の輸送物の総合的評価

項 目	基 準 値	結 果	評 価
最高温度			
燃料集合体	—	214℃	遮蔽解析で密度減少考慮、 臨界解析で無視 基準に合致 基準に合致 } 構造解析に使用
中性子遮蔽体 (レジン)	170℃	357℃	
ガンマ線遮蔽体 (鉛)	融点 327.5℃	224℃	
O リング	300℃	222℃	
外 筒	—	501℃	
中 間 筒	—	252℃	
内 筒	—	207℃	
最大圧力	—	5.07MPa (4.97MPaG)	構造解析では 安全側に 5.20MPaG を 使用

4. 附属書類

4.1 中性子遮蔽体の重量減損を考慮した場合の遮蔽評価

中性子遮蔽体領域は、通常運搬時及び一般の試験条件下において温度分布を有しており、外部ほど温度は低くなっている。ここでは、当該領域すべてが中性子遮蔽体の最高使用可能温度である 170℃となり、この温度における中性子遮蔽体の重量減損(2.9%)があるとした保守側の仮定の下で、運搬用容器表面及び表面から 1m 位置における線量当量率を求め、この条件下においても輸送物の安全性に有意な影響のないことを示す。

なお、特別の試験条件下の評価については、既に 50%の重量減損があるものとして安全解析が行われていること、また、この仮定が 4.2 項附属書類に示す結果より十分保守側であることが明らかであるため、ここでは通常運搬時及び一般の試験条件下の評価のみ実施する。

4.1.1 検討条件

以下に示す条件に基づき検討評価を行う。

- (1) 中性子遮蔽体の重量減損に寄与する物質の殆んどが水分であるため、減損により遊離した物質は、すべて水分とする。したがって、減損する原子は水素及び酸素として、これらの重量減損量は以下のとおりとする。

$$\text{水素} : 0.029 \times \frac{\text{水素の原子量} \times 2}{\text{水の分子量}} = 0.029 \times \frac{2}{18} = 3.22 \times 10^{-3}$$

$$\text{酸素} : 0.029 \times \frac{\text{酸素の原子量}}{\text{水の分子量}} = 0.029 \times \frac{16}{18} = 2.578 \times 10^{-2}$$

- (2) (1)項の前提に基づき中性子遮蔽体の原子数密度については、重量減損のない場合の値を n_0 、重量減損した場合の値を n_1 とすると、水素、酸素については以下のとおりとなる。

なお、これ以外の元素については、 $n_1 = n_0$ である。

$$\text{水素} : n_{1H} = n_{0H} \times (\alpha_H - 3.22 \times 10^{-3}) / \alpha_H$$

$$\text{酸素} : n_{1O} = n_{0O} \times (\alpha_O - 2.578 \times 10^{-2}) / \alpha_O$$

ここで、 α_H : 減損のない場合の水素の重量割合(0.086/1.62=0.0531)

α_O : 減損のない場合の酸素の重量割合(0.423)

以上より

$$n_{1H} = 0.939 \times n_{0H}$$

$$n_{1O} = 0.939 \times n_{0O}$$

- (3) モデル仕様については、減損のない場合 2.4 項のモデル仕様と同様とする。

以上より、評価に当たっては、第 10 表に示す中性子遮蔽体領域の水素及び酸素の原子数密度を第 45 表に示すとおり変更して実施する。

第 45 表 原子数密度の比較

(単位： 10^{24} atoms/cm³)

		重量減損を考慮した場合	減損なし (第 10 表記載)
側 部	水 素	4.413×10^{-2}	4.698×10^{-2}
	酸 素	2.219×10^{-2}	2.363×10^{-2}
上・下部	水 素	4.768×10^{-2}	5.076×10^{-2}
	酸 素	2.397×10^{-2}	2.553×10^{-2}

4.1.2 検討方法

上記の条件の下、2.5 項遮蔽評価に従って検討・評価する。

2.5 項遮蔽評価の解析対象から、基準線量当量率に対して余裕の少ないタイプ 3 に対して評価を行う。

4.1.3 検討結果

通常運搬時及び一般の試験条件下における輸送物表面及び表面から 1m 位置における線量当量率を第 46 表に示す。

第46表 通常運搬時及び一般の試験条件下の線量当量率（タイプ3）

（単位：μSv/h）

		頭 部		側 部	底 部			
		軸 方 向	径 方 向		径 方 向 (水位方向)	軸 方 向	径 方 向 (トランニオン方向)	
評 価 点		①	③	⑤	⑦	⑨	⑪	
表 面	ガン マ 線	燃料有効部	9.5	69.8	99.4	221.1	5.9	158.8
		構造材放射化	132.5	190.5	6.7	27.3	6.0	20.9
		二次ガンマ線	<0.1	4.8	6.4	19.6	0.3	11.9
	中 性 子		16.2	301.4	37.7	986.7	65.1	1103.0
	合 計		158.3	566.5	150.2	1254.7	77.3	1294.6
評 価 点		②	④	⑥	⑧	⑩	⑫	
表 面 か ら 1 m	ガン マ 線	燃料有効部	2.7	16.9	45.2	30.0	5.2	28.3
		構造材放射化	34.7	24.0	3.5	5.5	5.2	2.6
		二次ガンマ線	<0.1	0.9	2.9	1.9	<0.1	1.6
	中 性 子		4.2	13.8	15.1	29.1	15.1	46.0
	合 計		41.7	55.6	66.7	66.5	25.6	78.5
基 準	表 面		2000					
	表面から 1m		100					

4.1.4 結果の要約と評価

第 47 表に中性子遮蔽体の重量減損のない場合の線量当量率と重量減損を考慮した場合の線量当量率の比較を示す。

第 47 表 線量当量率の比較 (タイプ 3)

(単位： μ Sv/h)

		表 面					表面から 1m				
		頭 部		側 部	底 部		頭 部		側 部	底 部	
		軸方向	径方向		径方向	軸方向	軸方向	径方向		径方向	軸方向
減損あり	ガンマ線	142.1	265.1	112.5	191.6	12.2	37.5	41.8	51.6	32.5	10.5
	中性子	16.2	301.4	37.7	1103.0	65.1	4.2	13.8	15.1	46.0	15.1
	合 計	158.3	566.5	150.2	1294.6	77.3	41.7	55.6	66.7	78.5	25.6
減損なし	ガンマ線	142.1	263.3	108.9	190.5	12.2	37.5	41.0	49.6	31.6	10.5
	中性子	15.8	292.0	32.0	1070.9	65.1	4.2	12.9	12.9	44.4	15.1
	合 計	157.9	555.3	140.9	1261.4	77.3	41.7	53.9	62.5	76.0	25.6
基 準 値		2000 (通常運搬時及び一般の試験条件)					100 (通常運搬時)				

以上より重量減損を考慮した場合の線量当量率に関し、その増加は最大でも 7%程度であり、また、基準値も十分に満足するため、中性子遮蔽体の重量減損は輸送物の安全性に有意な影響を与えないことが明らかである。

4.2 火災時のレジンの損傷状態

火災時のレジンの損傷状態については、以下に示すように、運搬用容器のレジンを模擬したモデルによる燃焼試験で確認している。試験の結果から、レジンの損傷は被熱面から 10～20mm 程度であり、大きな欠損は生じない。

4.2.1 中性子遮蔽材燃焼試験概要

(1) 試験目的

中性子遮蔽材の特別の試験条件下（耐火試験）での自己消火性及び損傷程度を把握し、解析モデルの余裕度を把握する。

(2) 試験要領

a. 試験内容

レジンから製作した試験体について加熱炉による燃焼試験と燃焼試験終了後の試験体の性状試験を実施した。

b. 試験体

レジンの材料仕様を第 48 表に、また、試験体の形状及び被覆状態を第 49 表に示す。試験体は、運搬用容器の伝熱フィンと外筒－中間筒間に挟まれた棒状の形態を模擬している。

これらの試験体は第 26 図に示すように断熱材を内張りした断熱材ケース内に埋め込んだ。したがって、試験体 6 面の内直接被熱面は 2 面である。

c. 試験方法

上述した試験体について下記に示す方法により試験した。

(a) 燃焼試験

試験にはガスバーナによる加熱炉を使用した。試験手順は、まず炉内温度を 800℃に昇温し約 1 時間保持した。次いで、炉の台車（炉の底板）を引き出し、試験体を積載したパレットを台車上に乗せ素早く炉内に挿入した。なお、この間炉内の温度低下を極力防ぐため加熱バーナーは燃焼状態のままにした。試験体を炉内に挿入し炉内温度が再び 800℃に回復してから 32 分間保持した後バーナーを消火し炉内より試験体を取り出し大気中で自然放冷した。

(b) 燃焼試験後のレジンの性状試験

燃焼試験終了後炉内より引き出したレジンの炎と煙の発生状況並びに消火状況を目視観察した。また、被覆ありレジンについては中央部より切断し断面の変質状態（炭化層など）を観察した。また、切断後の断面からサンプルを採取し有機元素分解装置により水素と炭素を JIS M 8813 の 7（酸素百分率算出法）により酸素を分析するとともに比重ビンによる重量法により真比重を測定した。

(3) 試験結果

a. 燃焼状態の目視観察結果

全面被覆したレジン以外は炉内挿入と同時に燃焼が始まった。また、燃焼試験を終え炉内から取り出した直後は燃焼は継続しており熔融栓が溶けた穴から煙（ガス）の噴出も観察されたが、時間の経過に伴い速やかに消火・消煙した。したがって、本材料は十分な自己消火性を有するといえる。

b. 燃焼試験後のレジンの性状

試験体中央部から切断した断面を第 27 図に示す。レジンは被熱側の表面から 10～20mm 程度分解消失している。また、熱影響によりレジン表面から 20～50mm 程度が白っぽく変色していることが観察された。

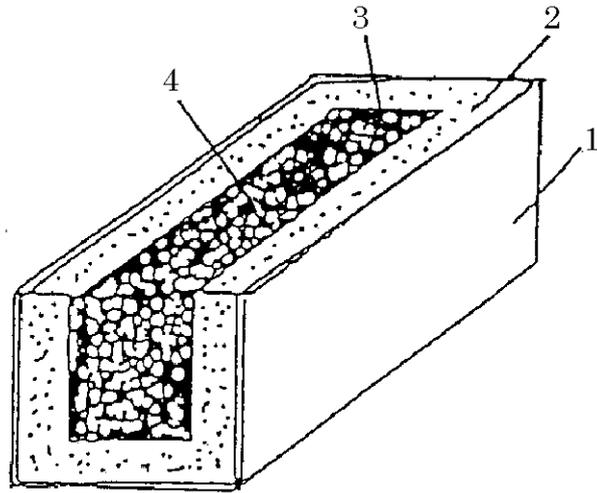
燃焼試験後のレジンの分析結果を第 50 表に示す。第 50 表から、変色部についても水素の減少がわずかであることがわかる。したがって、遮蔽上考慮する必要があるのは、消失部だけと考えられる。

第 48 表 レジンの材料仕様

仕 様	① 密 度 : $1.67 \pm 0.05 \text{g/cm}^3$
	② H 密 度 : 0.0959g/cm^3 以上
	③ B ₄ C 密 度 : 0.0194g/cm^3 以上

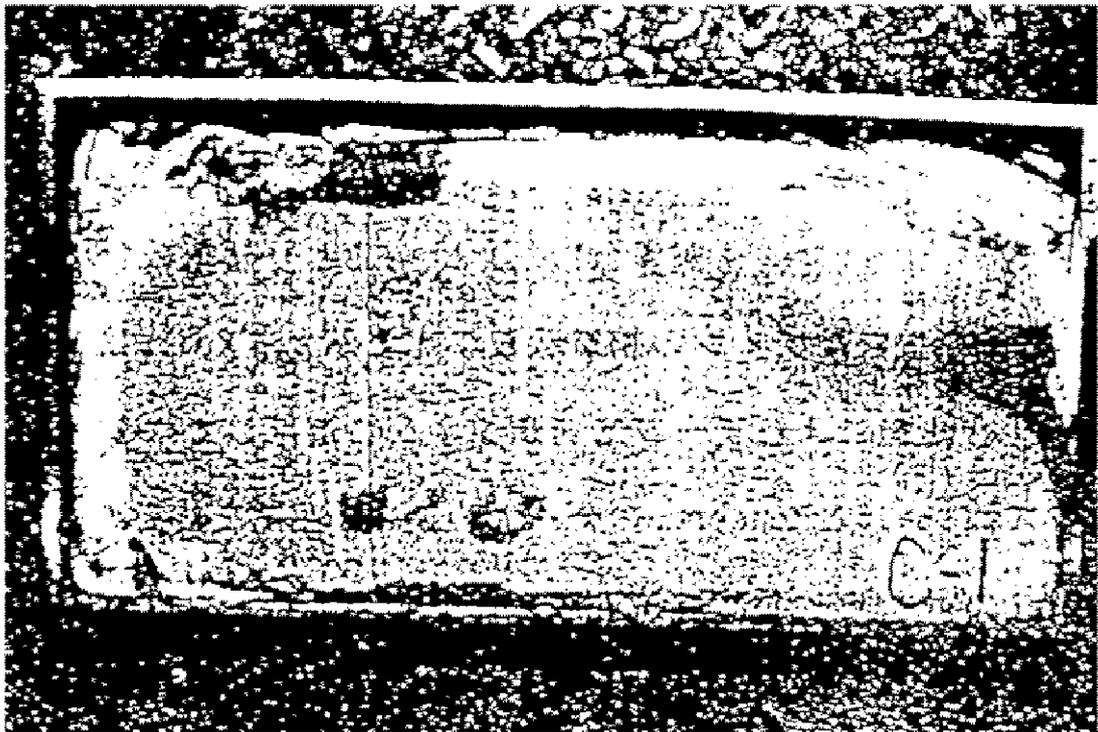
第 49 表 燃焼試験用試験体

種 類 項 目	中性子遮蔽材
材 料	エポキシ系レジン
形 状	400×200×200mm
被覆状態	① 被覆なし ② 厚さ 6mm の SUS304 により全面被覆 ③ 同②、但し、被覆板に $\phi 150\text{mm}$ の穴 1ヶ所を貫通
試験体数	3 体

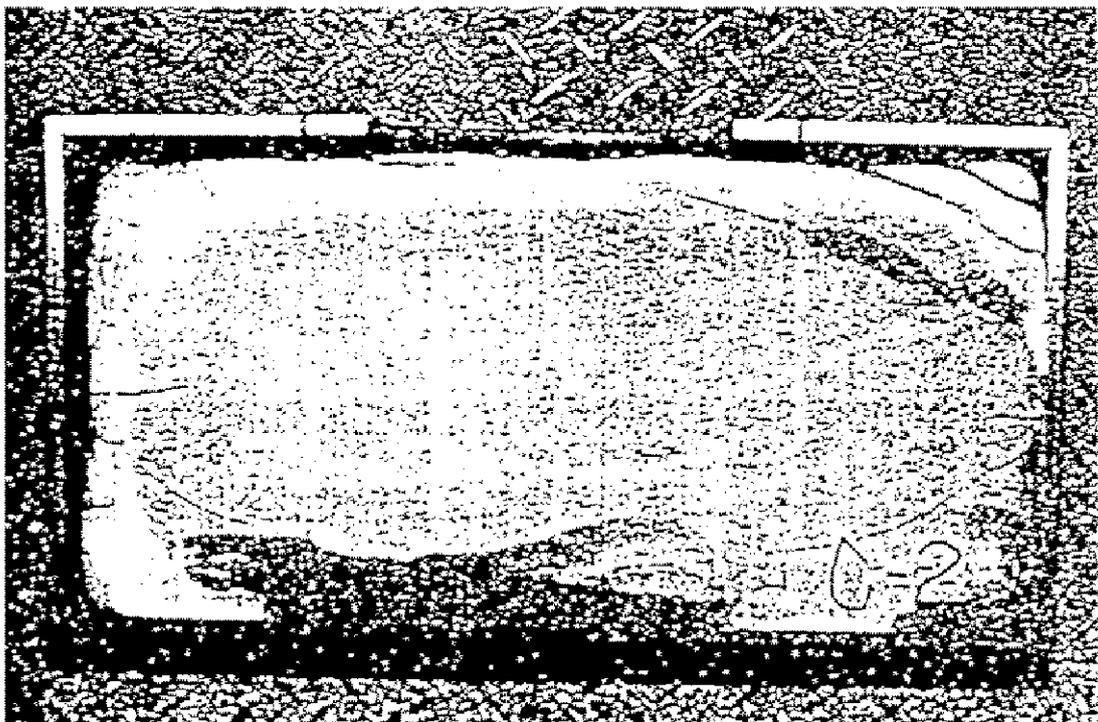


1. 断熱材ケース (SS 材・厚さ 2.3mm)
2. 断熱材 (アルミナ・シリカ系セラミックファイバー、厚さ 50mm)
3. 接着剤 (セメントペースト)
4. 試験体

第 26 図 試験体の被熱状態



全 面 被 覆



貫 通 孔 被 覆

第 27 図 燃 焼 後 の 試 験 体 断 面

第 50 表 レジン分析試験結果

(1) レジン燃焼試験前後の比重変化

	測定値			平均	前後変化
試験前サンプル ^(注)	1.688	1.713	1.685	1.695	
C-1 変色部	1.603	1.612	1.611	1.609	-0.087
C-1 中心部	1.678	1.683	1.695	1.685	-0.010
C-2 変色部	1.644	1.617	1.629	1.630	-0.065
C-2 中心部	1.684	1.684	1.619	1.662	-0.033

(注) C-1 は全面被覆のレジン、C-2 は貫通孔被覆のレジン

(2) レジン燃焼試験前後の元素重量変化

	測定値(wt%)			前後変化(wt%)		
	H	C	O	H	C	O
試験前サンプル ^(注)	5.84	26.93	18.39			
C-1 変色部	5.70	30.15	19.89	-0.14	3.22	1.50
C-1 中心部	6.00	28.83	21.87	-0.16	1.90	3.48
C-2 変色部	5.58	27.23	19.08	-0.26	0.30	0.69
C-2 中心部	5.61	27.72	19.96	-0.23	0.79	1.57

(注) C-1 は全面被覆のレジン、C-2 は貫通孔被覆のレジン

4.3 平均燃焼度が低い場合の冷却日数について

遮蔽解析については、第 2 図に示す燃料タイプごとの平均燃焼度の最大値を用いて実施した。ここでは、第 2 図で示した平均燃焼度と冷却日数の関係が、遮蔽解析の基準線量当量率を満足していることを示す。

なお、一般の試験条件下及び特別の試験条件下の評価については、基準線量当量率に対して十分保守側であることが明らかであるため、ここでは通常運搬時の評価結果のみ実施する。

4.3.1 検討条件

第 51 表に示す燃焼度及び冷却日数の条件に基づき評価を行う。

4.3.2 検討方法

上記の条件の下、2.5 項遮蔽評価に従って検討した運搬用容器各部の線量当量率評価結果を用い、それらを線源強度補正することにより各燃焼度・冷却日数の線量当量率を検討する。

4.3.3 検討結果

通常運搬時における輸送物表面及び表面から 1m 位置における線量当量率を第 52 表に示す。

これらの評価結果より、第 2 図で示した平均燃焼度及び冷却日数については基準線量当量率を満足する。

第 51 表(a) タイプ別の平均燃焼度及び冷却日数

燃料集合体の種類 条件	タイプ 1、2、3
平均燃焼度 (MWd/t 以下)	
冷却日数 (日 以上)	

第 51 表(b) タイプ別の平均燃焼度及び冷却日数

燃料集合体の種類 条件	タイプ 4
平均燃焼度 (MWd/t 以下)	
冷却日数 (日 以上)	

第 51 表(c) タイプ別の平均燃焼度及び冷却日数

燃料集合体の種類 条件	タイプ 5、6
平均燃焼度 (MWd/t 以下)	
冷却日数 (日 以上)	

第52表(a) タイプ別の通常運搬時の線量当量率

(単位：μSv/h)

部 位	輸送物表面の最大値		表面から 1m の最大値	
燃料集合体の種類	タイプ 1、2、3		タイプ 1、2、3	
平均燃焼度 (MWd/t 以下)				
冷却日数 (日 以 上)				
ガ ン マ 線 中 性 子	326.5 695.4	190.5 1070.9	62.7 9.2	31.6 44.4
合 計	1021.9	1261.4	71.9	76.0
通常運搬時 基準線量率	2000		100	

第52表(b) タイプ別の通常運搬時の線量当量率

(単位：μSv/h)

部 位	輸送物表面の最大値		表面から 1m の最大値	
燃料集合体の種類	タイプ 4		タイプ 4	
平均燃焼度 (MWd/t 以下)				
冷却日数 (日 以 上)				
ガ ン マ 線 中 性 子	279.5 570.7	177.2 906.6	80.6 1.9	75.9 3.1
合 計	850.2	1083.8	82.5	79.0
通常運搬時 基準線量率	2000		100	

第 52 表(c) タイプ別の通常運搬時の線量当量率

(単位：μSv/h)

部 位	輸送物表面の最大値				表面から 1m の最大値			
燃料集合体の種類	タイプ 5、6				タイプ 5、6			
平均燃焼度 (MWd/t 以下)								
冷却日数 (日 以 上)								
ガンマ線 中性子	401.9 73.1	296.8 656.2	292.2 786.2	157.3 951.2	74.1 1.2	83.9 2.4	85.4 2.9	74.3 3.5
合 計	475.0	953.0	1078.4	1108.5	75.3	86.3	88.3	77.8
通常運搬時 基準線量率	2000				100			

4.4 解析に用いた対流熱伝達率及び熱放射係数

4.4.1 輪切り半ピッチモデルに用いた熱伝達率及び熱放射係数

(1) 燃料集合体とバスケットチャンネル壁間の熱伝達率

均質化燃料集合体とバスケットチャンネル壁間の熱伝達率は、次の Wooton の式¹⁶⁾を用いる。

$$h = 0.4 \frac{\lambda}{D} \left(\frac{g \beta D^3}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/4}$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²・K))

λ : 熱伝導率(W/(m・K))

D : バスケットチャンネル内側壁長さ(m)

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

Δt : 温度差(K)

上式より求めた均質化燃料集合体とバスケットチャンネル壁間の各温度に対する熱伝達率を第53表に示す。

第53表 均質化燃料集合体とバスケットチャンネル壁間の熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率(W/(m ² ・K))
0	72.7 $\Delta t^{0.25}$
20	112 $\Delta t^{0.25}$
100	229 $\Delta t^{0.25}$
200	326 $\Delta t^{0.25}$
300	343 $\Delta t^{0.25}$

(2) バスケット及び内筒内面と内筒内水及び気相部の熱伝達率

a. バスケット及び内筒内面と内筒内水間の熱伝達率

バスケット及び内筒内面と内筒内水間の熱伝達率は、McAdams の自然対流熱伝達式¹⁷⁾を用いる。

$$\text{垂直面} \quad h = 0.13 \lambda \left(\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/3}$$

$$\begin{array}{l} \text{加熱水平上面} \\ \text{冷却水平下面} \end{array} \quad h = 0.14 \lambda \left(\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/3}$$

$$\begin{array}{l} \text{加熱水平下面} \\ \text{冷却水平上面} \end{array} \quad h = 0.27 \frac{\lambda}{L} \left(\frac{g \beta L^3}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/4}$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

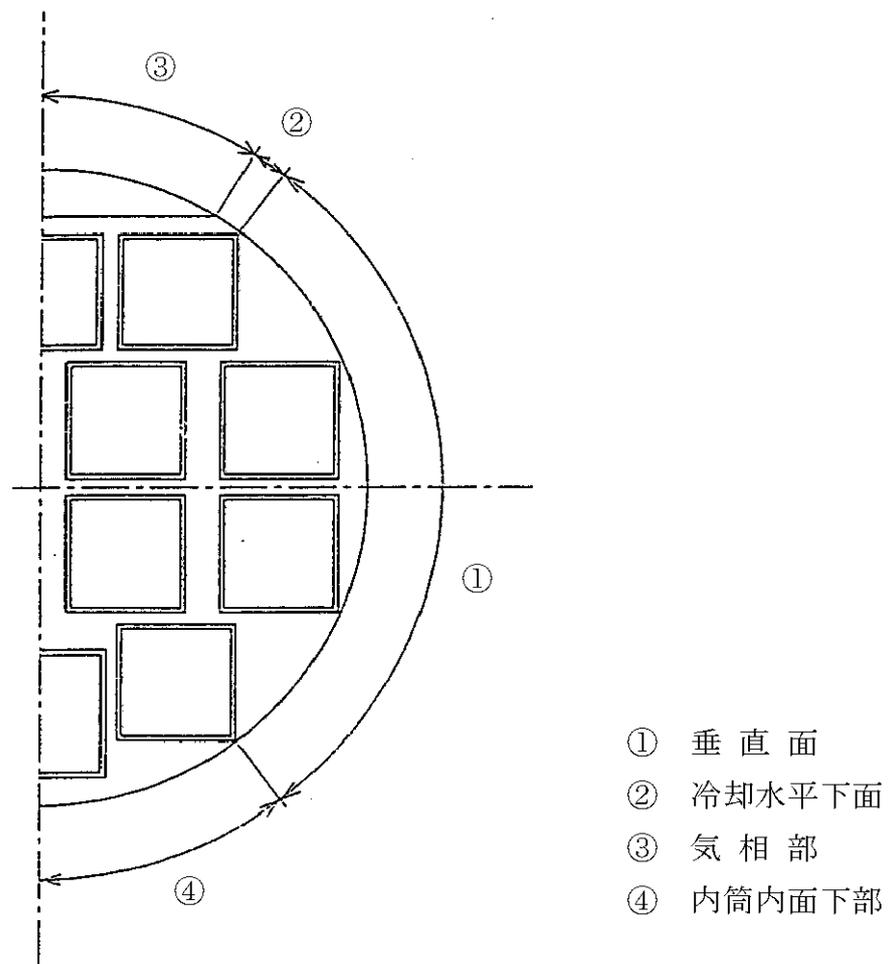
L : 面長さ (0.245m ; チャンネル幅)

Δt : 温度差(K)

内筒内面に対する上式の適用部位は、第 28 図に示す①及び②である。上式より求められるバスケット及び内筒内面と内筒内水間の熱伝達率は第 54 表に示すようになる。

第54表 バスケット及び内筒内面と内筒内水間の熱伝達率

温度(°C)	熱 伝 達 率 (W/(m ² ·K))		
	垂 直 面	加熱水平上面	加熱水平下面
		冷却水平下面	冷却水平上面
0	$98.6 \Delta t^{0.333}$	$106 \Delta t^{0.333}$	$48.0 \Delta t^{0.25}$
20	$172 \Delta t^{0.333}$	$184 \Delta t^{0.333}$	$73.9 \Delta t^{0.25}$
100	$430 \Delta t^{0.333}$	$463 \Delta t^{0.333}$	$151 \Delta t^{0.25}$
200	$695 \Delta t^{0.333}$	$748 \Delta t^{0.333}$	$216 \Delta t^{0.25}$
300	$796 \Delta t^{0.333}$	$857 \Delta t^{0.333}$	$227 \Delta t^{0.25}$



第28図 内筒内面の熱伝達式の適用部位

b. 気相部における凝縮熱伝達率

第 28 図に示す気相部③において、気相部の蒸気が凝縮する場合の膜状凝縮熱伝達率は、空気（不凝縮ガス）の混合の影響を考慮して次式⁷⁾で与えられる。

$$h = \frac{\lambda}{L} \left(0.78 \frac{Gal \cdot Pr}{H} \right)^{1/4} \exp(-5.4Wg^\infty)$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

L : 伝熱面高さ(0.113m)

Gal : ガリレイ数(-)

$$Gal = L^3 g / \nu^2$$

Pr : プラントル数(-)

Wg^∞ : 空気の質量濃度(-)

$$Wg^\infty = \frac{PaMa}{P_v M_v + PaMa}$$

$$H = Cp \Delta t / \gamma$$

但し、 g : 重力加速度(9.8m/s²)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Cp : 定圧比熱(J/(kg·K))

Δt : 温度差(K)

γ : 潜熱(J/kg)

Pa : 空気分圧(MPa)

Ma : 空気の分子量(29.0g/mol)

P_v : 蒸気分圧(MPa)

M_v : 蒸気の分子量(18.0g/mol)

今、分圧として一般の試験条件における圧力($Pa=0.516\text{MPa}$ 、 $P_v=0.980\text{MPa}$)を用いて、各温度に対して求めた熱伝達率を第 55 表に示す。

なお、最低温度評価条件に対しては、内筒内水温度が低く蒸気圧が零に近いので、凝縮熱伝達が生じず断熱とする。

第 55 表 気相部での凝縮熱伝達率

温 度(°C)	熱 伝 達 率(W/(m ² ·K))
100	1530 $\Delta t^{-0.25}$
200	1740 $\Delta t^{-0.25}$

c. 内筒内面下部における熱伝達率

第 28 図に示す内筒内面下部④に対しては次式で表される水の熱伝導に相当する熱伝達率を与える。

$$h = \frac{\lambda}{L}$$

但し、h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

L : 平均水層厚さ(0.075m)

上式より求められる内筒内面下部④における熱伝達率は第 56 表に示すようになる。

第 56 表 内筒内面下部での熱伝達率

温 度(°C)	熱 伝 達 率(W/(m ² ·K))
20	7.97
100	8.86
200	8.72
300	7.10

なお、最低温度評価条件に対しては、内筒内水温度を安全側に低く評価するため a 項に示す冷却水平上面に対する自然対流熱伝達率を与える。

(3) 鉛と鋼の接着面の熱伝達

内筒と鉛の接着面は鑄込まれた鉛が冷却するとき内筒を抱きかかえるように収縮するために間隙ができないと考えられる¹⁸⁾。したがって、この面は100%接着しているとして計算する。

一方、中間筒と鉛の接着面は鉛の収縮により間隙ができる可能性があるが、接着処理が施されているので、75%は接着しており、残りの25%は空気ギャップがあると考えられる。しかし、ギャップの間隔が小さい場合その伝熱抵抗は非常に小さいので無視することができる。したがって解析ではギャップを無視している。

(4) 外筒表面の対流熱伝達率

外筒表面の自然対流熱伝達率は、水平円筒表面の自然対流熱伝達率を表わす次の Schutz の式⁷⁾を用いる。

$$h = 0.1 \lambda \left(\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/3}$$

但し、**h** : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

Δt : 温度差(K)

各温度に対して求めた熱伝達率を第57表に示す。

第57表 円筒外表面の自然対流熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率(W/(m ² ·K))
-20	1.33 Δt ^{0.333}
0	1.26 Δt ^{0.333}
20	1.20 Δt ^{0.333}
100	1.02 Δt ^{0.333}
200	0.863 Δt ^{0.333}
300	0.760 Δt ^{0.333}
400	0.682 Δt ^{0.333}
600	0.577 Δt ^{0.333}
800	0.500 Δt ^{0.333}

ここで、実際に解析に用いた熱伝達率としては、第 29 図に示される水平円管外面の周方向分布を考慮した。外筒表面の熱伝達率としては、その係数を第 57 表の値に乗じた値を与えて周方向に変化させた。

但し、火災時に対しては、上部側の入熱も多くなるよう分布を考慮せず周方向に一様とした。また、最低温度評価に対しても同様である。

(5) フィン表面の対流熱伝達率

フィン表面の熱伝達率は、垂直平板に対する次の Jakob の式¹⁹⁾を用いる。

$$h=0.129 \lambda \left(\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/3}$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

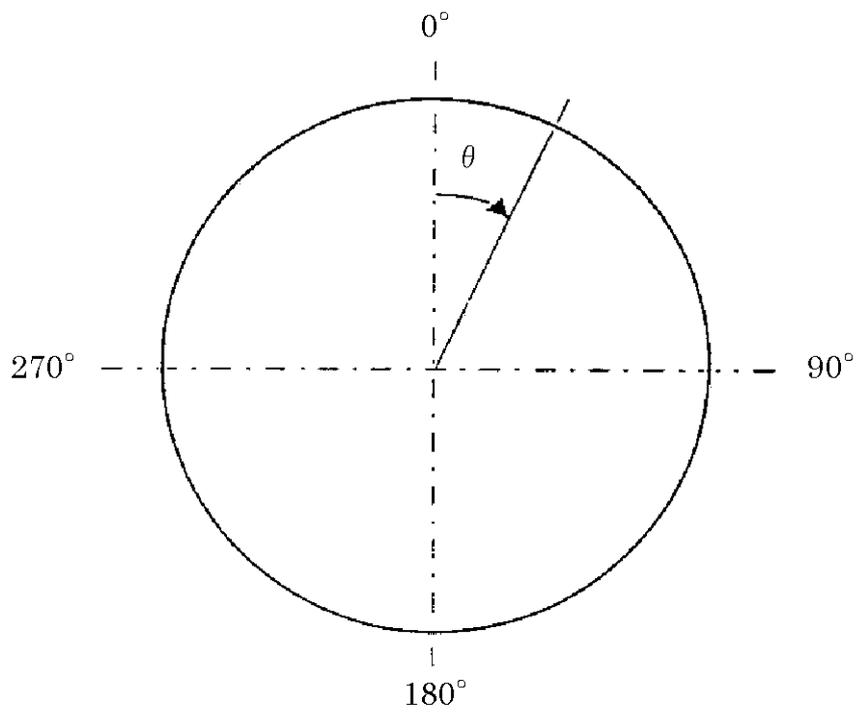
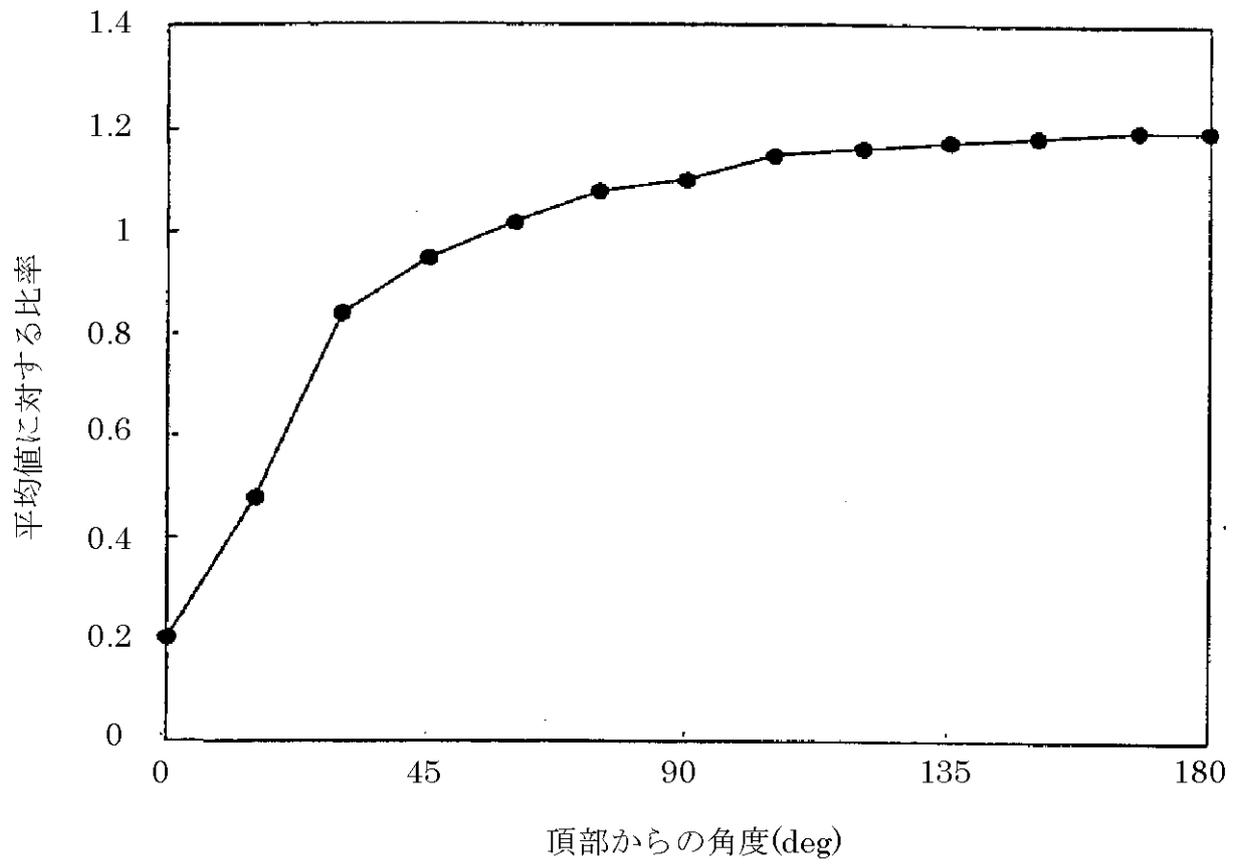
Δt : 温度差(K)

各温度に対して求めた熱伝達率を第 58 表に示す。

ここで、実際に解析に用いた熱伝達率としては、前項の外筒表面の熱伝達率と同様に、火災時及び最低温度評価条件を除き、第 29 図に示す周方向分布を考慮した。

第 58 表 垂直面の自然対流熱伝達率

温 度(°C)	熱 伝 達 率(W/(m ² ·K))
-20	$1.72 \Delta t^{0.333}$
0	$1.63 \Delta t^{0.333}$
20	$1.55 \Delta t^{0.333}$
100	$1.31 \Delta t^{0.333}$
200	$1.11 \Delta t^{0.333}$
300	$0.980 \Delta t^{0.333}$
400	$0.880 \Delta t^{0.333}$
600	$0.744 \Delta t^{0.333}$
800	$0.645 \Delta t^{0.333}$



第 29 図 外表面における自然対流熱伝達率の周方向分布

(6) フィン部の放射係数と太陽放射熱量

フィン部の形状を第 30 図に示すが、外筒表面及びフィン側面での放射係数は各面間の熱収支・形態係数を含めた式で表現される。それらの式について以下に示す。

a. n 面に関するエネルギーバランス

第 31 図に示す n 面でのエネルギーバランスは下記の式で示される。

$$q_n = q_{on} - q_{jn} \quad (1)$$

$$q_{on} = \varepsilon_n \cdot q_{BLn} + (1 - \varepsilon_n) \cdot q_{jn} \quad (2)$$

(1)及び(2)式より q_{jn} を消去し、

$$q_n = [\varepsilon_n / (1 - \varepsilon_n)] \cdot (q_{BLn} - q_{on})$$

となり、

$$q_{on} = q_{BLn} - [(1 - \varepsilon_n) / \varepsilon_n] \cdot q_n \quad (3)$$

となる。

ここで、 q_n : n 面に放射以外で供給される熱流束

q_{on} : n 面より外部に放出される放射熱流束

q_{jn} : n 面に外部より入射する放射熱流束

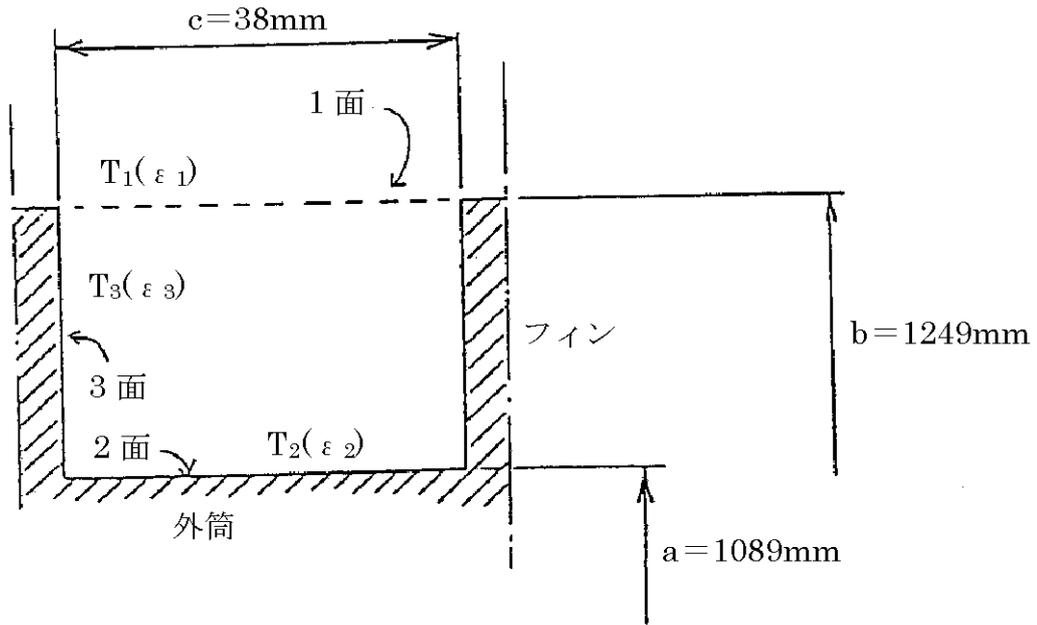
q_{BLn} : n 面より放射する自己放射熱流束 ($\delta \cdot T_n^4$)

ε_n : n 面の放射率 (=吸収率)

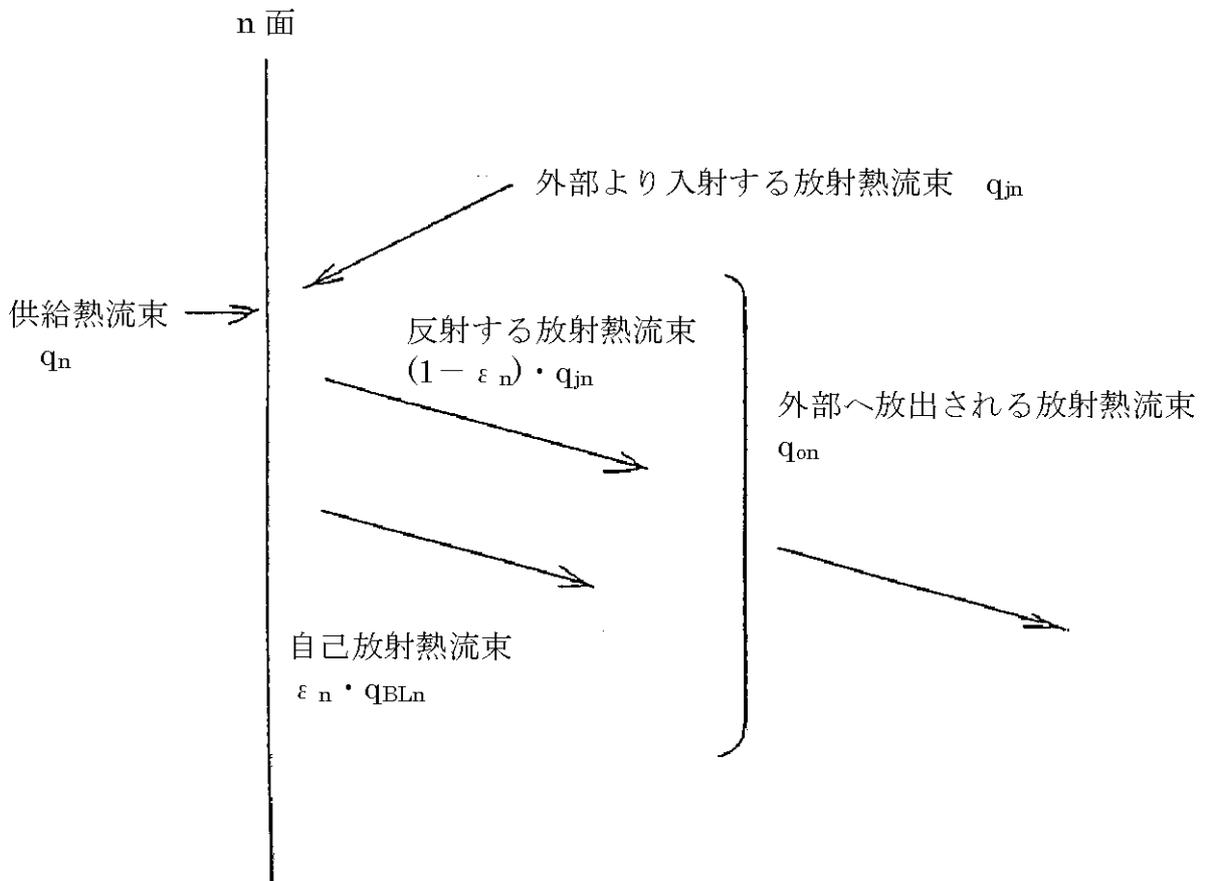
T_n : n 面の温度

δ : ステファーン-ボルツマン定数

である。



第30図 フィン形状



第31図 n面での放射

b. 形態係数に関する式

M 個の面より成る閉空間においては、

$$\left\{ \begin{array}{l} A_n \cdot F_{nk} = A_k \cdot F_{kn} \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_n F_{kn} = 1.0 \end{array} \right. \quad (5)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, M$$

が成立する。

ここで、 A_n : n 面の面積

F_{kn} : k 面より n 面への形態係数

第 30 図に示すような形状の形態係数として、Handbook of Heat Transfer²⁰⁾ に次式が示されている。

$$F_{12} = \frac{1}{X} - \frac{1}{\pi X} \left[\cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Y} \left\{ \sqrt{(A+2)^2 - (2X)^2} \cos^{-1} \left[\frac{B}{XA} \right] + B \sin^{-1} \left[\frac{1}{X} \right] - \frac{\pi A}{2} \right\} \right]$$

$$F_{11} = 1 - \frac{1}{X} + \frac{2}{\pi X} \tan^{-1} \left[\frac{2\sqrt{X^2-1}}{Y} \right] \quad (6)$$

$$- \frac{Y}{2\pi X} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} \sin^{-1} \left\{ \frac{4(X^2-1) + (Y^2/X^2)(X^2-2)}{Y^2+4(X^2-1)} \right\} \right. \\ \left. - \sin^{-1} \left[\frac{X^2-2}{X^2} \right] + \frac{\pi}{2} \left[\frac{\sqrt{4X^2+Y^2}}{Y} - 1 \right] \right] \quad (7)$$

$$F_{13} = 1 - F_{12} - F_{11} \quad (8)$$

ここで、 $X = b/a$

$Y = c/a$

$A = X^2 + Y^2 - 1$

$B = Y^2 - X^2 + 1$

c. 閉空間の灰色面間の熱伝達

k 面より n 面に入る放射熱流束を q_{ikn} とすれば、

$$A_n \cdot q_{ikn} = A_k \cdot q_{ok} \cdot F_{kn} \quad (9)$$

が成り立ち、各面から n 面に入る総熱量は、

$$A_n \cdot q_{jn} = \sum_k A_n \cdot q_{ikn} = \sum_k A_k \cdot q_{ok} \cdot F_{kn} \quad (10)$$

となり(4)式より、

$$A_n \cdot q_{jn} = A_n \cdot \sum_k q_{ok} \cdot F_{nk} \quad (11)$$

また(1)式より、

$$\begin{aligned} q_n &= q_{on} - q_{jn} \\ &= q_{on} - \sum_k q_{ok} \cdot F_{nk} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

(3)式と(12)式を3面よりなる閉空間の場合に適用すると、

$$\begin{aligned} &\{-(1-F_{11}) \cdot (1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1 - 1\} \cdot q_1 + \{F_{12} \cdot (1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2\} \cdot q_2 \\ &+ \{F_{13} \cdot (1-\varepsilon_3)/\varepsilon_3\} \cdot q_3 \\ &= -(1-F_{11}) \cdot q_{BL1} + F_{12} \cdot q_{BL2} + F_{13} \cdot q_{BL3} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} &\{F_{21} \cdot (1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1\} \cdot q_1 + \{-(1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2 - 1\} \cdot q_2 \\ &+ \{F_{23} \cdot (1-\varepsilon_3)/\varepsilon_3\} \cdot q_3 \\ &= F_{21} \cdot q_{BL1} - q_{BL2} + F_{23} \cdot q_{BL3} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &\{F_{31} \cdot (1-\varepsilon_1)/\varepsilon_1\} \cdot q_1 + \{F_{32} \cdot (1-\varepsilon_2)/\varepsilon_2\} \cdot q_2 \\ &+ \{-(1-F_{33}) \cdot (1-\varepsilon_3)/\varepsilon_3 - 1\} \cdot q_3 \\ &= F_{31} \cdot q_{BL1} + F_{32} \cdot q_{BL2} - (1-F_{33}) \cdot q_{BL3} \end{aligned} \quad (15)$$

となる。但し、本体外筒表面は凸面であるので、

$$F_{22} = 0$$

である。また(13)~(15)式から q_2 , q_3 を求めると、

$$q_2 = f_2 \cdot (q_{BL1} - q_{BL2}) + g_2 \cdot (q_{BL3} - q_{BL2}) \quad (16)$$

$$q_3 = f_3 \cdot (q_{BL1} - q_{BL3}) + g_3 \cdot (q_{BL3} - q_{BL2}) \quad (17)$$

の形となる。ここで、

$$\begin{aligned} f_2 &= 1/D \{-(c_2 a_3 - a_2 c_3)(1-F_{11}) + (a_1 c_3 - c_1 a_3)F_{21} \\ &+ (c_1 a_2 - a_1 c_2)F_{31}\} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} g_2 &= 1/D \{(c_2 a_3 - a_2 c_3)F_{13} + (a_1 c_3 - c_1 a_3)F_{23} \\ &- (c_1 a_2 - a_1 c_2)(1-F_{33})\} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} f_3 &= 1/D \{-(a_2 b_3 - b_2 a_3)(1-F_{11}) + (b_1 a_3 - b_3 a_1)F_{21} \\ &+ (a_1 b_2 - b_1 a_2)F_{31}\} \end{aligned} \quad (20)$$

$$g_3 = 1/D \{ -(a_2b_3 - b_2a_3)F_{12} + (b_1a_3 - b_3a_1) - (a_1b_2 - b_1a_2)F_{32} \} \quad (21)$$

$$a_1 = -(1 - F_{11})(1 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1 - 1$$

$$b_1 = F_{12}(1 - \varepsilon_2) / \varepsilon_2$$

$$c_1 = F_{13}(1 - \varepsilon_3) / \varepsilon_3$$

$$a_2 = F_{21}(1 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1$$

$$b_2 = -(1 - \varepsilon_2) / \varepsilon_2 - 1$$

$$c_2 = F_{23}(1 - \varepsilon_3) / \varepsilon_3$$

$$a_3 = F_{31}(1 - \varepsilon_1) / \varepsilon_1$$

$$b_3 = F_{32}(1 - \varepsilon_2) / \varepsilon_2$$

$$c_3 = -(1 - F_{33})(1 - \varepsilon_3) / \varepsilon_3 - 1$$

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$$

また、ステンファン-ボルツマンの法則より、

$$q_{BLn} = \delta \cdot T_n^4 \quad (22)$$

となるので、(16)、(17)式より、

$$q_2 = \delta \cdot \{ f_2(T_1^4 - T_2^4) + g_2(T_3^4 - T_2^4) \} \quad (23)$$

$$q_3 = \delta \cdot \{ f_3(T_1^4 - T_3^4) + g_3(T_3^4 - T_2^4) \} \quad (24)$$

となる。

一般の試験条件では T_2 と T_3 はほぼ等しいと考えられるので外筒表面及びフィン側面での修正放射係数 σ' はそれぞれ次のとおりとする。

$$\text{本体外筒表面} : \sigma_2' = \delta \cdot f_2$$

$$\text{フィン側面} : \sigma_3' = \delta \cdot f_3$$

したがって、一般の試験条件において外筒表面、フィン側面での修正放射係数 σ' は次のようになる。

$$F_{11}=4.841 \times 10^{-3}, F_{12}=0.1067, F_{13}=0.8884$$

$$\varepsilon_1=1.0, \varepsilon_2=\varepsilon_3=0.15 \text{ より、}$$

$$f_2=-6.988 \times 10^{-2}$$

$$f_3=-6.906 \times 10^{-2}$$

$$\begin{aligned} \text{外筒表面} : \sigma_2' &= 6.988 \times 10^{-2} \times 5.670 \times 10^{-8} \\ &= 3.962 \times 10^{-9} \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{フィン側面} : \sigma_3' &= 6.906 \times 10^{-2} \times 5.670 \times 10^{-8} \\ &= 3.916 \times 10^{-9} \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4) \end{aligned}$$

一方、特別の試験条件では T_2 と T_3 が等しいとは考えられないので、外筒表面とフィン間に(23)、(24)式の放射熱伝達を考慮して解析を行った。

d. 太陽放射熱量

外筒表面及びフィン側面への太陽放射熱は第 30 図に示す 1 面を通過する熱量を(6)及び(8)式に示される形態係数を用いて次のように振り分られる。

$$q_{s2} = \frac{S_1}{S_2} \cdot F_{12} \cdot Q_s \cdot \varepsilon_2$$

$$q_{s3} = \frac{S_1}{S_3} \cdot F_{13} \cdot Q_s \cdot \varepsilon_3$$

但し、 q_{s2} 、 q_{s3} : 2,3 面への太陽放射熱量
 S_1 、 S_2 、 S_3 : 1,2,3 面の表面積
 Q_s : その他の表面（曲面）への放射熱量
 ε_2 、 ε_3 : 2,3 面の吸収率

$$\begin{aligned} \text{ここで、} S_1 &= 2\pi \times 1249 \times 38 = 2.982 \times 10^5 \text{mm}^2 \\ S_2 &= 2\pi \times 1089 \times 38 = 2.600 \times 10^5 \text{mm}^2 \\ S_3 &= \pi \times (1249^2 - 1089^2) \times 2 = 2.350 \times 10^6 \text{mm}^2 \\ Q_s &= 400 \text{W/m}^2 \end{aligned}$$

したがって、一般の試験条件において太陽放射熱量は次のようになる。

$$\begin{aligned} \varepsilon_2 &= \varepsilon_3 = 0.15 \\ F_{12} &= 0.1067 \\ F_{13} &= 0.8884 \\ q_{s2} &= 7.343 \text{W/m}^2 \\ q_{s3} &= 6.764 \text{W/m}^2 \end{aligned}$$

特別の試験条件における太陽放射熱量は、 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0.8$ として同様に求められる。

4.4.2 全体モデルに用いた熱伝達率及び熱放射係数

(1) 燃料－バスケット均質部と内筒内面間の熱伝達率

燃料－バスケット均質部と内筒内面間の熱伝達率は、次の水平同心円筒間の熱伝達式⁷⁾を用いる。

$$h = 0.20 \frac{\lambda}{D} \left\{ \frac{\sqrt{r_2/r_1} \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2/r_1) - 1} \right\}^{3/4} \left(\frac{g \beta D^3}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/4}$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

D : 水層厚さ(m)

r_1 : 燃料－バスケット均質部半径(m)

r_2 : 内筒内半径(m)

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

Δt : 温度差(K)

上式より求めた熱伝達率を第 59 表に示す。全体モデルでは、気相部及び内筒内水領域の両方をモデル化できないので(3)項に示す補正を行う。

第 59 表 燃料－バスケット均質部と内筒内面間の熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率 (W/(m ² ·K))
0	47.1 $\Delta t^{0.25}$
20	72.3 $\Delta t^{0.25}$
100	148 $\Delta t^{0.25}$
200	211 $\Delta t^{0.25}$
300	222 $\Delta t^{0.25}$

(2) 燃料ーバスケット均質部とふた、底板及びふた膨張室内の熱伝達率

燃料ーバスケット均質部とふた、底板及びふた膨張室内の熱伝達率は、次の Emery-Chu の式⁷⁾を用いる。

$$h = 0.28 \lambda \left(\frac{g \beta}{\nu^2} \cdot Pr \cdot \Delta t \right)^{1/4} L^{-1/4}$$

但し、 h : 熱伝達率(W/(m²·K))

λ : 熱伝導率(W/(m·K))

g : 重力加速度(9.8m/s²)

β : 体積膨張係数(K⁻¹)

ν : 動粘性係数(m²/s)

Pr : プラントル数(-)

Δt : 温度差(K)

L : 水層長さ(m)

上式より求めた熱伝達率を第 60 表に示す。全体モデルでは気相部及び内筒内水領域の両方をモデル化できないので、(3)項に示す補正を行う。

第 60 表 燃料ーバスケット均質部とふた、底板及びふた膨張室内の熱伝達率

温度(°C)	熱伝達率(W/(m ² ·K))	
	ふた及び底板	ふた膨張室内
0	32.6 $\Delta t^{0.25}$	60.9 $\Delta t^{0.25}$
20	50.1 $\Delta t^{0.25}$	93.6 $\Delta t^{0.25}$
100	102 $\Delta t^{0.25}$	191 $\Delta t^{0.25}$
200	146 $\Delta t^{0.25}$	273 $\Delta t^{0.25}$
300	154 $\Delta t^{0.25}$	287 $\Delta t^{0.25}$

(3) 全体モデルにおける気相部の考慮

全体モデルでは運搬用容器を軸対称として扱っているため、内筒内水領域と気相部の両方をモデル化することはできない。そこで伝熱性能を輪切り半ピッチモデルと等価とするため、熱伝達率、熱容量をそれぞれ以下のとおり補正した。第 32 図に参考図を示す。

a. 側 部

(a) 熱伝達率

側部の周方向の温度分布は輪切り半ピッチモデルで計算され、気相部、内筒内水対流及び伝導部のそれぞれの熱伝達性能が求まっている。そこで全体モデルにおいて気相部と内筒内水領域の両方の伝熱性能を考慮するため輪切り半ピッチモデルの結果を用いて全体モデルの内筒内水対流熱伝達率を以下のように補正する。

$$h' = \eta h$$
$$\eta = \frac{(S_v h_v + S_{w1} h_{w1} + S_{w2} h_{w2})}{h_{w1} (S_v + S_{w1} + S_{w2})}$$

ここで、 h' : 補正された内筒内面の熱伝達率

η : 補正係数

h : 第 59 表に示される熱伝達率

h_{w1} : 輪切り半ピッチモデルでの内筒内水対流領域の熱伝達率

h_{w2} : 輪切り半ピッチモデルでの内筒内水下部（伝導）領域の熱伝達率

h_v : 気相部の凝縮熱伝達率

S_{w1} : 内筒内水対流領域の熱伝達面積

S_{w2} : 内筒内水伝導領域の熱伝達面積

S_v : 気相部の熱伝達面積

(b) 熱容量

気相部の熱容量を無視して熱容量の補正は以下に示すような方法で行った。

$$C' = C_w \times V_w / (V_w + V_v)$$

ここで、 C' : 補正された内筒内水の熱容量

C_w : 内筒内水の熱容量

V_v : 気相部の体積

V_w : 内筒内水の体積

b. ふた、底板及びふた膨張室

(a) 熱伝達率

気相部の凝縮熱伝達を考慮して以下のように熱伝達率を補正した。

$$h' = \frac{S_v h_v + S_w h_w}{S_v + S_w}$$

ここで、 h' : 補正された熱伝達率

h_v : 気相部の凝縮熱伝達率

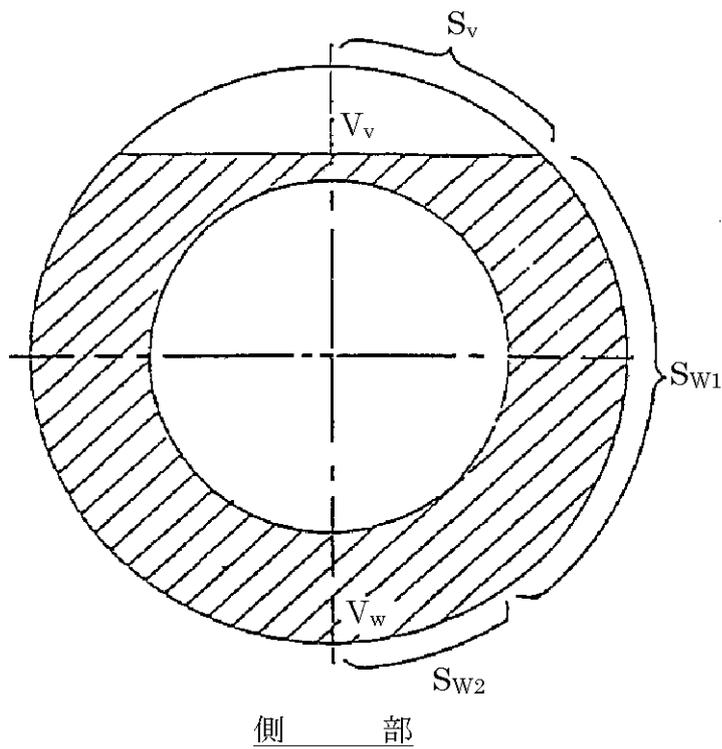
h_w : 第 60 表に示される熱伝達率

S_v : 気相部の熱伝達面積

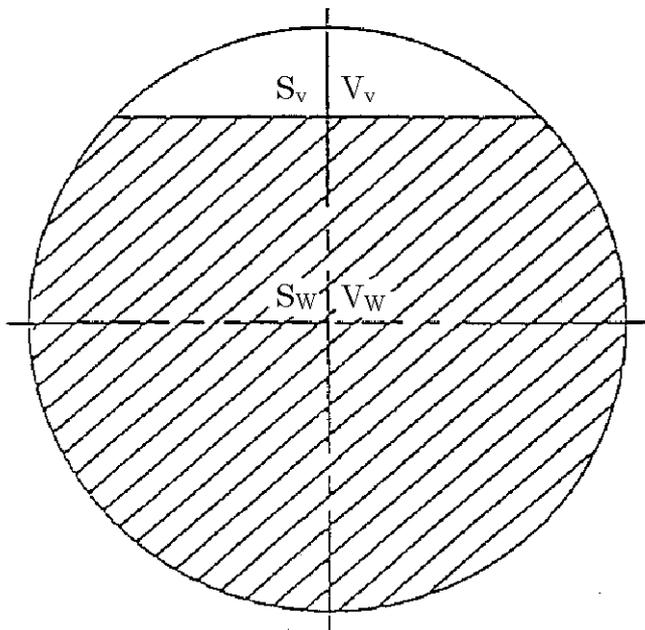
S_w : 内筒内水領域の熱伝達面積

(b) 熱容量

a. (b)項と同じ方法で補正を行った。



- S_v : 気相部の熱伝達面積
- S_{w1} : 内筒内水対流領域の熱伝達面積
- S_{w2} : 内筒内水下部（伝導）領域の熱伝達面積
- V_v : 気相部の体積
- V_w : 内筒内水の体積



- S_v : 気相部の熱伝達面積
- S_w : 内筒内領域の熱伝達面積
- V_v : 気相部の体積
- V_w : 内筒内水の体積

ふた、底板部及びふた膨張室内

第 32 図 容器内熱伝達率の補正

(4) 全体モデルにおけるフィンの取り扱い

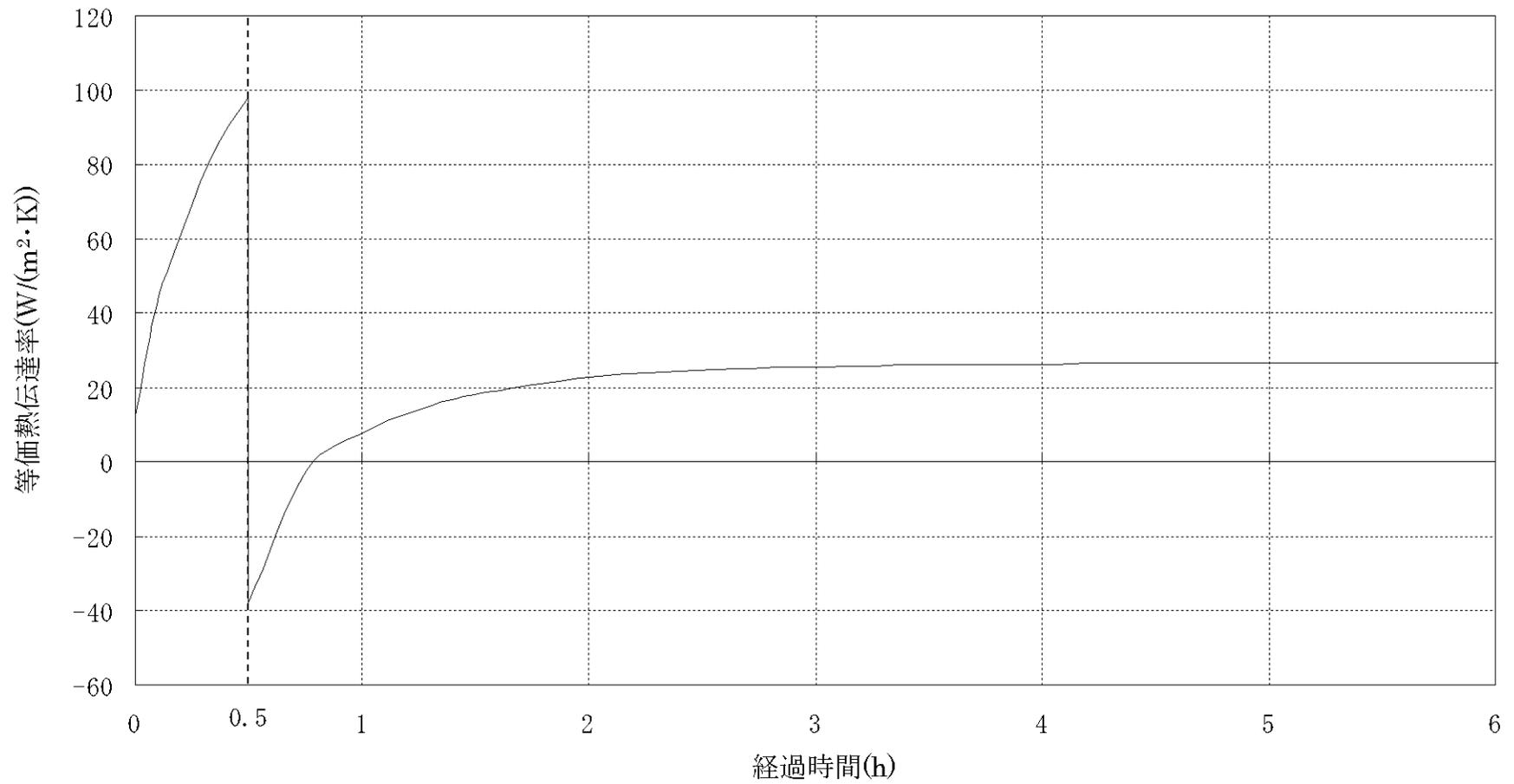
全体モデルにおいて、フィンがモデルに含まれていないので、フィンが付く外筒表面での熱伝達は次のように補正している。

輪切り半ピッチモデルの解析結果より、フィン部を考慮した外筒表面での等価熱伝達率を求め、通常運搬時、一般の試験条件及び火災前、火災後の放熱時に対しては安全側に上半分(270° - 0° - 90°)の低い等価熱伝達率を、また、火災時は全周入熱を考慮するため全周の等価熱伝達率を与えた。

求めた通常運搬時及び一般の試験条件の等価熱伝達率を第 61 表に示す。また、特別の試験条件の等価熱伝達率を第 33 図に示す。

第 61 表 全体モデルにおけるフィン部を考慮した外筒表面の熱伝達率

評価条件	等価熱伝達率 (W/(m ² ·K))
通常運搬時	24.5
一般の試験条件	24.9



第 33 図 特別の試験条件下の外筒外表面の等価熱伝達率

(5) フィン部を除く容器外表面と周囲の熱伝達率

a. 円筒表面

運搬用容器本体のフィン部を除く円筒表面及び緩衝体円筒表面の自然対流熱伝達率は、4.4.1(4)項の第 57 表に示す値に、フィン部と同様に火災時を除き、第 29 図の分布の上半分($270^{\circ} - 0^{\circ} - 90^{\circ}$)の平均比率を乗じた値を与えた。

b. 垂直面

緩衝体垂直面の熱伝達率は 4.4.1(5)項の第 58 表に示す値を用いた。

- (6) フィン部を除く容器表面と周囲の放射係数と太陽放射熱
容器表面と周囲の放射係数 F_{ε} は次の式により求める。

$$F_{\varepsilon} = \frac{1}{(1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2) - 1}$$

但し、 ε_1 : 容器表面の放射率/吸収率

ε_2 : 周囲放射率/吸収率

一般の試験条件では、

$$\varepsilon_1 = 0.15 \quad (\text{第 36 表参照})$$

$$\varepsilon_2 = 1.0 \quad (\text{第 36 表参照})$$

$$F_{\varepsilon} = \frac{1}{(1/0.15) + (1/1.0) - 1}$$

$$= 0.15$$

火災中に対しては、

$$\varepsilon_1 = 0.8 \quad (\text{第 41 表参照})$$

$$\varepsilon_2 = 0.9 \quad (\text{第 41 表参照})$$

$$F_{\varepsilon} = \frac{1}{(1/0.8) + (1/0.9) - 1}$$

$$= 0.74$$

火災後に対しては、

$$\varepsilon_1 = 0.15 \quad (\text{第 41 表参照})$$

$$\varepsilon_2 = 1.0 \quad (\text{第 41 表参照})$$

$$F_{\varepsilon} = \frac{1}{(1/0.15) + (1/1.0) - 1}$$

$$= 0.15$$

次に、太陽放射熱 q_s は第 37 表に示されるデータより、緩衝体垂直平面に対して容器表面の吸収率を考慮すると次のように与えられる。

$$q_{s1} = \varepsilon_1 \cdot Q_{s1}$$

但し、 ε_1 : 容器表面の吸収率

Q_{s1} : 垂直に運搬される表面に対する太陽放射熱

一般の試験条件では、

$$\varepsilon_1 = 0.15$$

$$Q_{s1} = 200 \text{ W/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_{s1} &= 0.15 \times 200 \\ &= 30 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

火災中に対しては、

$$\varepsilon_1 = 0.8$$

$$\begin{aligned} q_{s1} &= 0.8 \times 200 \\ &= 160 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

火災後に対しては、

$$\varepsilon_1 = 0.15$$

$$\begin{aligned} q_{s1} &= 0.15 \times 200 \\ &= 30 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

容器上下部レジンカバー表面に対しては、解析モデル化の関係上、円筒形状に近似する。容器表面の吸収率を考慮すると太陽放射熱 q_s は次のように与えられる。

$$q_{s2} = \varepsilon_1 \cdot Q_{s2}$$

但し、 ε_1 : 容器表面の吸収率

Q_{s2} : その他の表面（曲面）に対する太陽放射熱

一般の試験条件では、

$$\begin{aligned} q_{s2} &= 0.15 \times 400 \\ &= 60 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

火災中に対しては、

$$\begin{aligned} q_{s2} &= 0.8 \times 400 \\ &= 320 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

火災後に対しては、

$$\begin{aligned} q_{s2} &= 0.15 \times 400 \\ &= 60 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

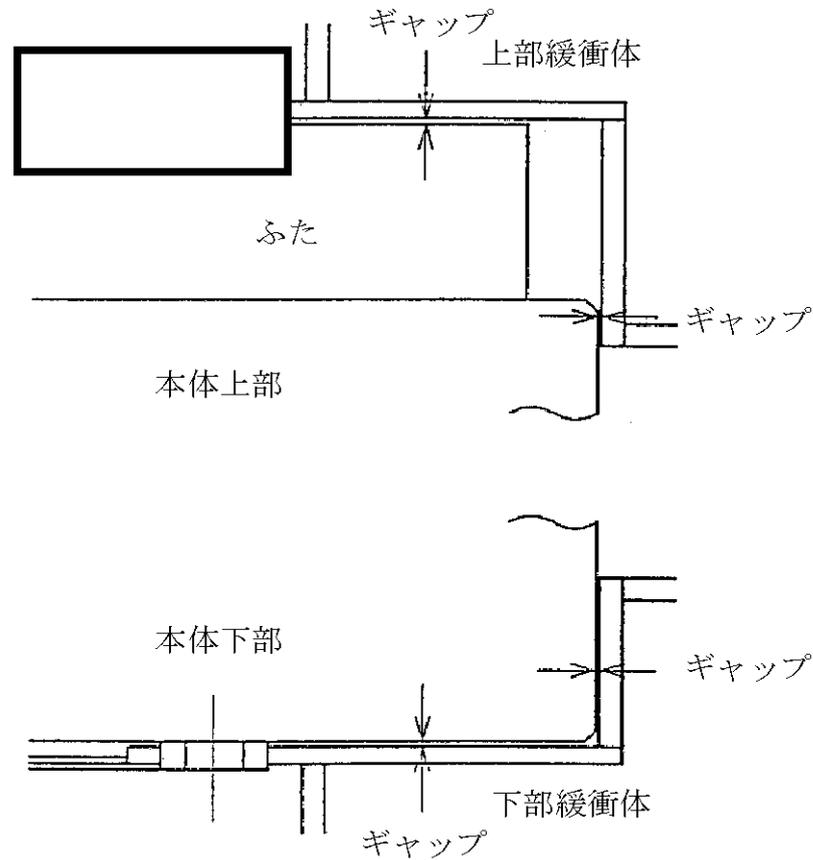
(7) 緩衝体と運搬用容器本体との間の熱伝達

第 34 図に示すように、緩衝体と本体との間には取り合いの関係上ギャップがあり、この間の熱伝達は空気の熱伝導と熱放射によるとした。

放射係数 F_ε は、

$$\begin{aligned} F_\varepsilon &= \frac{1}{1/\varepsilon_{s_{us}} + 1/\varepsilon_{s_{us}} - 1} \\ &= \frac{1}{1/0.15 + 1/0.15 - 1} \\ &= 0.0811 \end{aligned}$$

を与える。



第 34 図 緩衝体と容器本体のギャップ

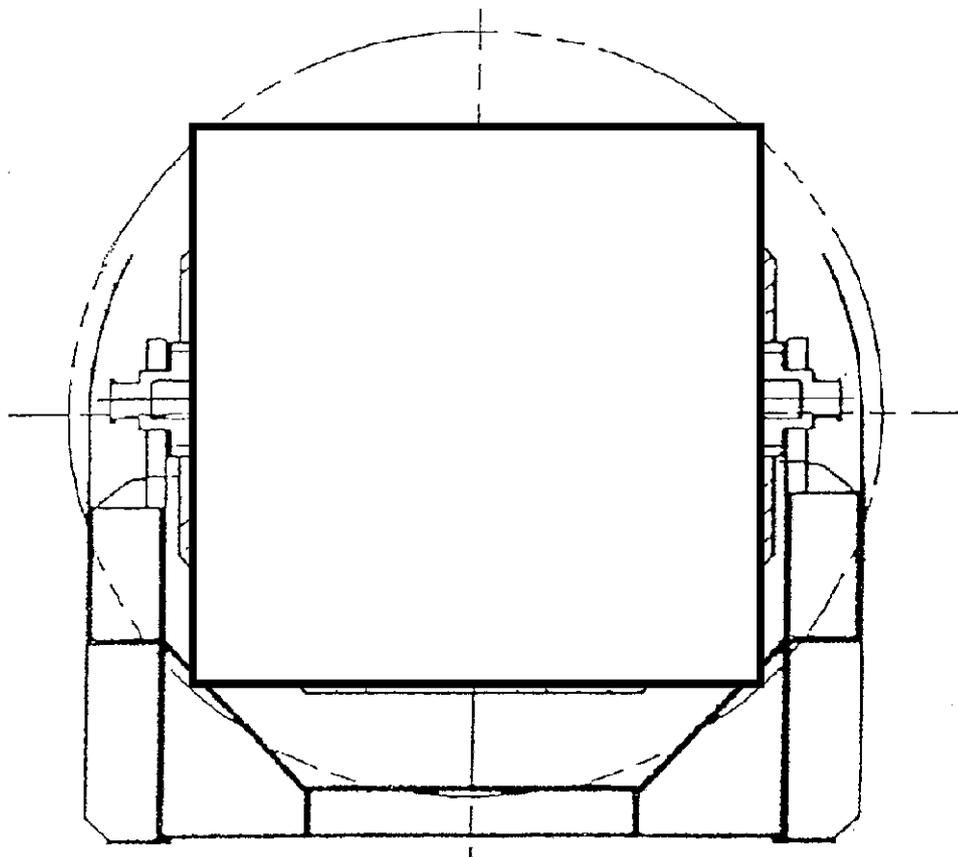
4.5 収納物の崩壊熱量

収納する全ての燃料集合体の崩壊熱量を合算して 54kW 以下とし、収納配置を第 35 図に示すような配置とする。

また、本輸送物の内筒内水が -20°C の周囲温度において凍結しないためには、収納物の崩壊熱量が 6.5kW 以上でなければならないことを 3.4.3 項に示したが、実際の運搬においては余裕を考慮し、安全側に 7.5kW とする。

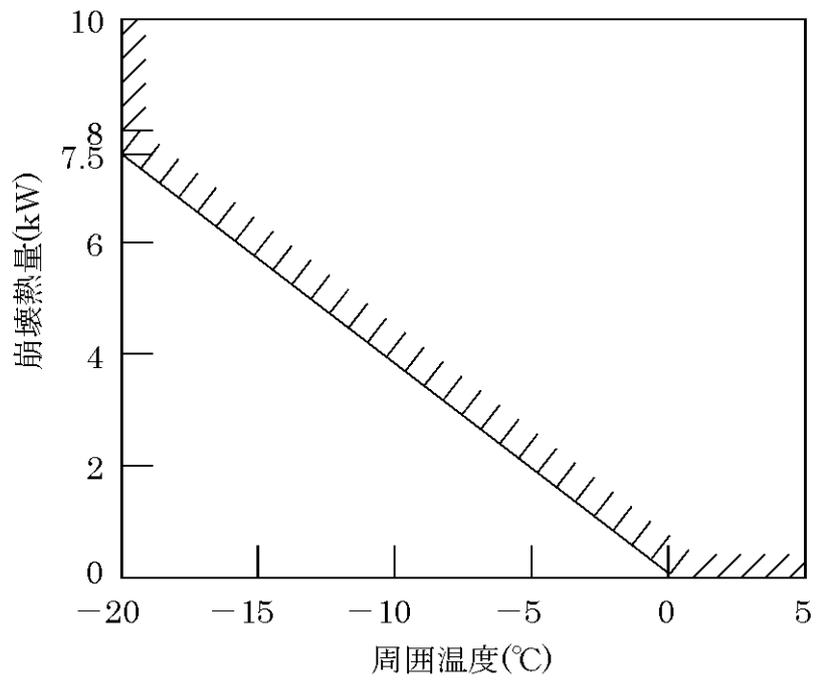
周囲温度が -20°C より高い場合、内筒内水が凍結しないための最低崩壊熱量は、第 36 図に斜線で示すとおりである。

運搬にあたっては、その期間及び経路における最低温度を調査し、崩壊熱量と照らし合わせ内筒内水が凍結しないことを確認する。また、確認は十分余裕をもって行う。



- Ⓐ：崩壊熱量の大きい方から 1～4 体目を収納する
- Ⓑ：崩壊熱量の大きい方から 5～7 体目を収納する
- Ⓒ：崩壊熱量の大きい方から 8～14 体目を収納する

第 35 図 収納物の崩壊熱配置



第 36 図 周囲温度と最低崩壊熱量

4.6 参考文献

- 1) A.G.Croff, "ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code", ORNL-5621, July 1980
- 2) "DOT3.5 - Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", CCC-276, Sep. 1976 and W. A. Rhoades, "The DOT III Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code", ORNL-TM-4280, Sep.1973
- 3) BNL, "Neutron Cross Sections", BNL-325 3rd Edition, 1973
- 4) ORNL-RSIC, "CASK-40 Group Coupled Neutrons and Gamma-ray Cross-section Data", DLC-23, Sep.1973
- 5) ICRP, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection Against External Radiation", Publication 74, Sep.1995
- 6) "ABAQUS THEORY MANUAL", Hibbitt, karlsson & Sorensen, Inc.
- 7) "伝熱工学資料 (改訂第4版又は改訂第3版)", 日本機械学会(1986, 1975)
- 8) Hargmen, D.L., Reymann, G.A., "MATPRO-VERSION 11 (Revision 2) A Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behavior", NUREG/CR-0497, TREE-1280, Rev.2 EG & G Idaho Inc., 1981
- 9) "原子炉材料ハンドブック", 日刊工業新聞社(1977)
- 10) "JIS ハンドブック「非鉄」", (財) 日本規格協会(1996)
- 11) "NS-4 FR FIRE RESISTANT NEUTRON SHIELDING MATERIAL", Bisco Product Inc., June 23, 1986
- 12) "中性子遮蔽材の物性値", 三菱重工業(株)社内資料
- 13) "木材工業ハンドブック", 木材工業ハンドブック編集委員会(1982)
- 14) "複合材料技術集成", 産業技術センター, 1976
- 15) 原燃輸送株式会社社内データ
- 16) Wooton, R.O. and Epstein, H.M., "Heat Transfer from a Parallel Rod Fuel Element in a Shipping Container" (August.1963)
- 17) McAdams, W.H., "Heat Transmission", Third Edition McGraw Hill.
- 18) 昭和42年度原子力平和利用委託研究 "使用済燃料輸送容器の熱除去に関する試験研究" 研究成果報告書, 日本機械学会
- 19) Jakob, M., "Heat Transfer", Volume I. John Wiley & Sons, Inc., New York(1962)
- 20) W.M. Rohsenow & J.P. Hartnett, "Handbook of Heat Transfer", McGRAW-HILL BOOK CO.

計算機プログラム（解析コード）の概要

目 次

	頁
1. はじめに	6 (4)・別紙・1
2. 解析コードの概要	6 (4)・別紙・2
2.1 ORIGEN2	6 (4)・別紙・2
2.2 DOT3.5	6 (4)・別紙・3
2.3 ABAQUS	6 (4)・別紙・4

1. はじめに

本説明書は、「使用済燃料運搬用容器の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」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 ORIGEN2

項目 \ コード名	ORIGEN2
開発機関	ORNL(Oak Ridge National Laboratory)
開発時期	1980 年
使用したバージョン	ORIGEN2.1(AUG 1, 1991)
使用目的	使用済燃料の放射線源強度及び崩壊熱の計算
コード概要	<p>ORIGEN2 コードは、米国のオークリッジ国立研究所(ORNL)で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードであり、燃料中等に生成される同位元素と放射能の量を求めるために、炉型式ごとに標準的なデータが整備されている。</p> <p>本コードは約 1300 核種におよぶ同位元素のデータライブラリーを持っており、これを用いて ^{235}U 燃料だけでなく ^{239}Pu、^{233}U 燃料等を扱うことができる。また、本ライブラリー中には核分裂生成物からのガンマ線放出率及び超ウラン元素からの中性子放出率のデータが含まれているので、本コードを使用済燃料中の放射線源強度及び崩壊熱の計算に用いている。</p>
検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)	<p>米国原子力学会(ANS)の Nuclear Technology vol.62(1983 年 9 月)の「ORIGEN2 : A VERSATILE COMPUTER CODE FOR CALCULATING THE NUCLIDE COMPOSITIONS AND CHARACTERISTICS OF NUCLEAR MATERIALS」において、ORIGEN2 コードの崩壊熱計算結果を ANS 標準崩壊熱の値と比較し、ORIGEN2 コードの妥当性を検証していることを確認している。</p>

2.2 DOT3.5

項目	コード名 DOT3.5
開発機関	ORNL(Oak Ridge National Laboratory)
開発時期	1976 年
使用したバージョン	DOT3.5
使用目的	使用済燃料運搬用容器の遮蔽解析
コード概要	<p>DOT3.5 は、Oak Ridge National Laboratory で開発された二次元輸送 Sn コードである。現在本コードは、臨界解析及び遮蔽解析などの分野で広く用いられている。解法は角度方向を有限個の代表角で表示する Sn 法である。</p> <p>DOT3.5 は DOTIII を改良したものであり、両者に本質的な差異はない。本運搬用容器の遮蔽解析では、ガンマ線及び中性子の線量当量率を計算するために用いている。</p> <p>散乱の角度依存性については、ルジャンドル球関数の多項式近似を用いて表すことができる (P_l 近似)。エネルギー群については、用いる核定数の群数に合わせてとることができる。また中性子及びガンマ線の方法の分割についても任意の分割を選ぶことができる。本解析では、P_3S_8 近似を用いている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>DOT3.5 コードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、輸送キャスクの遮蔽解析の豊富な実績がある。</p> <p>DOT3.5 コードで解析した使用済燃料輸送キャスクの解析事例と測定値を比較することで、DOT3.5 コードの妥当性を検証していることを確認している。</p>

2.3 ABAQUS

項目	コード名	ABAQUS
開発機関		HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen, INC.)
開発時期		1978 年
使用したバージョン		Version6.8.4
使用目的		使用済燃料運搬用容器の伝熱解析
コードの概要		このコードは、構造解析の分野における線形及び非線形問題を解析するために開発された汎用有限要素プログラムであり、静的応力解析、動的解析及び伝熱解析など幅広い解析が可能である。伝熱解析では定常、非定常のいずれの解も得ることができ、1～3次元の任意形状の構造に対して解くことが可能である。伝熱形態として熱伝導、対流及びふく射を考慮できる。
検証(Verification)及び 妥当性確認(Validation)		ABAQUS コードは多くの伝熱解析に使用された実績がある。また、伝熱工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伝熱解析を行い、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。

設計及び工事に係る品質マネジメントシステム
に関する説明書

設計及び工事計画認可申請添付資料 7

玄海原子力発電所第 4 号機

設計及び工事に係る品質マネジメントシステム

設計及び工事計画認可申請添付資料 7-1

玄海原子力発電所第4号機

目 次

	頁
1. 概 要	7 (4) ・ 1 ・ 1
2. 基本方針	7 (4) ・ 1 ・ 2
3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る 品質管理の方法等	7 (4) ・ 1 ・ 5
3.1 設計、工事及び検査に係る組織 (組織内外の部門間の相互関係及び情報伝達を含む。)	7 (4) ・ 1 ・ 5
3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査	7 (4) ・ 1 ・ 7
3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画 ..	7 (4) ・ 1 ・ 12
3.4 工事に係る品質管理の方法	7 (4) ・ 1 ・ 23
3.5 使用前事業者検査	7 (4) ・ 1 ・ 25
3.6 設工認における調達管理の方法	7 (4) ・ 1 ・ 34
3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ	7 (4) ・ 1 ・ 39
3.8 不適合管理	7 (4) ・ 1 ・ 44
4. 適合性確認対象設備の保守管理	7 (4) ・ 1 ・ 45
5. 様 式	7 (4) ・ 1 ・ 47

1. 概 要

本資料は、設計及び工事の計画（以下「設工認」という。）の「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」（以下「設工認品管計画」という。）及び原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）に基づき、設工認の技術基準規則等に対する適合性の確保に必要な設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画、並びに、工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画を記載する。

2. 基本方針

本資料では、設工認における、「設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画」及び「工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画」を、以下のとおり説明する。

(1) 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画

「設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績又は行おうとしている管理の計画」として、以下に示す2つの段階を経て実施した設計の管理の方法を「3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等」に記載する。

具体的には、組織について「3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の部門間の相互関係及び情報伝達を含む。）」に、実施する各段階について「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査」に、品質管理の方法について「3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画」に、調達管理の方法について「3.6 設工認における調達管理の方法」に、文書管理、識別管理、トレーサビリティについて「3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ」に、不適合管理の方法について「3.8 不適合管理」に記載する。

これらの方法で行った管理の具体的な実績を、様式-1「本設計及び工事の計画に係る設計の実績、工事及び検査の計画（例）」（以下「様式-1」という。）を用いて資料7-2に示す。

- a. 実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認対象設備に対する技術基準規則の条文ごとの基本設計方針の作成
- b. 「a.」で作成した条文ごとの基本設計方針を基に、実用炉規則の別表第二に示された事項に対して必要な設計を含む技術基準規則等への適合に必要な設備の設計

これらの設計に係る記載事項には、設計の要求事項として明確にしている事項及びその審査に関する事項、設計の体制として組織内外の部門間の相互関係、設計開発の各段階における審査等に関する事項並びに組織の外部の者との情報伝達に関する事項等を含めて記載する。

(2) 工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画

「工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画」として、設工認対象設備（該当する場合には、設工認申請（届出）時点で設置されている設備を含む。）の工事及び検査に係る品質管理の方法を「3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等」に記載する。

具体的には、組織について「3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の部門間の相互関係及び情報伝達を含む。）」に、実施する各段階について「3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査」に、品質管理の方法について「3.4 工事に係る品質管理の方法」及び「3.5 使用前事業者検査」に、調達管理の方法について「3.6 設工認における調達管理の方法」に、文書管理、識別管理、トレーサビリティについて「3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ」に、不適合管理の方法について「3.8 不適合管理」に記載する。

これらの工事及び検査に係る品質管理の方法、組織等についての具体的な計画を、様式-1を用いて資料7-2に示す。

工事及び検査に係る記載事項には、工事及び検査に係る要求事項として明確にする事項及びその審査に関する事項、工事及び検査の体制として組織内外の部門間の相互関係（使用前事業者検査等の独立性、資源管理及び物品の状態保持に関する事項を含む。）、工事及び検査に必要なプロセスを踏まえた全体の工程及び各段階における監視測定、妥当性確認及び検査等に関する事項（記録、識別管理、トレーサビリティ等に関する事項を含む。）並びに組織の外部の者との情報伝達に関する事項等を含めて記載する。

(3) 設工認対象設備の保守管理

適合性確認対象設備（該当する場合には、設工認申請（届出）時点で設置されている設備を含む。）は、必要な機能・性能を發揮できる状態に維持されていることが不可欠であり、その維持の管理の方法について「4. 適合性確認対象設備の保守管理」で記載する。

(4) 設工認で記載する設計、工事及び検査以外の品質保証活動

設工認に必要な設計、工事及び検査は、設工認品管計画に基づく管理の下で実施するため、(1)～(3)に関する事項以外の事項については、保安規定の品質マネジメントシステム計画（以下「品質マネジメントシステム計画」という。）に従った管理を実施する。具体的には、責任と権限（品質マネジメントシステム計画「5.5 責任、権限及び情報の伝達」）、原子力の安全の確保の重視（品質マネジメントシ

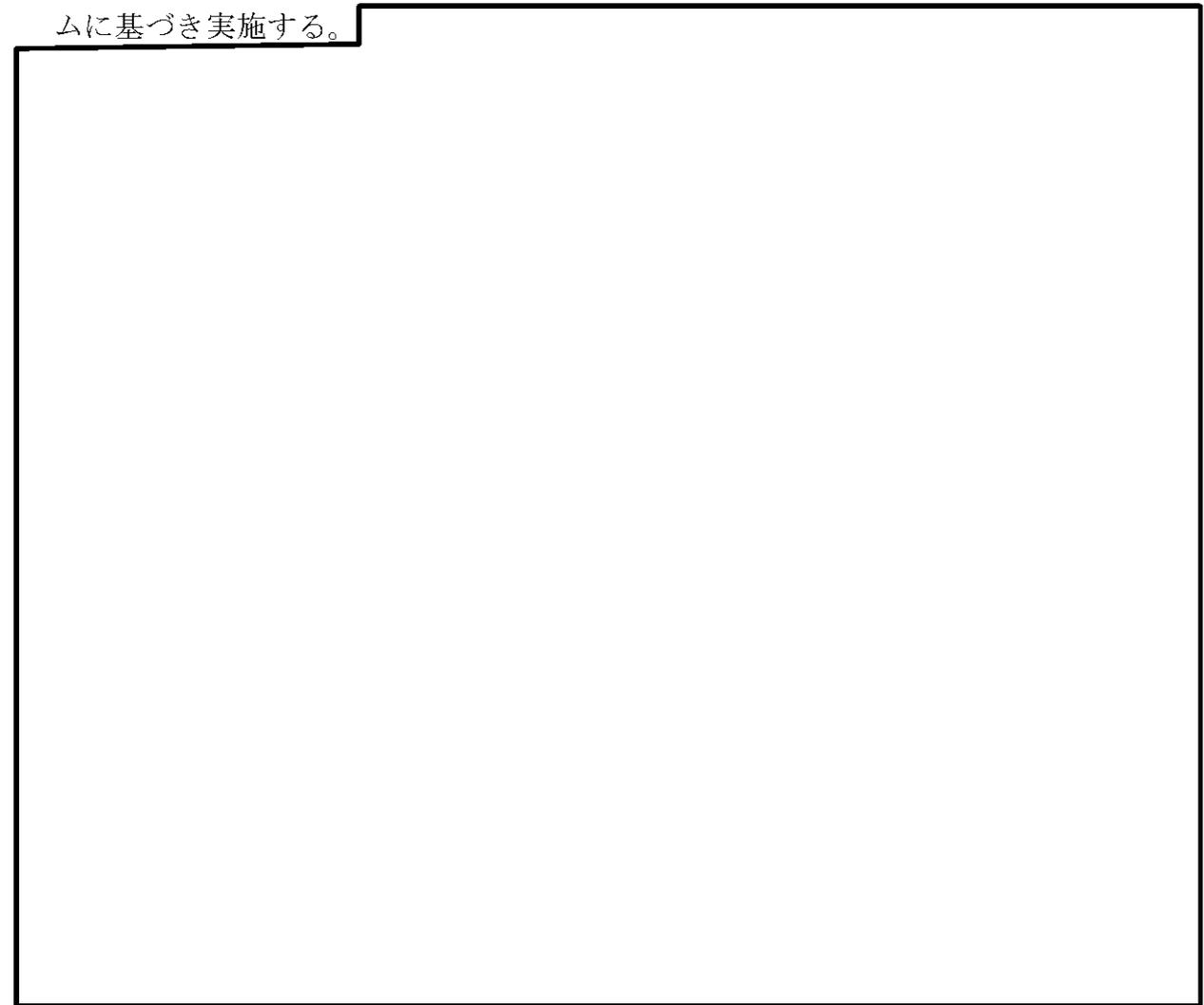
ステム計画「5.2 原子力の安全の確保の重視」)、必要な要員の力量管理を含む資源の管理(品質マネジメントシステム計画「6 資源の管理」)及び評価及び改善(品質マネジメントシステム計画「8 評価及び改善」)等の必要な管理を実施する。

また、当社の品質保証活動は、健全な安全文化を育成し維持するための活動と一体となった活動を実施している。

設工認申請(届出)時点で設置されている設備に対して適合性確認を行う場合でも、対象設備の中には、現在のような健全な安全文化を育成し維持するための活動を意識したものとなっていなかった時期に導入している設備もあるが、それらの設備についても現在の安全文化につながる様々な品質保証活動を行っている。(添付-1「建設時からの品質保証体制」 第1表参照)

3. 設計及び工事の計画における設計、工事及び検査に係る品質管理の方法等

設工認における設計、工事及び検査に係る品質管理は、品質マネジメントシステムに基づき実施する。



3.1 設計、工事及び検査に係る組織（組織内外の部門間の相互関係及び情報伝達を含む。）

設工認に基づく設計、工事及び検査は、品質マネジメントシステム計画の「5.5.1 責任及び権限」に従い、本店組織及び発電所組織に係る体制で実施する。

設計（「3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画」、工事（「3.4 工事に係る品質管理の方法」、検査（「3.5 使用前事業者検査」）並びに調達（「3.6 設工認における調達管理の方法」）の各プロセスにおける主管組織を第 3.1-1 表に示す。第 3.1-1 表に示す各主管組織の長は、担当する設備に関する設計、工事及び検査並びに調達について、責任と権限を持つ。

各主任技術者は、それぞれの職務に応じた監督を行うとともに、相互の職務について適宜情報提供を行い、意思疎通を図る。

設計から工事及び検査への設計結果の伝達、当社から供給者への情報伝達等、

組織内外の部門間や組織間の情報伝達については、設工認に従い確実に実施する。

3.1.1 設計に係る組織

設工認に基づく設計は、第 3.1-1 表に示す主管組織のうち、「3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画」に係る組織が設計を主管する組織として実施する。この設計は、設計を主管する組織を統括する部長（所長）の責任の下で実施する。

設工認に基づき実施した設計の具体的な体制については、設工認に示す設計の段階ごとに様式-1 を用いて資料 7-2 に示す。

3.1.2 工事及び検査に係る組織

設工認に基づく工事は、第 3.1-1 表に示す主管組織のうち、「3.4 工事に係る品質管理の方法」に係る組織が工事を主管する組織として実施する。

設工認に基づく検査は、第 3.1-1 表に示す主管組織のうち、「3.5 使用前事業者検査」に係る箇所が検査を主管する組織として実施する。

設工認に基づき実施した工事及び検査の具体的な体制については、設工認に示す工事及び検査の段階ごとに様式-1 を用いて資料 7-2 に示す。

第 3.1-1 表 設計及び工事の実施の体制

項番号	プロセス	主管組織
3.3	設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画	原子力技術部門 原子燃料計画グループ
3.4	工事に係る品質管理の方法	—
3.5	使用前事業者検査	原子力技術部門 原子燃料計画グループ 安全品質保証統括室
3.6	設工認における調達管理の方法	—

3.2 設工認における設計、工事及び検査の各段階とその審査

3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用

設工認における設計は、設工認対象設備（該当する場合には設工認申請（届出）時点で設置されている設備を含む。）に対し、第 3.2-1 表に示す「設工認における設計等、工事及び検査の各段階」に従って技術基準規則等の要求事項への適合性を確保するために実施する工事に係る設計である。

この設計は、設工認品管計画「3.2.1 設計及び工事のグレード分けの適用」に示すグレード（添付-2「当社におけるグレード分けの考え方」第 1 表参照）に従い、「設計・調達管理基準」に基づき管理する。

3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査

設工認として必要な設計、工事及び検査の基本的な流れを第 3.2-1 図及び第 3.2-2 図に示す。また、設工認における設計、設工認申請（届出）手続き、工事及び検査の各段階と品質マネジメントシステム計画との関係を第 3.2-1 表に示す。

品質マネジメントシステム計画「7.3.4 設計開発レビュー」に基づき設計の結果が要求事項を満たせるかどうかを評価し、問題を明確にし、必要な処置を提案する設計の各段階におけるレビューは、適切な段階において設計を主管する組織が実施するとともに、「保安活動に関する文書及び記録の管理基準」に基づき記録を管理する。設計におけるレビューの対象となる段階を第 3.2-1 表に「※」で示す。

このレビューについては、第 3.1-1 表に示す設計又は工事を主管する組織で当該設備の設計に関する力量を有する専門家を含めて実施する。

(1) 実用炉規則別表第二対象設備に対する管理

設工認のうち、実用炉規則別表第二対象設備における適合性確認に必要な作業と検査の繋がりを第 3.2-1 図に示す。

なお、実用炉規則別表第二対象設備のうち、設工認申請（届出）が不要な工事を行う場合は、設工認品管計画のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準規則に適合していることを確認する。

(2) 主要な耐圧部の溶接部に対する管理

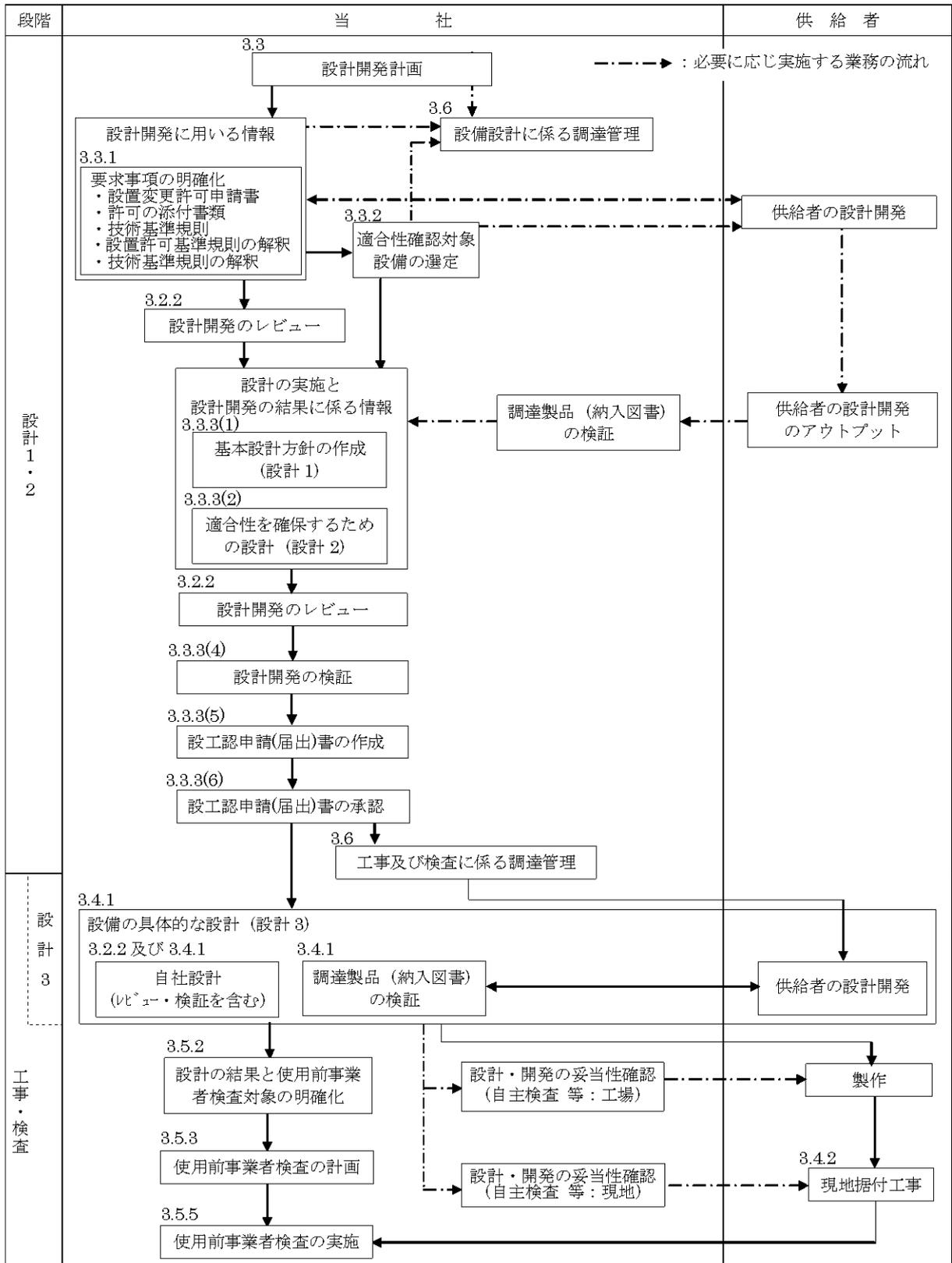
設工認のうち、主要な耐圧部の溶接部に対する必要な設計、工事及び検査

の管理は、「3.4 工事に係る品質管理の方法」、「3.5 使用前事業者検査」及び「3.6 設工認における調達管理の方法」に示す事項（第 3.2-1 表における「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」～「3.6 設工認における調達管理の方法」）のうち、必要な事項を適用して設計、工事及び検査を実施し、工事が設工認のとおりであること及び技術基準に適合していることを確認する。

第3.2-1表 設工認における設計等、工事及び検査の各段階

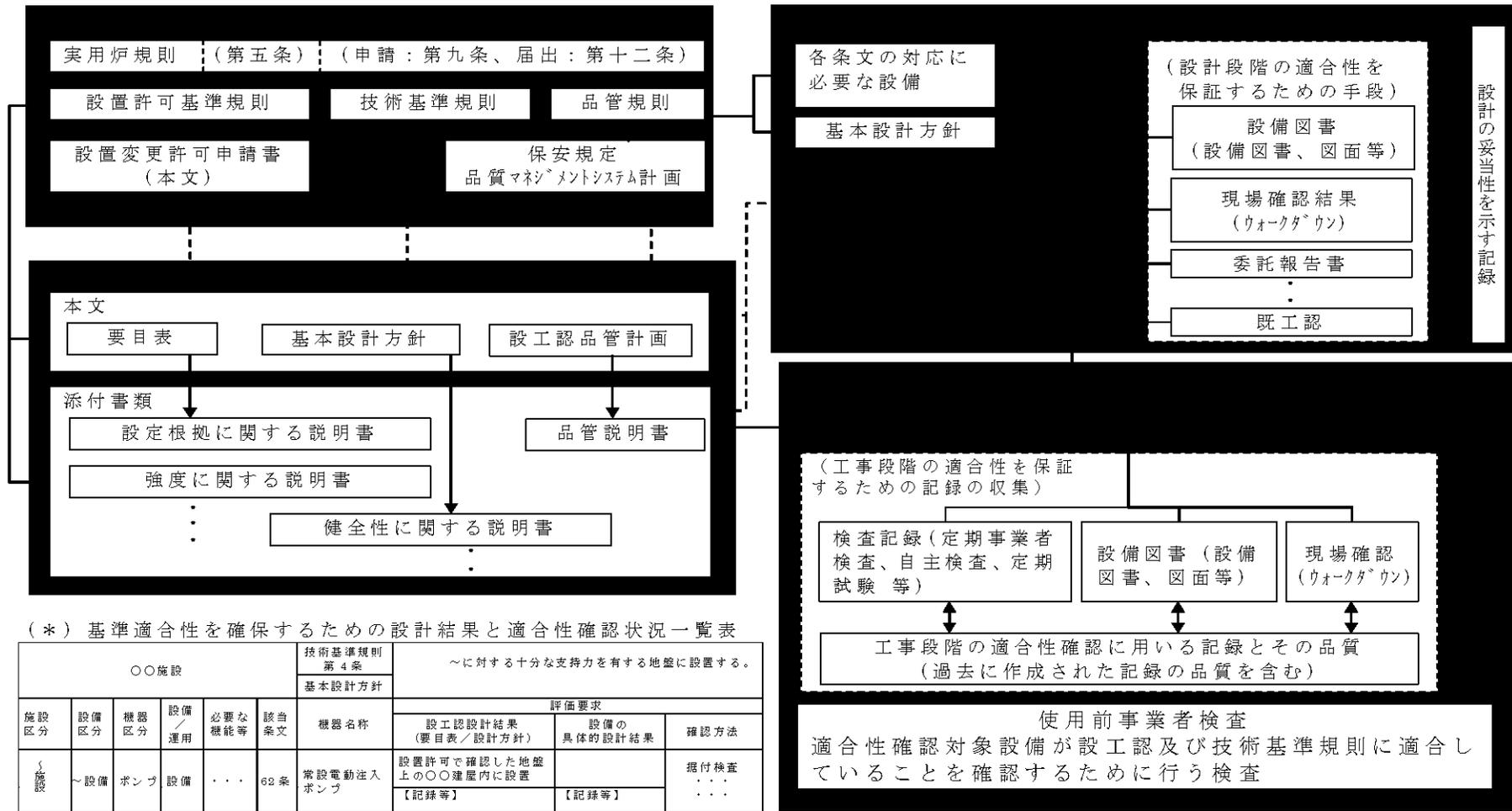
各段階		品質マネジメントシステム計画の対応項目	概要
設計	3.3	設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画	7.3.1 設計開発計画 適合性を確保するために必要な設計を実施するための計画
	3.3.1※	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	7.3.2 設計開発に用いる情報 設計に必要な新規制基準の要求事項の明確化
	3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	— 要求事項に対応するための設備・運用の抽出
	3.3.3(1)※	基本設計方針の作成(設計1)	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 要求事項を満足する基本設計方針の作成
	3.3.3(2)※	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計(設計2)	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 適合性確認対象設備に必要な設計の実施
	3.3.3(4)	設計開発の結果に係る情報に対する検証	7.3.5 設計開発の検証 基準適合性を確保するための設計の妥当性のチェック
	3.3.3(5)	設工認申請(届出)書の作成	— 実用炉規則 第九条に従った申請書又は実用炉規則 第十二条に従った届出書の作成
	3.3.3(6)	設工認申請(届出)書の承認	— 作成した設工認申請(届出)書の承認
	3.3.4※	設計における変更	7.3.7 設計開発の変更の管理 設計対象の追加や変更時の対応
工事及び検査	3.4.1※	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施(設計3)	7.3.3 設計開発の結果に係る情報 7.3.5 設計開発の検証 設工認を実現するための具体的な設計
	3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施	— 適合性確認対象設備の工事の実施
	3.5.1	使用前事業者検査の確認事項	— 使用前事業者検査における確認すべき事項の整理
	3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり	— 検査に先立ち設計の結果と使用前事業者検査の対象との繋がり
	3.5.3	使用前事業者検査の計画	— 適合性確認対象設備が、設工認への適合性を確認する計画と方法の決定
	3.5.4	検査計画の管理	— 使用前事業者検査の工程等の管理
	3.5.5	主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理	— 溶接が特殊工程であることを踏まえた使用前事業者検査の管理
	3.5.6	使用前事業者検査の実施	7.3.6 設計開発の妥当性確認 8.2.4 機器等の検査等 認可された設工認どおり、要求事項に対する適合性が確保されていることを確認
調達	3.6	設工認における調達管理の方法	7.4 調達 設工認に必要な、設計、工事及び検査に係る調達管理

※:「3.2.2 設計、工事及び検査の各段階とその審査」でいう、品質マネジメントシステム計画の「7.3.4 設計開発レビュー」対応項目



*1: バックフィットにおける「設計」は、要求事項を満足した設備とするための基本設計方針を作成(設計1)し、その結果を要求事項として、既に設置されている適合性確認対象設備の現状を念頭に置きながら各要求事項に適合させるための詳細設計(設計2)を行う行為をいう。

第 3.2-1 図 適合性を確保するために必要な当社の活動 (基本フロー)



第3.2-2 図 適合性確認に必要な作業と検査の繋がり

3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画

設計を主管する組織の長は、設工認における技術基準規則等への適合性を確保するための設計を、「設計・調達管理基準」に基づき、要求事項の明確化、適合性確認対象設備の選定、基本設計方針の作成及び適合性を確保するための設計の段階を設計開発計画に明確化し、この計画に従い実施する。

以下に設計開発計画で明確化した各段階における活動内容を示す。

3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化

設工認における設計に必要な要求事項は、以下のとおりとする。

- ・「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 5 号）」（以下「設置許可基準規則」という。）に適合しているとして許可された設置変更許可申請書
- ・技術基準規則

また、必要に応じて以下を参照する。

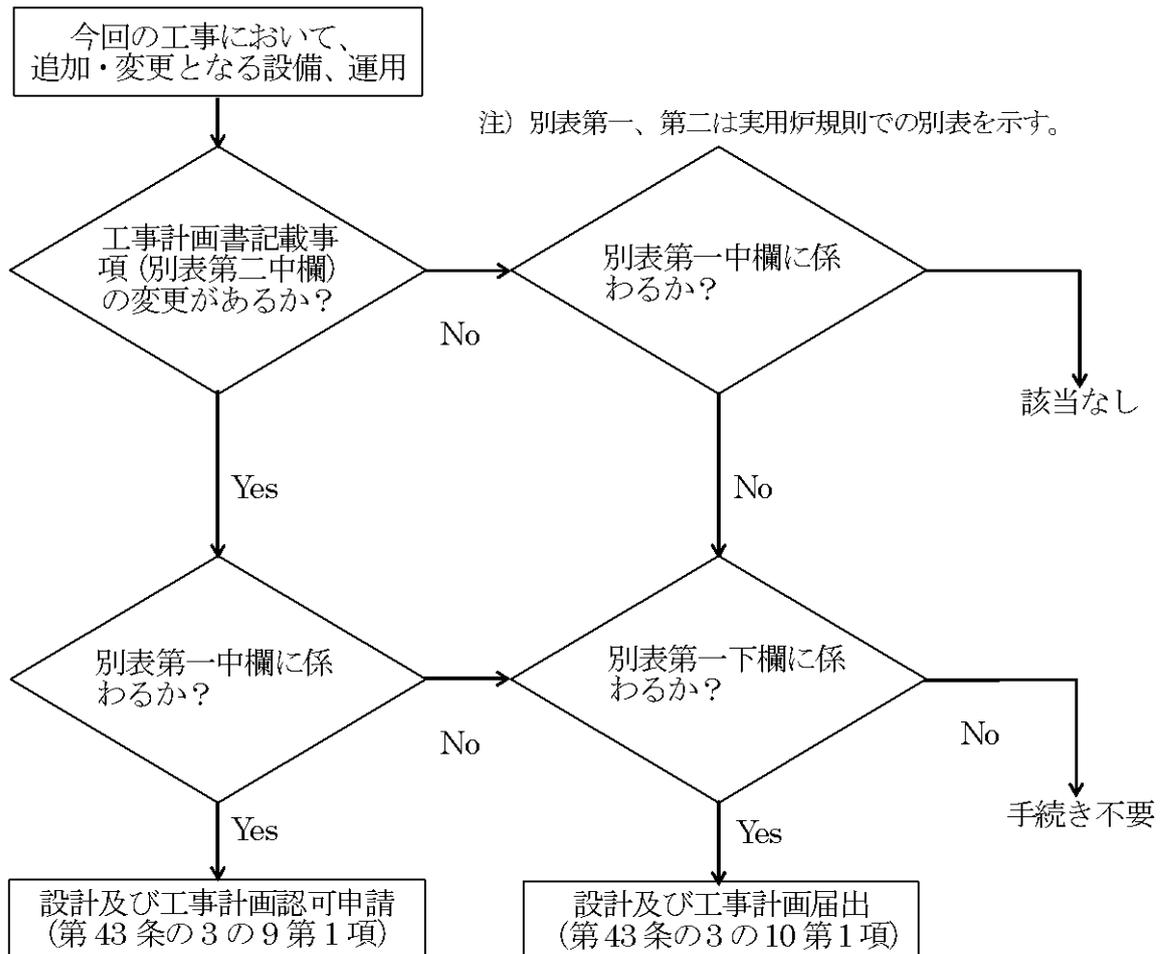
- ・許可された設置変更許可申請書の添付書類
- ・設置許可基準規則の解釈
- ・技術基準規則の解釈

3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定

適合性確認対象設備に対する要求事項への適合性を確保するため、設置変更許可申請書に記載されている設備及び技術基準規則への対応に必要な設備（運用を含む。）を、実際に使用する際の系統・構成で必要となる設備を含めた適合性確認対象設備として、以下に従って抽出する。

適合性確認対象設備を明確にするため、設工認に関連する工事において追加・変更となる設備・運用のうち設工認の対象となる設備・運用を、要求事項への適合性を確保するために実際に使用する際の系統・構成で必要となる設備・運用を考慮しつつ第 3.3-1 図に示すフローに基づき抽出する。

抽出した結果を様式-2「設備リスト（例）」（以下「様式-2」という。）の該当する条文の設備等欄に整理するとともに、設備／運用、既設／新設、追加要求事項に対して必須の設備・運用の有無、実用炉規則 別表第二の記載対象設備に該当の有無、既設工認での記載の有無、実用炉規則 別表第二に関連する施設区分／設備区分及び設置変更許可申請書添付八主要設備記載の有無等の必要な要件を明確にする。



第3.3-1図 適合性確認対象設備の抽出について

3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証

適合性確認対象設備の技術基準規則等への適合性を確保するために、「設計1」、「設計2」を以下のとおり実施する。

(1) 基本設計方針の作成（設計1）

様式-2で整理した適合性確認対象設備の要求事項に対する適合性確保に必要な詳細設計を「設計2」で実施するに先立ち、適合性確認対象設備に必要な要求事項のうち、設置変更許可申請書及び技術基準規則に対する設計を漏れなく実施するために、以下により、適合性確認対象設備ごとに適用される技術基準規則の条項号を明確にするとともに、技術基準規則の条文ごとに関連する要求事項を含めて設計すべき事項を明確にした基本設計方針を作成する。

a. 適合性確認対象設備と適用条文の整理

適合性確認対象設備の技術基準規則への適合に必要な設計を確実に実施するため、以下により、適合性確認対象設備ごとに適用される技術基準規則を条項号単位で明確にする。

- (a) 技術基準規則の条文ごとに実用炉規則 別表第二の発電用原子炉施設の種類に示された各施設区分との関係を明確にし、明確にした結果とその理由を、様式-3「技術基準規則の各条文と各施設における適用要否の考え方(例)」(以下「様式-3」という。)の「適用要否判断」欄と「理由」欄に取りまとめる。
- (b) 様式-3に取りまとめた結果を、様式-4「施設と条文の対比一覧表(例)」(以下「様式-4」という。)の該当箇所を星取りにて取りまとめ、施設ごとに適用される技術基準規則の条文を明確にする。
- (c) 適合性確認対象設備ごとに適用される技術基準規則の各条文の関係を様式-3及び様式-4に代え整理することが可能な場合には、様式-3及び様式-4に代えることができる。
- (d) 様式-2で明確にした適合性確認対象設備を、実用炉規則 別表第二の発電用原子炉施設の種類に示された施設区分ごとに、様式-5-1「技術基準規則と設工認書類との関連性を示す星取表(例)」(以下「様式-5-1」という。)及び様式-5-2「設工認添付書類星取表(例)」(以下「様式-5-2」という。)に反映する。様式-4でまとめた結果を用いて、設備ごとに適用される技術基準規則の条項号を明確にし、各条文と設工認との関連性を含めて様式-5-1で整理する。

b. 技術基準規則条文ごとの基本設計方針の作成

適合性確認対象設備に必要な要求事項を具体化し、漏れなく適用していくための基本設計方針を、設工認の適合性確認対象設備に適用される技術基準規則の条文ごとに作成する。

基本設計方針の作成にあたっては、基本設計方針の作成を統一的に実施するための考え方を定めた「工事計画業務要領」に従い、これに基づき技術基準規則の条文ごとに作成する。この基本設計方針の作成に当たっての統一的な考え方の概要を添付-3の「技術基準規則ごとの基本設計方針の作成に当たっての基本的な考え方」に示す。

具体的には、様式-7「要求事項との対比表(例)」(以下「様式-7」という。)に、基本設計方針の作成に必要な情報として、技術基準規則の各条

文とその解釈、関係する設置変更許可申請書本文とその添付書類に記載されている内容を引用し、その内容を確認しながら、設計すべき項目を漏れなく作成する。

基本設計方針の作成に併せて、基本設計方針として記載する事項とそれらの技術基準規則への適合性の考え方、基本設計方針として記載しない場合の考え方及び詳細な検討が必要な事項として含めるべき実用炉規則 別表第二に示された添付書類との関係を明確にし、それらを様式-6「各条文の設計の考え方(例)」(以下「様式-6」という。)に取りまとめる。

作成した基本設計方針をもとに、抽出した適合性確認対象設備に対する耐震重要度分類、機器クラス、兼用する際の登録の考え方及び当該適合性確認対象設備に必要な設工認書類との関連性を様式-5-2に明確にする。なお、過去に作成した基本設計方針が適用できる場合には、「3.3.2 各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定」で作成する様式-2に項目をおこして明確にすることができる。

(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計(設計2)

様式-2で整理した適合性確認対象設備に対し、今回新たに設計が必要な基本設計方針への適合性を確保するための詳細設計を、「設計1」の結果を用いて実施する。

具体的には、適合性確認対象設備に係る設計すべき事項を明確化した様式-5-1、様式-5-2及び様式-7等の「設計1」の結果(適合性確認対象設備、技術基準規則、作成が必要な設工認本文・添付資料の項目、基本設計方針との関係)を踏まえ、適合性確認対象設備を技術基準規則に適合させるための必要となる詳細設計(対象設備の仕様の決定を含む。)を実施し、設備の具体的設計の方針を決定する。詳細設計に関しては、基本設計方針の要求種別に応じて第3.3-1表に示す要求種別ごとの「主な設計事項」に示す内容について実施する。具体的には、「3.7.1 文書及び記録の管理」で管理されている設備図書等の品質記録や「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達からの委託報告書をインプットとして、基本設計方針に対し、適合性確認対象設備が技術基準規則等の必要な設計要求事項への適合性を確保するための設計の方針(要求機能、性能目標、防護方針等を含む。)を定めるための設計を実施する。

設工認申請(届出)時点で設置されている設備に対して適合性確認を行う場合は、その設備が定められた設計の方針を満たす機能・性能を有している

ことを確認した上で、設工認申請（届出）に必要な設備の仕様等を決定する。

この詳細設計は、様式-6 で明確にした詳細な検討を必要とした事項を含めて実施するとともに、以下に該当する場合は、その内容に従った設計を実施する。

a. 評価（解析を含む）を行う場合

詳細設計として評価を実施する場合は、基本設計方針を基に詳細な評価方針及び評価方法を定め、評価を実施する。また、評価の実施において、解析を行う場合は、「3.3.3(3) 詳細設計の品質を確保する上で重要な活動の管理」に基づく管理を行うことにより信頼性を確保する。

b. 複数の機能を兼用する設備の設計を行う場合

複数の機能（施設間を含む。）を兼用する設備の設計を行う場合は、兼用する全ての機能を踏まえた設計を確実に実施するため、組織間の情報伝達を確実にし、兼用する機能ごとの系統構成を把握し、兼用する機能を集約したうえで、兼用する全ての機能を満たすよう設計を実施する。この場合の具体的な設計の流れを第 3.3-2 図に示す。

c. 設備設計を他設備の設計に含めて設計を行う場合

設備設計を他設備の設計に含めて設計を行う場合は、設計が確実に行われるようにするために、組織間の情報伝達を確実にし、設計をまとめて実施する側で複数の対象を考慮した設計を実施したのち、設計を委ねている側においても、その設計結果を確認する。

d. 他号機と共用する設備の設計を行う場合

様式-2 をもとに他号機と共用する設備の設計を行う場合は、設計が確実に行われることを確実にするため、組織間の情報伝達を確実にし、号機ごとの設計範囲を明確にし、必要な設計が確実に行われるよう管理する。

上記 4 つの場合において、設計の妥当性を検証し、設計の方針を満たすことを確認するために検査を実施しなければならない場合は、検査の条件及び方法を定め、実施する。

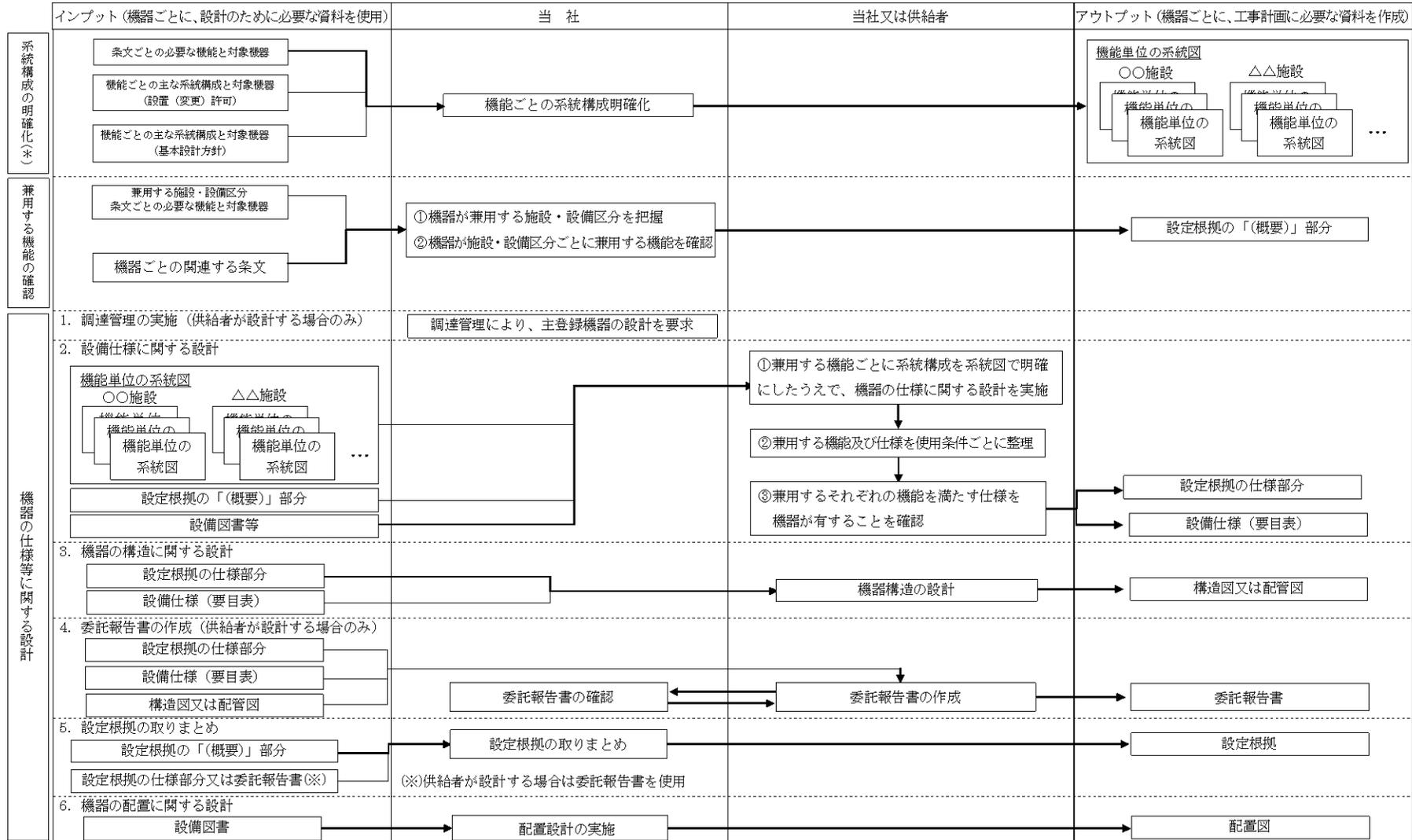
これらの設計として実施したプロセスの実績を様式-1 で明確にする。

第 3.3-1 表に示す要求種別のうち「運用要求」に分類された基本設計方針については、本店組織の保安規定を取りまとめる組織にて、保安規定として必要な対応を実施する。

第3.3-1表 要求種別ごとの適合性の確保に必要となる主な設計事項とその妥当性を示すための記録との関係

要求種別		主な設計事項	設計方針の妥当性を示す記録
設備	設置要求	必要となる機能を有する設備の選定	設置変更許可申請書に記載した機能を持つために必要な設備等の選定 ・社内決定文書 等
	設計要求	系統構成	目的とする機能を実際に発揮させるために必要な具体的な系統構成・設備構成 設置変更許可申請書の記載を基にした、実際に使用する系統構成・設備構成の決定 ・社内決定文書 ・有効性評価結果(設置変更許可申請書での安全解析の結果を含む) ・系統図 ・設備図書(図面、構造図、仕様書) 等
		機能要求	目的とする機能を実際に発揮させるために必要な設備の具体的な仕様 仕様設計 構造設計 強度設計(クラスに応じて) 耐震設計(クラスに応じて) 耐環境設計 配置設計 ・社内決定文書 ・設備図書(図面、構造図、仕様書) ・インターロック線図 ・算出根拠(計算式等) ・カタログ 等
		評価要求	対象設備が目的とする能力を持つことを示すための方法とそれに基づく評価 仕様決定のための解析 基準適合性確認のための解析 条件設定のための解析 実証試験 ・社内決定文書 ・解析計画(解析方針) ・委託報告書(解析結果) ・手計算結果 等
運用	運用要求	運用方法について保安規定に基づき計画 維持・運用のための計画の作成 —	

第 3.3-2 図 主要な設備の設計



(3) 詳細設計の品質を確保する上で重要な活動の管理

詳細設計の品質を確保する上で重要な活動となる、「調達による解析」及び「手計算による自社解析」について、信頼性を確保するため以下の管理を実施する。

a. 調達による解析の管理

基本設計方針に基づく詳細設計で解析を実施する場合は、解析結果の信頼性を確保するため、設工認品管計画に基づく品質保証活動を行う上で、特に以下の点に配慮した活動を実施し、品質を確保する。

(a) 調達による解析

調達により解析を実施する場合は、解析の信頼性を確保するために、供給者に対し、次に示す管理を確実にするための品質保証要求事項や解析業務に関する要求事項等の調達要求事項を調達仕様書により要求し、それに従った品質保証体制の下で解析を実施させるよう「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達管理を実施する。解析の調達管理に関する具体的な流れを添付－4「設工認における解析管理について」（以下「添付－4」という。）第1表に示す。

イ. 解析を実施する要員の力量管理（品質マネジメントシステム計画「6 資源の管理」）

- ・ 解析対象業務の経験等により、当該解析に関する力量を有しているとされた要員による解析の実施

ロ. 解析業務に関する業務の計画（解析業務計画書）の作成とそれに基づく業務の実施（品質マネジメントシステム計画「7 個別業務に関する計画の策定及び個別業務の実施」）

- ・ 解析業務着手時に、従事する要員に対して、実施する解析の重要性を意識付けするための教育の実施
- ・ 使用するコードが正しい値を出力できることを確実にするためのコードの検証（「(b) 計算機プログラム（解析コード）の管理」参照）
- ・ 適切な入力情報の使用（「(c) 解析業務で用いる入力情報の伝達」参照）と、それに基づく入力根拠の作成（「(d) 入力根拠の作成」参照）
- ・ 作成した入力データのコードへの正しい入力

- ・得られた解析結果の検証
- ・解析結果を基にした報告書の作成 等

ハ. 当該業務に関する不適合管理及び是正処置（品質マネジメントシステム計画「8 評価及び改善」）

(b) 計算機プログラム（解析コード）の管理

計算機プログラムは、評価目的に応じた解析結果を保証するための重要な役割を持っていることから、使用実績や使用目的に応じ、解析コードが適正なものであることを以下のような方法等により検証し、使用する。

- ・簡易的なモデルによる解析解の検算
- ・標準計算事例を用いた解析による検証
- ・実験、ベンチマーク試験結果との比較
- ・他の計算機プログラムによる計算結果との比較

(c) 解析業務で用いる入力情報の伝達

設工認に関する解析に係る供給者との情報伝達について以下に示す。

設工認に必要な解析業務が、設備や土木建築構造物を設置した供給者と同一の供給者が主体となっている場合、解析を実施する供給者が所有する図面とそれを基に作成され納入されている当社所有の設備図書は、同じ最新性が確保されている。

当社は供給者に対し調達管理に基づく品質保証上の要求事項として、JISQ9001 の要求事項を踏まえた文書及び記録の管理の実施を要求し、適切な版を管理することを要求している。

また、設備を設置した供給者以外で実施する解析の場合、当社で管理している図面を提供し、供給者は、最新性の確保された図面で解析を行っている。

(d) 入力根拠の作成

供給者に、解析業務計画書等に基づき解析ごとの入力根拠書を作成させ、また計算機プログラムへの入力間違いがないか確認させることで、入力根拠の妥当性及び入力データが正しく入力されたことの品質を確保する。

この入力根拠の作成に際し、解析の品質管理を強化する必要がある場合には、異なる2名の者が入力根拠から作成し、入力根拠と入力結果を同時にチェックする「入力クロスチェック」(添付-4 第1図参照)を行わせる。

b. 手計算による自社解析の管理

自社で実施する解析(手計算)は、評価を実施するために必要な計算方法及び入力データを明確にし、当該業務の力量を持つ要員が実施する。

実施した解析結果に間違いがないようにするために、入力根拠、入力結果及び解析結果について、解析を実施した者以外の者によるダブルチェックを実施し、解析結果の信頼性を確保する。

自社で実施した解析ごとの具体的な管理方法を添付-4 第2表に示す。

(4) 設計開発の結果に係る情報に対する検証

「3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証」の設計1及び設計2で取りまとめた様式-3~7及び適合性確認対象設備を技術基準規則に適合させるための必要となる詳細設計の結果について、当該業務を直接実施した原設計者以外の者に検証を実施させる。

(5) 設工認申請(届出)書の作成

様式-2に取りまとめた適合性確認対象設備について、設工認の設計として実施した「3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証」の(1)~(4)からの結果を基に、「工事計画業務要領」に従って、設工認に必要な書類等を以下のとおり取りまとめる。

a. 「要目表」の作成

「3.3.3 (2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計(設計2)」からの結果に係る情報となる詳細設計結果(図面等の設計資料)を基に、実用炉規則 別表第二の「設備別記載事項」の要求に従って、必要な事項(種類、主要寸法、材料、個数等)を設備ごとに表(要目表)や図面等に取りまとめる。

b. 「基本設計方針」、「適用基準及び適用規格」及び「工事の方法」の作成

「3.3.3(1) 基本設計方針の作成（設計1）」の「b. 技術基準規則条文ごとの基本設計方針の作成」で作成した条文ごとの基本設計方針を整理した様式-7、基本設計方針作成時の考え方を整理した様式-6 及び各施設に適用される技術基準規則の条文を明確にした様式-4 を用いて、実用炉規則 別表第二に示された発電用原子炉施設の施設ごとの基本設計方針としてまとめ直すことにより、設工認として必要な基本設計方針を作成する。

また、技術基準規則に規定される機能・性能を満足させるための基本的な規格及び基準を「適用基準及び適用規格」に、実用炉規則別表第二に基づき、工事及び使用前事業者検査を適切に実施するための基本事項を「工事の方法」として取りまとめる。

c. 各添付書類の作成

「3.3.3 (2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）」からの結果に係る情報となる詳細設計結果を基に、基本設計方針に対して詳細な設計結果や設計の妥当性に関する説明が必要な事項を取りまとめた様式-6 及び様式-7 を用いて、設工認と実用炉規則 別表第二の関係を整理した様式-5-2 に示された添付書類を作成する。

実用炉規則 別表第二に示された添付書類において、解析コードを使用している場合には、当該添付書類の別紙として、使用した解析コードに関する内容を記載した「計算機プログラム（解析コード）の概要」を作成する。

d. 設工認申請（届出）書案のチェック

本店組織の設工認の取りまとめを主管する組織の長は、作成した「設工認申請（届出）書」の案について、「工事計画業務要領」に基づき、以下の要領で本店及び発電所の関係組織のチェックを受ける。

- (a) 本店及び発電所の関係組織のチェック分担を明確にする。
- (b) 本店及び発電所の関係組織からチェックの結果が返却された際に、コメントが付されている場合には、その反映要否を検討し、必要であれば資料を修正のうえ、再度、チェックを依頼する。
- (c) 必要に応じ、これらを繰り返し、設工認申請（届出）書案のチェックを完了する。

(6) 設工認申請（届出）書の承認

「(4) 設計開発の結果に係る情報に対する検証」及び「(5) d. 設工認申請（届出）書案のチェック」が終了した後、設工認申請（届出）書を原子力発電安全委員会へ付議し、審議・了承を得た後、原子力建設部長の承認を得る。

3.3.4 設計における変更

設計対象の追加や変更が必要となった場合、「3.3.1 適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化」～「3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証」の各設計結果のうち、影響を受けるものについて必要な設計を実施し、影響を受けた段階以降の設計結果を必要に応じ修正する。

3.4 工事に係る品質管理の方法

工事を主管する組織の長は、第 3.2-1 表及び第 3.2-1 図に示す工事段階において、設工認に基づく設備の具体的な設計（設計 3）を「設計・調達管理基準」、その結果を反映した設備を導入するために必要な工事を「保修基準」、「土木建築基準」及び「設計・調達管理基準」に基づき実施する。

なお、実用炉規則別表第二対象設備外の設備の主要な耐圧部の溶接部においては、設計 3 の実施に先立ち該当設備の抽出を「設計・調達管理基準」に基づき実施する。

また、これらの活動を調達する場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」を適用して実施する。

具体的な管理の方法を以下に示す。

3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）

設工認に基づく製品実現のための設備の具体的な設計（設計 3）（主要な耐圧部の溶接部については溶接部に係る設計が設工認対象となる。）を、以下のいずれかの方法で実施する。

(1) 自社で設計する場合

設計を主管する組織の長が設計 3 を実施し、適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計 2）との照合を行う。また、設計開発の検証として「(2) 設計 3 を本店組織の設計を主管する組織の長が調達管理として管理する場合」と同等の対応を行う。設計の妥当性確認については使用前事業者検査にて行う。

- (2) 設計 3 を本店組織の設計を主管する組織の長が調達管理として管理する場合
本店組織の設計を主管する組織の長が「3.6 設工認における調達管理の方法」に従った調達により設計 3 を実施する。
本店組織の設計を主管する組織の長は、その調達の中で供給者が実施する設計 3 の管理を、調達管理として行う設計の検証及び設計の妥当性確認を行うことにより管理する。
- (3) 設計 3 を発電所組織の工事を主管する組織の長が工事の調達に含めて調達し、本店組織の設計を主管する組織が管理する場合
発電所組織の工事を主管する組織の長が「3.6 設工認における調達管理の方法」に従って実施する工事の調達の中で、設計 3 を含めて調達する。
本店組織の設計を主管する組織の長は、その調達の中で供給者が実施する設計 3 の管理を、調達管理として行う設備の具体的な設計の検証及び設計の妥当性確認を行うことにより管理する。
- (4) 設計 3 を発電所組織の工事を主管する組織の長が調達管理として管理する場合
発電所組織の工事を主管する組織の長が「3.6 設工認における調達管理の方法」に従って実施する工事の調達の中で、設計 3 を含めて調達する。
発電所組織の工事を主管する組織の長は、その調達の中で供給者が実施する設計 3 の管理を、調達管理として行う設計の検証及び設計の妥当性確認を行うことにより管理する。

3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施

設工認に基づく設備を設置するための工事を「3.6 設工認における調達管理の方法」に従い実施する。

設工認に基づく設備のうち、設工認申請（届出）時点で設置されて新たな工事を伴わない範囲の適合性確認対象設備がある場合については、「3.5 使用前事業者検査」以降の検査段階から実施する。

3.5 使用前事業者検査

検査を主管する組織の長は、適合性確認対象設備が設工認のとおりに行われていること、技術基準規則に適合していることを確認するため、設計を主管する組織の長及び工事を主管する組織の長とともに保安規定に基づく使用前事業者検査を計画し、「試験・検査基準」に従い、工事を主管する組織のうち、「3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施」を実施する組織からの独立性を確保した検査体制のもと実施する。

3.5.1 使用前事業者検査での確認事項

使用前事業者検査は、以下の項目について実施する。

I 実設備の仕様の適合性確認

II 実施した工事が、「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」及び「3.4.2 設備の具体的な設計に基づく工事の実施」に記載したプロセス並びに「工事の方法」のとおり行われていること。

これらの項目のうち、I を設工認品管計画の第 3.5-1 表に示す検査として、II を品質管理の方法等に関する使用前事業者検査（以下「QA 検査」という。）として実施する。

II については工事全般に対して実施するものであるが、「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」を実施する場合は、工事を主管する組織が実施する溶接に関するプロセス管理が適切に行われていることの確認を QA 検査に追加する。

また、QA 検査では上記 II に加え、上記 I のうち工事を主管する組織（供給者含む。）が検査記録を採取する場合（工事を主管する組織が採取した記録・ミルシートや検査における自動計測等）には記録の信頼性の確認（記録確認検査や抜取検査の信頼性確保）を行い、設工認に基づく工事の信頼性を確保する。

なお、主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査では、供給者が作成する検査項目毎の記録（溶接作業検査、熱処理検査、放射線透過試験等）を用いるが、検査を主管する組織（供給者含む。）が「3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理」に基づく管理を行うため工事を主管する組織（供給者含む。）が実施する検査項目毎の信頼性は確保済みであるため、この範囲は QA 検査の対象外とする。

3.5.2 設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり の明確化

設計 1～3 の結果と適合性確認対象の繋がりを明確化するために様式-8「基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表（例）」（以下「様

式-8」という。)を以下のとおり使用前事業者検査に先立ちとりまとめる。

(1) 基本設計方針の整理

基本設計方針（「3.3.3(1) 基本設計方針の作成（設計1）」の「b. 技術基準規則条文ごとの基本設計方針の作成」参照）に基づく設計の結果を踏まえた適合性の確認を漏れなく実施するため、基本設計方針の内容を以下に従い分類し、適合性の確認が必要な要求事項を整理する。

- ・ 条文ごとに作成した基本設計方針を設計項目となるまとまりごとに整理
- ・ 整理した設計方針を分類するためのキーワードを抽出
- ・ 抽出したキーワードをもとに要求事項を第 3.3-1 表に示す要求種別に分類

整理した結果は、設計項目となるまとまりごとに、様式-8 の「基本設計方針」欄に反映する。

また、設工認の設計に不要な以下の基本設計方針を、様式-8 の該当する基本設計方針に「網掛け」することにより区別し、設計が必要な要求事項に変更があった条文に対応した基本設計方針を明確にする。

- ・ 「定義」：基本設計方針で使用されている用語の説明
- ・ 「冒頭宣言」：設計項目となるまとまりごとの概要を示し、「冒頭宣言」以降の基本設計方針で具体的な設計項目が示されているもの
- ・ 「規制要求に変更のない既設設備に適用される基本設計方針」：既設設備のうち、過去に当該要求事項に対応するための設計が行われており、様式-4 及び様式-5-1 で従来の技術基準規則から変更がないとした条文に対応した基本設計方針
- ・ 「適合性確認対象設備に適用されない基本設計方針」：当該適合性確認対象設備に適用されず、設計が不要となる基本設計方針

(2) 設計結果の反映

設計 2（「3.3.3(2) 適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計 2）」参照）で実施した詳細設計結果及び「3.3.3(5) 設工認申請（届出）書の作成」で作成した設工認申請（届出）書の本文、添付資料のうち「(1) 基本設計方針の整理」で整理した基本設計方針に対応する設計結果を、様式-8 の「設工認設計結果（要目表／設計方針）」欄に整理する。

設計 3（「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計 3）」参照）で実施した設備の具体的な設計結果の結果を様式-8 の「設備の具体的な設計結果」欄に取りまとめる。

なお、設工認に基づく設備の設置において、設工認申請（届出）時点で設置されている設備がある場合は、既の実施された具体的な設計の結果が設工認に適合していることを確認し、設計 2 の結果を満たす具体的な設計の結果を様式-8 の「設備の具体的設計結果」欄に取りまとめる。

3.5.3 使用前事業者検査の計画

技術基準規則に適合するよう実施した設計結果を取りまとめた様式-8 の「設工認設計結果（要目表／設計方針）」欄ごとに設計の妥当性確認を含む使用前事業者検査を計画する。

使用前事業者検査は、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び第 3.3-1 表の要求種別ごとに定めた設工認品管計画第 3.5-1 表に示す確認項目、確認視点及び主な検査項目をもとに計画を策定する。

適合性確認対象設備のうち、技術基準規則上の措置（運用）に必要な設備についても、使用前事業者検査を計画する。

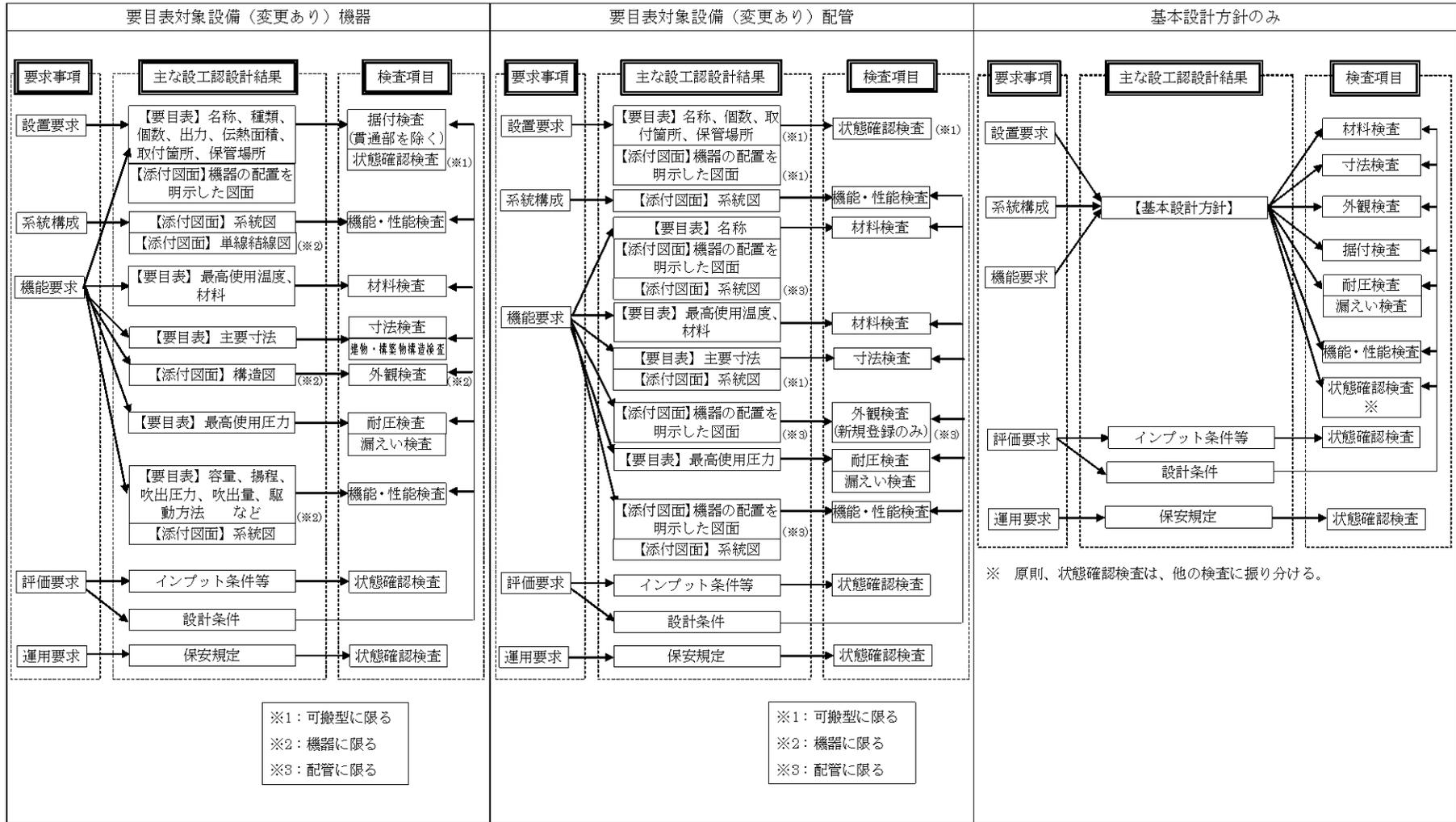
個々に実施する使用前事業者検査に加えてプラント運転に影響を及ぼしていないことを総合的に確認するため、特定の条文・様式-8 に示された「設工認設計結果（要目表／設計方針）」によらず、定格熱出力一定運転時の主要パラメータを確認することによる使用前事業者検査（負荷検査）の計画を必要に応じて策定する。

(1) 使用前事業者検査の方法の決定

使用前事業者検査の実施に先立ち、「工事の方法」に記載された使用前事業者検査の項目及び第 3.3-1 表の要求種別ごとに定めた設工認品管計画第 3.5-1 表に示す確認項目、確認視点、主な検査項目、第 3.5-1 表に示す検査項目の分類の考え方を使って、確認項目ごとに設計結果に関する具体的な検査概要及び判定基準を以下の手順により使用前事業者検査の方法として明確にする。設工認品管計画第 3.5-1 表の検査項目ごとの概要及び判定基準の考え方を第 3.5-2 表に示す。

- a. 様式-8 の「設工認設計結果（要目表／設計方針）」及び「設備の具体的設計結果」欄に記載された内容と該当する要求種別を基に、設工認品管計画第 3.5-1 表、第 3.5-1 表を用いて検査項目を決定する。
- b. 決定された検査項目より、第 3.5-2 表に示す「検査項目、概要、判定基準の考え方について（代表例）」を参照し適切な検査方法を決定する。
- c. 決定した各設備に対する「検査項目」及び「検査方法」の内容を、様式-8 の「確認方法」欄に取りまとめる。

第3.5-1表 主な設工認設計結果に対する検査項目



第 3.5-2 表 検査項目、概要、判定基準の考え方について（代表例）

検査項目	検査概要	判定基準の考え方
材料検査	使用されている材料が設計結果のとおりであること、関係規格 ^{※1} 等に適合することを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	使用されている材料が設計結果のとおりであり、関係法令及び規格等に適合すること。
寸法検査	主要寸法が設計結果のとおりであり、許容範囲内であることを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	主要寸法が設計結果の数値に対して許容範囲内にあること。
外観検査	有害な欠陥のないことを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥のないこと。
組立て及び据付け状態を確認する検査（据付検査）	常設設備の組立て状態、据付け位置及び状態が設計結果のとおりであることを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	設計結果のとおりに設置されていること。
耐圧検査	技術基準規則の規定に基づく検査圧力で所定時間保持し、検査圧力に耐え、異常のないことを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	検査圧力に耐え、異常のないこと。
漏えい検査	耐圧検査終了後、技術基準規則の規定に基づく検査圧力により漏えいの有無を適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	検査圧力により著しい漏えいのないこと。
建物・構築物 構造検査	建物・構築物が設計結果のとおり製作され、組立てられていること、関係法令及び規格 ^{※2} 等に適合することを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。	主要寸法が設計結果の数値に対して許容範囲内にあり、関係法令及び規格等に適合すること。
機能・性能検査 特性検査	<ul style="list-style-type: none"> ・系統構成確認検査^{※3} 実際に使用する系統構成及び可搬型設備等の接続が可能なことを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実際に使用する系統構成になっていること。 ・可搬型設備等の接続が可能なこと。
	<ul style="list-style-type: none"> ・運転性能検査、通水検査、系統運転検査、容量確認検査 設計で要求される機能・性能について、実際に使用する系統状態、模擬環境により試運転等を行い、機器単体又は系統の機能・性能を適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実際に使用する系統構成になっていること。 ・目的とする機能・性能が発揮できること。
	<ul style="list-style-type: none"> ・絶縁耐力検査 電気設備と大地との間に、試験電圧を連続して規定時間加えたとき、絶縁性能を有することを適合性確認対象設備の状態を示す記録（工場での試験記録等を含む。）又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・目的とする絶縁性能を有すること。
	<ul style="list-style-type: none"> ・ロジック回路動作検査、警報検査、インターロック検査 電気設備又は計測制御設備についてロジック、インターロック確認及び警報確認等により機能・性能又は特性を適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロジック、インターロック及び警報が正常に動作すること。
	<ul style="list-style-type: none"> ・外観検査 建物、構築物、非常用電源設備等の完成状態を適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・機能・性能に影響を及ぼす有害な欠陥のないこと。 ・設計結果のとおりに設置されていること。
	<ul style="list-style-type: none"> ・計測範囲確認検査、設定値確認検査 計測制御設備の計測範囲又は設定値を適合性確認対象設備の状態を示す記録（工場での校正記録等を含む。）又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・計測範囲又は設定値が許容範囲内であること。
	<ul style="list-style-type: none"> ・接続確認検査 電源の接続が設計結果のとおりであること、受電状態で機器が正常に動作することを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計結果のとおりに接続されていること。 ・受電状態で機器が正常に動作すること。
状態確認検査 ^{※4}	<ul style="list-style-type: none"> ・設置要求及び機能要求における機器保管状態、設置状態、接近性、分散配置及び員数が設計結果のとおりであることを適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 ・評価要求に対するインプット条件（耐震サポート等）との整合性確認を適合性確認対象設備の状態を示す記録又は目視により確認する。 ・運用可能な手順が設計結果のとおりであることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器保管状態、設置状態、接近性、分散配置及び員数が適切であること。 ・評価条件を満足していること。 ・運用可能な手順が設計結果のとおり定められ、利用できる状態となっていることが確認できること。

※1 消防法及び JIS

※2 設計の時に採用した適用基準、規格

※3 通水検査を分割して検査を実施する等、使用時の系統での通水ができない場合に実施。（通水検査と同系統である場合には、検査時に系統構成を確認するため不要）

※4 検査対象機器の動作確認は、機能・性能検査を主とするが、技術基準規則第 54 条の検査として、適用可能な手順を用いて動作できることの確認を行う場合は、その操作が可能な構造であることを状態確認検査で確認する。

3.5.4 検査計画の管理

使用前事業者検査を適切な時期で実施するため、本店及び発電所の関係組織と調整のうえ、発電所全体の主要工程、「工事の方法」に示す検査時期を踏まえた使用前事業者検査の検査計画を立案する。また、使用前事業者検査の実施時期及び使用前事業者検査が確実に行われることを以下のとおり管理する。

- ・検査の管理は、使用前事業者検査実施要領書単位で行い計画及び実績を、別途、発電所内にて作成する使用前事業者検査計画表で管理する。
- ・使用前事業者検査の進捗状況に応じ、検査計画又は主要工程の変更を伴う場合は、速やかに関係組織と調整を行うとともに、検査工程を変更する。

3.5.5 主要な耐圧部の溶接部に係る使用前事業者検査の管理

溶接が特殊工程であることを踏まえ、工程管理等の計画を策定し、溶接施工工場におけるプロセスの適切性の確認及び監視を行う。また、溶接継手に対する要求事項は、溶接部詳細一覧表（溶接方法、溶接材料、溶接施工法、熱処理条件、検査項目等）により管理し、これに係る関連図書を含め、業務の実施に当たって必要な図書を溶接施工工場に提出させ、それを審査、確認し、必要な管理を実施する。

3.5.6 使用前事業者検査の実施

使用前事業者検査は、「試験・検査基準」に基づき、以下のとおり実施する。

(1) 使用前事業者検査の検査要領書の作成

適合性確認対象設備が設工認に適合していることを確認するため「3.5.3 (1) 使用前事業者検査の方法の決定」で決定し、様式-8の「確認方法」欄で明確にした確認方法を基に、使用前事業者検査を実施するための検査要領書を作成する。

検査要領書は、工事を主管する組織の長が、検査目的、検査対象範囲、検査項目、検査方法、判定基準、検査体制、不適合管理、検査手順及び検査成績書の事項を記載した検査要領書を作成し、品質保証担当の審査を経て検査実施責任者が制定する。検査要領書では、検査の確認対象範囲として含まれる技術基準規則の条文を明確にする。

実施する検査が代替検査となる場合は、「(2) 代替検査の確認方法の決定」に従い、代替による使用前事業者検査の方法を決定する。

(2) 代替検査の確認方法の決定

a. 代替検査の決定

使用前事業者検査の実施にあたり、以下の条件に該当する場合には代替検査の評価を行い、その結果を当該の検査要領書に添付する。

b. 代替検査の条件

代替検査とは、通常の方法で検査ができない場合に用いる手法であり、以下の場合をいう。

- (a) 当該検査対象の品質記録（要求事項を満足する記録）がない場合（プロセス評価を実施し検査の成立性を証明する必要がある場合）※
- (b) 構造上外観が確認できない場合
- (c) 耐圧検査で圧力を加えることができない場合
- (d) 系統に実注入ができない場合
- (e) 電路に通電できない場合 等

※：「当該検査対象の品質記録（要求事項を満足する記録）がない場合（プロセス評価を実施し検査の成立性を証明する必要がある場合）」とは、以下の場合をいう。

- ・材料検査で材料検査証明書（ミルシート）がない場合
- ・寸法検査記録がなく、実測不可の場合

c. 代替検査の評価

代替検査を用いる場合、代替検査として用いる方法が本来の検査目的に対する代替性を有していることの評価を実施する。その結果は、「(1) 使用前事業者検査の検査要領書の作成」で作成する検査要領書の一部として添付し、検査実施責任者の承認を得て適用する。

検査目的に代替性の評価にあたっては、以下の内容を明確にする。

- (a) 設備名称
- (b) 検査項目
- (c) 検査目的
- (d) 通常の方法で検査ができない理由※¹
- (e) 代替検査の手法、判定基準※²
- (f) 検査目的に対する代替性の評価※²

※1：記載にあたって考慮すべき事項

- ・既存の原子炉施設に悪影響を及ぼすことによる困難性
- ・現状の設備構成上の困難性
- ・作業環境における困難性 等

※2：記録の代替検査の手法、評価については「3.7.1 文書及び記録の管理」に従い、記録の成立性を評価する。

(3) 使用前事業者検査の体制

使用前事業者検査実施要領書で明確にする使用前事業者検査の体制を、第3.5-1 図に示す当該検査における力量を有する者等で構成される体制とする。

a. 統括責任者

保安に関する業務を統括するとともに、その業務遂行に係る品質保証活動を統括する。

b. 主任技術者

検査の指導・監督を行う。

検査成績書の内容を確認する。

検査の指導・監督を行うに当たり、以下に示す主任技術者と検査内容に応じた所掌の調整等を実施することで情報の共有を図る。

- 原子炉主任技術者は、主に原子炉の核的特性や性能に係る事項等、原子炉の運転に関する保安の監督を行う。
- ボイラー・タービン主任技術者は、主に機械設備の構造及び機能・性能に係る事項等、原子力設備の工事、維持及び運用（電気設備に係るものを除く。）に関する保安の監督を行う。
- 電気主任技術者は、主に電気設備の構造及び機能・性能に係る事項等、電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督を行う。

c. 品質保証担当

品質保証の観点から、検査対象範囲、検査方法等の妥当性の確認を実施するとともに、検査要領書の制定・改訂が適切に行われていることを審査する。

d. 検査実施責任者

検査要領書の制定及び改訂を行う。適合性評価並びにリリースを伴う検査の結果を確認する。

e. 検査担当者

検査の力量を持った者で、適合性評価並びにリリースを伴う検査を直接行うとともに、検査成績書を作成する。

f. 検査助勢者

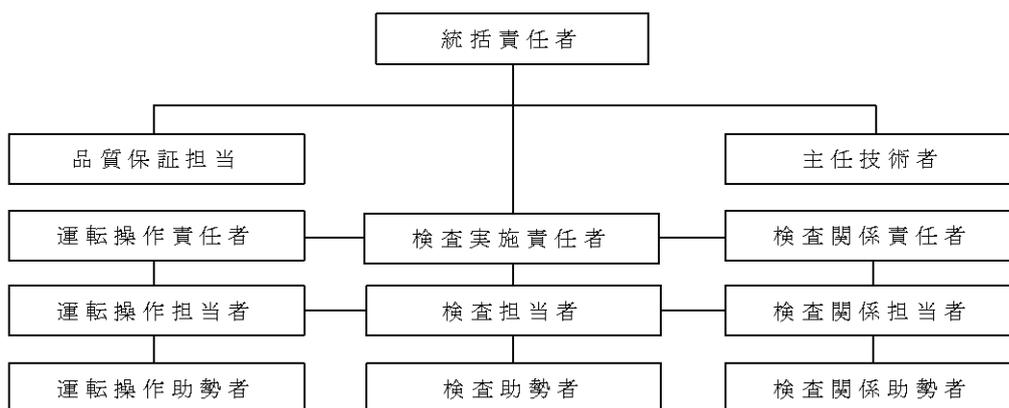
検査実施責任者又は検査担当者の指示に従い、検査に係る作業の助勢を行う。

(4) 使用前事業者検査の実施

検査担当者は、検査要領書に基づき、確立された検査体制の下で、使用前事業者検査を実施し、その結果を検査実施責任者に報告する。

報告を受けた検査実施責任者は、検査プロセスが検査要領書に基づき適正に実施されたこと及び検査結果が判定基準に適合していることを確認後、主任技術者の確認を受ける。

実施した使用前事業者検査の結果として、使用前事業者検査実施要領書の番号を様式-8の「確認方法」欄に取りまとめる。



第 3.5-1 図 検査実施体制 (例)

3.6 設工認における調達管理の方法

設工認に係る業務を調達する、設計を主管する組織の長、工事を主管する組織の長及び検査を主管する組織の長（以下「調達を担当する組織の長」という。）は、調達管理を「設計・調達管理基準」に基づき以下のとおり実施する。

3.6.1 供給者の技術的評価

供給者が当社の要求事項に従って調達製品を供給する技術的な能力を判断の根拠として、「供給者評価チェックシート」を用いて、以下の項目について供給者の技術的評価を実施する。

- ・ 技術的能力及び製造能力の有無
- ・ 調達製品の納入・使用実績の有無
- ・ 調達製品のサンプルの検査・試験結果等の良否（使用実績がない場合、必要に応じ確認）
- ・ 品質保証に関する能力の有無（第 3.6-1 表参照）
- ・ 前回評価から再評価までの間の確認事項の良否（再評価時のみ実施）

これらの項目の確認・評価結果を基に、調達文書の要求事項に適合する製品又は役務を供給する総合的な能力の有無を判断する。

また、供給者の再評価を、5 年を限度として定期的に行い、供給者が重大な不適合を発生させた場合にも再評価を行う。

第 3.6-1 表 品質保証に関する能力の有無の判定表

		業務の区分 A,B	業務の区分 C,D	業務の区分 E
品質保証に関する能力	①品質保証計画 (品質マニュアル)	いずれか 1 つは「良」であること。	いずれか 1 つは「良」又は「有」であること。	いずれか 1 つは「良」又は「有」であること。
	②当社による品質保証監査の結果			
	③品質保証に関する公的認証	—	—	
	④供給実績等における評価	—	—	

3.6.2 供給者の選定

設工認に必要な調達を行う場合、原子力安全に対する影響や供給者の実績等を考慮し、業務の重要度に応じた業務の区分（添付－2「当社におけるグレード分けの考え方」（以下「添付－2」という。）第5表参照）を明確にした上で、調達に必要な要求事項を明確にし、資材調達部門へ供給者の選定を依頼する。

資材調達部門は、「3.6.1 供給者の技術的評価」で、技術的な能力があると判断した供給者の中から供給者を選定する。

3.6.3 調達製品の調達管理

調達の実施に際し、原子力安全に及ぼす影響に応じたグレードを適用する。

調達に関する品質保証活動を行うに当たっては、原子力安全に対する影響や供給者の実績等を考慮し、業務の区分（添付－2 第5表参照）を明確にした上で、以下の調達管理を実施する。また、一般産業工業品については、調達に先立ち、あらかじめ採用しようとする一般産業工業品について、原子炉施設の安全機能に係る機器等として使用するための技術的な評価を行う。

(1) 調達仕様書の作成

業務の内容に応じ、以下の a.～m.を記載した調達仕様書を作成し、供給者の業務実施状況を適切に管理する。（「(2) 調達製品の管理」参照）

- a. 仕様明細
- b. 設計要求事項
- c. 材料・機器の管理に関する要求事項
- d. 製作・据付に関する要求事項
- e. 試験・検査に関する要求事項
- f. 適用法令等に関する要求事項
- g. 品質保証要求事項（添付－2 第6表参照）
- h. 調達物品等の不適合の報告及び処理に係る要求事項
- i. 健全な安全文化を育成し維持するための活動に関する必要な要求事項
- j. 解析業務に関する要求事項（解析委託の管理については、添付－4 参照）
- k. 安全上重要なポンプの主軸の調達における要求事項
- l. 原子炉施設に係る情報システムの開発及び改造に関する要求事項
- m. 一般汎用品を原子炉施設に使用するにあたっての要求事項

これらに加え、以下の事項を供給者に要求する。

- ・ 調達製品の調達後における維持又は運用に必要な保安に係る技術情報の取得に関する事項
- ・ 不適合の報告（偽造品又は模造品の報告を含む。）及び処理に関する事項
- ・ 当社が供給先で検査を行う際に原子力規制委員会の職員が同行して工場等の施設に立ち入る場合があることに関する事項
- ・ 調達製品を受領する際に要求事項への適合状況を記録した文書の提出に関する事項

なお、取得した保安に係る技術情報は、必要に応じてほかの原子炉設置者と共有する。

(2) 調達製品の管理

調達仕様書で要求した製品が確実に納品されるよう調達製品が納入されるまでの間、「設計・調達管理基準」、「保修基準」及び「土木建築基準」に基づき、業務の実施に当たって必要な図書（品質保証計画書（業務の区分 A,B）、作業要領書等）を供給者に提出させ、それを審査、確認する等の製品に応じた必要な管理を実施する。

(3) 調達製品の検証

調達製品が調達要求事項を満たしていることを確実にするために、業務の区分、調達数量・調達内容等を考慮した調達製品の検証を行う。

供給先で検証を実施する場合、あらかじめ調達文書で検証の要領及び調達製品のリリースの方法を明確にした上で、検証を行う。

調達製品が調達要求事項を満たしていることを確認するために実施する検証は、以下のいずれかの方法により実施する。

a. 検査

「試験・検査基準」に基づき、工場あるいは発電所で設計の妥当性確認を含む検査を実施する。検査の実施にあたっては、検証に関する管理要領を検討する。

当社が立会い又は記録確認を行う検査に関しては、供給者に以下の項目のうち必要な項目を含む検査要領書を作成させ、当社が事前に審査、確認した上で、検査要領書に基づき実施する。

- ・対象設備、目的、範囲、条件
- ・実施体制、方法、手順
- ・記録項目
- ・合否判定基準
- ・時期、頻度
- ・適用法令、基準、規格
- ・使用する測定機器
- ・不適合管理

可搬式ポンプ及びそれに接続するホース等の型番指定の汎用品を添付ー2 第5表に示す「業務の区分 E,F」で管理し購入する場合で、設備個々の機能・性能を調達段階の工事又は検査中で確認できないものについては、当社にて検査要領書を作成し、受入後に、機能・性能の確認を実施する。

b. 受入検査の実施

製品の受入れに当たり、受入検査を実施し、現品、発送許可証、その他の記録の確認を行う。

c. 記録の確認

作業日報、工事記録等調達した役務の実施状況を確認できる書類により検証を行う。

d. 報告書の確認

調達した役務に関する実施結果を取りまとめた報告書の内容を確認することにより検証を行う。このうち、設計を調達した場合は供給者から提出させる納入図書に対して設計の検証を実施する。

e. 作業中のコミュニケーション等

調達した役務の実施中に、適宜コミュニケーションを実施すること及び立会い等を実施することにより検証を行う。

f. 受注者品質保証監査（「3.6.4 受注者品質保証監査」参照）

3.6.4 受注者品質保証監査

供給者の品質保証活動及び健全な安全文化を育成し維持するための活動が適切で、かつ、確実に行われていることを確認するために、受注者品質保証監査を実施する。

(受注者品質保証監査を実施する場合の例)

(設備) 添付-2 第5表に定める業務の区分 A に該当し、機能・性能の大幅な変更がある場合

(役務) 過去3年以内に監査実績がない供給者で、添付-2 第5表に定める業務の区分 B に該当する場合

但し、過去(5年を目安)に同種製品又は役務の調達を実施され、監査結果が良好な場合は除外可能とする。

供給者の発注先(安全上重要な機能に係る主要業務を行う企業)(以下「外注先」という。)について、下記に該当する場合は、直接外注先に監査を行う。

- ・当社が行う供給者に対する監査において、供給者における外注先の品質保証活動の確認が不十分と認められる場合
- ・不適合等が発生して、外注先の調査が必要となった場合
- ・設計・製作の主体が外注先である場合

設工認に係る供給者については、供給者の評価を実施し、供給者の調達製品を供給する能力に問題はないことを確認しており、必要に応じて監査を実施する。

3.6.5 設工認における調達管理の特例

設工認の対象となる適合性確認対象設備のうち、設工認申請(届出)時点で設置されている設備がある場合は、設置当時に調達を終えており、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づく管理は適用しない。

3.7 記録、識別管理、トレーサビリティ

3.7.1 文書及び記録の管理

設計を主管する組織の長、工事を主管する組織の長及び検査を主管する組織の長は、設工認に係る文書及び記録について、以下の管理を実施する。

(1) 適合性確認対象設備の設計、工事及び検査に係る文書及び記録

設計、工事及び検査に係る文書及び記録については、品質マネジメントシステム計画の「別図 1 保安規定品質マネジメントシステム計画に係る規定文書体系図」に示す規定文書、規定文書に基づき業務ごとに作成される文書（一般図書）、それらに基づき作成される品質記録（設備図書、一般図書）があり、これらを「保安活動に関する文書及び記録の管理基準」に基づき管理する。

当社の品質記録は、設備に関する情報として最新性を維持するための管理が行われている「設備図書」と、活動の結果を示す記録として管理する「一般図書」に分けて管理している。設工認に係る主な品質記録の品質マネジメントシステム上の位置付けを第 3.7-1 表に示す。

設工認では、主に第 3.7-1 図に示す文書及び記録を使って、技術基準規則等への適合性を確保するための設計、工事及び検査を実施するが、これらの中には、原子力発電所の建設時からの記録等、過去の品質保証体制で作成されたものも含まれている。

これらの記録であっても、建設以降の品質保証体制が品管規則の文書及び記録の管理に関する要求事項に適合したものとなっていることから、品質マネジメントシステム計画に基づく品質保証体制下の文書及び記録と同等の品質が確保されている。

建設時からの文書及び記録に関する管理とそのベースとなる民間規格等の変遷及びそれらが品管規則の趣旨と同等であることについて、添付-1 第 2 表に示す。

(2) 供給者が所有する当社の管理下でない図書を設計、工事及び検査に用いる場合の管理

設工認において当社の管理下でない供給者が所有する図書を設計、工事及び検査に用いる場合、当社が供給者評価等により品質保証体制を確認した供給者で、かつ、対象設備の設計を実施した供給者が所有する設計時から現在に至るまでの品質が確認された設計図書が当該設備としての識別が可能な場合において、適用可能な図書として扱う。

この供給者が所有する図書を入手した場合は、当社の文書管理下で第 3.7-1 表に示す設備図書又は一般図書として管理する。

当該設備に関する図書がない場合で、代替可能な図書が存在する場合は、供給者の品質保証体制をプロセス調査することによりその図書の品質を確認し、設工認に対する適合性を保証するための図書として用いる。

(3) 使用前事業者検査に用いる文書及び記録

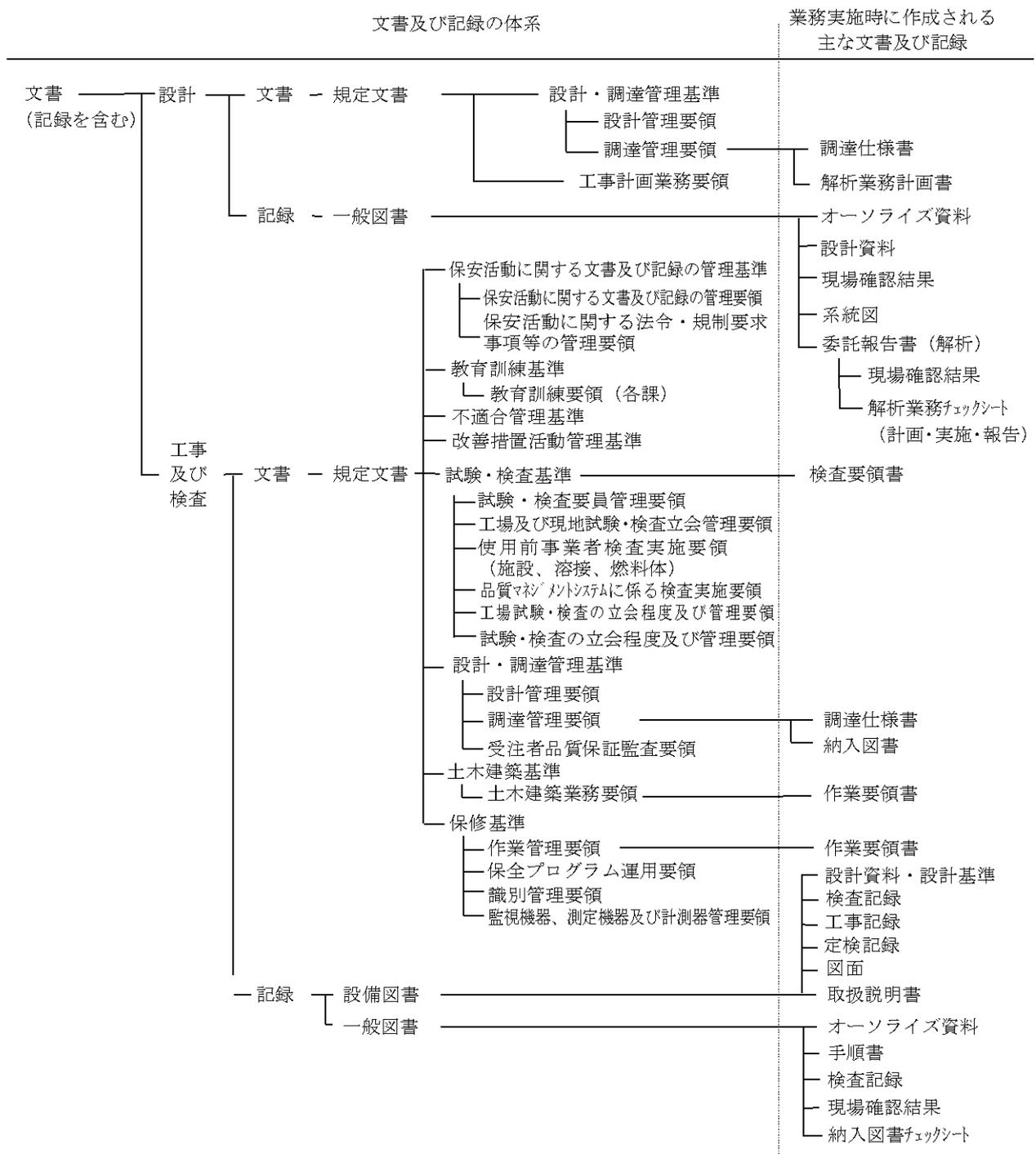
使用前事業者検査として、記録確認検査を実施する場合に用いる記録は、原則として最新性が確保されている「設備図書」を用いて実施する。

なお、適合性確認対象設備に設工認申請（届出）時点で設置されている設備が含まれている場合があり、この場合は、「設備図書」だけでなく、第 3.7-1 表に示す「一般図書」も用いることもあり、この場合は、「一般図書」の内容が、実施する使用前事業者検査時の適合性確認対象設備の状態を示すものであることを、型番の照合、確認できる記載内容の照合又は作成当時のプロセスが適切であることを確認することにより、使用前事業者検査に用いる記録として利用する。

使用前事業者検査に用いた「一般図書」は、供用開始後に、「設備図書」として管理する。

第 3.7-1 表 品質記録の品質マネジメントシステム上の位置付け

記録の種類	品質マネジメントシステム上の位置付け
設備図書	品質保証体制下で作成され、建設当時から同様の方法で、設備の改造等に合わせて、図書を最新に管理している図書
一般図書 (主な一般図書)	作成当時の品質保証体制下で作成され、記録として管理している図書（試験・検査の記録を含む。） 設備図書のように最新に維持されているものではないが、設備の状態を示すものであることを確認することにより、設備図書と同等の記録となる図書
既工認	設置又は改造当時の工事計画、設計及び工事の計画の認可を受けた図書で、当該計画に基づく使用前検査の合格若しくは使用前確認の確認を以って、その設備の状態を示す図書
設計文書（記録）	作成当時の適合性確認対象設備の設計内容が確認できる記録（自社解析の記録を含む。）
自主検査結果（記録）	品質保証体制下で行った当該設備の状態を確認するための試験及び検査の記録
工事中の設備に関する納入図書	設備の工事中の図書であり、このうち、図面等の最新版の維持が必要な図書は、工事竣工後に「設備図書」として管理する図書。
委託報告書	品質保証体制下の調達管理を通じて行われた、業務委託の結果（解析結果を含む。）
供給者から入手した設計図書等	供給者を通じて、供給者所有の設計図書、製作図書等を入手した図書
製品仕様書、又は仕様 がわかるカタログ等	供給者が発行した製品仕様書、又は仕様を確認できるカタログ等で設計に関する事項が確認できる資料
現場確認（ウォークダウン）結果	品質保証体制下で確認手順書を作成し、その手順書に基づき現場の適合状態を確認した記録



【定義】 (保安活動に関する文書及び記録の管理基準)

- ・ 規定文書：統一的な取扱を必要とする事項について定めた文書
- ・ 業務要領：規定文書のうち「基準」を補足する詳細な手順を定めた文書
- ・ 一般図書：規定文書、業務要領及び設備図書以外の文書及び記録
- ・ 記録：業務の実施結果又は、活動の証拠で、設備図書、一般図書の2種類に区分して管理

第 3.7-1 図 設計、工事及び検査に係る品質マネジメントシステムに関する文書体系

3.7.2 識別管理及びトレーサビリティ

設計を主管する組織の長、工事を主管する組織の長及び検査を主管する組織の長は、設工認に係る識別及びトレーサビリティについて、以下の管理を実施する。

(1) 計測器の管理

a. 当社所有の計測器の管理

(a) 校正・検証

定めた間隔又は使用前に、国際又は国家計量標準にトレーサブルな計量標準に照らして校正若しくは検証又はその両方を行う。また、そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いた基準を記録する。

なお、適合性確認対象設備で、調達当時の考え方によりトレーサブルな記録がない場合は、調達当時の計測器の管理として、国際又は国家計量標準につながる管理が行われていたことを確認する。

(b) 識別管理

イ. 計測器管理台帳による識別

校正の状態を明確にするため、計測器管理台帳に、校正日及び校正頻度を記載し、有効期限内であることを識別する。計測器が故障等で使用できない場合、使用禁止を計測器管理台帳に記載する。修理等で使用可能となれば、使用禁止から校正日へ記載を変更することで、使用可能であることを明確にする。

ロ. 計測器管理ラベルによる識別

計測器の校正の状態を明確にするよう、計測器管理ラベルに必要事項を記載し、計測器の目立ちやすいところに貼付し識別する。

b. 当社所有以外の計測器の管理

供給者持込計測器の管理については、使用する前までに計測器名、型式、製造番号、校正頻度、トレーサビリティを校正記録等で確認する。

(2) 機器、弁及び配管等の管理

機器類、弁及び配管類は、刻印、タグ、銘板、台帳、塗装表示等にて管理する。

3.8 不適合管理

設計を主管する組織の長、工事を主管する組織の長及び検査を主管する組織の長は、設工認に係る設計、工事及び検査において発生した不適合については、「不適合管理基準」及び「改善措置活動管理基準」に基づき管理を行う。

4. 適合性確認対象設備の保守管理

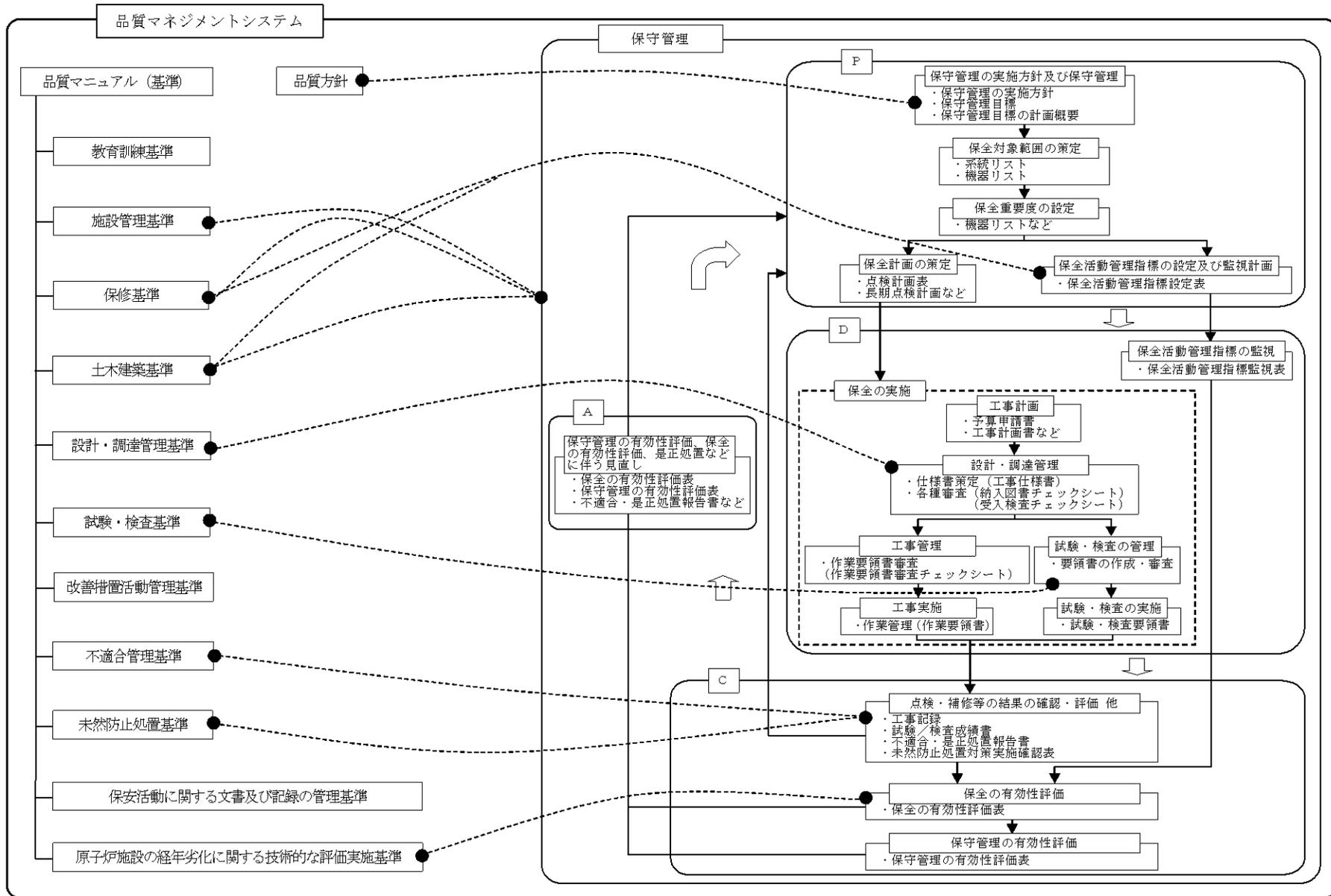
設工認に基づく工事は、「保修基準」及び「土木建築基準」の「保全計画の策定」の中の「設計及び工事の計画」として、保安規定に基づく保守管理に係る業務プロセス

実施している。

保守管理に係る業務プロセスと品質マネジメントシステムの文書との関連を第 4-1 図に示す。

設工認申請（届出）時点で設置されている適合性確認対象設備がある場合は、巡視点検、日常の保守点検及び保全計画に基づく点検等を実施し、異常のないことを確認している。

適合性確認対象設備については、技術基準規則への適合性を、使用前事業者検査を実施することにより確認し、適合性確認対象設備の使用開始後においては、保守管理に係る業務プロセスに基づき保全重要度に応じた点検計画を策定し保全を実施することにより、適合性を維持する。



第 4-1 図 保守管理に係る業務プロセスと品質マネジメントシステムの文書との関連

5. 様式

- (1) 様式-1：本設計及び工事の計画に係る設計の実績、工事及び検査の計画（例）
- (2) 様式-2：設備リスト（例）
- (3) 様式-3：技術基準規則の各条文と各施設における適用要否の考え方（例）
- (4) 様式-4：施設と条文の対比一覧表（例）
- (5) 様式-5-1：技術基準規則と設工認書類との関連性を示す星取表（例）
- (6) 様式-5-2：設工認添付書類星取表（例）
- (7) 様式-6：各条文の設計の考え方（例）
- (8) 様式-7：要求事項との対比表（例）
- (9) 様式-8：基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表（例）

本設計及び工事の計画に係る設計の実績、工事及び検査の計画（例）

各段階	プロセス 実績：3.3.1~3.3.3(4) 計画：3.4.1~3.5.6	設計		工事		検査		調達		インプット	アウトプット	他の記録類
3.3.1	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化											
3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定											
3.3.3(1)	基本設計方針の作成（設計1）											
3.3.3(2)	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）											
3.3.3(3)												
3.3.3(4)	設計開発の結果に係る情報に対する検証											
3.4.1	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）											
3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施											
3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がり の明確化											
3.5.3	使用前事業者検査の計画											
3.5.4	検査計画の管理											
3.5.6	使用前事業者検査の実施											

設備リスト【重大事故等対処設備】(例)

設置許可 基準規則 ／ 技術基準 規則 条文	技術基 準規則 及び 解釈	必要な 機能等	設備等	設備 ／ 運用	既設 ／ 新設	追加要求 事項に対 して必須 の設備、 運用か (○、×)	実用炉規則 別表第二の 記載対象 設備か (○、×)	既設工認 に記載が されてい ないか (○、×)	必要な対 策が(a),(b) のうち、 どこに対 応するか	実用炉規則 別表第二に 関連する施 設・設備区 分	添八主要 設備記載 有無	備 考
○○設備												
○○設備												

(注) (a)は適合性確認対象設備のうち未設工認設備、(b)は適合性確認対象設備のうち既設工認設備を示す。

技術基準規則の各条文と各施設における適用可否の考え方（例）

対象施設		適用可否判断 (○or△)	理由	備考
原子炉本体				
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設				
原子炉冷却系統施設				
計測制御系統施設				
放射性廃棄物の廃棄施設				
放射線管理施設				
原子炉格納施設				
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備			
	常用電源設備			
	補助ボイラー			
	火災防護設備			
	浸水防護施設			
	補機駆動用燃料設備			
	非常用取水設備			
	敷地内土木構造物			
緊急時対策所				
第7、13条への対応に必要となる施設（原子炉冷却系統施設）				

施設と条文の対比一覧表 (例)

条文	重大事故等対処施設																													
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	地盤	地震	津波	火災	特重設備	重大事故等対処設備	材料構造	破壊の防止	安全弁	耐圧試験	未臨界	高圧時の冷却	バウンダリの減圧	低圧時の冷却	最終ヒートシンク	CV冷却	CV過圧破損防止	下部溶融炉心冷却	CV水素爆発	原子炉建屋水素爆発	SFP冷却	拡散抑制	水の供給	電源設備	計装設備	原子炉制御室	監視測定設備	緊急時対策所	通信	準用
原子炉施設の分類	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	共通	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	個別	共通
原子炉本体																														
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設																														
原子炉冷却系統施設																														
計測制御系統施設																														
放射性廃棄物の廃棄施設																														
放射線管理施設																														
原子炉格納施設																														
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備																													
	常用電源設備																													
	補助ボイラー																													
	火災防護設備																													
	浸水防護施設																													
	補機駆動用燃料設備																													
	非常用取水設備																													
	敷地内土木構造物																													
緊急時対策所																														

- ：条文要求に追加・変更がある又は追加設備がある
- △：条文要求に追加・変更がないため当該条文の変更要求に対する設備がないが、他条文の変更等により対応する追加設備があるため基準への適合性を確認する必要があるもの
- －：条文要求を受ける設備がない
- ：保安規定等にて維持・管理が必要な追加設備がある
- ◇：条文要求の一部準用（特定重大事故等対処施設を構成する設備の性質から必要と考えられる要求事項を踏まえた設計とする）

技術基準規則と設工認書類との関連性を示す星取表（例）

〇〇施設							第〇〇条			第〇〇条								
							第〇項			第〇項			第〇項					
							基本設計方針	添付資料	添付図面	基本設計方針	添付資料	添付図面	基本設計方針	添付資料	添付図面			
施設区分	設備区分	機器区分	設備／運用	必要な機能等	該当条文	設備名称	基本設計方針	添付資料	添付図面	基本設計方針	添付資料	添付図面	基本設計方針	添付資料	添付図面			
〇〇施設																		
	技術基準 要求設備 (要目表と して記載要 求のない設 備)																	

設工認添付書類星取表 (例)

申請対象設備						基本設計方針			要目表	別表第二 添付書類						備考					
						【耐震重要度分類】※ 耐震重要度分類については、「設工認添付書類星取表 略語の定義」参照				【設備区分】 設備区分については、「設工認添付書類星取表 略語の定義」参照			【記号の定義】○:有/△:既設工認読込/●or▲:主登録側で整理されるもの ■:他号機にて作成/-:無								
申請対象設備						【機器クラス】※ 機器クラスについては、「設工認添付書類星取表 略語の定義」参照 ※運用及び可搬型の SA 設備については斜線とする。			【機器クラス】 機器クラスについては、「設工認添付書類星取表 略語の定義」参照	【申請区分】 S-1: SA 新設 (既設の新規登録含む) S-2: DB の SA 使用 (条件変更なし) S-3: SA 既設条件アップ S-4: SA 既設クラスアップ S-5: SA 既設使用目的変更 S-6: 基本設計方針 S-7: SA 別表追加等						設備共通		「各施設 (設備)」			
						【申請区分】 D-1: 耐震基準変更(耐震 S クラス) (B,C クラスの S クラスへの波及的影響)(共振のおそれのある耐震 B クラス設備) D-2: RCPB 範囲拡大 D-3: 基準変更・追加又は別表変更・追加 D-4: 別表該当なし D-5: 記載の適正化 D-6: 改造工事										設計基準対象設備 (DB)		重大事故等対処設備 (SA)			「◎」:申請対象 (新規) 「○」:申請対象 (既設工認登録済み) 「□」:申請対象 (既設工認登録なし) 「△」:記載の適正化 「×」:無
別表第二		機器名	兼用する場合の施設・設備区分		耐震重要度分類 (当該設備)	機器クラス (当該設備)	申請区分	設備区分 (当該設備)	機器クラス (当該設備)	申請区分											
発電用原子炉施設の種類	設備区分		機器区分	主登録													兼用登録				

各条文の設計の考え方 (例)

第〇条 (〇〇〇〇〇)					

要求事項との対比表 (例)

技術基準規則・解釈*	設工認 基本設計方針	設置（変更）許可（〇〇年〇〇 月〇〇日付け）本文	設置（変更）許可（〇〇年〇 〇月〇〇日付け）添付書類八	備 考

*技術基準規則・解釈については、記載内容が少ない場合は、この欄を省略することを「可」とする。

基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況一覧表（例）

○○施設						技術基準 規則 第○○条							
						基本設計方針							
施設区	設備区分	機器区分	設備／運用	必要な機能等	該当条文	機器名称	設工認設計結果 (要目表/設計方針)	設備の具体的設計結果	確認方法	設工認設計結果 (要目表/設計方針)	設備の具体的設計結果	確認方法	
○○施設					○○条				【検査項目】			【検査項目】	
							【記録等】	【記録等】	【検査方法】		【検査方法】		
								【要領書番号】		【要領書番号】			
	技術基準 要求設備 として記載 要求のない設備)					○○条				【検査項目】			【検査項目】
								【記録等】	【記録等】	【検査方法】		【検査方法】	
									【要領書番号】		【要領書番号】		
					○○条				【検査項目】			【検査項目】	
							【記録等】	【記録等】	【検査方法】		【検査方法】		
								【要領書番号】		【記録等】	【記録等】	【要領書番号】	

建設時からの品質保証体制

当社は、日本電気協会が原子力発電所の品質保証活動推進のために民間指針として昭和47年に制定した「原子力発電所建設の品質保証手引き」(JEAG4101-1972)の内容を反映した「原子力発電所建設工事品質管理要則」(昭和51年10月1日制定)を定めることにより最初の品質保証体制を構築した。その後、川内原子力発電所第1号機(昭和54年1月工事着工)、同第2号機(昭和56年5月工事着工)、玄海原子力発電所第3/4号機(昭和60年8月工事着工)の建設を開始することになるが、JEAG4101の改正を適宜反映しながら、発電所の建設工事に関する品質を確保してきた。平成15年には品質保証計画書を保安規定に定めることが義務化され、それに合わせて、JEAG4101からJEAC4111「原子力発電所における安全のための品質保証規程」に移行されたことを受けて、当社の品質保証体制を再構築し、現在に至っている。

このような品質保証活動の中で、一貫して行ってきた根幹となる品質保証活動と安全文化を醸成するための活動につながる視点をを用いて整理した結果を第1表に示す。

また、建設当時からの文書及び記録に関する管理とそのベースとなる民間規格の変遷及びそれらが品管規則と同等の趣旨の管理を求めていることについて、第2表に示す。

第1表 安全文化を醸成する活動につながる品質保証活動

	安全文化を醸成するための活動につながる主な視点	品質保証体制を構築した以降の安全文化を醸成するための活動につながる品質保証活動
1	原子力安全に対する個人及び集団としての決意の表明と実践	・品質保証体制の把握と確実な遂行の確認
2	原子力安全に対する当事者意識の高揚	
3	コミュニケーションの奨励と報告を重視する開かれた文化の構築	・必要な会議の実施 ・工場検査立会い時の日報作成(コミュニケーション)
4	欠陥に関する報告	・懸案事項とその処置の検討 ・不具合に対する処置と是正処置の確認
5	改善提案に対する迅速な対応	
6	安全と安全文化の更なる醸成とその継続的な改善	・安全に関する基本的設計条件を満たすことの確認 ・試験時の安全管理
7	組織及び個人の責任と説明責任	・組織及び業務分担の明確化
8	問い掛ける姿勢及び学習する姿勢の奨励と慢心を戒める方策の模索と実施	・品質管理に関する教育の実施 ・検査時の基本的姿勢の明確化(単なる検査にならないよう)
9	安全及び安全文化に関する重要な要素についての共通の理解	・業務の各段階におけるルールの明確化 ・試験時の安全管理
10	リスクの意識とその共通理解	・問題点、懸案事項に対する検討と処置
11	慎重な意思決定	・審査・承認の明確化 ・受注者の供給者に対する管理方法の明確化

第2表 文書及び記録に関する管理と文書体系の主な変遷

JEAG4101に基づく管理		JEAC4111に基づく管理	
S51.10.1 JEAG4101-1981 (IAEA50-C-QA(1978)反映) 原子力発電所の設計から運転段階における品質保証指針として改定 JEAG4101-1985 運転・保守管理の追加	JEAG4101-1998 独立監査組織に関する要求事項追加 JEAG4101-2000 IAEA50-C/SG-Q(1996)反映	H15.11.1 JEAC4111-2009 ISO9001-2008 反映	H25.7.1 品管規則に基づく管理
2.一般事項 (4) 設置者は、図面、仕様書、試験、検査記録、監査記録等、品質保証に関する文書について、設置者と受注者がそれぞれ保管管理すべきものを明確にし、責任を持って管理し、また管理させること。	3.1 文書管理 12.品質記録管理	4.2.8 文書管理 4.2.4 記録の管理	(文書の管理) 第六条 (第七条) (記録の管理) 第七条 (第八条)
2.3 図面、仕様書の管理 2.13 品質管理記録の管理	4.文書管理 12.品質記録の管理	4.2.3 文書管理 4.2.4 記録の管理	4.2.3 文書管理 4.2.4 記録の管理
3.4 文書、記録管理 (1)法令に基づく願、届、報告書、検査記録等 (2)図面、仕様書、要領書等 (3)台帳類 (4)記録写真 (5)工事記録、検査記録、チェックシート等 (6)建設記録 (7)その他の文書、記録	2.1 管理すべき文書の区分 1.設備図書 (1)取扱説明書 (2)設計資料、設計基準 (3)検査記録 (4)台帳、リスト (5)改造工事記録 (6)定検記録 (7)建設記録 (8)契約仕様書 (9)図面 2.一般図書 2.5 文書の改訂 2 設備図書の改訂 設備図書の管理手順に従い、図書を修正するとともに改訂内容を周知徹底する。	1.4 用語の定義 (1)設備図書 (2)一般図書 3 品質記録管理基準 品質保証関連記録は、設備図書、一般図書(記録)の2種類に区分して管理する。	1.4 用語の定義 (1)設備図書 (2)一般図書 3 記録管理 記録は、設備図書、一般図書の2種類に区分して管理する。
2.適用範囲 (1)本基準による整理対象は次のものとする a.図面及び資料 (現在の設備図書を含む。) ・工事中変更箇所が生じた場合、受注者は図面を修正し、再承認申請を行う。 ・再承認を行った図面及び資料は関係各課へ送付し、各課にて保管を行う。 b.官庁関係資料 c.一般図書	設備・運用方法等変更時の規定類等反映管理要領に従い、設備の変更を実施する場合、設備図書の変更要否を確認し、設備の工事完了あるいは運用開始までに変更を行う。※	設備・運用方法等変更時の管理要領に従い、設備の変更を実施する場合、設備図書の変更要否を確認し、設備の運用開始までに変更を行う。	設備・運用方法等変更時の管理要領に従い、設備の変更を実施する場合、設備図書の変更要否を確認し、設備の運用開始までに変更を行う。
1.1 文書類の基本分類 文書、資料、図面、工事写真 2.文書 3.資料 (現在の設備図書を含む。) ・「図面、資料整理基準」に従い、配布された資料の回覧、保管を行う。 4.図面 (現在の設備図書を含む。) ・「図面、資料整理基準」に従い、配布された図面の回覧、保管を行う。 5.工事写真			

当社におけるグレード分けの考え方

1. 設計管理、調達管理におけるグレード分けの考え方

当社では業務の実施に際し、原子力安全に及ぼす影響に応じて、グレード分けの考え方を適用している。設工認に係る「設計・開発」管理（品質マネジメントシステム計画「7.3 設計開発」）や「調達」管理（品質マネジメントシステム計画「7.4 調達」）に係るグレード分けについては、次のとおりである。

(1) 設備の「設計開発」管理に係るグレード分けの考え方

設工認に係る設備の「設計開発」の管理におけるグレード分けの考え方は、第1表のとおりである。

第1表 設備の「設計開発」の管理に係るグレード分け

グレード	工事区分	設計区分
グレード1	原子力発電所の安全上重要な設備及び構築物等に関する工事	実用炉規則別表第二対象設備に該当する原子炉施設に関する工事の要求事項への適合性を確保するための設計*1（以下「要求事項への適合性を確保するための設計」という。）
グレード2		実用炉規則別表第二対象設備以外の原子炉施設の工事のための設計
グレード3	上記以外の原子力施設に関する工事	

*1：この設計には、新たな規制基準等の要求事項を既存の施設等へ適用する場合を含む。

(2) 設備の「設計開発」の管理に係るグレードごとの適用範囲

設工認に係る設備の「設計開発」の管理におけるグレードに応じて適用する管理の段階は、第2表のとおりであり、各管理の段階とその実施内容は、第3表のとおりである。

第2表 管理の段階とグレード毎の適用範囲

管理の段階		管理のグレード		
		グレード1	グレード2	グレード3
I	設備導入の計画	○	○	○
II	要求事項への適合性を確保するための設計（設計1、設計2）	○	—	—
III	調達文書作成（必要により）	○	○	○
IV	設備の具体的な設計（設計3）	○	○※3	○※3,※4
	工事及び試験・検査	○※1	○	○
V	一般汎用品に対する機能・性能確認	○※2	—	—

※1 一般汎用品の機能・性能を当社により管理できる場合を含む。

※2 一般汎用品の機能・性能を管理の段階IVの工事及び検査で確認できない場合

※3 自社設計の場合、以下に示す必要な管理を実施する。

・グレード2：「3.3.3 設工認における設計及び設計開発の結果に係る情報に対する検証」～「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）」

・グレード3：「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施（設計3）」

※4 一般汎用品を除く。

第3表 管理の段階毎の実施内容

管理の段階		実施内容
I	設備導入の計画	主要工事業務計画、オーソライズにより、設計対象設備の基本仕様、工事完了までに必要となる業務、関係箇所の役割分担を含めた設備導入の計画を作成する。
II	要求事項への適合性を確保するための設計 (設計1、設計2)	要求事項への適合性を確保するための設計を、「3.3 設計に係る品質管理の方法により行った管理の実績に係る計画」～「3.3.3(4) 設計開発の結果に係る情報に対する検証」に基づき、実施する。 設計業務をアウトソースする場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づき管理する。
III	調達文書作成 (必要により)	調達文書を「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づき作成し、供給者に設備の設計業務をアウトソースする。
IV	設備の具体的な設計 (設計3)	設備の具体的な設計を実施する。設計業務をアウトソースする場合は、「3.4.1 設工認に基づく設備の具体的な設計の実施(設計3)」に基づき管理する。
	工事及び試験・検査	工事を、設計結果に基づき実施する。工事をアウトソースする場合は、「3.6 設工認における調達管理の方法」に基づき管理する。 検査は、「3.5 使用前事業者検査」に基づき、工場製作段階又は現地工事段階において実施する。
V	一般汎用品に対する機能・性能確認	一般汎用品に対する機能・性能確認を「3.6.3 調達製品の調達管理」の「(3) 調達製品の検証」に基づき実施する。

(3) 設備の「調達」管理に係るグレード分けの考え方

設備の「調達」管理に係るグレード分けの考え方は、以下に示す品質保証上の要求事項に対し、業務の重要度に応じたグレード分けを適用する。

a. 業務の区分に応じた品質保証上の要求事項

当社は、供給者に対し、「業務の区分」(第5表参照)に応じた品質保証上の要求(第6表参照)を行うことにより、供給者に品質保証体制を確立させた上で、調達管理を実施する。

この「業務の区分」は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に定める重要度に供給信頼度(稼働率)を加味した「品質重要度分類」(第4表参照)等の業務の重要度に応じて定め、該当する業務の区分が複数ある場合は、業務の区分が高い方を適用する。

第4表 品質重要度分類

安全性 稼働率	クラス1		クラス2		クラス3		クラス外	
	PS-1	MS-1	PS-2	MS-2	PS-3	MS-3		
R1*1	A		B					
R2*2								
R3*3					C1*4		C2*5	

- *1 その設備の故障により発電停止となる設備
- *2 その故障がプラント運転に重大な影響を及ぼす設備（R1を除く。）
- *3 上記以外でその故障がプラント稼働にほとんど影響を及ぼさない設備
- *4 ①第3者機関の検査を受ける設備、②予備機がなくかつ保修・取替等の作業が出来ない機器、③原子炉格納容器内の設備、④特殊な条件下での信頼性維持を求められている設備
- *5 A,B,C1以外の設備

第5表 業務の重要度に応じた業務の区分

業務の重要度		業務の区分（高⇔低）*3					
		A	B	C	D	E	F
設備	品質重要度分類 A,B の工事	○	—	—	—	○*1	—
	品質重要度分類 C(C1,C2)の工事	—	—	○	—	—	—
	設工認申請又は届出対象の工事	○	—	—	—	○*1	—
	上記以外の工事	—	—	—	—	—	○
*2 役務	品質重要度分類 A,B に関する役務	—	○	—	—	—	—
	品質重要度分類 C(C1,C2)に関する役務	—	—	—	○	—	—
	設工認申請又は届出対象の工事に関する役務	—	○	—	—	—	—
	保安規定に直接関連する役務	—	○	—	—	—	—
	品質マネジメントシステムの運用管理に関する役務	—	—	—	○	—	—
	上記以外の役務	—	—	—	—	—	○

- *1 過去に設計を行った設備と同じ設備の型番購入において実績があること。また、一般汎用品の型番購入においては、原子力特有の技術仕様書を基に設計・製作されたものでない一般汎用品の中からそれに合致する設備を当社が設計の中で特定し、その設備を調達するものであることから、供給者に対する品質保証上の要求事項（第6表参照）は必要なものに限定している。
- *2 役務には、本設工認に係る解析業務が該当
- *3 上記に示した「業務の区分」よりも高いグレードを適用する場合がある。

第6表 業務の区分ごとの供給者の品質保証体制に対する品質保証上の要求

品質保証活動に関する要求項目	業務の区分					
	A	B	C	D	E	F
①品質保証体制の構築（組織の状況）	○	○	○	○	—	—
②経営者の責任（リーダーシップ）	○	○	—	—	—	—
③計画並びにリスク及び機会への取組み（予防処置を含む）	○	○	○	○	—	—
④資源の運用管理（支援）	○	○	○	○	—	—
⑤監視機器及び測定機器の管理	○	○	○	○	○	—
⑥コミュニケーション	○	○	○	○	—	—
⑦文書及び記録の管理（文書化した情報）	○	○	○	○	—	—
⑧業務の計画及び管理	○	○	○	○	—	—
⑨設計管理（製品及び役務の設計・開発）	○	○	○	○	—	—
⑩調達管理（外部から提供されるプロセス、製品及び役務の管理）	○	○	○	○	—	—
⑪業務の実施及び特殊工程管理	○	○	○	○	—	—
⑫識別及びトレーサビリティ	○	○	○	○	○	—
⑬当社の所有物	○	○	○	○	○	○
⑭中間品及びアウトプットの保存	○	○	○	○	—	—
⑮引渡し後の活動	○	○	○	○	—	—
⑯変更の管理	○	○	○	○	—	—
⑰監視及び測定（製品及び役務のリリース）	○	○	○	○	—	—
⑱不適合及び是正処置（不適合の報告及び処 理に係る要求を含む）	○	○	○	○	—	—
⑲パフォーマンス評価	○	○	○	○	—	—
⑳改善	○	○	—	—	—	—

技術基準規則ごとの基本設計方針の作成に当たっての基本的な考え方

1. 設置変更許可申請書との整合性を確保する観点から、設置変更許可申請書本文に記載している、適合性確認対象設備に関する設置許可基準規則に適合させるための「設備の設計方針」や、設備と一体となって適合性を担保するための「運用」を基にした詳細設計が必要な設計要求事項を記載する。
2. 技術基準規則及びその解釈への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文以外で詳細設計が必要な設計要求事項（多様性拡張設備 等）がある場合は、その理由を「各条文の設計の考え方」に明確にした上で記載する。
3. 自主的に設置したものは、原則として記載しない。
4. 基本設計方針は、必要に応じて並び替えることにより、技術基準規則の記載順となるように構成し、箇条書きにするなど表現を工夫する。
5. 基本設計方針の作成に当たっては、必要に応じ、以下に示す考え方で作成する。
 - (1) 設置変更許可申請書本文記載事項のうち、「性能」を記載している設計方針は、技術基準規則への適合性を確保する上で、その「性能」を持たせるために特定できる手段がわかるように記載する。

また、技術基準規則への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文に対応した事項以外に必要となる運用を付加する場合も同様の記載を行う。

なお、手段となる「仕様」が要目表で明確な場合は記載しない。
 - (2) 設置変更許可申請書本文記載事項のうち「運用」は、「基本設計方針」として、運用の継続的改善を阻害しない範囲で必ず遵守しなければならない条件がわかる程度の記載を行うとともに、運用を定める箇所（品質マネジメントシステムの2次文書で定める場合は「保安規定」を記載）の呼び込みを記載し、必要に応じ、当該施設に関連する別表第二に示す添付書類の中でその運用の詳細を記載する。また、技術基準規則及びその解釈への適合性を確保する観点で、設置変更許可申請書本文に対応した事項以外に必要となる運用を付加する場合も同様の記載を行う。

- (3) 設置変更許可申請書本文で評価を伴う記載がある場合は、設工認資料にて担保する条件を以下の方法を使い分けることにより記載する。
- a. 評価結果が示されている場合、評価結果を受けて必要となった措置のみを設工認対象とする。
 - b. 今後評価することが示されている場合、評価する段階（「設計」若しくは「工事」）を明確にし、評価の方法及び条件、その評価結果に応じて取る措置の両者を設計対象とする。
- (4) 第 10 条など、要求事項が該当しない条文については、該当しない旨の理由を記載する。
- (5) 条項号のうち、適用する設備がない要求事項は、「適合するものであることを確認する」という設工認審査の観点を踏まえ、当該要求事項の対象となる設備を設置しない旨を記載する。
- (6) 技術基準規則の解釈等に示された指針・行政文書・他省令の呼び込みがある場合は、以下の要領で記載を行う。
- a. 設置時に適用される要求など、特定の版の使用が求められている場合は、引用する文書名及び版を識別するための情報（施行日等）を記載する。
 - b. 監視試験片の試験方法を示した規格など、条文等で特定の版が示されているが保守管理等の運用管理の中で評価する時点でエンドースされた最新の版による評価を継続して行う必要がある場合は、保安規定等の運用の担保先の表示に加え、当該文書名とそのコード番号（必要時）を記載する。
 - c. 解釈等に示された条文番号は、当該文書改正時に変更される可能性があることを考慮し、条文番号は記載せず、条文が特定できる表題で記載する。
 - d. 条件付の民間規格や設置変更許可申請書の評価結果等を引用する場合は、可能な限りその条件等を文章として反映する。また、設置変更許可申請書の添付を呼び込む場合は、対応する本文のタイトルを呼び込む。なお、文書名を呼び込む場合においても「技術評価書」の呼び込みは行わない。

設工認における解析管理について

1. 設工認対象工事における解析管理

設工認に必要な解析のうち、調達（「3.6 設工認における調達管理の方法」参照）を通じて実施した解析は、「原子力施設における許認可申請等に係る解析業務の品質向上ガイドライン（平成 26 年 3 月 一般社団法人 原子力安全推進協会）」（以下「解析業務ガイドライン」という。）に示される要求事項に、耐震バックチェック不適合を踏まえた当社独自の要求事項を加えて策定した「設計・調達管理基準」に従い、供給者への解析要求事項を明確にしている。

解析業務における具体的な活動内容を、以下に示す。また、事業者と供給者の解析業務の流れ、及び組織内外の部門間の相互関係を第 1 表に示す。

調達によらない解析業務の管理（自社解析）の実績を第 2 表に示す。

(1) 調達仕様書の作成

調達を担当する組織の長は、解析業務における以下の要求事項を記載した調達仕様書を作成する。

a. 解析業務計画書の作成

解析業務計画書には、以下の内容を含む。

- (a) 解析業務の作業手順
- (b) 解析結果の検証
- (c) 委託報告書の確認
- (d) 解析業務の変更管理
- (e) 品質記録の保管管理
- (f) 教育の実施

b. 教育の実施

- c. 計算機プログラムの検証
- d. 入力根拠の明確化
- e. 入力結果の確認
- f. 解析結果の検証
- g. 委託報告書の確認
- h. 解析業務の変更管理
- i. 品質記録の保管管理
- j. 調達

(2) 調達製品（解析業務）の調達管理

調達管理における当社の管理を「a.当社が実施する解析業務の管理」に、供給者の管理を「b.供給者が実施する解析業務の管理」に示す。

a. 当社が実施する解析業務の管理

(a) 解析業務計画の確認

調達を担当する組織の長は、供給者に提出を求めた「解析業務計画書」（又は「委託実施要領書」）で以下のイ. ～ へ. の計画が明確にされていることを、「解析業務チェックシート（解析業務計画書用）」により確認する。

イ. 解析業務の作業手順（デザインレビュー、審査方法、時期等を含む。）

(イ) 計算機プログラムが適正であることの検証及び管理の方法

(ロ) 解析ごとの入力根拠の明確化

(ハ) 入力根拠の整理方法

(ニ) 入力根拠の確認及び入力が正確に実施されていることの確認

(ホ) 入力クロスチェック（必要時）*やダブルチェックによるデータの信頼性の確保

*入力クロスチェックとは、解析担当者以外で解析に精通した者で、解析担当者と業務の独立性が確保された者が、入力根拠及び入力が正確に実施されていることの確認として、解析担当者が作成した入力根拠とは別の入力根拠を独立して作成し、そのデータと解析担当者が出力したエコーデータ（入力したデータの計算機出力）を照合することをいう。（入力クロスチェックの流れは第1図を参照）

この入力クロスチェックは、以下の条件に合致する供給者に対して適用する。

- ・当社における解析の委託実績がない供給者
- ・当該解析において、解析対象物に対し供給者で一般的に使用されていない解析手法を用いたり、実績のない対象に係る解析を実施する場合
- ・その他、調達を担当する組織の長が必要と判断した場合

ロ. 解析結果の検証

ハ. 委託報告書の確認

ニ. 解析業務の変更管理

ホ. 品質記録の保管管理

へ. 教育の実施

(b) 解析実施状況の確認

調達を担当する組織の長は「解析業務チェックシート（解析実施状況確認用）」を用いて現地調査による以下の実施状況を確認する。

- イ. 教育の実施状況
- ロ. 計算機プログラムの検証状況
- ハ. 計算機への入力が正しく行われたことの確認状況
- ニ. 解析結果の検証状況
- ホ. 解析業務の変更管理

(c) 解析業務結果の確認

調達を担当する組織の長は、供給者から提出された「委託報告書」を「解析業務チェックシート（委託報告書用）」により確認し、供給者が解析業務の計画に基づき適切に解析業務を実施したことを確認する。

b. 供給者が実施する解析業務の管理

供給者は、当社の調達仕様書の要求事項に基づき、以下のとおり、解析業務を実施する。

(a) 解析業務計画書の作成

供給者は、解析業務を実施するに当たり、あらかじめ解析業務の計画を解析業務計画書として策定し、事前に当社に提出して確認を受ける。

解析業務の計画では、以下の計画を明確にする。

イ. 解析業務の作業手順

- (イ) 計算機プログラムが適正であることの検証及び管理の方法（「(c) 計算機プログラムの検証」の内容を含む。）
- (ロ) 解析ごとの入力根拠の明確化（「(d) 入力根拠の明確化」の内容を含む。）
- (ハ) 計算機プログラムへの入力が正確に実施されたことの確認（「(e) 入力結果の確認」の内容を含む。）

(ニ) 入力及び計算式を含めた手計算結果の確認

- ロ. 解析結果の検証（「(f) 解析結果の検証」の内容を含む。）
- ハ. 委託報告書の確認（「(g) 委託報告書の確認」の内容を含む。）
- ニ. 解析業務の変更管理（「(h) 解析業務の変更管理」の内容を含む。）
- ホ. 品質記録の保管管理（「(i) 品質記録の保管管理」の内容を含む。）
- ヘ. 教育の実施（「(b) 教育の実施」の内容を含む。）

(b) 教育の実施

解析業務の実施に先立ち、当該の解析を実施する要員に対し、入力根拠・入力データに対する確認の重要性とそれを誤った場合の結果の重大性、及びそれらの誤りを見つけることの重要性に関する教育を実施する。

(c) 計算機プログラムの検証

計算機プログラムが適正なものであることを事前に検証する。

(d) 入力根拠の明確化

解析業務計画書等に基づき解析ごとの入力根拠を明確にした文書を作成する。

(e) 入力結果の確認

イ. 解析担当者は、計算機プログラムへの入力が正確に実施されていることの確認を行う。建屋の耐震安全性評価の場合は、解析担当者及びそれ以外の者の2名によりダブルチェックする。

ロ. 入力根拠の確認及び入力が正確に実施されていることの確認を目的として、入力クロスチェック者が入力クロスチェックを実施する(必要時)。建屋の耐震安全性評価の場合は、入力クロスチェック者及びそれ以外の者によりダブルチェックする。

(f) 解析結果の検証

イ. 解析結果の検証として、あらかじめ策定した解析業務計画書等に従い、以下の観点を参考に審査を行う。

- ・入力根拠を明確にし、計算機プログラムへ入力しているか。
- ・汎用表計算ソフトウェアを使用する場合、その使用を明確にし、入力した計算式を事前に検証して登録しているか。
- ・解析結果が受容できるものであることを次の例に示すような方法で確認しているか。

(イ) 類似解析結果との比較

(ロ) 物理的あるいは工学的整合性の確認

- ・新設計の燃料、炉心、系統・設備等を採用した場合、あるいは新しい解析手順や計算機プログラムを適用した場合など、許認可申請用の設計解析に設計変更又は新規性が認められる場合には、デザインレビュー等により解析の妥当性を確認しているか。
- ・新たな解析を行わず、過去の検証済みの解析結果をそのまま使用する場合には、適用する設計インプットが同等であることを個々の仕様ごとに検証しているか。

- ・過去の検証済みの解析結果に適用された検証方法・内容程度が、最新の手順と同等でない場合には、最新の手順に従って改めて検証を行うか、あるいは不足分に対する追加の検証を行っているか。

ロ．審査者の検証活動を明確にして審査を行う。

(g) 委託報告書の確認

解析業務の結果を、当社の指定する書式又は当社の確認を得た書式に加工、編集して以下の内容を含めた委託報告書を作成する。

イ．教育の実施結果

ロ．計算機プログラムを用いた解析結果・汎用表計算ソフトウェアを用いた計算結果又は手計算による計算結果

ハ．解析ごとの入力根拠が正しく作成されたことの確認結果

ニ．計算機プログラムへ入力が正確に実施されたことの確認結果（入力クロスチェックの結果を含む。）

ホ．計算機プログラムの検証結果

検証結果として、「計算機コード（プログラム）名」、「開発機関」、「バージョン」、「開発時期」、「解析コード等の概要」、「検証方法」を記載する。

開発元が提示する例題や理論解との比較の実施状況などを確認し、計算機能が適正であることを検証する。

(h) 解析業務の変更管理

調達を担当する組織の長の要求に従い、以下の変更管理を実施する。

イ．解析業務の変更有無や変更があった場合は、変更内容を文書化し、解析業務の各段階において、その変更内容を反映する。

ロ．供給者から当社へ解析モデル・条件等を提案した後に供給者がそれらを変更する場合は、当社の確認を得てから変更する。

(i) 品質記録の保管管理

解析業務に係る必要な文書を、期限を定めて品質記録として管理する。

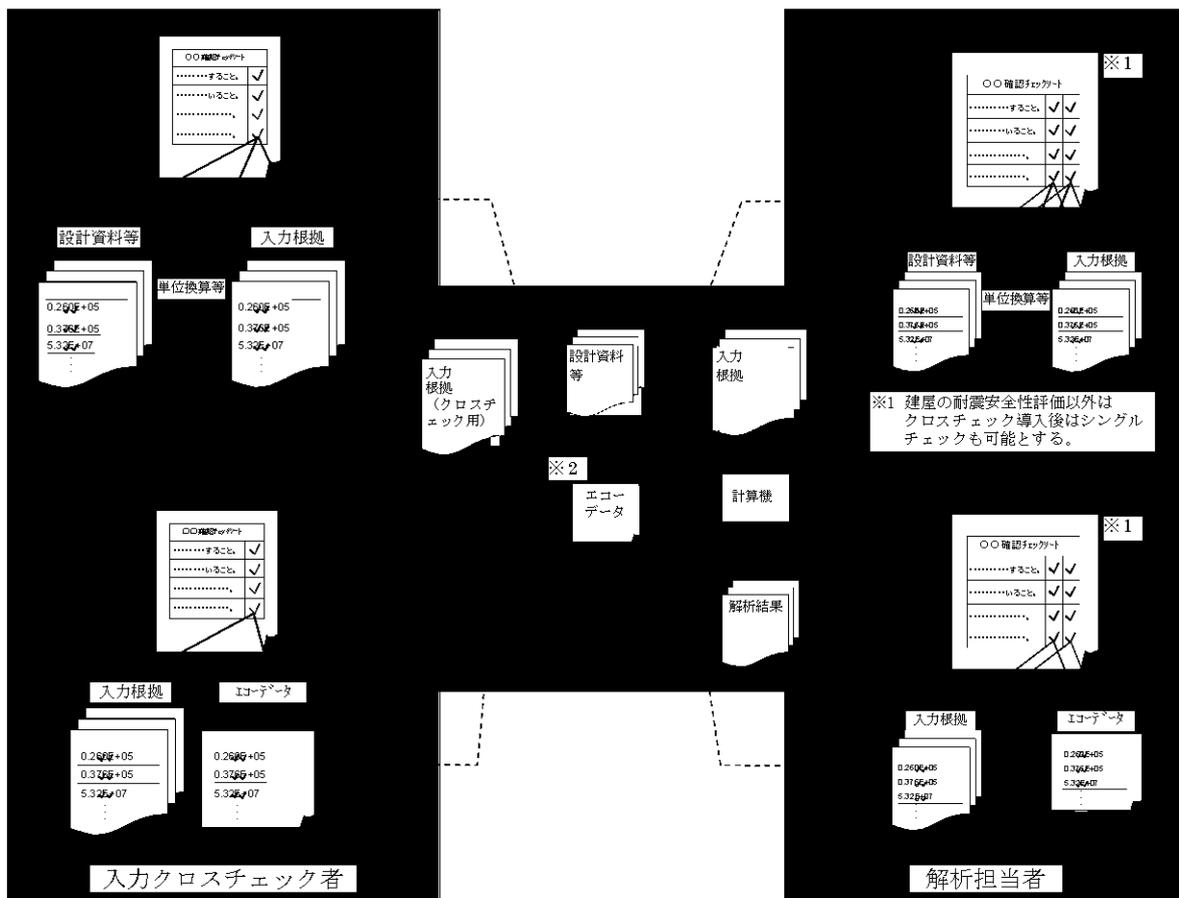
(j) 調 達

イ．解析業務のプロセスをアウトソースする場合には、あらかじめその内容を明確にする。また、アウトソースすることについて当社の確認を得る。

ロ．解析業務に係る必要な品質保証活動として、当社からの解析に関する要求事項を、購入仕様書や文書等で供給者の調達先にも要求する。

第1表 解析の業務フロー

管理の段階	当社（本店）	供給者（解析者）	解析結果を保証するための品質管理のポイント	当社における具体的な調達（解析）の管理の方法	証拠書類	備考（背景）
調達仕様書作成	①調達仕様書作成 ↓ 解析業務発注	解析業務受注	① 当社は、当社からの解析に関する要求事項（③、⑤～⑩、⑫、⑬）を、調達仕様書で確実に要求する。	（当社） ①「(1)調達仕様書の作成」参照	・仕様書	①「解析業務ガイドライン」
計画確認	②「解析業務計画書」の確認	③解析業務の計画 ⑧変更管理	② 当社は、供給者の活動を確実に管理するため、供給者が行う活動内容（⑤～⑩、⑫、⑬）を事前に解析業務計画書（③）にて提出させ確認する。	（当社） ②「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」a.(a)参照（供給者） ③「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(a)参照	・解析業務計画書（供給者提出） ・解析業務チェックシート（解析業務計画書用）	②、③「解析業務ガイドライン」
解析実施状況確認	④ 解析業務計画書に基づき、供給者に対する解析業務実施状況について現地調査にて確認し、適宜、監査を実施 ・教育の実施状況 ・計算機プログラムの検証状況 ・入力根拠の作成状況 ・入力結果（手計算結果含む。）の確認状況 ・入力クロスチェックの状況（必要時） ・解析結果の検証状況（審査の実施状況、デザインレビュー等の実施状況を含む。） ・変更管理の状況	⑤教育の実施 ⑥計算機プログラムの検証 ⑦-1入力根拠の明確化（解析担当者） ⑦-2入力根拠の作成（入力クロスチェック者）（必要時） 入力根拠及び計算式の明確化（解析担当者） ⑧入力結果の確認 解析実施 ⑨解析結果の検証 ⑩委託報告書作成 ⑪委託報告書の確認 委託報告書提出 ⑫品質記録の保管	④ 当社は、供給者が解析業務計画書に基づき、解析業務を確実に活動していることを確認するため、以下の活動の実施状況を現地に確認し、適宜、監査を実施する。 ・入力データ確認の重要性等の意識付けを行うための教育の実施状況（⑤） ・入力根拠の妥当性の確認と入力データが確実にインプットされていることの確認のための入力クロスチェック（⑦-1、⑦-2、⑧）の実施状況（必要時） ・計算方法が適切な方法で確実に行われていることの確認のための計算機プログラムの検証（⑥）の実施状況 ・解析結果が妥当であることの確認のための解析結果の検証（⑨）の実施状況 ・解析業務に変更が生じた場合の変更管理（⑩）の実施状況	（当社） ④「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」a.(b)参照 （供給者） ⑤「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(b)参照 ⑥「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(c)参照 ⑦「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(d)参照 ⑧「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(e)参照 ⑨「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(f)参照 ⑩「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(h)参照	・解析業務チェックシート（解析実施状況確認用）	④、⑤「耐震 BC 不適合」を受けた管理の強化 ⑥「解析業務ガイドライン」 ⑦-1「解析業務ガイドライン」 ⑦-2「耐震 BC 不適合」を受けた管理の強化 ⑧、⑨、⑩「解析業務ガイドライン」
解析結果確認	⑪「委託報告書」の確認	⑩委託報告書の確認 委託報告書提出 ⑫品質記録の保管	⑪ 当社は、供給者の活動が確実に実施されたかを確認するため、供給者が確認した委託報告書（⑩）を提出させ、当社も確認する。	（当社） ⑪「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」a.(c)参照 （供給者） ⑩「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(g)参照 ⑫「(2)調達製品（解析業務）の調達管理」b.(i)参照	・報告書（供給者提出） ・解析業務チェックシート（委託報告書用）	⑩～⑫「解析業務ガイドライン」



※2 入力クロスチェック者は、設計資料等から直接エコーデータの確認ができる場合は、設計資料等とエコーデータを直接照合してよいものとする。

↔ :入力クロスチェック者による照合 → :データの流れ

第1図 入力クロスチェックのフロー

第2表 設工認に係る手計算実施時の品質管理について（例：耐震計算）

管理 段階	当 社	手計算結果を保証するための 品質管理のポイント	備考 (背景)
実施の 必要性 確認		<p>① 当社は、耐震計算を実施するに当たり、「設備リスト」「要目表」「系統図」等を用いて評価対象範囲を明確にする。</p> <p>② 当社は、評価対象範囲について、技術基準規則^(注1)の要求事項に基づき、JEAG4601-1991（追補版）の適用する規格等で規定されている適切な評価式を選定し、評価式を用いて手計算を実施する必要があることを確認する。</p>	<p>（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</p>
手計算 実施 状況 確認		<p>③ 当社は、手計算を確実に実施するために、以下に示すとおり、計算条件を入力する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 手計算実施者は、JEAG4601-1991（追補版）等で規定される評価式による計算に必要なパラメータを「要目表」「図面」等より整理する。 <p>④ 当社は、手計算を確実に実施するために、以下に示すとおり、手計算の過程を明確にする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 手計算実施者は、JEAG4601-1991（追補版）等で規定される評価式に計算条件を当てはめ、計算式を作成する。 手計算実施者は、作成された計算式を用いて手計算を実施し、その過程及び結果を整理する。 手計算実施者は、正しいパラメータが入力されていることを確認する。 <p>⑤ 当社は、手計算を確実に実施するために、以下に示すとおり、入力条件を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ダブルチェック者は、計算に必要なパラメータが適切に収集されていることを確認する。 ダブルチェック者は、収集されたパラメータが整理されていることを確認する。 手計算実施者は、必要に応じ、入力の修正を行う。 	
手計算 結果 確認		<p>⑥ 当社は、手計算を確実に実施するために、以下に示すとおり、手計算の過程及び結果を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ダブルチェック者は、計算過程及び計算結果に正しいパラメータが入力されていることを確認する。 手計算実施者は、必要に応じ、入力の修正を行う。 <p>⑦ 当社は、耐震計算を実施するに当たり、計算結果を品質記録として保管する。</p>	

本設計及び工事の計画に係る設計の実績、
工事及び検査の計画

設計及び工事計画認可申請添付資料 7-2

玄海原子力発電所第 4 号機

設計及び工事に係る
品質管理の方法等に関する実績又は計画について

1. 概 要

本資料は、本文「設計及び工事に係る品質マネジメントシステム」に基づく設計に係るプロセスの実績、工事及び検査に係るプロセスの計画について説明するものである。

2. 基本方針

設計に係るプロセスとその実績について、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」に示した設計の段階ごとに、組織内外の部門関係、進捗実績及び具体的な活動実績について説明する。

工事及び検査に関する計画として、組織内外の部門関係、進捗実績及び具体的な活動計画について説明する。

3. 設計及び工事に係るプロセスとその実績又は計画

「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」に基づき実施した、設計の実績、工事及び検査の計画について、「設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに関する説明書」の様式-1により示す。

本設計及び工事の計画に係る設計の実績、工事及び検査の計画

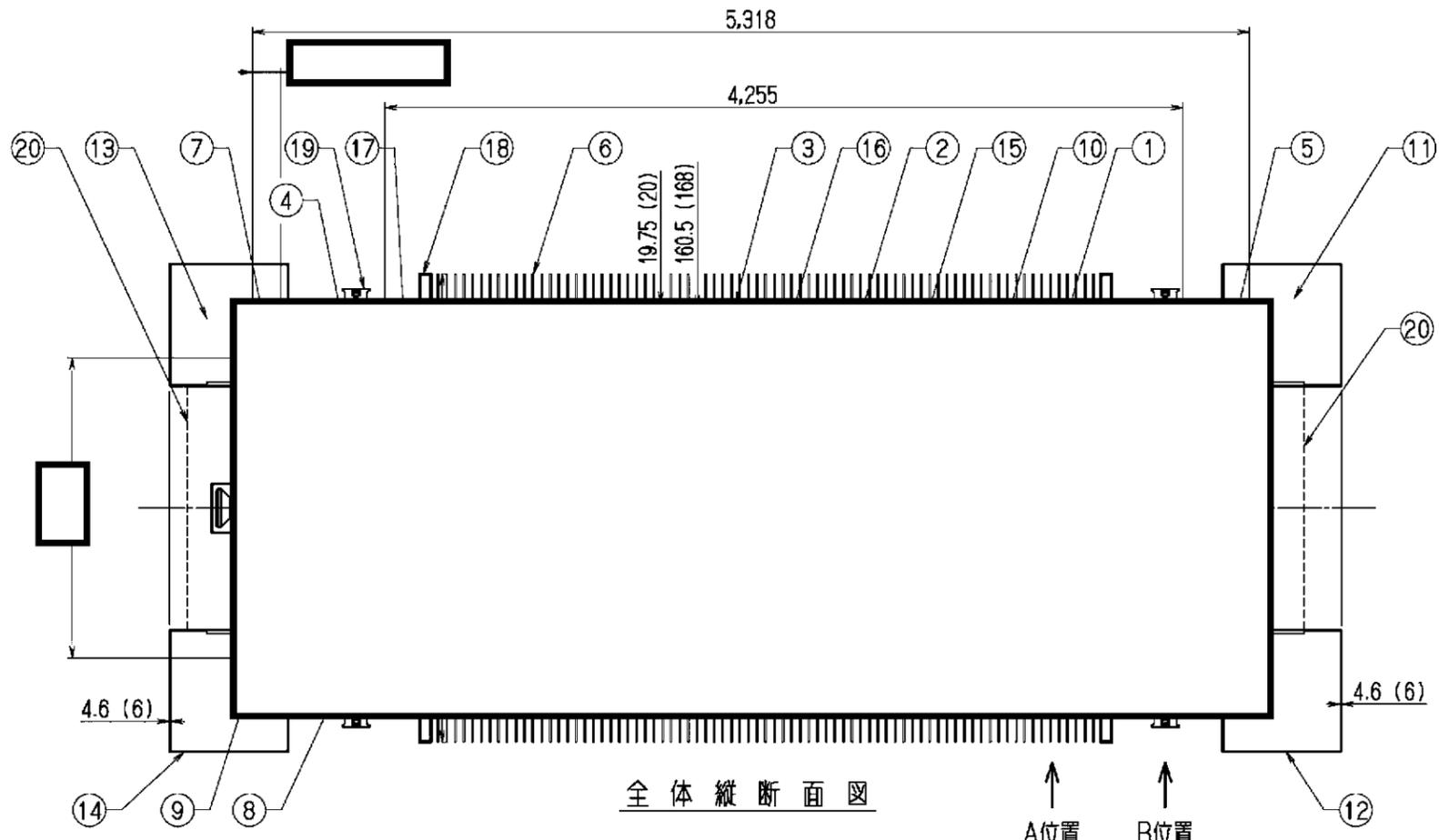
[組織の星取における凡例 ◎：主担当箇所 ○：関係箇所]

各段階	プロセス 実績：3.3.1～3.3.3(4) 計画：3.4.1～3.5.6	設計			検査			インプット	アウトプット	他の記録類
		原子燃料計画G	原子力工事G	保守第二課	原子燃料計画G	保守第二課	安全品質保証統括室			
3.3.1	適合性確認対象設備に対する要求事項の明確化	◎	○	○	-	-	-	実用炉規則、設置変更許可、技術基準規則・解釈、設置許可基準規則・解釈、既工事計画の設計結果、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、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技術基準に係る細目等を定める告示、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	基本設計書	設計・開発へのインプットレビューチェックシート
3.3.2	各条文の対応に必要な適合性確認対象設備の選定	◎	-	-	-	-	-	実用炉規則別表第二、設置変更許可、技術基準規則・解釈、設置許可基準規則・解釈、既工事計画の設計結果	様式-2	-
3.3.3(1)	基本設計方針の作成（設計1）	◎	○	-	-	-	-	基本設計書、様式-2、既工事計画の設計結果	様式-3、様式-4、様式-5-1、様式-5-2、様式-6、様式-7	設計・開発からのアウトプットレビューチェックシート
3.3.3(2) 3.3.3(3)	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計（設計2）									
	1. 本文									
	要目表	◎	-	-	-	-	-	様式-2、基本設計方針、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	要目表	-
	工事の方法	◎	-	-	-	-	-	様式-2、基本設計方針、保安規定	設計及び工事の計画設計資料	-
	2. 添付資料									
	2.1 設備別記載事項の設定根拠に関する説明書	◎	-	-	-	-	-	様式-2、様式5-1、様式5-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	設備別記載事項の設定根拠に関する説明書	-
	2.2 強度に関する説明書	◎	○	-	-	-	-	様式-2、様式5-1、様式5-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	強度に関する説明書	-
	2.3 燃料取扱設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	◎	-	-	-	-	-	様式-2、様式5-1、様式5-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	燃料取扱設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	-
	2.4 使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明書	◎	-	-	-	-	-	様式-2、様式5-1、様式5-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	使用済燃料運搬用容器の冷却能力に関する説明書	-
	2.5 使用済燃料運搬用容器の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	◎	-	-	-	-	-	様式-2、様式5-1、様式5-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	使用済燃料運搬用容器の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	-

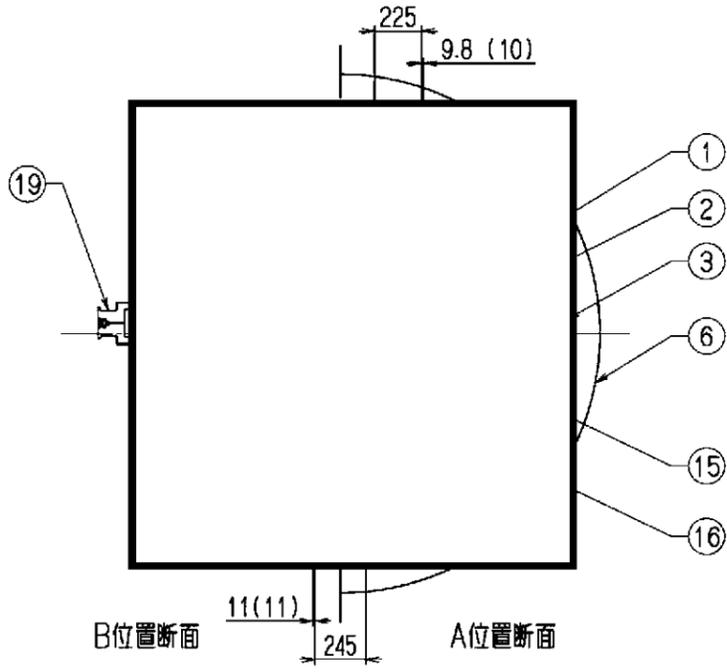
各段階	プロセス 実績：3.3.1～3.3.3(4) 計画：3.4.1～3.5.6	設計			検査			インプット	アウトプット	他の記録類
		原子燃料計画G	原子力工事G	保修第二課	原子燃料計画G	保修第二課	安全品質保証統括室			
	3. 添付図面									
	3.1 構造図	◎	-	-	-	-	様式-2、基本設計方針、既工事計画の設計結果、核燃料輸送物設計承認書(NFT-14P型)、容器承認書(NFT-14P型)	構造図	-	
	設計結果の取りまとめ	◎	○	○	-	-	設計2のアウトプット	設計及び工事の計画設計資料	設計・開発からのアウトプットレビューチェックシート	
3.3.3(4)	設計開発の結果に係る情報に対する検証	◎	○	-	-	-	設計及び工事の計画設計資料	設計及び工事の計画設計資料	設計・開発からのアウトプット検証チェックシート	
3.4.1	設工認に基づく設備の具体的な設計の実施(設計3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.4.2	設備の具体的な設計に基づく工事の実施	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5.2	設計の結果と使用前事業者検査対象の繋がりの明確化	-	-	-	◎	◎	既工事計画の設計結果、設計及び工事の計画設計資料	様式-8	基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況チェックシート	
3.5.3	使用前事業者検査の計画	-	-	-	-	◎	様式-8	検査計画、検査整理表	-	
3.5.4	検査計画の管理	-	-	-	-	◎	検査計画、検査整理表	検査計画、検査整理表	-	
3.5.6	使用前事業者検査の実施	-	-	-	-	◎	様式-8	検査記録、様式-8	基準適合性を確保するための設計結果と適合性確認状況チェックシート	

添付図面目次

- 第 1 図 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造図
 (燃料取扱設備) 使用済燃料運搬用容器



全体縦断面図



胴体横断面図

番号	名称	番号	名称
1	内筒	11	下部緩衝体
2	中間筒	12	下部緩衝体カバープレート
3	外筒	13	上部緩衝体
4	フランジ	14	上部緩衝体カバープレート
5	底板	15	胴部ガンマ線遮蔽体
6	フィン	16	胴部中性子遮蔽体
7	ふた板	17	レジンカバー
8	ふた膨張室底板	18	バッキングリング
9	ふたボルト	19	トラニオン
10	バスケットチャンネル板	20	近接防止金網

主要目表		
名称	使用済燃料運搬用容器	
種類	密封式円筒型[NFT-14P型]	
容量	17×17型燃料集合体 14体 濃縮度 : 4.9wt%以下 冷却日数 : [] 日以上 平均燃焼度 : [] 以下 崩壊熱量 : 容器当たり 54kW 以下 放射能強度 : 容器当たり [] 以下	
最高使用圧力	MPa	1.70
最高使用温度	℃	180

主要目表			
材料	内筒	[]	
	中間筒		
	外筒		
	底板		
	ふた板		
	フィン		SUS304
	バスケットチャンネル板		ボロン添加ステンレス鋼
	下部緩衝体カバープレート		SUS304
	ふた膨張室底板		[]
	上部緩衝体カバープレート		SUS304
胴部ガンマ線遮蔽体	鉛		
胴部中性子遮蔽体	レジン		
冷却方法	自然冷却		
個数	2		

設計及び工事計画認可申請	第 1 図
玄海原子力発電所第 4 号機 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 の構造図 (燃料取扱設備) 使用済燃料運搬用容器	
九州電力株式会社	

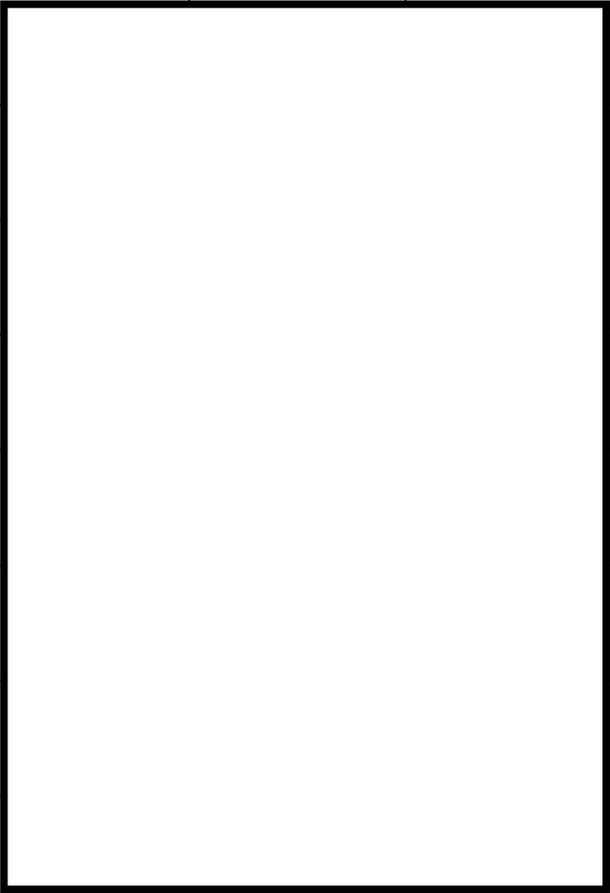
(単位 : mm)

第 1 図「核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造図（燃料取扱設備）使用済燃料運搬用容器」の補足

(1) 使用済燃料運搬用容器の寸法許容範囲

設計及び工事の計画記載の使用済燃料運搬用容器に関する公称値の許容範囲は次のとおり。

(1/2)

名 称	適用寸法(mm)			備 考
	最大値	公称値	最小値	
全 長	5,328	5,318	5,308	第 1 図
内筒内径				
内筒厚さ				
中間筒内径				
中間筒厚さ				
外筒内径				
外筒厚さ				
底板厚さ				
ふた板厚さ				
フィン外径				
ふた板径				

名 称	適用寸法(mm)			備 考
	最大値	公称値	最小値	
バスケット 全 長	4,260	4,255	4,245	第 1 図
バスケット 外 径	1,331	1,331	1,328	
バスケット チャンネル内寸 (No.1~No.12,No.14)	225	225	222	
バスケット チャンネル内寸 (No.13)	245	245	243	
バスケット チャンネル板厚さ (No.1~No.12,No.14)	11.2	10	9.8	
バスケット チャンネル板厚さ (No.13)	12.4	11	11	
緩衝体カバー プレート厚さ (上部、下部)	7.4	6	4.6	
ふた膨張室 底板厚さ	[Redacted]			
胴部ガンマ線 遮蔽体厚さ	—	[Redacted]		
ふた部ガンマ線 遮蔽体厚さ	[Redacted]			
胴部中性子 遮蔽体厚さ	—	[Redacted]		

使用済燃料運搬用容器

(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。

(1/2)

	名 称	許容差(mm)	根 拠
使用済燃料運搬用容器	全 長	公称値±10	メーカー基準
	内筒内径	公称値 $\begin{matrix} +5 \\ -3 \end{matrix}$	メーカー基準
	内筒厚さ	公称値±1.3	JIS G 4304
	中間筒内径	公称値 $\begin{matrix} +4.4 \\ -5.6 \end{matrix}$	メーカー基準
	中間筒厚さ	公称値 $\begin{matrix} +2.75 \\ -0.25 \end{matrix}$	JIS B 3118
	外筒内径	公称値 $\begin{matrix} +4.9 \\ -5.1 \end{matrix}$	メーカー基準
	外筒厚さ	公称値 $\begin{matrix} +2.15 \\ -0.25 \end{matrix}$	JIS B 3601
	底板厚さ	公称値 $\begin{matrix} +1 \\ -0 \end{matrix}$	JIS B 0405 (メーカー基準)
	ふた板厚さ	公称値 $\begin{matrix} +1.20 \\ -1.25 \end{matrix}$	JIS B 0405 (メーカー基準)
	フィン外径	公称値±8	メーカー基準
	ふた板径	公称値±1.2	JIS B 0405
	バスケット 全 長	公称値 $\begin{matrix} +5 \\ -10 \end{matrix}$	メーカー基準

名 称	許容差(mm)	根 拠
バスケット 外 径	公称値 ⁺⁰ -3	メーカー基準
バスケット チャンネル内寸 (No.1~No.12,No.14)	公称値 ⁺⁰ -3	メーカー基準
バスケット チャンネル内寸 (No.13)	公称値 ⁺⁰ -2	メーカー基準
バスケット チャンネル板厚さ (No.1~No.12,No.14)	公称値 ^{+1.2} -0.2	JIS G 4304 (メーカー基準)
バスケット チャンネル板厚さ (No.13)	公称値 ^{+1.4} -0	JIS G 4304 (メーカー基準)
緩衝体カバー プレート厚さ (上部、下部)	公称値±1.4	JIS G 4304
ふた膨張室 底板厚さ	公称値±1.6	JIS G 4304
胴部ガンマ線 遮蔽体厚さ	公称値 ^{+規定しない} -8.6	メーカー基準
ふた部ガンマ線 遮蔽体厚さ	公称値 ⁺¹ -0	JIS B 0405 (メーカー基準)
胴部中性子 遮蔽体厚さ	公称値 ^{+規定しない} -7.5	メーカー基準

出典：JIS B 0405 「削り加工寸法の普通許容差」

JIS G 4304 「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」

JIS G 3118 「中・常温圧力容器用炭素鋼鋼板」

「ステンレスクラッド鋼」