

表 2 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全上の機能別重要度分類

分類	異常発生防止系			
	定義	機能	構築物、系統 又は機器	特記すべき 関連系
PS-2	その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	使用済燃料乾式貯蔵容器 <sup>(注1)</sup>	使用済燃料乾式貯蔵建屋 [PS-3] <sup>(注2)</sup>

(注1) 貯蔵架台及び基礎を含む。

(注2) 間接関連系に相当する。

表 3 使用済燃料乾式貯蔵施設の安全上の機能別重要度分類の根拠

分類	構築物、系統又は機器	分類の根拠
PS-2	使用済燃料乾式貯蔵容器	使用済燃料乾式貯蔵容器は、原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能を有するため、PS-2に該当する。
PS-3	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵建屋(貯蔵機能を有する範囲)は、使用済燃料乾式貯蔵容器(PS-2)の遮蔽機能を補完する構築物であり、使用済燃料乾式貯蔵容器の間接関連系と考えられることから、PS-2の一つ下位のPS-3に該当する。

## 12-2 環境条件における安全機能の健全性

使用済燃料乾式貯蔵施設については、劣化等に対しても十分な余裕を持って機能維持が可能となるよう、供用期間中に想定される圧力、温度、湿度、放射線量等各種の環境条件を考慮し、十分安全側の条件を与えることにより、これらの条件下においても期待されている安全機能を発揮できる設計とする。使用済燃料乾式貯蔵施設の設備について、表4に示す劣化事象を考慮する。

表4 使用済燃料乾式貯蔵施設に考慮すべき劣化事象

	劣化事象
使用済燃料乾式貯蔵容器	熱的劣化、腐食、放射線劣化
使用済燃料乾式貯蔵建屋	コンクリート劣化

使用済燃料乾式貯蔵施設の各設備について、環境条件における健全性を確認するために、各環境条件の設定方法を表5に示す。

また、使用済燃料乾式貯蔵施設について、考慮すべき環境条件を表6に示す。

表 5 使用済燃料乾式貯蔵施設に対する各環境条件の設定方法

環境条件における健全性	記載内容
温度	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される環境温度を考慮した温度を記載する。
圧力	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される環境圧力を考慮した圧力を記載する。
湿度	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される環境湿度を考慮した湿度を記載する。
屋外天候	屋外に設置する設備については、屋外の環境条件を考慮し、対象となる機器のうち、屋内に設置するものは、屋内に設置する旨を記載する。
放射線（機器）	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される環境放射線を考慮した放射線条件を記載する。
放射線（人）	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に人が受ける放射線を考慮した放射線条件を記載する。
海水	機器に対する海水通水の有無を記載する。
電磁波	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される電磁波の有無を記載する。ここで、対象となる機器が金属筐体で囲まれている、電子部品を組み込まない等により、電磁波による影響を受けない場合は、その旨を記載する。
荷重	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される自然現象等（地震等）から機器が受ける荷重に対する設計を記載する。
他設備からの影響	使用済燃料乾式貯蔵施設の供用中に想定される自然現象等（地震等）により、使用済燃料乾式貯蔵容器が他設備から受ける波及的影響について記載する。

表 6 使用済燃料乾式貯蔵施設に考慮すべき条件（1 / 2）

環境条件における健全性	使用済燃料乾式貯蔵施設	
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵容器
温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料乾式貯蔵容器からの放熱を考慮した貯蔵エリアの雰囲気温度（50℃）を環境温度とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料乾式貯蔵容器からの放熱を考慮した貯蔵エリアの雰囲気温度（50℃）を環境温度とする。</li> </ul>
圧力	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料貯蔵建屋は、屋外と常に通じているため、大気圧を環境圧力とする。</li> </ul>	
湿度	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料貯蔵建屋は、屋外に設置し、屋外と常に通じているため、湿度100%を環境湿度とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料貯蔵容器を設置する貯蔵エリアは、屋外と常に通じているため、湿度100%を環境湿度とする。</li> </ul>
屋外天候	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋外の環境条件を考慮する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内に設置する。</li> </ul>
放射線（機器）	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料乾式貯蔵容器からの放射線を考慮した放射線（1mGy/h）を機器の放射線条件とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料乾式貯蔵容器からの放射線、使用済燃料乾式貯蔵容器の相互影響を考慮した放射線（3mGy/h）を機器の放射線条件とする。</li> </ul>
放射線（人）	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面の放射線（2mSv/h）以下及び表面から1m離れた位置における放射線（100μSv/h）以下とする。</li> </ul>
海水	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水を通水しない。</li> </ul>	
電磁波	<ul style="list-style-type: none"> <li>電子部品を組み込まないため、電磁波の影響を受けない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電子部品を組み込まないため、電磁波の影響を受けない。</li> </ul>
荷重	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震、風（台風）、竜巻、積雪及び火山による荷重及びこれらの荷重の組合せを荷重条件とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内に設置するため、地震による荷重を荷重条件とする。</li> </ul>

表 6 使用済燃料乾式貯蔵施設に考慮すべき条件（2 / 2）

環境条件 における 健全性	使用済燃料乾式貯蔵施設	
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	使用済燃料乾式貯蔵容器
他設備 からの 影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震により、使用済燃料乾式貯蔵容器へ波及的影響を及ぼさないことを条件とする。</li> <li>地震以外の自然現象及び外部人為事象により、使用済燃料乾式貯蔵容器へ波及的影響を及ぼさないことを条件とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震の波及的影響により、安全機能を喪失しないことを条件とする。</li> <li>地震以外の自然現象及び外部人為事象による波及的影響により、安全機能を喪失しないことを条件とする。</li> </ul>

## 12-3 試験・検査性

### 1. 概要

使用済燃料乾式貯蔵施設が、供用期間中に安全機能を維持していることを確認するために、試験・検査が可能であることを示す。

### 2. 検査及び点検・保守

#### (1) 供用期間中の使用済燃料乾式貯蔵施設の検査

##### a. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができていることを監視するために、蓋間圧力を圧力計により監視できる設計とする。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを監視するために、使用済燃料乾式貯蔵容器の外筒外表面の温度を温度計により監視できる設計とする。

##### b. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料式貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視するために、雰囲気温度を温度計により監視できる設計とする。

#### (2) 供用期間中の使用済燃料乾式貯蔵施設の点検・保守

##### a. 使用済燃料乾式貯蔵容器

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の周辺に点検用歩廊を設置し、点検・保守のために寄付きが可能な設計とする。

##### b. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料式貯蔵建屋は、建屋給排気口の閉塞の有無を確認

できる設計とする。

なお、具体的な点検・保守の実施内容については、今後定めることとする。

#### 12-4 飛散物による損傷防止

使用済燃料乾式貯蔵施設においては、貯蔵エリアに内部発生エネルギーの高い流体を内蔵する配管等及び高速回転機器を配置しない設計とすることから、これらの破損による飛散物が生じることはなく、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性を損なうことはない。

#### 12-5 安全施設の共用・相互接続

使用済燃料乾式貯蔵施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ 1 及びタイプ 2）及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、2 以上の発電用原子炉施設において共用するが、1 号炉、2 号炉、3 号炉及び 4 号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性を損なわない設計とすることを表 7 に示す。

なお、使用済燃料乾式貯蔵容器は、14×14 型燃料（1 号及び 2 号炉用）、17×17 型燃料（3 号及び 4 号炉用）を収納するタイプ 1（14×14 型と 17×17 型の混載はしない）と 17×17 型燃料（3 号及び 4 号炉用）を収納するタイプ 2 の 2 種類がある。

表7 使用済燃料乾式貯蔵建屋の共用に関する基準適合性

共用設備	重要度 分類	共用により安全性を損なわないことの説明
使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ1) (1号、2号 3号及び4号 炉共用)	P S - 2	使用済燃料乾式貯蔵容器のうち、タイプ1は、臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込めの安全機能を満足するよう1号及び2号炉の燃料である14×14型燃料用及び3号及び4号炉の燃料である17×17型燃料用に設計され、14×14型燃料及び17×17型燃料を混載せず、それぞれの燃料を装荷した状態で安全機能を維持できる設計とするため、1号、2号、3号及び4号炉共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性を損なうことはない。
使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ2) (3号及び4 号炉共用)	P S - 2	使用済燃料乾式貯蔵容器のうち、タイプ2は、臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込めの安全機能を満足するよう3号及び4号炉の燃料である17×17型燃料用に設計され、3号及び4号炉共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性を損なうことはない。
使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1号、2号 3号及び4号 炉共用)	P S - 3	使用済燃料乾式貯蔵建屋は、以下の理由により、1号、2号、3号及び4号炉共用とすることによって、使用済燃料乾式貯蔵施設の安全性を損なうことはない。 ・1号、2号、3号及び4号炉用の使用済燃料は、臨界防止、遮蔽、除熱、閉じ込めの安全機能を満足するよう、それぞれの使用済燃料専用に設計された使用済燃料乾式



		<p>貯蔵容器（1号、2号、3号及び4号炉用：タイプ1、3号及び4号炉用：タイプ2）に貯蔵できる設計としている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1及びタイプ2）を貯蔵した場合に、以下に示すように、使用済燃料乾式貯蔵施設に影響を与えない設計としている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>(a)除熱機能 <p>発熱量の大きい3号及び4号炉用の使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）を40基貯蔵する場合でも、使用済燃料乾式貯蔵建屋の雰囲気温度が、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を担保する50℃以下となる設計とすることから、使用済燃料乾式貯蔵施設の除熱機能に影響を与えない。</p> </li> <li>(b)遮蔽機能 <p>使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1及びタイプ2）の線源強度やスペクトルを用い相互遮蔽や周辺環境を考慮した過度な保守性を排除した現実的な線量評価において、敷地境界における年間線量が基準値を満足することから、使用済燃料乾式貯蔵施設の遮蔽機能に影響を与えない。</p> </li> </ul> </li> </ul>
--	--	---

## 16 条

### 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

<目 次>

1. 基本方針

1.1 要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.2 気象等

1.3 設備等

2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

(別添資料)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設（使用済燃料乾式貯蔵施設）

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項に対する適合性

#### (1) 位置、構造及び設備

#### ロ 発電用原子炉施設の一般構造

#### A. 3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

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、燃料体等を取り扱う能力を有し、燃料体等が臨界に達するおそれがなく、崩壊熱により燃料体等が熔融せず、使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新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。

燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。）は、燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納でき、放射性物質の放出を低減できる設計とする。

また、燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するとともに、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料からの放射線に対して適切な遮へい能力を有し、貯蔵された使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料が崩壊熱により熔融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有し、使用済燃料ピットから放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであって、使用済燃料

ピットから水が漏えいした場合において、水の漏えいを検知することができる設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれない設計とすることとし、使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物については落下しない設計とする。

使用済燃料ピットの水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、それを中央制御室に伝えるとともに、外部電源が使用できない場合においても非常用所内電源からの電源供給により、使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量を監視することができる設計とする。

使用済燃料貯蔵設備から再処理工場への使用済燃料の搬出には、使用済燃料輸送容器を使用する。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても臨界に達するおそれのない設計とする。

また、1号炉、2号炉、3号炉又は4号炉の使用済燃料貯蔵設備にて貯蔵する使用済燃料のうち、十分に冷却した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬して貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

## 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

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、燃料体等を取り扱う能力を有し、燃料体等が臨界に達するおそれがなく、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。

燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。）は、燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納でき、放射性物質の放出を低減できる設計とする。

また、燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するとともに、燃料体等が臨界に達するおそれがない設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、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、貯蔵された使用済燃料が崩壊熱により溶融しないものであって、最終ヒートシンクへ熱を輸送できる設備及びその浄化系を有し、使用済燃料ピットから放射性物質を含む水があふれ、又は漏れないものであって、使用済燃料ピットから水が漏れ出した場合において、水の漏れいを検知することができる設計とする。

使用済燃料の貯蔵施設は、燃料体等の取扱中に想定される燃料体等の落下時及び重量物の落下時においてもその機能が損なわれない設計とすることとし、使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物については落下しない設計とする。

使用済燃料ピットの水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量

の異常を検知し、それを中央制御室に伝えるとともに、外部電源が使用できない場合においても非常用所内電源からの電源供給により、使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量を監視することができる設計とする。

使用済燃料貯蔵設備から再処理工場への使用済燃料の搬出には、使用済燃料輸送容器を使用する。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても臨界に達するおそれのない設計とする。

また、1号炉、2号炉、3号炉又は4号炉の使用済燃料貯蔵設備にて貯蔵する使用済燃料のうち、十分に冷却した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬して貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

## ニ．核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の構造及び設備

### A．3号炉

#### (1) 核燃料物質取扱設備の構造

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3号及び4号炉共用）及び除染装置（3号及び4号炉共用）で構成する。

ウラン新燃料は、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。ウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料は、燃料取扱棟内において、ウラン・プ

ルトニウム混合酸化物新燃料の輸送容器から燃料取扱設備により使用済燃料貯蔵設備に移し、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。

使用済燃料は、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3号及び4号炉共用）のほう酸水中に貯蔵する。

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。

## (2) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力

### (iii) 使用済燃料乾式貯蔵施設

#### a. 構造

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器及び周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）等からなる。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料の収納後にその内部を乾燥させ、使用済燃料を不活性ガスとともに封入する金属製の容器であり、容器本体、蓋部（二重）及びバスケット等で構成する。使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵架台を用いて基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵し、自然冷却のための給排気口を設けた鉄筋コンクリート造の建屋である。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納した使用済燃料の崩壊熱を自然冷却によって外部に放出できる設計とするとともに、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいすることができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、適切に放射性物質を閉じ込めることができ、閉じ込め機能を監視できる設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最



も厳しい状態を仮定しても臨界に達するおそれのない設計とする。

b. 貯蔵能力

全炉心燃料の約500%相当分（1号、2号、3号及び4号炉共用）とする。

B. 4号炉

(1) 核燃料物質取扱設備の構造

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）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）で構成する。

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。

使用済燃料（1号炉及び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、7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）のほう酸水中に貯蔵する。

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。

(2) 核燃料物質貯蔵設備の構造及び貯蔵能力

(iii) 使用済燃料乾式貯蔵施設

3号炉に同じ。

(2) 安全設計方針

該当なし

(3) 適合性説明

(3号炉)

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

第十六条

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。

イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。

ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。

ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。

一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

適合のための設計方針

2 について

一 燃料体等の貯蔵設備は、以下のように設計する。

イ 使用済燃料乾式貯蔵施設内では、使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋部を開放することなく、かつ、内包する放射性物質の閉じ込めを使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。

ロ 使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料の貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要な燃料集合体数並びにウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。

ハ 使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が0.95（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。

#### 4 について

一 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

二 使用済燃料乾式貯蔵容器は、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。

三 使用済燃料乾式貯蔵容器は、放射性物質を適切に閉じ込めることができ、閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする。

(4号炉)

(燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設)

## 第十六条

2 発電用原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設（安全施設に属するものに限る。以下この項において同じ。）を設けなければならない。

一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。

イ 燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。

ロ 燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。

ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

4 キャスクを設ける場合には、そのキャスクは、第二項第一号に定めるもののほか、次に掲げるものでなければならない。

一 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

二 使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

三 使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

## 適合のための設計方針

### 2 について

一 燃料体等の貯蔵設備は、以下のように設計する。

イ 使用済燃料乾式貯蔵施設内では、使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋部を開放することなく、かつ、内包する放射性物質の閉じ込めを使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。

ロ 使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。

ハ 使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が0.95（解析上の不確定さを含む。）以下となる設計とする。

#### 4 について

- 一 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。
- 二 使用済燃料乾式貯蔵容器は、自然冷却によって収納した使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。
- 三 使用済燃料乾式貯蔵容器は、放射性物質を適切に閉じ込めることができ、閉じ込め機能を適切に監視できる設計とする。

#### 1.2 気象等

該当なし

#### 1.3 設備等

(3号炉)

#### 4. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

##### 4.1 燃料取扱及び貯蔵設備

##### 4.1.1 通常運転時等

##### 4.1.1.1 概要

燃料取扱及び貯蔵設備は、新燃料を発電所内に搬入してから使用済燃料を発電所外に搬出するまでの燃料取扱い及び貯蔵を安全かつ確実に行うものである。

燃料取扱設備の配置を第4.1.1図及び第4.1.2図に示す。

発電所に搬入したウラン新燃料は、受入検査後、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵庫又は使用済燃料ピットに貯蔵する。これらのウラン新燃料

は、再装荷燃料等とともに炉心へ装荷するが、新燃料貯蔵庫に貯蔵したウラン新燃料は、炉心へ装荷する前に通常使用済燃料ピットに一時的に保管する。発電所に搬入したウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料は、受入検査後、使用済燃料ピットに貯蔵した後、炉心へ装荷する。

炉心への装荷の手順は、以下に示す燃料の取出しとほぼ逆の手順によって行う。

原子炉停止後、原子炉より取り出す使用済燃料は、燃料取替クレーン、燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン等を使用して、ほう酸水を張った原子炉キャビティ、燃料取替チャンネル及び燃料移送管を通して使用済燃料ピットへ移動する。

これらの使用済燃料の移送は、遮へい及び冷却のため、すべて水中で行う。

使用済燃料は、使用済燃料ピットに貯蔵するが、必要に応じて使用済燃料ピット内で別に用意した容器に入れて貯蔵する。

使用済燃料は、使用済燃料ピット内で通常1年間以上冷却し、冷却を終えた使用済燃料は、使用済燃料ピットクレーン等を使用して水中で使用済燃料輸送容器に入れ再処理工場へ搬出する。

使用済燃料のうち、十分に冷却（15年以上冷却）した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、ヘリウムガスを封入後、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬する。使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器に収納するに当たっては、臨界評価で考慮した因子についての条件又は範囲並びに遮へい機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないことを、あらかじめ確認する。使用済燃料乾式貯蔵施設では、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車を使用して使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

使用済燃料ピットの水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量は中央制御室で監視できるとともに、異常時は中央制御室に警報を発信する。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋との間の圧力を監視できるものとする。

#### 4.1.1.2 設計方針

(3) 新燃料貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有し、また、使用済燃料貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数並びにウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。

(6) 使用済燃料設備は、使用済燃料ピット水浄化冷却設備を有する設計とする。使用済燃料ピット水浄化冷却設備は、使用済燃料ピット水を冷却して使用済燃料ピットに貯蔵した使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料からの崩壊熱を十分除去できるとともに、使用済燃料ピット水を適切な水質に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出し、使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持するとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器の温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度は、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計及

び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計により適切な頻度で監視する設計とする。

- (7) 使用済燃料ピットは、冷却用の使用済燃料ピット水の保有量が著しく減少することを防止するため、十分な耐震性を有する設計とするとともに、使用済燃料ピットに接続する配管は、使用済燃料ピット水の減少を引き起こさない設計とする。

また、使用済燃料ピットの水位計は、水位の異常な低下及び上昇を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、水位の異常な低下又は上昇時に警報を発信する設計とする。使用済燃料ピットの温度計は、ピット水の過熱状態を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常な温度上昇時に警報を発信する設計とする。

燃料取扱場所の線量当量率計は、管理区域境界における線量当量率限度から設置区域における立入り制限値を包絡する計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常時に警報を発信する設計とする。さらに、使用済燃料ピット内張りからの漏えい検知のための装置を有する設計とする。

外部電源が利用できない場合においても、非常用所内電源からの給電により使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量が監視可能な設計とする。

さらに、万一漏えいが生じた場合には、燃料取替用水タンクからほう素濃度 3,100ppm 以上のほう酸水を補給できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、設計上想定される状態において、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

- (9) 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設内では蓋部を開放することなく、かつ、設計上想定される状態において内包する放射性物質の閉じ込めを使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。また、圧力容器として、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」のクラス 3 容器に適合する設計とし、



閉じ込め機能を周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により適切に監視することができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力を適切な頻度で監視する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において、一次蓋及び二次蓋が開放可能であり、使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、使用済燃料の過度な変形が生じない設計とする。また、閉じ込め機能の異常に対し、使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うものとする。

- (10) 使用済燃料設備は、ほう素濃度 3,100ppm 以上のほう酸水で満たし、定期的にほう素濃度を分析する。また、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.98 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

新燃料貯蔵設備は、浸水することのないようにするが、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.95 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。さらに、いかなる密度の水分雰囲気で満たされたと仮定しても未臨界性を確保できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60 年）を通じて、設計上想定される状態において容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下を考慮せず、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が 0.95（解析上の不確定さを含む。）以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

- (11) 3号炉及び4号炉の使用済燃料を収納する使用済燃料ピット及びラックは、Sクラスの耐震性を有する設計とし、地震時においても、3号炉及び4号炉の使用済燃料の健全性を損なわない設計とする。

- (12) 落下時に使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物につい

ては、使用済燃料ピット周辺の状況、現場における作業実績、図面等にて確認することにより、落下時のエネルギーを評価し、気中落下試験時の燃料集合体の落下エネルギー（39.3kJ）以上となる設備等を抽出する。抽出された設備等については、地震時にも落下しない設計とする。

床面や壁面へ固定する重量物については、使用済燃料ピットからの離隔を確保するため、使用済燃料ピットへ落下するおそれはない。

a. 燃料取扱棟

燃料取扱棟の屋根を支持する鉄骨梁は、基準地震動に対する発生応力が終局耐力を超えず、使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。また、屋根は鋼板の上に鉄筋コンクリート造の床を設け、地震による剥落のない構造とする。

また、下層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して健全性が確保される設計とする。上層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。

b. 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーンは、基準地震動による地震荷重に対し、クレーン本体の健全性評価及び転倒落下防止評価を行い、使用済燃料ピットへの落下物とならないよう、以下を満足する設計とする。

- (a) クレーン本体の健全性評価においては、保守的に吊荷ありの条件で、ホイスト支柱等に発生する地震荷重が許容応力以下であること。
- (b) 転倒落下防止評価においては、走行レール頭部を抱き込む構造をしたクレーンの転倒防止金具爪について、保守的に吊荷なしの条件で、地震時の発生応力が、転倒防止金具爪、取付けボルト等の許容応力以下であること。
- (c) 走行レールの健全性評価においては、走行方向、走行直角方向

及び鉛直方向について、地震時に基礎ボルトに発生する荷重が、許容応力以下であること。

また、使用済燃料ピットクレーンは、二重ワイヤ、フック部外れ止め及び動力電源喪失時保持機能により、落下防止対策を講じた設計とする。

c. 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーンは、使用済燃料ピットの上部を走行できないように可動範囲を制限し、仮に脱落したとしても、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物とならない設計とする。また、仮に落下後の移動を想定しても、使用済燃料ピットとの間に燃料取替チャンネルがあるため、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物となることはない。

4.1.1.4 主要設備

(2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット（3号及び4号炉共用）は、燃料取扱棟内に設け鉄筋コンクリート造とし、耐震設計Sクラスの構造物で、壁は遮へいを考慮して十分厚くする。使用済燃料ピット内面は、漏水を防ぎ保守を容易にするために、ステンレス鋼板で内張りした構造とする。

使用済燃料ピット水の減少防止のために、使用済燃料ピット水浄化冷却設備の取水のための配管は使用済燃料ピット上部に取り付け、また、注水のための配管にはサイフォンブレーカを取り付ける。さらに、使用済燃料ピット底部には排水口は設けない。

使用済燃料ピットのステンレス鋼板内張りから、万一漏えいが生じた場合に漏えい水の検知ができるように漏えい検知装置を設置し、燃料取替用水タンクから、ほう素濃度3,100ppm以上のほう酸水を補給できる設計とする。また、使用済燃料ピットには水位及び温度警報装置を設けて、水位高、水位低及び温度高の警報を中央制御室に発する。

使用済燃料ピット内には、原子炉容器から取り出した使用済燃料及びウラン・プルトニウム混合酸化物新燃料を鉛直に保持し、ほう酸濃

度3, 100ppm以上のほう酸水中に貯蔵するためのキャン型の使用済燃料ラックを配置する。使用済燃料ラックは、各ラックのセルに1体ずつ燃料集合体を挿入する構造で、耐震設計Sクラスとし、ラック中心間隔は、たとえ設備容量分の新燃料を貯蔵し、純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は0.98以下になるように決定する。<sup>(1)</sup>

使用済燃料ピットには、バーナブルポイズン、使用済制御棒クラスタ等を貯蔵するとともに、ウラン新燃料を一時的に仮置きすることもある。さらに、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器を置くためにキャスクピットを設ける。

使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約870%相当分（3号及び4号炉共用）とする。

なお、使用済燃料ピットは、通常運転中は全炉心の燃料を貯蔵できる容量を確保する。

### (3) 除染場ピット

除染場ピット（3号及び4号炉共用）は、キャスクピットに隣接して設け、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器等の除染を行う。

### (7) 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーン（3号及び4号炉共用）は、新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器及び新燃料等の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。

燃料取扱棟クレーンは、フックを二重ワイヤで保持し新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器及び新燃料等の落下を防止するとともに、地震時にも落下することがないような設計とし、その移動範囲を重量物の落下により使用済燃料ピットに影響を及ぼすことがないように限定する。

### (14) 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料を収納する使用済燃料乾式貯蔵容器及び周辺施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用

済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等）で構成する。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、蓋、バスケット等で構成され、内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とし、使用済燃料乾式貯蔵容器と貯蔵架台を固定装置で固定し、貯蔵架台を基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する部材は、設計貯蔵期間（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持する設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する使用済燃料の健全性を確保する設計とするため、使用済燃料乾式貯蔵容器内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」第六条及び十一条を満たすものとし、取扱中の作業員の誤操作を想定しても「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」の基準を満足することで、安全機能を維持できる設計とする。密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内にとどまる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能をバスケットで担保しており、設計上想定される状態において、バスケットが臨界防止上有意な変形を起さない設計とする。

周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、使用済燃料乾式貯蔵容器の直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動による地震力に対して使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、自然現象等に対し

て損壊しない設計とする。また、基準地震動による地震力に対して、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を防止するよう損壊しない設計とする。なお、自然現象等に対して損壊しない設計とすることにより遮へい機能が著しく低下することはない。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、1号、2号、3号及び4号炉用燃料を収納する容器と3号及び4号炉用燃料を収納する容器を合計40基配置できる容量とする。

a. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）

（1号、2号、3号及び4号炉共用）

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 14×14 燃料

（1号及び2号炉用）

ウラン 235 濃縮度 約 4.8wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

(b) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

（3号及び4号炉用）

ウラン 235 濃縮度 約 4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ2）

（3号及び4号炉共用）

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

(3号及び4号炉用)

ウラン235濃縮度 約4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000Mwd/t 以下

冷却年数 15年以上

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去し、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する各部位及び使用済燃料が、構造健全性及び性能を維持できる構造とする。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器表面の線量当量率が2mSv/h以下及び容器表面から1m離れた位置における線量当量率が $100\mu\text{Sv/h}$ 以下となるよう、収納される使用済燃料の放射線源強度を考慮して十分に遮へいできる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、二重の蓋及び金属ガスケットにより漏えいを防止し、設計貯蔵期間中の貯蔵容器内部圧力を負圧に維持できる構造とする。なお、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵中については緩衝体を設置しない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより、個々の使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器内部の所定の位置に収納し、適切な燃料集合体間隔を保持することにより燃料集合体は相互に接近しない構造とする。また、使用済燃料を全容量収納し、乾式貯蔵施設内における使用済燃料貯蔵容器の配置及び相互の中性子干渉、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置、中性子吸収材の製造公差及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少、減速材(水)の影響も含め、技術的に想定されるいかなる場合でも、実効増倍率を0.95(解析上の不確定さを含む。)以下に保ち、使用済燃料の臨界を防止できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器(貯蔵架台を含む)はSクラスに分類したうえで、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれ

るおそれがないよう設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として、フックを二重ワイヤで保持し使用済燃料乾式貯蔵容器の落下を防止する対策を講じるとともに、浮き上がり防止機能を設け、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン自身の落下防止対策を講じる。また、その移動範囲を重量物の落下により貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすことがないように使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアのみに限定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアと使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリアの間において、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実にを行う搬送台車である。使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として緊急停止できる機構を設けるとともに、人の誤操作等で逸走した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵容器が使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁及び他の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ衝突しない構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋間圧力は、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵容器の表面温度は、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵建屋内の雰囲気温度は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計で監視する。

#### 4.1.1.6 試験検査

燃料取扱及び貯蔵設備は、機器の使用に先立って機能試験、検査を実施する。また、使用済燃料ピットのほう素濃度は定期的に分析する。

#### 4.1.1.7 手順等



燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設は、以下の内容を含む手順等を定める。

- (1) 使用済燃料ピットへの重量物落下防止対策
- a. 使用済燃料ピット周辺に設置する設備や取り扱う吊荷については、予め定めた評価フローに基づき評価を行い、使用済燃料ピットに影響を及ぼす落下物となる可能性が考えられる場合は落下防止措置を実施する。
  - b. 使用済燃料ピット上で作業を行う使用済燃料ピットクレーンについては、クレーン等安全規則に基づき、定期点検及び作業開始前点検を実施するとともに、クレーンの運転、玉掛けは有資格者が実施する。

第 4.1.1 表 燃料取扱及び貯蔵設備の設備仕様

(14)	使用済燃料乾式貯蔵施設
個 数	1
貯 蔵 能 力	全炉心燃料の約500%相当分 (使用済燃料乾式貯蔵容器40基分)
種 類	使用済燃料乾式貯蔵容器
	・タイプ 1 (1号、2号、3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 21
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	・タイプ 2 (3号及び4号炉共用)
	最大収納体数 24
	主 要 寸 法 全長 約5.2m
	外 径 約2.6m
	周辺施設
	・使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1号、2号、3号 及び4号炉共用)
	・貯蔵架台

・基礎ボルト

・基礎

・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン

・使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車

・使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計

・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計

・使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計

( ( 1 ) ~ ( 13 ) は変更前の記載に同じ。 )

( 4 号炉 )

#### 4. 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

##### 4.1 燃料取扱及び貯蔵設備

##### 4.1.1 通常運転時等

##### 4.1.1.1 概 要

燃料取扱及び貯蔵設備は、新燃料を発電所内に搬入してから使用済燃料を発電所外に搬出するまでの燃料取扱い及び貯蔵を安全かつ確実に行うものである。

燃料取扱設備の配置を第 4.1.1 図及び第 4.1.2 図に示す。

発電所に搬入した新燃料は、受入検査後、燃料取扱棟内の新燃料貯蔵庫又は使用済燃料ピットに貯蔵する。これらの新燃料は、再装荷燃料等とともに炉心へ装荷するが、新燃料貯蔵庫に貯蔵した新燃料は、炉心へ装荷する前に通常使用済燃料ピットに一時的に保管する。

炉心への装荷の手順は、以下に示す燃料の取出しとほぼ逆の手順によって行う。

原子炉停止後、原子炉より取り出す使用済燃料は、燃料取替クレーン、燃料移送装置、使用済燃料ピットクレーン等を使用して、ほう酸水を張った原子炉キャビティ、燃料取替チャンネル及び燃料移送管を通

して使用済燃料ピットへ移動する。

これらの使用済燃料の移送は、遮へい及び冷却のため、すべて水中で行う。

使用済燃料は、使用済燃料ピットに貯蔵するが、必要に応じて使用済燃料ピット内で別に用意した容器に入れて貯蔵する。

また、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。

使用済燃料は、使用済燃料ピット内で通常1年間以上冷却し、冷却を終えた使用済燃料は、使用済燃料ピットクレーン等を使用して水中で使用済燃料輸送容器に入れ再処理工場へ搬出する。

使用済燃料のうち、十分に冷却（15年以上冷却）した使用済燃料は、原則として、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持できることを確認のうえ使用済燃料乾式貯蔵容器に収納し、ヘリウムガスを封入後、使用済燃料乾式貯蔵施設へ運搬する。使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器に収納するに当たっては、臨界評価で考慮した因子についての条件又は範囲並びに遮へい機能及び除熱機能に関する評価で考慮した使用済燃料の燃焼度に応じた配置の条件又は範囲を逸脱しないことを、あらかじめ確認する。使用済燃料乾式貯蔵施設では、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車を使用して使用済燃料乾式貯蔵容器を貯蔵する。その後、使用済燃料乾式貯蔵容器を用いて再処理工場へ搬出する。

使用済燃料ピットの水位及び水温並びに燃料取扱場所の放射線量は中央制御室で監視できるとともに、異常時は中央制御室に警報を発信する。

また、使用済燃料乾式貯蔵容器の一次蓋と二次蓋との間の圧力を監視できるものとする。

なお、使用済燃料ピット内に貯蔵する使用済燃料には、1号炉及び2号炉で使用した燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t のものを含む。

燃料取扱設備は、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備のうち除染場ピット、燃料取扱棟内キャナル、使用済燃料ピットクレーン及び燃料取扱棟クレーンを共用する。3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備の概略は、3号炉添付書類八 第4.1.1図及び第4.1.2図に同じ。

さらに、貯蔵設備は3号炉燃料取扱棟内の貯蔵設備のうち使用済燃料ピット及びラックを共用する。

#### 4.1.1.2 設計方針

(3) 新燃料貯蔵設備は、1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有し、また、使用済燃料貯蔵設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器貯蔵分も含めて、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要なとする燃料集合体数に十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。

(6) 使用済燃料設備は、使用済燃料ピット水浄化冷却設備を有する設計とする。使用済燃料ピット水浄化冷却設備は、使用済燃料ピット水を冷却して使用済燃料ピットに貯蔵した使用済燃料からの崩壊熱を十分除去できるとともに、使用済燃料ピット水を適切な水質に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において自然冷却によって使用済燃料の崩壊熱を外部に放出し、使用済燃料の温度を、燃料被覆管のクリープ破損及び燃料被覆管の機械的特性の低下を防止する観点から制限される値以下に維持するとともに、使用済燃料乾式貯蔵容器の温度を、基本的安全機能を維持する観点から制限される値以下に維持できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度は、周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計及び使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計により適切な頻度で監視する設計とす

る。

- (7) 使用済燃料ピットは、冷却用の使用済燃料ピット水の保有量が著しく減少することを防止するため、十分な耐震性を有する設計とするとともに、使用済燃料ピットに接続する配管は、使用済燃料ピット水の減少を引き起こさない設計とする。

また、使用済燃料ピットの水位計は、水位の異常な低下及び上昇を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、水位の異常な低下又は上昇時に警報を発信する設計とする。使用済燃料ピットの温度計は、ピット水の過熱状態を監視できる計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常な温度上昇時に警報を発信する設計とする。

燃料取扱場所の線量当量率計は、管理区域境界における線量当量率限度から設置区域における立入り制限値を包絡する計測範囲を有し、中央制御室で監視できるとともに、異常時に警報を発信する設計とする。さらに、使用済燃料ピット内張りからの漏えい検知のための装置を有する設計とする。

外部電源が利用できない場合においても、非常用所内電源からの給電により使用済燃料ピットの水位及び水温並びに放射線量が監視可能な設計とする。

さらに、万一漏えいが生じた場合には、燃料取替用水ピットからほう素濃度 2,500ppm 以上のほう酸水を補給できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵施設は、設計上想定される状態において、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮へい材及び中性子遮へい材により十分に遮へいする設計とする。

- (9) 使用済燃料乾式貯蔵容器は、使用済燃料乾式貯蔵施設内では蓋部を開放することなく、かつ、設計上想定される状態において内包する放射性物質の閉じ込めを使用済燃料乾式貯蔵容器のみで担保する設計とする。また、圧力容器として、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」のクラス 3 容器に適合する設計とし、閉じ込め機能を周辺施設である使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計により適切に監視

することができる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力を適切な頻度で監視する設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計上想定される状態において、一次蓋及び二次蓋が開放可能であり、使用済燃料の燃料ペレットが燃料被覆管から脱落せず、使用済燃料の過度な変形が生じない設計とする。また、閉じ込め機能の異常に対し、使用済燃料ピットへ移送し、燃料の取出しや詰替えを行うものとする。

- (10) 使用済燃料設備は、ほう素濃度 2,500ppm 以上のほう酸水で満たし、定期的にほう素濃度を分析する。また、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.98 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

新燃料貯蔵設備は、浸水することのないようにするが、設備容量分の燃料収容時に純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は 0.95 以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。さらに、いかなる密度の水分雰囲気で満たされたと仮定しても未臨界性を確保できる設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60 年）を通じて、設計上想定される状態において容器内のバスケットにより適切な燃料集合体間隔を保持し、燃料集合体が相互に接近しないようにする。また、使用済燃料の燃焼に伴う反応度低下を考慮せず、使用済燃料乾式貯蔵容器内の燃料位置等について想定される最も厳しい状態を仮定しても実効増倍率が 0.95（解析上の不確定さを含む。）以下で十分な未臨界性を確保できる設計とする。

- (11) 1号炉、2号炉及び4号炉の使用済燃料を収納する使用済燃料ピット及びラックは、Sクラスの耐震性を有する設計とし、地震時においても、1号炉、2号炉及び4号炉の使用済燃料の健全性を損なわない設計とする。
- (12) 落下時に使用済燃料ピットの機能に影響を及ぼす重量物については、使用済燃料ピット周辺の状況、現場における作業実績、図面等にて確認することにより、落下時のエネルギーを評価し、気中落下試験時

の燃料集合体の落下エネルギー(39.3kJ)以上となる設備等を抽出する。抽出された設備等については、地震時にも落下しない設計とする。

床面や壁面へ固定する重量物については、使用済燃料ピットからの離隔を確保するため、使用済燃料ピットへ落下するおそれはない。

a. 燃料取扱棟

燃料取扱棟の屋根を支持する鉄骨梁は、基準地震動に対する発生応力が終局耐力を超えず、使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。また、屋根は鋼板の上に鉄筋コンクリート造の床を設け、地震による剥落のない構造とする。

また、下層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して健全性が確保される設計とする。上層部の鉄筋コンクリート壁は、基準地震動に対して使用済燃料ピット内に落下しない設計とする。

b. 使用済燃料ピットクレーン

使用済燃料ピットクレーンは、基準地震動による地震荷重に対し、クレーン本体の健全性評価及び転倒落下防止評価を行い、使用済燃料ピットへの落下物とならないよう、以下を満足する設計とする。

- (a) クレーン本体の健全性評価においては、保守的に吊荷ありの条件で、ホイスト支柱等に発生する地震荷重が許容応力以下であること。
- (b) 転倒落下防止評価においては、走行レール頭部を抱き込む構造をしたクレーンの転倒防止金具爪について、保守的に吊荷なしの条件で、地震時の発生応力が、転倒防止金具爪、取付けボルト等の許容応力以下であること。
- (c) 走行レールの健全性評価においては、走行方向、走行直角方向及び鉛直方向について、地震時に基礎ボルトに発生する荷重が、許容応力以下であること。

また、使用済燃料ピットクレーンは、二重ワイヤ、フック部外れ止め及び動力電源喪失時保持機能により、落下防止対策を講じた設計とする。

c. 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーンは、使用済燃料ピットの上部を走行できないように可動範囲を制限し、仮に脱落したとしても、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物とならない設計とする。また、仮に落下後の移動を想定しても、使用済燃料ピットとの間に燃料取替チャンネルがあるため、クレーン本体及び吊荷が使用済燃料ピットへの落下物となることはない。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設備の設計方針は、3号炉添付書類八 4.1.1.2 設計方針に同じとし、耐震設計については3号炉の耐震設計方針に基づく設計とする。

#### 4.1.1.4 主要設備

##### (2) 使用済燃料ピット

使用済燃料ピット（1号、2号及び4号炉共用）は、燃料取扱棟内に設け鉄筋コンクリート造とし、耐震設計Sクラスの構造物で、壁は遮へいを考慮して十分厚くする。使用済燃料ピット内面は、漏水を防ぎ保守を容易にするために、ステンレス鋼板で内張りした構造とする。

使用済燃料ピット水の減少防止のために、使用済燃料ピット水浄化冷却設備の取水のための配管は使用済燃料ピット上部に取り付け、また、注水のための配管にはサイフォンブレーカを取り付ける。さらに、使用済燃料ピット底部には排水口は設けない。

使用済燃料ピットのステンレス鋼板内張りから、万一漏えいが生じた場合に漏えい水の検知ができるように漏えい検知装置を設置し、燃料取替用水ピットから、ほう素濃度2,500ppm以上のほう酸水を補給できる設計とする。また、使用済燃料ピットには水位及び温度警報装置を設けて、水位高、水位低及び温度高の警報を中央制御室に発する。

使用済燃料ピット内には、原子炉容器から取り出した使用済燃料を鉛直に保持し、ほう酸濃度2,500ppm以上のほう酸水中に貯蔵するためのキャン型の使用済燃料ラックを配置する。使用済燃料ラック



は、各ラックのセルに1体ずつ燃料集合体を挿入する構造で、耐震設計Sクラスとし、ラック中心間隔は、たとえ設備容量分の新燃料を貯蔵し、純水で満たされた場合を想定しても実効増倍率は0.98以下になるように決定する。

使用済燃料ピットには、バーナブルポイズン、使用済制御棒クラスタ等を貯蔵するとともに、新燃料を一時的に仮置きすることもある。さらに、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器を置くためにキャスクピットを設ける。

また、3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピット（3号及び4号炉共用、一部既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4(2) 使用済燃料ピットに同じ。

4号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約490%相当分並びに全炉心燃料の約290%相当分（1号、2号及び4号炉共用）とし、3号炉燃料取扱棟内の使用済燃料ピットの貯蔵容量は、全炉心燃料の約870%相当分（3号及び4号炉共用、一部既設）とする。

なお、使用済燃料ピットは、通常運転中は全炉心の燃料を貯蔵できる容量を確保する。

### (3) 除染場ピット

除染場ピット（1号、2号及び4号炉共用）は、キャスクピットに隣接して設け、使用済燃料輸送容器及び使用済燃料乾式貯蔵容器等の除染を行う。

また、3号炉燃料取扱棟内の除染場ピット（3号及び4号炉共用、既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4(3) 除染場ピットに同じ。

### (7) 燃料取扱棟クレーン

燃料取扱棟クレーン（1号、2号及び4号炉共用）は、新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器及び新燃料等の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。

燃料取扱棟クレーンは、フックを二重ワイヤで保持し新燃料輸送容器、使用済燃料輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器及び新燃料等

の落下を防止する」とともに、地震時にも落下することがないように設計とし、その移動範囲を重量物の落下により使用済燃料ピットに影響を及ぼすことがないように限定する。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱棟クレーン（3号及び4号炉共用、既設）は、3号炉添付書類八 4.1.1.4（7）燃料取扱棟クレーンに同じ。

(13) 使用済燃料乾式貯蔵施設

使用済燃料乾式貯蔵施設は、使用済燃料を収納する使用済燃料乾式貯蔵容器及び周辺施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋（1号、2号、3号及び4号炉共用）、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車等）で構成する。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、蓋、バスケット等で構成され、内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とし、使用済燃料乾式貯蔵容器と貯蔵架台を固定装置で固定し、貯蔵架台を基礎ボルトで基礎に固定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する部材は、設計貯蔵期間（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して十分な信頼性のある材料を選定し、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持する設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して、使用済燃料乾式貯蔵容器に収納する使用済燃料の健全性を確保する設計とするため、使用済燃料乾式貯蔵容器内部にヘリウムガスを封入し、保持できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則」第六条及び十一条を満たすものとし、取扱中の作業員の誤操作を想定しても「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格」の基準を満足することで、安全機能を維持

できる設計とする。密封境界部は、設計上想定される衝撃力に対して、おおむね弾性範囲内にとどまる設計とする。また、使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能をバスケットで担保しており、設計上想定される状態において、バスケットが臨界防止上有意な変形を起こさない設計とする。

周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、使用済燃料乾式貯蔵容器の直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動による地震力に対して使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、自然現象等に対して損壊しない設計とする。また、基準地震動による地震力に対して、貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器への波及的影響を防止するよう損壊しない設計とする。なお、自然現象等に対して損壊しない設計とすることにより遮へい機能が著しく低下することはない。

周辺施設のうち、使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計、使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、1号、2号、3号及び4号炉用燃料を収納する容器と3号及び4号炉用燃料を収納する容器を合計40基配置できる容量とする。

a. 使用済燃料乾式貯蔵容器（タイプ1）

（1号、2号、3号及び4号炉共用）

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 14×14 燃料

（1号及び2号炉用）

ウラン 235 濃縮度 約 4.8wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 55,000MWd/t 以下

冷却年数 15年以上

(b) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

(3号及び4号炉用)

ウラン 235 濃縮度 約 4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

b. 使用済燃料乾式貯蔵容器 (タイプ2)

(3号及び4号炉共用)

(a) ウラン燃料

燃料集合体中の燃料棒配列 17×17 燃料

(3号及び4号炉用)

ウラン 235 濃縮度 約 4.1wt%以下

燃料集合体最高燃焼度 48,000MWd/t 以下

冷却年数 15 年以上

使用済燃料乾式貯蔵容器は、設計貯蔵期間において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去し、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を担保する各部位及び使用済燃料が、構造健全性及び性能を維持できる構造とする。また、使用済燃料乾式貯蔵建屋は、使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能を阻害しない設計とするとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しない設計とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器表面の線量当量率が 2 mSv/h 以下及び容器表面から 1 m 離れた位置における線量当量率が 100  $\mu$  Sv/h 以下となるよう、収納される使用済燃料の放射線源強度を考慮して十分に遮へいできる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、貯蔵容器本体、二重の蓋及び金属ガasketにより漏えいを防止し、設計貯蔵期間中の貯蔵容器内部圧力を負圧に維持できる構造とする。なお、使用済燃料乾式貯蔵容器の貯蔵中については緩衝体を設置しない。

使用済燃料乾式貯蔵容器は、容器内のバスケットにより、個々の使用済燃料を使用済燃料乾式貯蔵容器内部の所定の位置に収納し、

適切な燃料集合体間隔を保持することにより燃料集合体は相互に接近しない構造とする。また、使用済燃料を全容量収納し、乾式貯蔵施設内における使用済燃料貯蔵容器の配置及び相互の中性子干渉、バスケットの形状、バスケット格子内の使用済燃料の配置、中性子吸収材の製造公差及び中性子吸収に伴う原子個数密度の減少、減速材（水）の影響も含め、技術的に想定されるいかなる場合でも、実効増倍率を0.95（解析上の不確定さを含む。）以下に保ち、使用済燃料の臨界を防止できる構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器（貯蔵架台を含む）はSクラスに分類したうえで、基準地震動による地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアにおいて、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う天井走行形クレーンである。使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーンは、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として、フックを二重ワイヤで保持し使用済燃料乾式貯蔵容器の落下を防止する対策を講じるとともに、浮き上がり防止機能を設け、使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン自身の落下防止対策を講じる。また、その移動範囲を重量物の落下により貯蔵中の使用済燃料乾式貯蔵容器に影響を及ぼすことがないように使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアのみに限定する。

使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵建屋取扱エリアと使用済燃料乾式貯蔵建屋貯蔵エリアの間において、使用済燃料乾式貯蔵容器の移動を安全かつ確実に行う搬送台車である。使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車は、使用済燃料乾式貯蔵容器の安全機能を維持するため、一般産業施設として緊急停止できる機構を設けるとともに、人の誤操作等で逸走した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵容器が使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁及び他の使用済燃料乾式貯蔵容器等へ衝突しない構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵容器の蓋間圧力は、使用済燃料乾式貯蔵容器

蓋間圧力計により監視し、使用済燃料乾式貯蔵容器の表面温度は、  
使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計により監視し、使用済燃料乾式  
貯蔵建屋内の雰囲気温度は、使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度  
計で監視する。

#### 4.1.1.6 試験検査

燃料取扱及び貯蔵設備は、機器の使用に先立って機能試験、検査  
を実施する。また、使用済燃料ピットのほう素濃度は定期的に分析  
する。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設  
備の試験検査は、3号炉添付書類八 4.1.1.6試験検査に同じ。

#### 4.1.1.7 手順等

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設は、以下の内容を含む手順等を定  
める。

##### (1) 使用済燃料ピットへの重量物落下防止対策

- a. 使用済燃料ピット周辺に設置する設備や取り扱う吊荷について  
は、予め定めた評価フローに基づき評価を行い、使用済燃料ピット  
に影響を及ぼす落下物となる可能性が考えられる場合は落下防止  
措置を実施する。
- b. 使用済燃料ピット上で作業を行う使用済燃料ピットクレーンに  
ついては、クレーン等安全規則に基づき、定期点検及び作業開始前  
点検を実施するとともに、クレーンの運転、玉掛けは有資格者が実  
施する。

また、3号炉燃料取扱棟内の燃料取扱設備及び使用済燃料貯蔵設  
備の手順等は、3号炉添付書類八 4.1.1.7 手順等に同じ。

#### 第 4.1.1 表 燃料取扱及び貯蔵設備の設備仕様

##### (14) 使用済燃料乾式貯蔵施設

個 数	1
貯 蔵 能 力	全炉心燃料の約500%相当分 (使用済燃料乾式貯蔵容器40基分)
種 類	使用済燃料乾式貯蔵容器 <ul style="list-style-type: none"> <li>・タイプ1 (1号、2号、3号及び4号炉共用)</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">最大収納体数 21</p> <p style="margin-left: 80px;">主 要 寸 法 全長 約5.2m</p> <p style="margin-left: 120px;">外 径 約2.6m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・タイプ2 (3号及び4号炉共用)</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">最大収納体数 24</p> <p style="margin-left: 80px;">主 要 寸 法 全長 約5.2m</p> <p style="margin-left: 120px;">外 径 約2.6m</p> <p style="margin-left: 40px;">周辺施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋 (1号、2号、3号及び4号炉共用)</li> <li>・貯蔵架台</li> <li>・基礎ボルト</li> <li>・基礎</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵容器搬送台車</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力計</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵容器表面温度計</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計</li> </ul>

((1) ~ (13) は変更前の記載に同じ。)

## 2. 燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設

(別紙)

燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について(使用済燃料乾式貯蔵施設)



玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉  
燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設について  
(使用済燃料乾式貯蔵施設)

## 目 次

1. 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について
2. 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について
3. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について
4. 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について
5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について
  5. 1 閉じ込め機能
  5. 2 臨界防止機能
  5. 3 遮へい機能
  5. 4 除熱機能
6. 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について
7. 使用済燃料乾式貯蔵容器を通常に取り扱う場合の設計上想定される事象について
8. 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について
9. 自然現象等に対する使用済燃料乾式貯蔵施設の設計方針
  9. 1 使用済燃料乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能について
  9. 2 兼用キャスク及び周辺施設の設計

### 補足資料

- 補足 1 使用済燃料乾式貯蔵における燃料被覆管の健全性評価について

## 別添資料

- 別添 1 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（閉じ込め機能）
- 別添 2 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（臨界防止機能）
- 別添 3 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（遮蔽機能）
- 別添 4 使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）

## 参考資料

- 参考 1 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計及び評価で引用している文献の記載内容について
- 参考 2 使用済燃料乾式貯蔵施設の設置変更許可に係る詳細な確認範囲について
- 参考 3 貯蔵中の乾式キャスクの転倒防止（エアパレット搬送時含む）について
- 参考 4 解析条件等の比較（核燃料輸送物設計承認申請／設置変更許可申請）
- 参考 5 設置許可基準規則第 16 条第 1 項の取扱いについて
- 参考 6 輸送時（特別の試験条件）の遮蔽評価の概要

1. 使用済燃料乾式貯蔵施設の貯蔵容量について

貯蔵容量に関する要求事項は以下のとおりである。

①設置許可基準規則第16条第2項一号ロ

- ・燃料体等を必要に応じて貯蔵することができる容量を有するものとする。

使用済燃料乾式貯蔵施設（以下、「乾式貯蔵施設」という）は、全炉心燃料の最大約500%相当分とする。

使用済燃料の貯蔵設備は、使用済燃料ピット（貯蔵容量1,672体）において全炉心燃料（193体）及び1回の燃料取替え（68体）に必要とする貯蔵容量を確保することとしている。また、使用済燃料ピット及び乾式貯蔵施設（貯蔵容量最大960体）の貯蔵容量は、使用済燃料に加え、全炉心燃料及び1回の燃料取替えに必要とする燃料集合体数に十分余裕を持たせた設計とする。

なお、取扱中の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式キャスク」という）内の燃料を取り出す容量は貯蔵余裕において確保している。

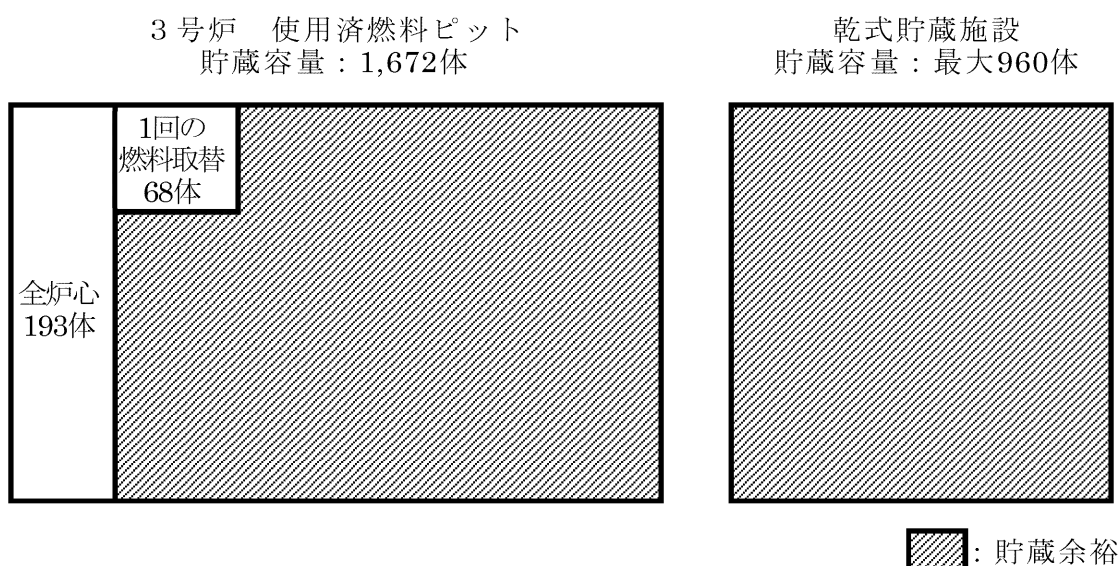


図1 貯蔵容量の考え方（3号炉使用済燃料ピットの例）

## 2. 使用済燃料乾式貯蔵容器の構造について

### 2.1 乾式キャスクの概要

乾式キャスクとは、使用済燃料を乾式貯蔵施設へ搬入し、貯蔵終了後、再処理工場にそのまま搬出することが可能な輸送貯蔵兼用容器である。

乾式キャスクは、14×14型燃料（1号及び2号炉用）、17×17型燃料（3号炉及び4号炉用）を収納するタイプ1（MSF-21P型）、及び17×17型燃料（3号炉及び4号炉用）を収納するタイプ2（MSF-24P型）の2タイプである。

乾式キャスクは、乾式キャスク本体、蓋部、バスケット等で構成し、下部トラニオンと貯蔵架台を固定装置で固定するとともに、貯蔵架台を基礎ボルトで乾式貯蔵施設内の基礎に固定する。乾式キャスクの構造を第2-1図～第2-4図、乾式キャスク仕様を第2-1表に示す。

#### (1) 乾式キャスク本体

乾式キャスク本体は、胴、レジン及び外筒等で構成する。

胴及び外筒は炭素鋼製でガンマ線遮蔽材であり、レジンは中性子遮蔽材である。

乾式キャスク本体の取り扱いのために、上部トラニオン及び下部トラニオンを取り付ける。

#### (2) 蓋部

蓋部は、一次蓋及び二次蓋で構成する。

一次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付け、閉じ込め境界を構成する。一次蓋に充填するレジンが中性子遮蔽材、一次蓋の炭素鋼はガンマ線遮蔽材である。

二次蓋は炭素鋼製であり、ボルトで乾式キャスク本体上面に取り付ける。

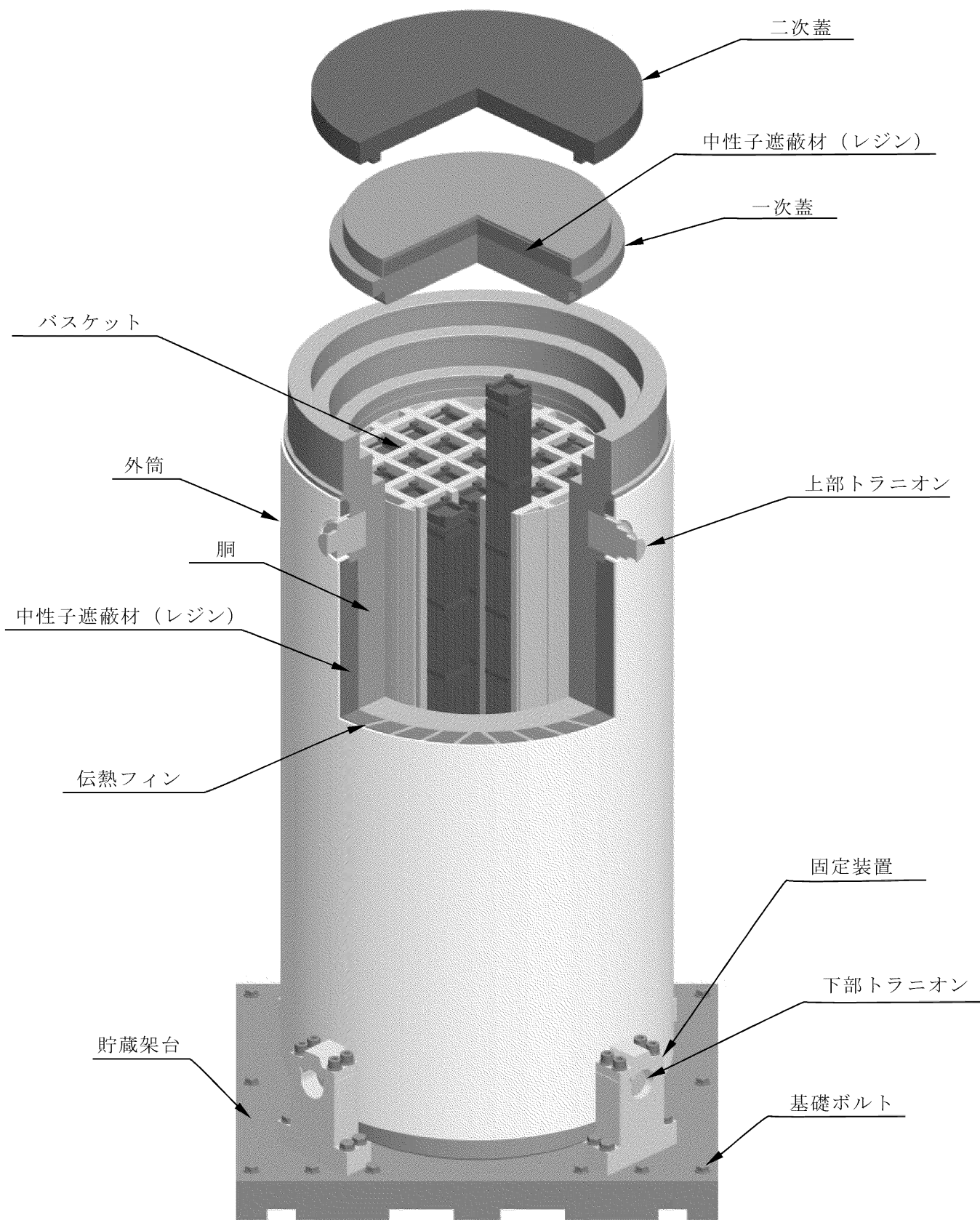
一次蓋のシール部には長期にわたって閉じ込め機能を維持するため、また、二次蓋のシール部には圧力監視境界を設けて閉じ込め監視境界を形成するために金属ガスケットを取り付ける。

#### (3) バスケット

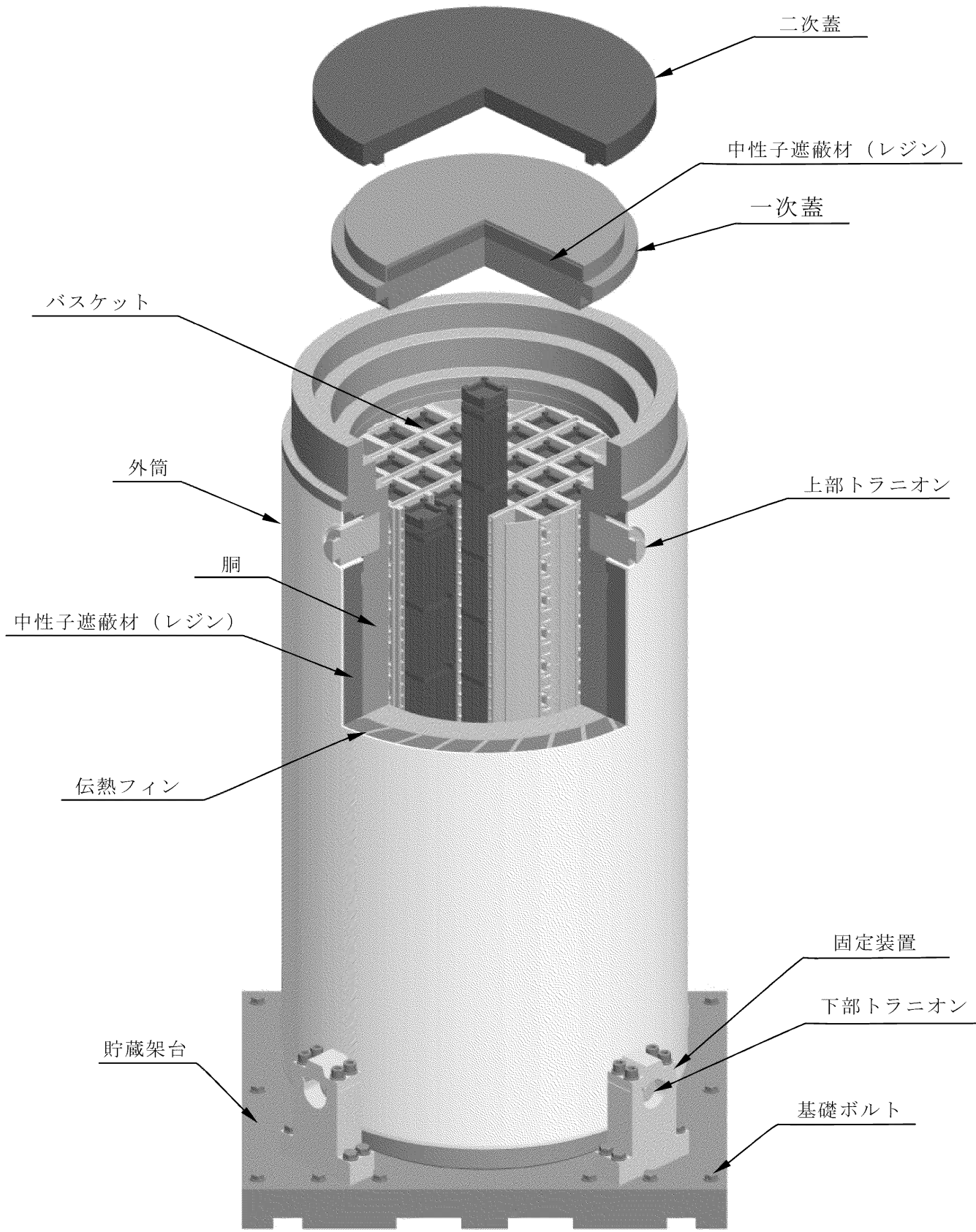
バスケットは断面形状が中空状であるアルミニウム合金製のバスケット

トプレートで構成する格子構造とし、個々の使用済燃料を乾式キャスク本体内部に配置されたバスケットの所定の格子内に収納する。また、使用済燃料の未臨界性を維持するために、中性子吸収材を併せて配置する。

なお、MSF-21P 型について、14×14 型燃料を装荷する場合は、バスケットの格子内へバスケットスペーサを設置する。

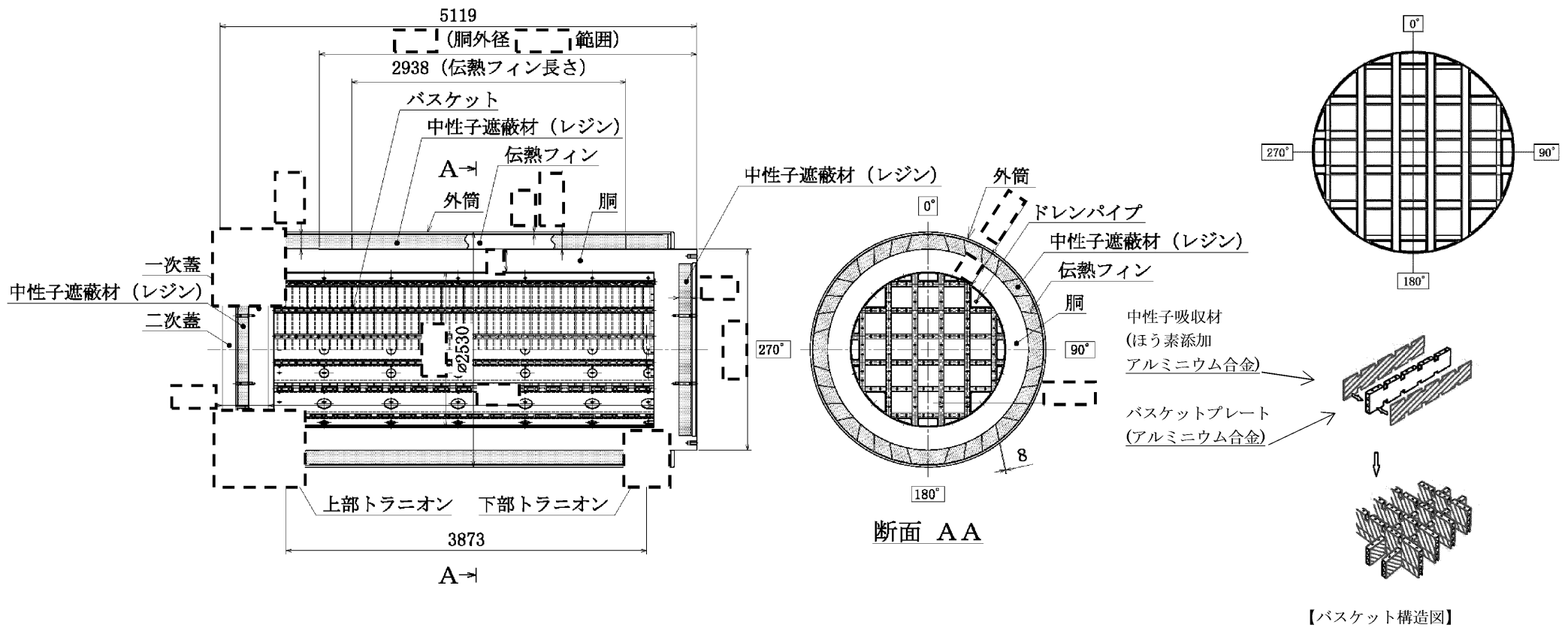


第2-1 図 乾式キャスクの構造 (MSF-21P 型)



第2-2図 乾式キャスクの構造 (MSF-24P型)

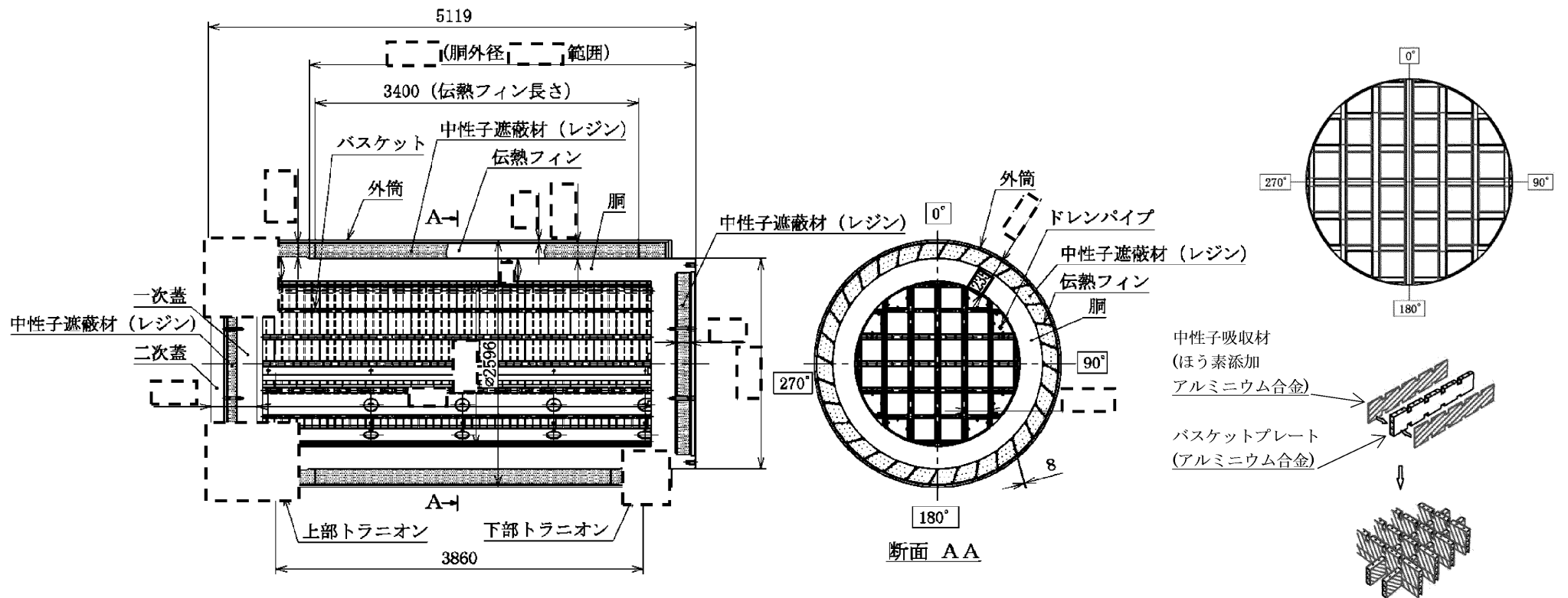




(単位:mm)

第 2-3 図 乾式キャスク断面図 (MSF-21P 型)

□: 商業機密に係る事項のため公開できません



(単位:mm)

【バスケット構造図】

第2-4図 乾式キャスク断面図 (MSF-24P型)

[-] : 商業機密に係る事項のため公開できません

第 2-1 表 乾式キャスク仕様

項 目		仕 様	
乾式キャスク型式		MSF-21P 型	MSF-24P 型
全質量（使用済燃料集合体を含む）		約 114 t	約 117 t
寸 法	全 長	約 5.2 m	約 5.2 m
	外 径	約 2.6 m	約 2.6 m
最 大 収 納 体 数		21 体	24 体
主 要 材 質	乾式キャスク本体		
	胴（ガンマ線遮蔽材）	炭素鋼	炭素鋼
	外筒（ガンマ線遮蔽材）	炭素鋼	炭素鋼
	ト ラ ニ オ ン	ステンレス鋼	ステンレス鋼
	中 性 子 遮 蔽 材	レジン	レジン
	伝 熱 フ ィ ン	銅	銅
	蓋 部		
一 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼	
二 次 蓋	炭素鋼	炭素鋼	
蓋 ボ ル ト	ニッケルクロムモリブデン鋼	ニッケルクロムモリブデン鋼	
バ ス ケ ッ ト	アルミニウム合金 (中性子吸収材を配置)	アルミニウム合金 (中性子吸収材を配置)	
内 部 充 填 ガ ス		ヘリウムガス	ヘリウムガス
シ ー ル 材		金属ガスケット	金属ガスケット

### 3. 使用済燃料乾式貯蔵容器の収納条件について

乾式キャスクへ収納する使用済燃料仕様を第3-1表及び第3-2表に、使用済燃料に挿入して収納することができるバーナブルポイズン集合体仕様を第3-3表に示す。また、使用済燃料の収納配置を第3-1図及び第3-2図に示す。

なお、運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料を収納する。

乾式キャスクへの使用済燃料の装荷にあたっては、次頁以降に示す収納条件を満足することを確認したうえで装荷する。

第3-1表 使用済燃料仕様 (MSF-21P型)

項目		仕様							
		中央部		外周部		中央部		外周部	
燃料集合体の種類		17×17 燃料				14×14 燃料			
		A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型
形状	集合体幅 (mm)	約 214				約 197			
	全長 (mm)	約 4,100				約 4,100			
質量 (kg 以下)		約 680				約 600			
燃料集合体1体の仕様	初期濃縮度 (wt% 以下)	約 4.1				約 4.8			
	最高燃焼度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		44		55		47	
	冷却期間※ (年以上)	15	20	15	20	15			
乾式キャスク 1基当たりの 平均燃焼度 (GWd/t 以下)		44				43			

※ B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却期間を設定している。

第3-2表 使用済燃料仕様 (MSF-24P型)

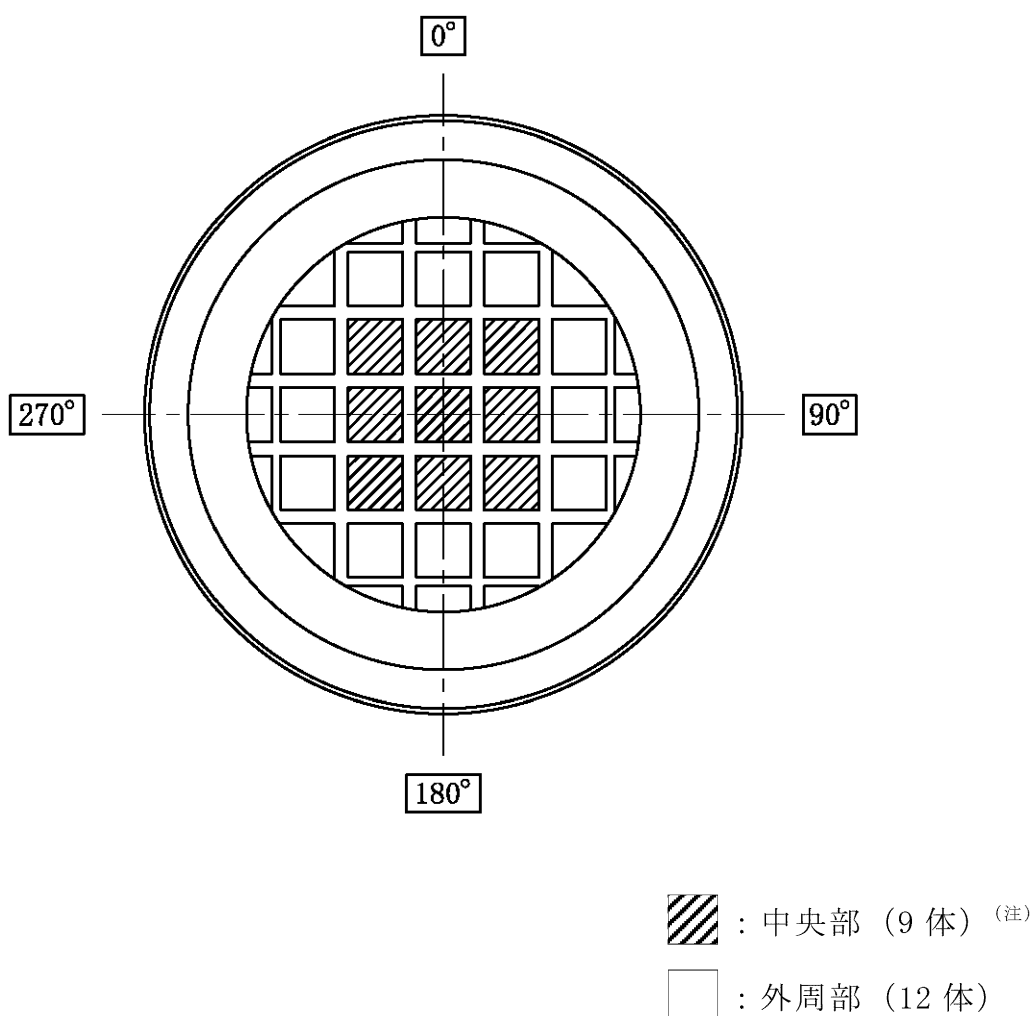
項目		仕 様			
		中 央 部		外 周 部	
燃料集合体の種類		17×17 燃料			
		A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 214			
	全 長 ( m m )	約 4,100			
質 量 (kg 以下)		約 680			
燃料集合体1体の仕様	初 期 濃 縮 度 (wt% 以下)	約 4.1			
	最 高 燃 焼 度 (GWd/t 以下) (燃料集合体平均)	48		44	
	冷 却 期 間 ※ (年 以 上 )	15	17	15	17
乾 式 キ ャ ス ク 1 基 当 た り の 平 均 燃 焼 度 (GWd/t 以下)		44			

※ B型は構造材の放射化ガンマ線の影響が大きいため、A型より長い冷却期間を設定している。

第3-3表 バーナブルポイズン集合体仕様

項 目		仕 様			
バーナブルポイズン集合体の種類		17×17 燃料用		14×14 燃料用	
		A型	B型	A型	B型
形 状	集 合 体 幅 ( m m )	約 161		約 140	
	全 長 ( m m )	約 4,000		約 4,000	
質 量 (kg 以下)		約 29		約 18	
照 射 期 間 (日 以下)		1,200(約 46Gwd/t 相当) ※ 2,344(約 90Gwd/t 相当) ※		2,671 (約 90Gwd/t 相当)	
冷 却 期 間 (年 以上)		15	20* 15*	15	

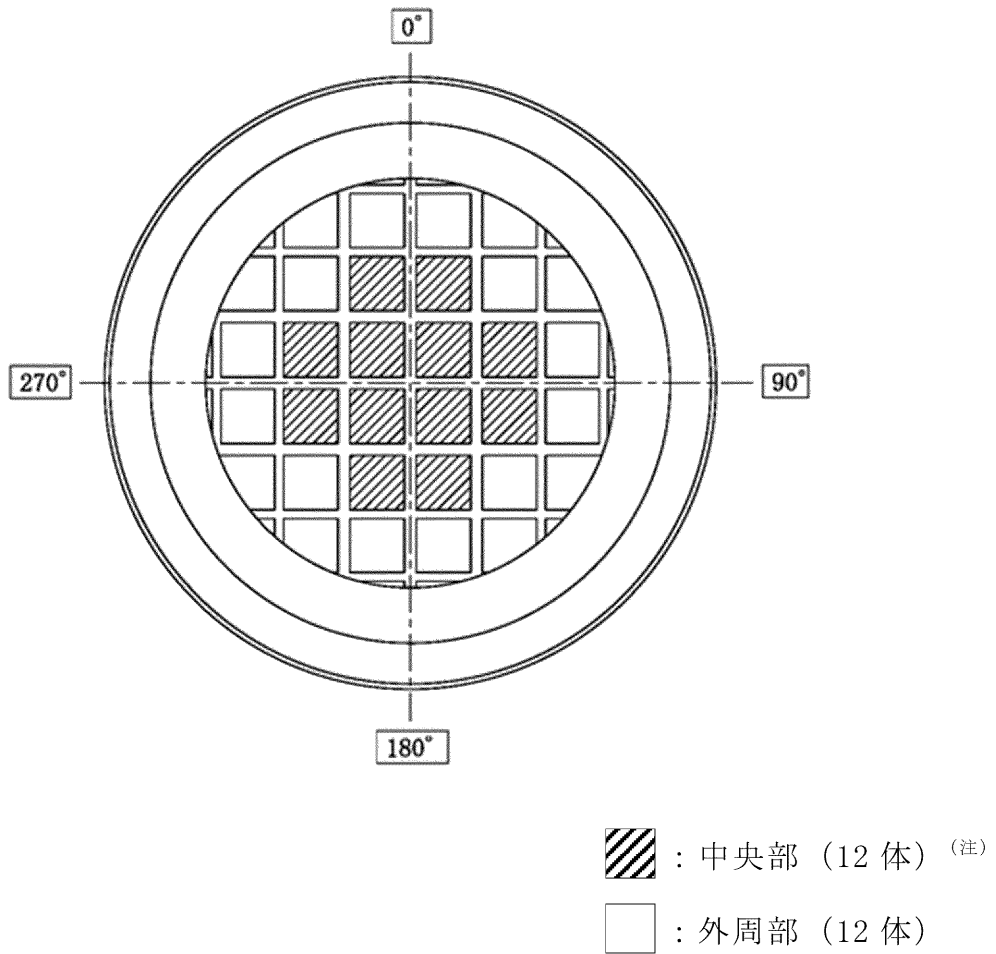
※上段は MSF-21P 型、下段は MSF-24P 型の仕様を示す。



(注) 中央部には燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で乾式キャスクに収納することができる。

第 3-1 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-21P 型)





(注) 中央部には燃料集合体単独あるいは、バーナブルポイズン集合体を挿入した状態で乾式キャスクに収納することができる。

第 3-2 図 使用済燃料集合体の収納配置 (MSF-24P 型)

## 4. 使用済燃料乾式貯蔵容器の設計貯蔵期間について

### 4.1 要求事項

乾式キャスクの設計貯蔵期間に関する要求事項は以下のとおりである。

- (1) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.6 設計貯蔵期間」には以下のように記載されている。

#### 【審査における確認事項】

『

設計貯蔵期間は、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

』

#### 【確認内容】

『

設計貯蔵期間は、当該設計貯蔵期間中の兼用キャスクの安全機能の評価するに当たり、材料及び構造の経年変化の考慮を行うための前提条件となるため、設置（変更）許可申請書で明確にされていること。

』

### 4.2 適合性について

乾式キャスクの設計貯蔵期間については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

乾式キャスクの設計貯蔵期間は60年とし、設置（変更）許可申請書で明確にする。

また、設計貯蔵期間中の乾式キャスクの材料及び構造の健全性については、6.にて説明する。

## 5. 使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について

3. の使用済燃料の収納条件を踏まえ、MSF-21P型及びMSF-24P型の各解析条件の概要を第5-1表及び第5-2表に示す。

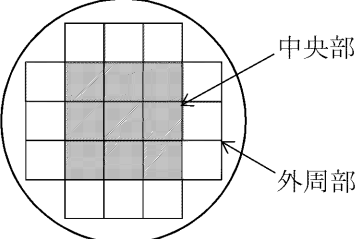
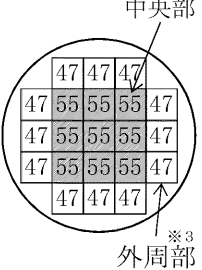
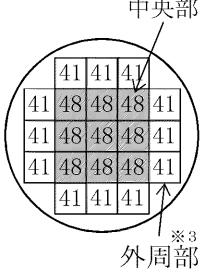
1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を、専用の乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）にて貯蔵することで、4つの安全機能（閉じ込め、臨界防止、遮蔽、除熱）が確保できる設計とする。また、1, 2, 3, 4号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下、「乾式貯蔵建屋」という）が乾式キャスク（MSF-21P型、MSF-24P型）の除熱機能を阻害しない設計とする。

本項では、乾式キャスクの通常貯蔵時<sup>※</sup>のうち、乾式キャスクを静置している状態における4つの安全機能について説明し、通常取り扱い時の評価は7項で説明する。

なお、乾式キャスク収納条件、配置条件に適合する使用済燃料であることを確認のうえ、乾式キャスクへ収納する。

※：発電所敷地内において兼用キャスクを通常に取り扱い、又は静置している状態をいう。

第5-1表 乾式キャスク解析条件の概要 (MSF-21P型)

		キャスク収納制限 配置制限				燃料スペック		解析条件						
		17×17型燃料収納時		14×14型燃料収納時				臨界		遮蔽		除熱		
		中央部	外周部	中央部	外周部	中央部	外周部			中央部	外周部			
収納物仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)		14×14型 (A/B型)		17×17型 (A/B型)	14×14型 (A/B型)	17×17型 (A型)	14×14型 <sup>※1</sup>	14×14型 (B型)		17×17型 (A型)		
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		≤4.9		4.1	4.8							
	ウラン重量 (kg)													
	最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)							≤48	≤44	≤55	≤47	≤48	≤55	0
	SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20		≥15		—	—	—	—	15		15		
	パナブル ホイスン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤46	—	≤90	—	—	—	—	—	90	—	—	—
		SFPでの冷却期間 (年)	A型: ≥15 B型: ≥20	—	≥15	—	—	—	—	—	15	—	—	—
キャスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		≤43		—	—	0	0	—		44		
	配置 <sup>※4</sup>					—	—	—	—					

※1：臨界解析において14×14型燃料はA型及びB型で仕様が同じとなるため、解析条件としてA型とB型の区別をしない。

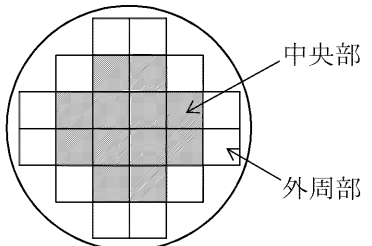
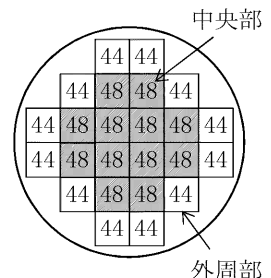
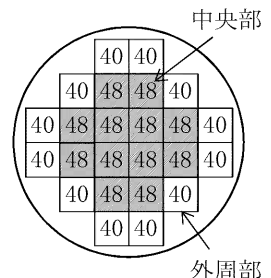
※2：外周部12体は、乾式キャスク全体の発熱量が平均44GWd/tになるよう41GWd/tとしている。

※3：48GWd/t型燃料を収納する条件とする。実燃焼度が同じであれば、55GWd/t型燃料に比べ48GWd/t型燃料のほうが、線源強度及び発熱量が厳しい条件となる。

※4：数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

□□：商業機密に係る事項のため公開できません

第 5-2 表 乾式キャスク解析条件の概要 (MSF-24P 型)

	キャスク収納制限 配置制限		燃料スペック		解析条件						
					中央部	外周部	臨界	遮蔽		除熱	
								中央部	外周部	中央部	外周部
収納物仕様	燃料集合体 1 体の仕様	燃料タイプ	17×17 型 (A/B 型)		17×17 型 (A 型)	17×17 型 (A 型)		17×17 型 (A 型)			
		初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2		4.1						
		ウラン重量 (kg)									
		最高燃焼度 (GWd/t) (燃料集合体平均)	≤48	≤44	≤48	0	48	44	48	40 <sup>※1</sup>	
	SFP での冷却期間 (年)	A 型 : ≥15 B 型 : ≥17		—	—	15		15			
	バーナブルポイズン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90	—	—	—	90	—	—	—	
		SFP での冷却期間 (年)	≥15	—	—	—	15	—	—	—	
キャスク 1 基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44		—	0	—		44			
配置 <sup>※2</sup>					—	—					

※ 1 : 外周部 12 体は、乾式キャスク全体の燃焼度が平均 44GWd/t になるよう 40GWd/t としている。

※ 2 : 数値は燃焼度 (GWd/t) を示す。

〔 〕 : 商業機密に係る事項のため公開できません

なお、各解析については、第5-3表及び第5-4表のとおり、三菱重工業(株)が型式設計特定容器等の型式指定を受けたMSF-21P型での設計等で使用した解析コード及びライブラリと同等のものを使用しており、特殊性及び新規性はない。

第5-3表 解析コード（ライブラリ含む）比較

評価項目	解析コード	
	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P型及びMSF-24P型
臨界	SCALE 4.4a (KENO-V.a) ／ (燃料領域均質化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-V 238群)	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) (断面積ライブラリ： ENDF/B-VII 252群)
遮蔽	ORIGEN2 DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) DOT3.5 (断面積ライブラリ：MATXSLIB-J33)
除熱	ORIGEN2 ABAQUS	ORIGEN2 (ORIGEN2.2UPJ) ABAQUS

第5-4表 解析における変更箇所

	変更項目	型式指定を受けたMSF-21P型	本申請のMSF-21P型 及びMSF-24P型
臨界	・コード ／モデル化 ・断面積 ライブラリ	SCALE 4.4a (KENO-V.a) ／ (燃料領域均質化) ENDF/B-V 238群	SCALE 6.2.1 (KENO-VI) ／ (燃料ピンモデル化) ENDF/B-VII 252群
遮蔽	・断面積 ライブラリ	MATXSLIB-J33	MATXSLIB-J33
除熱	・解析モデル	2D モデル (モデル検証に3Dモデルを適用)	3D モデル

- 5.1 使用済燃料乾式貯蔵容器の閉じ込め機能について  
乾式キャスクの閉じ込め機能を別添1に示す。
- 5.2 使用済燃料乾式貯蔵容器の臨界防止機能について  
乾式キャスクの臨界防止機能を別添2に示す。
- 5.3 使用済燃料乾式貯蔵容器の遮蔽機能について  
乾式キャスクの遮蔽機能を別添3に示す。
- 5.4 使用済燃料乾式貯蔵容器の除熱機能について  
乾式キャスクの除熱機能を別添4に示す。

## 6. 使用済燃料乾式貯蔵容器の長期健全性について

### 6.1 要求事項

材料・構造健全性に関する要求事項は、以下のとおりである。

#### (1) 設置許可基準規則要求事項

##### ①設置許可基準規則第 16 条第 2 項一号イ

- ・燃料体等の落下により燃料体等が破損して放射性物質の放出により公衆に放射線障害を及ぼすおそれがある場合において、放射性物質の放出による公衆への影響を低減するため、燃料貯蔵設備を格納するもの及び放射性物質の放出を低減するものとする。

##### ②設置許可基準規則第 16 条第 2 項一号ハ

- ・燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。

##### ③設置許可基準規則第 16 条第 4 項一号

- ・使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。

##### ④設置許可基準規則第 16 条第 4 項二号

- ・使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができるものとする。

##### ⑤設置許可基準規則第 16 条第 4 項三号

- ・使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

##### ⑥設置許可基準規則解釈別記 4 第 16 条 5 項

- ・第 16 条第 2 項第 1 号ハ及び同条第 4 項各号を満たすため、兼用キャスクは、当該兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計とすること。ここで、「兼用キャスクを構成する部材及び使用済燃料の経年変化を考慮した上で、使用済燃料の健全性を確保する設計」とは、以下を満たす設計をいう。
- ・設計貯蔵期間を明確にしていること。
- ・設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境条件下での経年変化を考慮



した材料及び構造であること。

(2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.5 材料・構造健全性」には以下のように記載されている。

【審査における確認事項】

『  
設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での兼用キャスクの経年変化に対して十分な信頼性を有する材料及び構造であること。また、貯蔵建屋を設置しない場合は、雨水等により兼用キャスクの安全機能が喪失しないよう対策が講じられていること。輸送荷姿等の緩衝体を装着した状態で貯蔵を行う場合は、緩衝体の経年変化についても考慮していること。

』

【確認内容】

- 『
- (1) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。
  - (2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

』

## 6.2 適合性について

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、兼用キャスクの有する4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）に係る設計の基本方針の妥当性を確認することが定められており、乾式キャスクの材料・構造健全性については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

### 〔確認内容〕

- (1) 安全機能を維持する上で重要な兼用キャスクの構成部材は、兼用キャスクの最低使用温度における低温脆性を考慮したものであること。また、設計貯蔵期間中の温度、放射線等の環境及び当該環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年変化の影響を、設計入力値（例えば、寸法、形状、強度及び材料物性値）又は設計基準値の算定に際し考慮していること。さらに、必要に応じて防食措置等が講じられていること。
- (2) 兼用キャスク内部の不活性環境を維持し、温度を制限される範囲に収めることにより、兼用キャスクに収納される使用済燃料の経年変化を低減又は防止する設計であること。

乾式キャスクの主要な構成部材は、設計貯蔵期間中（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、安全機能を維持する設計とする。使用済燃料は、設計貯蔵期間（60年）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食、クリープ、応力腐食割れ等の経年劣化に対して、健全性を確保する設計とする。

これらの経年変化要因に対する乾式キャスクの主要な構成部材及び使用済燃料被覆管の健全性評価を以下に示す。

なお、本評価においては、以下の点について保守性を有している。

- ・評価に適用する中性子照射量は、減衰を考慮せず初期の照射量が60年間継続する条件で算出している。（乾式キャスク各部材の中性子照射量は第6-1表のとおり。）

(1) 胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルト

【照射影響】

胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼については、中性子照射量が  $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

【熱的影響】

胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

【化学的影響】

乾式キャスク内部の使用済燃料を閉じ込める空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを封入し、貯蔵する設計としている。したがって、不活性雰囲気は維持されるため、残留水分 (10 wt%) を考慮しても腐食の影響はない<sup>3)</sup>。また、胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルトに使用する炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼は、設計貯蔵期間中の温度条件において、仮に燃料破損率 1 % 相当の燃料棒内ガスの存在を考慮しても、腐食の影響はない<sup>4)</sup>。

一次蓋と二次蓋の間の空間部 (以下「蓋間空間」という。) には不活性ガスであるヘリウムを封入し、不活性雰囲気が維持されるため、腐食の影響はない。また、胴外面及び一次蓋は中性子遮蔽材 (レジン) に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。なお、大気に触れる部分については、塗装等の防食措置により腐食を防止する。

(2) バスケット

【照射影響】

バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金は、中性子照射量が  $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup> まで顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)、5)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $1.6 \times 10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。また、中性子吸収材に使用するほう素添加アルミニウム合金については、中性子吸収材中のほう素の設計貯蔵期間中の減損割合は  $10^{-5}$  程度\*であり無視し得るほど小さいため、臨界防止機能への影響はない。

※：以下のとおり算出。

$$B-10 \text{ 減損割合} = \sigma \times \phi \times t \quad (\text{n})$$

ここで、

$$\sigma : B-10 \text{ の熱中性子領域 (0.025eV) での全断面積 (3840barn} = 3.840 \times 10^{-21} \text{ (cm}^2\text{))} \quad 6)$$

$\phi$  : 全中性子束

$$8.117 \times 10^5 \text{ [MSF-21P 型] (n/cm}^2\text{/s)}$$

$$7.977 \times 10^5 \text{ [MSF-24P 型] (n/cm}^2\text{/s)}$$

遮蔽解析結果(燃料集合体領域の最大値)。保守的に貯蔵初期の値を60年一定とする。

$$t : \text{照射期間 (60年間} = 1.9 \times 10^9 \text{ (s))}$$

(計算結果)

$$\textcircled{1} \text{ MSF-21P 型} : 3.840 \times 10^{-21} \times 8.117 \times 10^5 \times 1.9 \times 10^9 = 5.93 \times 10^{-6} \\ (\Rightarrow 10^{-5} \text{ 以下であり、} 10^{-5} \text{ 程度と設定)}$$

$$\textcircled{2} \text{ MSF-24P 型} : 3.840 \times 10^{-21} \times 7.977 \times 10^5 \times 1.9 \times 10^9 = 5.83 \times 10^{-6} \\ (\Rightarrow 10^{-5} \text{ 以下であり、} 10^{-5} \text{ 程度と設定)}$$

### 【熱的影響】

バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金は、貯蔵状態における温度において、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup>、<sup>5)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

なお、バスケットプレート及びバスケットサポートに使用するアルミニウム合金の設計用強度は、設計貯蔵期間中の熱ばく露条件(250℃)を模擬した条件での材料試験により得られた材料特性を保守的に包絡するように設定しており、クリープによる設計貯蔵期間中の熱ばく露による強度低下を適切に考慮している<sup>5)</sup>、<sup>7)</sup>。また、貯蔵時にバスケットプレートに発生する応力は1MPa未満と小さく、設計貯蔵期間中のバスケットプレートのクリープ変形量は無視し得る<sup>5)</sup>。

### 【化学的影響】

バスケットが置かれた空間は、使用済燃料収納時にその空間を真空乾燥するとともに、不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としている。したがって、不活性雰囲気は維持されるため、残留水分(10 wt%)を考慮しても腐食の影響はない。<sup>4)</sup>、<sup>8)</sup>

## (3) トラニオン

### 【照射影響】

トラニオンに使用するステンレス鋼は、中性子照射量が $10^{17}$  n/cm<sup>2</sup>までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>9)</sup>ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>であることから照射脆化の影響はない。

### 【熱的影響】

トラニオンに使用するステンレス鋼は、貯蔵状態における温度において、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

### 【化学的影響】

トラニオンの内面は中性子遮蔽材(レジン)に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。<sup>10)</sup>

(4) 外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバー

【照射影響】

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに使用する炭素鋼は、中性子照射量が  $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>1)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は、外筒では  $3.5 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>、蓋部中性子遮蔽材カバーでは  $6.5 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

【熱的影響】

外筒及び蓋部中性子遮蔽材カバーに使用する炭素鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

【化学的影響】

外筒の内面及び蓋部中性子遮蔽材カバーの内面は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。<sup>10)</sup> また、蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、蓋部中性子遮蔽材カバーの外表面は不活性雰囲気維持されるため、腐食の影響はない。なお、外筒の外表面については、塗装等の防食措置により腐食を防止する。

(5) 下部端板及び底部中性子遮蔽材カバー

【照射影響】

下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーに使用するステンレス鋼は、中性子照射量が  $10^{17}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>9)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $8.2 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

【熱的影響】

下部端板及び底部中性子遮蔽材カバーに使用するステンレス鋼は、設計用強度・物性値が規定<sup>2)</sup> されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

### 【化学的影響】

下部端板の内面及び底部中性子遮蔽材カバーの内面は中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため腐食の影響はない。<sup>10)</sup>

## (6) 中性子遮蔽材

### 【照射影響】

中性子遮蔽材（レジン）は、中性子照射量が  $10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な質量減損は見られないことが示されており<sup>11)、12)</sup>、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $1.6 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

### 【熱的影響、化学的影響】

中性子遮蔽材は、設計貯蔵期間中の熱的（化学的）影響により質量減損（2%程度）が発生<sup>11)</sup> するため、遮蔽評価上、保守的に 2.5 %の質量減損を考慮する。

## (7) 金属ガスケット

### 【照射影響】

金属ガスケットに使用するアルミニウム及びニッケル基合金は、中性子照射量がそれぞれ  $10^{19}$  n/cm<sup>2</sup> 又は  $10^{21}$  n/cm<sup>2</sup> までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>13)、14)</sup> ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は  $2.0 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup> であることから照射脆化の影響はない。

### 【熱的影響】

また、高温時の健全性についてラーソン・ミラー・パラメータ（LMP）で評価すると、150 °Cでは 100 年以上閉じ込め機能を維持できる<sup>15)</sup>。さらに、設計貯蔵期間中の温度条件において長期密封性能試験（19 年以上）が実施され、閉じ込め機能が維持されることが確認されている<sup>16)</sup>。

### 【化学的影響】

蓋間空間には不活性ガスであるヘリウムを封入し、その圧力を監視する設計としている。閉じ込め境界である一次蓋の金属ガスケット及び圧力監視境界である二次蓋の金属ガスケットの内側は不活性雰囲気であり、腐食を考慮する必要はない。

大気と接触する二次蓋金属ガスケットの外側については、約3年間の塩水噴霧試験を実施し、実機の使用環境より厳しい塩水噴霧環境においても漏えい率に変化のないことが確認されている<sup>17)</sup>。また、10年間海浜条件で大気ばく露させた際の平均浸食深さ及び最大孔食深さ<sup>3)</sup>を用い、設計貯蔵期間中の浸食深さと孔食深さを評価した結果、それぞれ約0.025mm及び約0.33mmであり、外被材の製造公差\*を含めても、板厚0.5mmより小さいため、閉じ込め機能に影響はない。

※：金属ガスケットの製造公差の例（ノミナル寸法：0.5mm、製造公差： $\left[ \begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{array} \right]$ ， $\left[ \begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{array} \right]$ ）

## (8) 伝熱フィン

### 【照射影響】

伝熱フィンに使用する銅は、中性子照射量が $10^{16}$  n/cm<sup>2</sup>までは、顕著な機械的特性変化は見られない<sup>18)</sup>ことが示されており、最も中性子照射量が高くなる箇所においても、設計貯蔵期間中の中性子照射量は $1.6 \times 10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>であることから照射脆化の影響はない。

### 【熱的影響】

銅は、設計貯蔵期間中の温度条件において、設計用強度・物性値が規定<sup>19)</sup>されており、その温度範囲で使用するため、低温脆性を含め、熱による経年変化を考慮する必要はない。

### 【化学的影響】

銅の電極電位は炭素鋼に比べて高く、イオン化傾向の低い金属である<sup>20)</sup>ことから、銅は腐食することはなく、炭素鋼が選択的に腐食される。また、中性子遮蔽材（レジン）に接しており、中性子遮蔽材の熱劣化により水が生じるが、酸化鉄の生成により酸素の拡散障壁が形成されること、及び中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、腐食の影響はない。

$\left[ \begin{array}{c} \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{array} \right]$ ：商業機密に係る事項のため公開できません



伝熱フィンと胴及び外筒の接合部において異種金属接触による腐食促進の可能性があるが、密閉静止した淡水環境における銅が接続した鋼の腐食試験において鋼単独の場合の腐食速度と同程度になることが確認されている<sup>21)</sup>。また、中性子遮蔽材の熱劣化により生じる水分量は限定的であり、中性子遮蔽材充填空間は閉鎖環境にあり、酸素が連続的に供給されないため、異種金属接触による接合部への腐食促進の影響は小さく、腐食の影響はない。

#### (9) 使用済燃料被覆管

##### 【照射影響】

燃料被覆管に使用するジルコニウム合金は、設計貯蔵期間中の中性子照射量が  $1.6 \times 10^{15}$  n/cm<sup>2</sup> であり、炉内の中性子照射量 ( $10^{21} \sim 10^{22}$  n/cm<sup>2</sup>) に対して十分低いことから、照射の影響は無視し得る<sup>22)</sup>。

##### 【熱的影響】

熱による経年変化としては、クリープひずみの進行による燃料被覆管の破損、照射硬化の回復による燃料被覆管強度の低下、燃料被覆管中の水素化物再配向による燃料被覆管の脆化、及び応力腐食割れについて評価する必要がある<sup>22)</sup>。

クリープひずみの進行については、予測式に基づく累積クリープひずみが 1 % 以下となるよう制限することで防止できる<sup>22)</sup> ことが示されており、燃料被覆管中の水素化物再配向に係る制限以内では、クリープひずみが 1% を超えることはない。

照射硬化の回復については、国内軽水炉で照射された PWR 照射済被覆管を用いた照射硬化回復試験の結果では、硬化の回復のしきい値は 48GWd/t 燃料では 300 °C 近傍<sup>22)</sup> であり、しきい値以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さいため、使用済燃料被覆管の温度を制限することにより防止する。

燃料被覆管中の水素化物再配向については、国内の軽水炉で照射された PWR 燃料の燃料被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械的特性試験の結果、被覆管の周方向機械的特性が低下しない燃料被覆管の温度が 55 GWd/t 燃料では 250 °C 以下、周方向応力が 90 MPa 以下<sup>23)</sup> と求められており、また、48 GWd/t 燃料では 275 °C 以下、周方向応力が 100MPa 以下<sup>22)</sup> と求められており、燃料被覆管温度と周方向応力を制限するこ

とによって、機械的特性の劣化を防止する。

応力腐食割れについては、燃料棒ペレットの温度上昇による腐食性核分裂生成ガスの放出はなく、また、原子炉運転中に燃料棒ペレットから放出されたヨウ素はヨウ化セシウムとして安定に存在することから応力腐食割れが発生する化学的雰囲気となっていない<sup>22)</sup>。なお、腐食性雰囲気での応力腐食割れ試験でジルコニウム合金の応力腐食割れのしきい応力は48GWd/t燃料では200MPaであり、設計貯蔵期間中の応力はこれに比べて十分低い<sup>22)</sup>。

上記に示す通り、燃料被覆管中の水素化物再配向を防止することにより、他の発生も同時に防ぐことができる。設計貯蔵期間中の燃料被覆管の温度及び周方向応力は、55GWd/t燃料では250℃及び90MPaを超えず、48GWd/t燃料では275℃及び100MPaを超えないことから、熱による経年変化を考慮する必要はない。

#### 【化学的影響】

残留水分が10wt%以下の不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量及び水素吸収量は無視し得るほど小さい<sup>8)</sup>ため、健全性に影響はない。

第 6-1 表 乾式キャスク主要な構成部位の中性子照射量

主要な構成部位	構造材中最大となる 全中性子照射量 (n/cm <sup>2</sup> ) ※ <sup>1</sup>		判定基準 (n/cm <sup>2</sup> )
	MSF-21P型	MSF-24P型	
胴、一次蓋、二次蓋及び蓋ボルト※ <sup>2</sup>	$6.5 \times 10^{14}$	$5.9 \times 10^{14}$	$< 10^{16}$
バスケット※ <sup>3</sup>	$1.6 \times 10^{15}$	$1.5 \times 10^{15}$	$< 10^{16}$
トラニオン※ <sup>2</sup>	$6.5 \times 10^{14}$	$5.9 \times 10^{14}$	$< 10^{17}$
外筒	$3.5 \times 10^{12}$	$3.3 \times 10^{12}$	$< 10^{16}$
蓋部中性子遮蔽材カバー※ <sup>2</sup>	$6.5 \times 10^{14}$	$5.9 \times 10^{14}$	$< 10^{16}$
下部端板及び底部中性子遮蔽材カバー	$1.6 \times 10^{13}$	$8.2 \times 10^{13}$	$< 10^{17}$
中性子遮蔽材※ <sup>4</sup>	$1.6 \times 10^{14}$	$1.6 \times 10^{14}$	$< 10^{15}$
金属ガスケット	$2.0 \times 10^{14}$	$2.0 \times 10^{14}$	$< 10^{19}$
伝熱フィン※ <sup>4</sup>	$1.6 \times 10^{14}$	$1.6 \times 10^{14}$	$< 10^{16}$
使用済燃料被覆管	$1.6 \times 10^{15}$	$1.5 \times 10^{15}$	$< 10^{21 \sim 22}$

※<sup>1</sup>：遮蔽解析結果から得られた中性子束が 60 年間一定であると仮定して算出した値。

※<sup>2</sup>：最大となる胴領域の値を記載。

※<sup>3</sup>：最大となるキャビティ内領域（使用済燃料領域）の値を記載。

※<sup>4</sup>：最大となる側部中性子遮蔽材領域の値を記載。

### 6.3 参考文献

- 1) K. Farrell, S. T. Mahmood, R. E. Stoller, L. K. Mansur, “An Evaluation of Low Temperature Radiation Embrittlement Mechanisms in Ferritic Alloys”, *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 210, (1994).
- 2) (一社)日本機械学会, 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年版) (JSME S NJ1-2012)」, (2012).
- 3) 日本アルミニウム協会, 「アルミニウムハンドブック第7版」, (2007).
- 4) (独)原子力安全基盤機構, 「平成15年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験 報告書 最終報告」, (2004).
- 5) 三菱重工業(株), 「型式設計特定容器等の型式指定申請書 本文及び添付書類の一部補正について」, (2017).
- 6) T. Nakagawa, H. Kawasaki, K. Shibata, “Curves and Tables of Neutron Cross Sections in JENDL-3.3”, *JAERI-Data/Code 2002-020*, (2002).
- 7) 前口貴治、川原慶幸、山本隆一、崎間公久、玉置廣紀, 「A3004-H112合金の機械的性質に及ぼす長時間加熱および焼きなましの影響」, *軽金属*, 第68巻 第12号, (2018).
- 8) (一社)日本原子力学会標準委員会, 「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準:2010 (AESJ-SC-F002:2010)」, (2010).
- 9) 土肥謙次, 秀耕一郎, 黛正己, 恩地健雄, 大岡紀一, 「304 ステンレス鋼の SCC 特性に及ぼす中性子照射効果 (その2) - 熱鋭敏化材の SCC 感受性に及ぼす照射影響 -」, (一財)電力中央研究所, (1997).
- 10) (公社)腐食防食協会編, 「腐食・防食ハンドブック CD-ROM 版 第2版」, 丸善(株), (2005).
- 11) (財)原子力発電技術機構, 「平成14年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (金属キャスク貯蔵技術確証試験) 報告書」, (2003).
- 12) T. Ichihashi, D. Ishiko, A. Ogawa, M. Morishima, “Verification Tests of Neutron Shielding Materials and Shielding Assessment”, *Proceedings of the 15th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, (2007).
- 13) H. Yoshida, et al., “Reactor Irradiation Effects on Al 1100”, *Proc. Jpn. Congr. Mater. Res.*, Vol.24, (1981).
- 14) T. T. Claudson, “Cladding and Structural Materials Semi-Annual Progress Report”, *HEDL-TME 75-77*, (1975).

- 15) 加藤治, 伊藤千浩, 三枝利有, 「使用済燃料貯蔵キャスクの長期密封性能評価手法の開発」, 日本原子力学会誌, Vol. 38, No. 6, (1996).
- 16) (一財)電力中央研究所, 「平成 21 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 報告書」, (2010).
- 17) 小崎明朝, 「使用済燃料貯蔵中の耐久性に関する海外動向他」, (株)日本原子力情報センター主催セミナー「使用済燃料貯蔵技術の現状と課題」, (1998).
- 18) S. J. Zinkle, G. L. Kulcinski, “Low-Load Microhardness Changes in 14-MeV Neutron Irradiated Copper Alloys” , ASTM STP888, (1986).
- 19) (一財)日本規格協会, 「圧力容器の設計 (JIS B 8267 : 2015)」, (2015).
- 20) (公社)腐食防食協会編, 「材料環境学入門」, 丸善 (株) , (1993).
- 21) 能登谷武紀, 密閉系淡水における鋼-銅系のガルバニック腐食, 伸銅技術研究会誌 33 巻, (1994).
- 22) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について」, (2009).
- 23) (独)原子力安全基盤機構, 「平成 20 年度 リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等 (中間貯蔵設備等長期健全性等試験のうち貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)」, (2009).

## 7. 使用済燃料乾式貯蔵容器を通常に取り扱う場合の設計上想定される事象について

### 7.1 燃料取扱棟内及び乾式貯蔵施設内での取扱いフロー

燃料取扱棟（以下、「FH/B」という）内及び乾式貯蔵施設内における乾式キャスクの取扱いについて説明する。

乾式キャスクをFH/B内に搬入後、緩衝体取外しから燃料装荷、搬出までの取扱いフローを第7-1図に示す。また、乾式貯蔵施設内に搬入後、緩衝体取外しから貯蔵までの取扱いフローを第7-2図に、貯蔵から緩衝体取付、搬出までの取扱いフローを第7-3図に示す。

ここで、乾式キャスクとは、兼用キャスクであり、発電所敷地内に貯蔵及び発電所敷地外への運搬に使用できるものである。また、使用済燃料輸送容器（以下、「輸送キャスク」という）は、発電所敷地外への運搬に使用できるものである。

参考として、輸送キャスクのうち、水を収納する湿式キャスクについて、FH/B内に搬入後、緩衝体取外しから燃料装荷、搬出までの取扱いフローを第7-4図に示す。乾式キャスクと湿式キャスクの取扱いについては、キャスクの内部雰囲気（乾式、湿式）が異なることから、乾式キャスクでは水抜き・真空乾燥作業が追加となるが、基本的な様態や取扱作業は共通である。

また、乾式キャスクを取扱うFH/Bクレーン、乾式貯蔵建屋天井クレーン及び搬送台車については、「3. 自然現象等に対する使用済み燃料乾式貯蔵施設の設計方針」にて説明しているとおり、クレーン構造規格等に基づき、一般産業施設や公衆施設と同等の安全性を有していることから、通常取扱い時において想定すべき事象としては、作業員の誤操作を想定する。

以上を踏まえ、設計上想定される事象に関連する様態を作業毎に抜粋したフローをそれぞれ第7-5図～第7-7図に示す。

#### (1) FH/B内における取扱いフロー

以下に第7-5図に記載する番号に応じた各取扱いモードを説

明する。

1-1：燃料装荷、一次蓋取付

キャスクピットにて乾式キャスクに使用済燃料を装荷し、一次蓋を取付ける。

1-2：容器吊上げ・移動・吊降し

FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクをキャスクピットから吊上げ、除染場ピット内に設置した仮設架台まで移動して吊降し、設置する。

1-3：排水・真空乾燥・不活性ガス充填・一次蓋密封確認

仮設架台において乾式キャスクの除染・内部水排水・真空乾燥・不活性ガス充填・一次蓋の密封確認を行う。

1-4：二次蓋取付・一次二次蓋間圧力調整・二次蓋密封認

FH/B クレーンを用いて二次蓋を取付け、一次－二次蓋間の圧力を調整した後、二次蓋の密封性能を確認する。

1-5：三次蓋取付け・三次蓋密封確認

FH/B クレーンを用いて三次蓋を取付け後、三次蓋の密封性能を確認する。

1-6：トラックアクセスエリアへの移動

FH/B クレーンを用いて乾式キャスクをトラックアクセスエリアへ移動する。

1-7：トレーラ上へ横倒し

1-6に引き続き、FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクをトレーラ上の輸送架台に横倒す。

1-8：緩衝体取付

FH/Bクレーンを用いて乾式キャスクに緩衝体を取り付ける。

FH/B内での乾式キャスクの取扱いに使用するキャスクピット、FH/Bクレーン及び除染場ピットについては、既設の設備

であり、第7-1表のとおり、乾式キャスクを取扱える能力を有している。

(2) 乾式貯蔵施設内での取扱いフロー

第7-6図に記載する番号に応じた各取扱いモードを説明する。なお、貯蔵後、乾式キャスクを乾式貯蔵施設から搬出する場合は、同図に示すNo. 2-1～No. 2-7の逆手順（第7-7図 No. 3-1～No. 3-6の手順）にて取り扱う。

2-1：緩衝体取外し

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクから緩衝体を取外す。

2-2：キャスク立起こし

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクを立て起こす。

2-3：検査架台への移送

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクを検査架台へ移送する。

2-4：貯蔵架台上への設置

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて乾式キャスクを検査架台内に設置した貯蔵架台（搬送台車上に設置）に吊り降ろす。下部トラニオンと貯蔵架台を固定する。

2-5：三次蓋取外し・監視装置の取付

乾式貯蔵建屋天井クレーンを用いて三次蓋を取外し、監視装置を取付ける。

2-6：貯蔵エリアへの移動

搬送台車を用いて乾式キャスクを貯蔵エリアへ移動する。

2-7：乾式キャスクの固定

所定の位置にて貯蔵架台を乾式貯蔵施設の床面にボルトで固縛する。



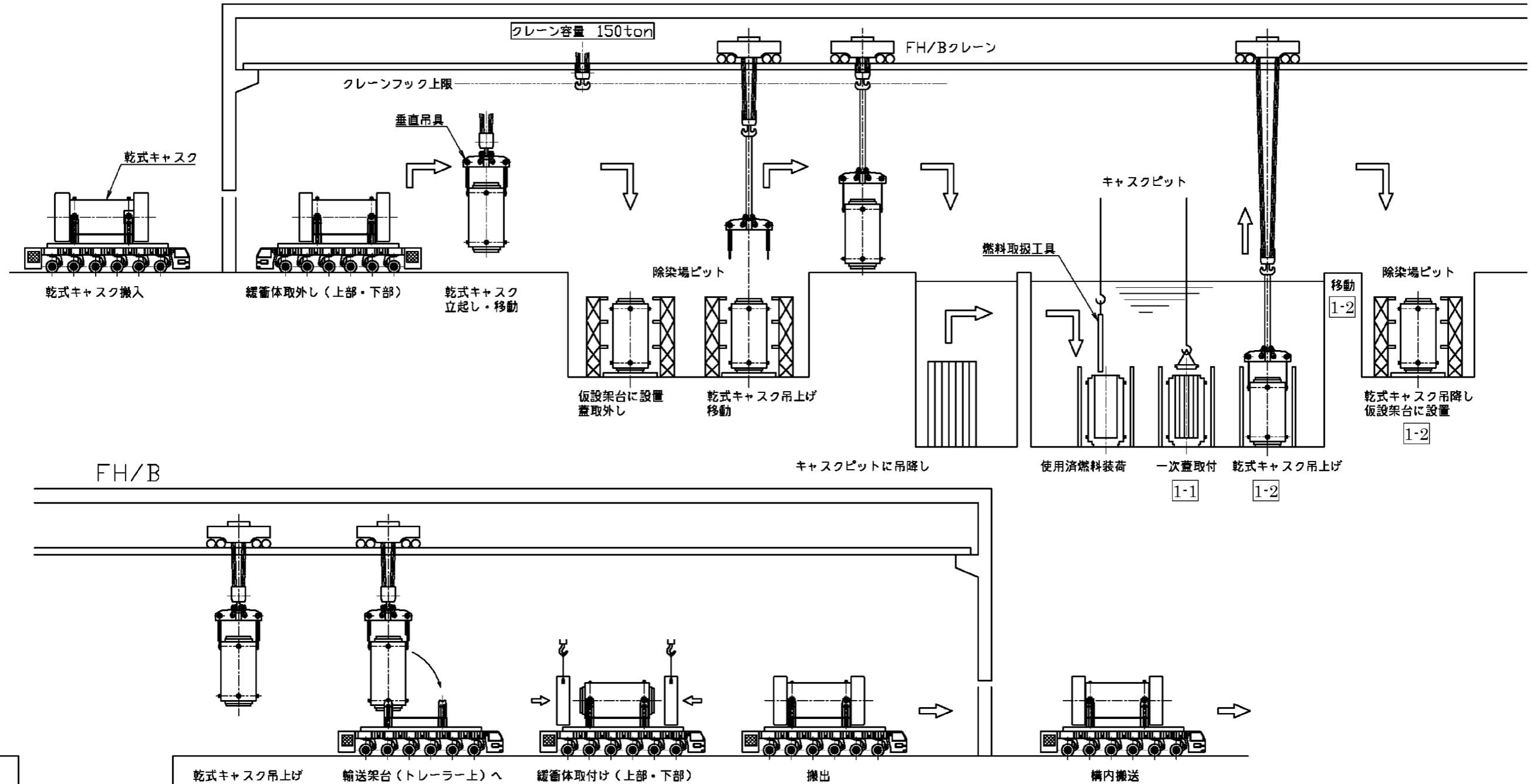
第 7-1 表 評価で使用する設備の仕様

既設設備		乾式キャスク仕様		備考
名称	仕様	MSF-21P 型	MSF-24P 型	
FH/B クレーン	容量 (吊荷重) 150(t)	約 120(t)	約 123(t)	乾式キャスク重量は、FH/B クレーンの容量 (吊荷重) の範囲内
キャスクピット	寸法 約 4(m) × 約 4 (m) × 高さ約 12.7 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	乾式キャスク寸法は、キャスクピット寸法の範囲内
除染場ピット	寸法 約 8.0(m) × 約 9.7(m) × 高さ約 7.6(m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	外寸約 2.9 (m) × 高さ約 5.2 (m)	乾式キャスク寸法、除染場ピット寸法の範囲内

FH/B 内フロー図

使用済燃料乾式貯蔵容器  
燃料取扱フロー（燃料装荷・容器搬出）

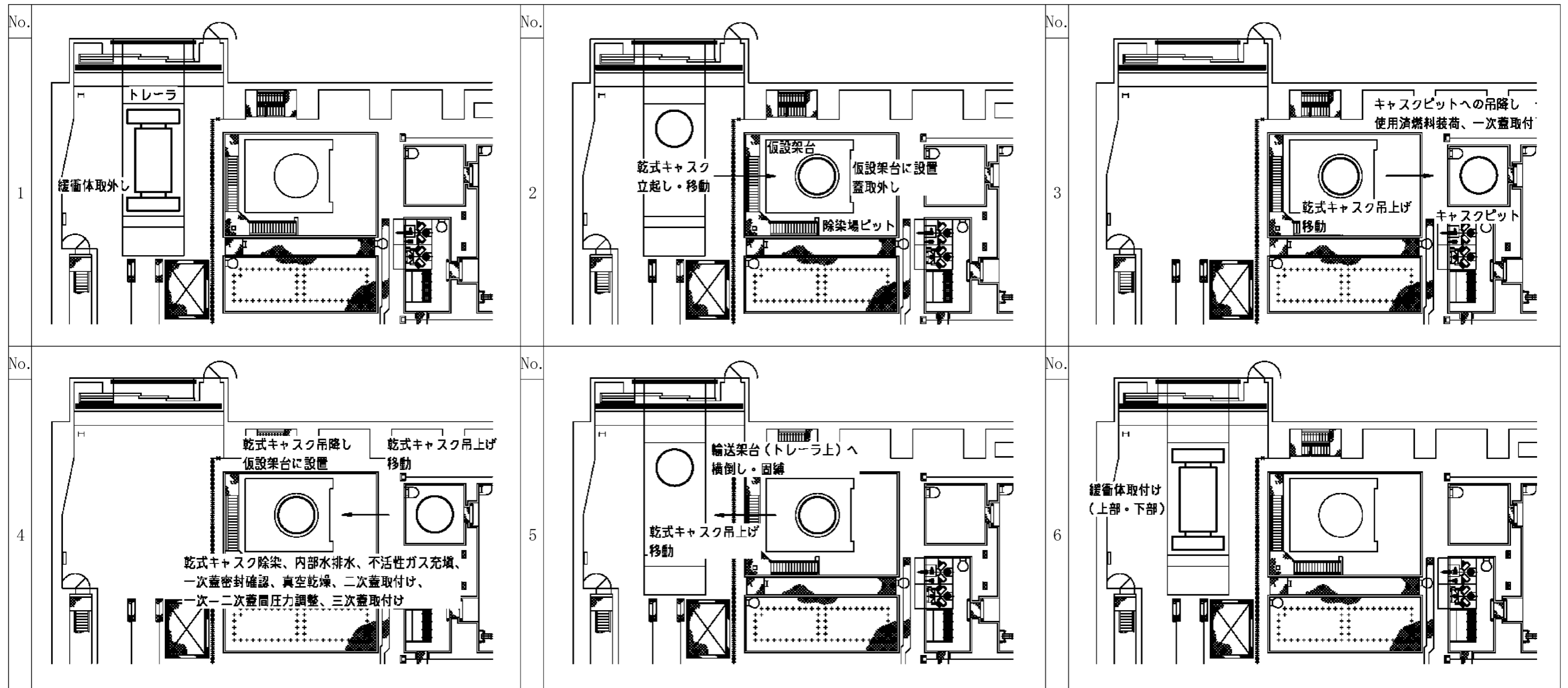
FH/B



- 1-3 { 乾式キャスク除染  
内部水排水  
真空乾燥  
不活性ガス充填  
一次蓋密封確認
- 1-4 { 二次蓋取付け  
一次-二次蓋間圧力調整  
二次蓋密封確認
- 1-5 { 三次蓋取付け  
三次蓋密封確認

第 7-1 図 FH/B 内の乾式キャスク運用手順【断面図】

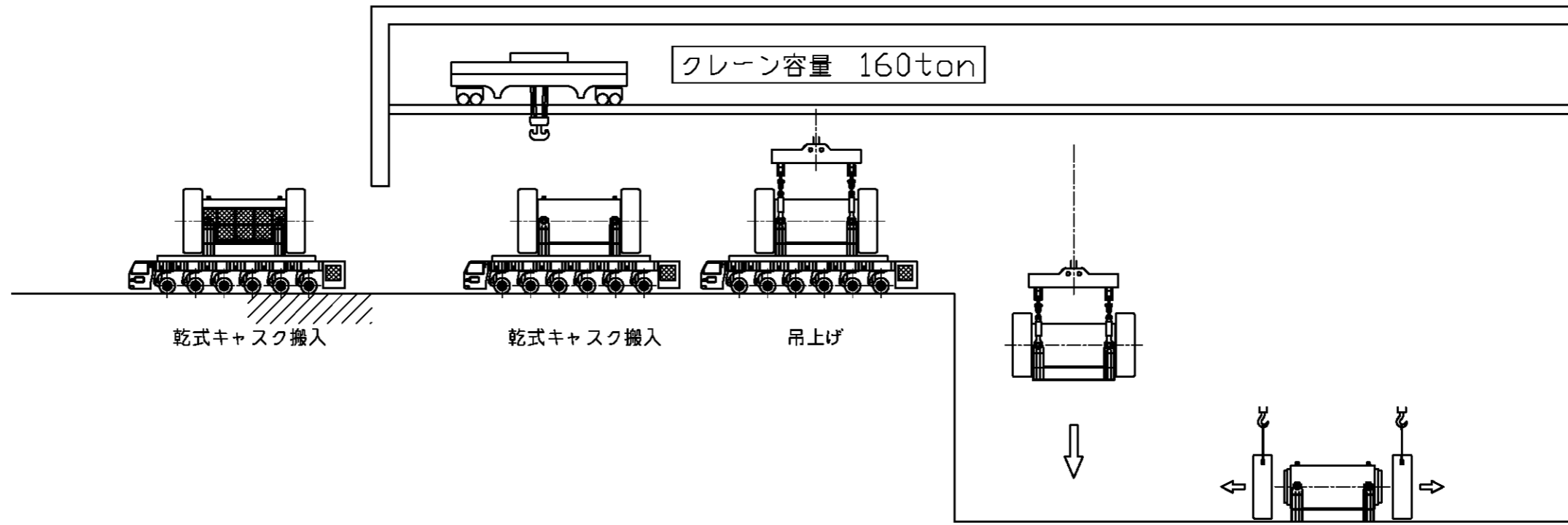
		FH/B クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻：150	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	巻き下げ最大速度の 1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の 18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		乾式キャスク	
寸法 (m)		MSF-21P 型   MSF-24P 型 φ 2.6 × 5.2 (緩衝体無)	—
重量 (ton)		約 123 (吊具含む)	重量の大きい 24P を適用
キャスク吊上高さ (m)		約 4 (車両積付時)	—



第 7-1 図 FH/B 内の乾式キャスク運用手順【平面図】

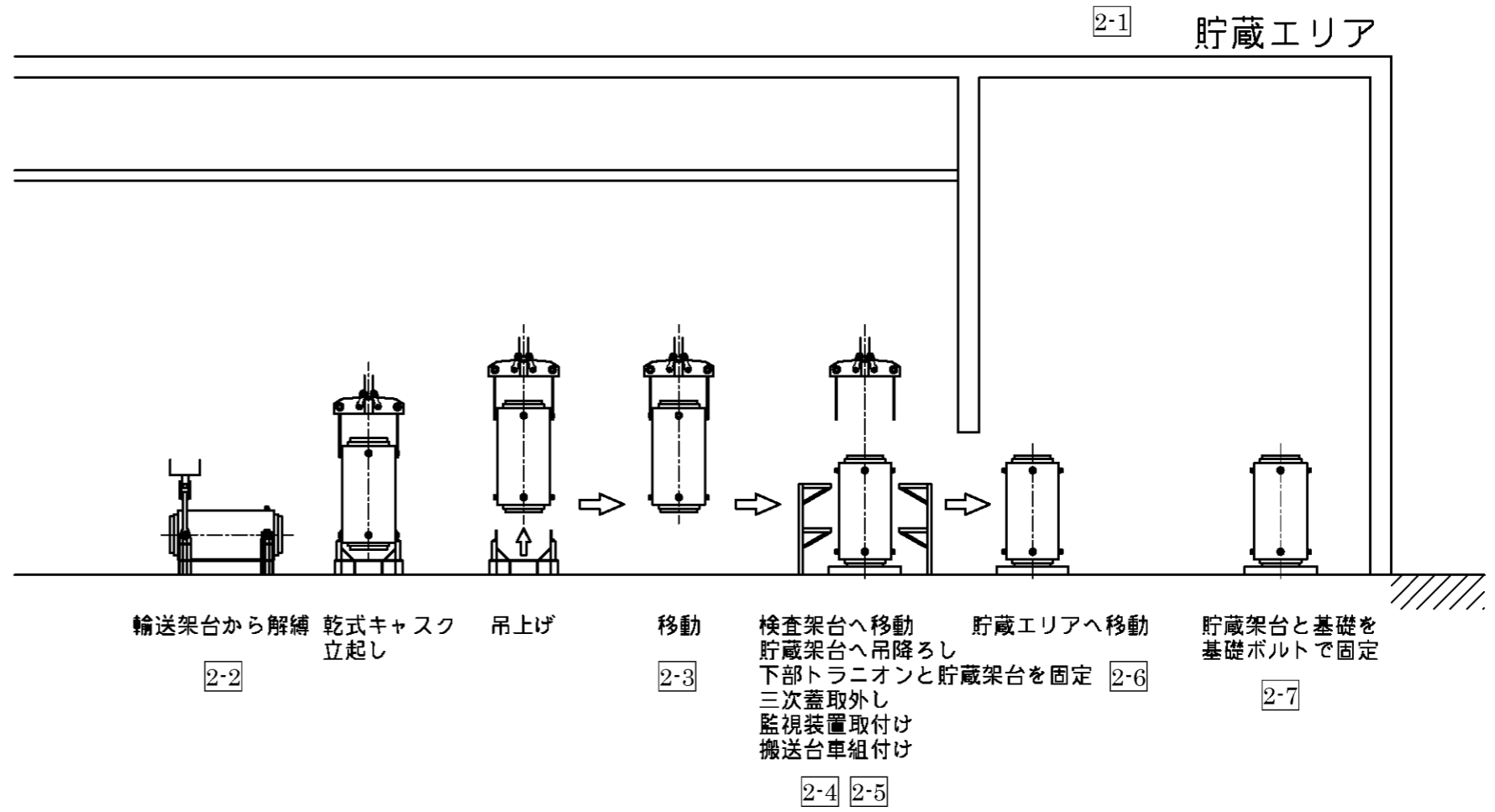
乾式貯蔵建屋フロー図（受入）

取扱エリア



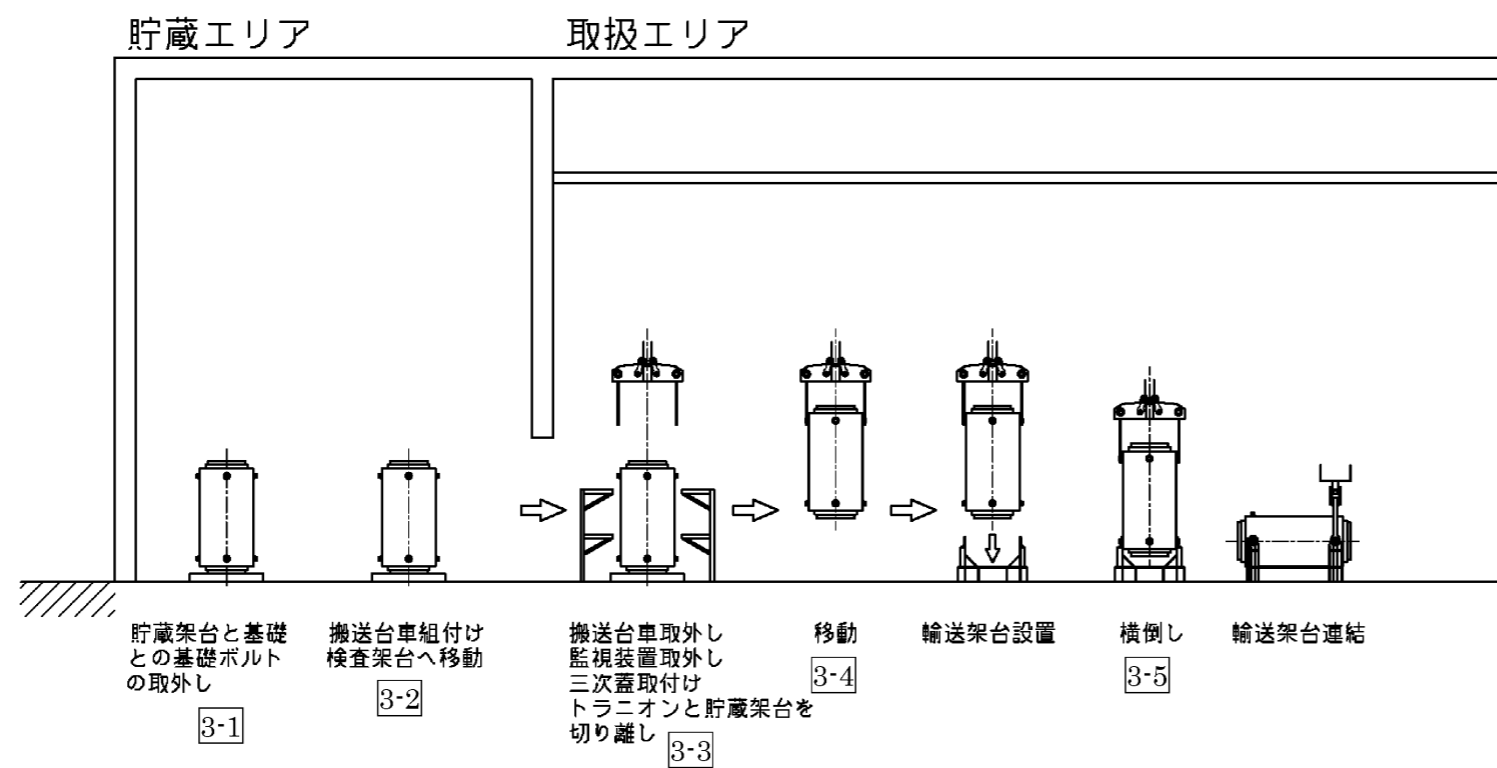
16 条-別紙-41

		乾式貯蔵建屋 天井クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻 : 160	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	巻き下げ最大速度の 1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の 18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		搬送設備	
容量 (ton)		160	—
移動速度 (m/分)		低速/高速 0.6 / 2	—
		乾式キャスク	
寸法 (m)		MSF-21P 型   MSF-24P 型 φ 3.6 × 6.8 (緩衝体含む)	—
重量 (ton)	吊上	約 147 (吊具、緩衝体含む)	重量の大きい 24P を 適用
	搬送	約 136 (架台含む)	
キャスク吊上 高さ (m)	垂直	約 2 (縦起し時)	—
	水平	約 2 (車両積降し時)	—

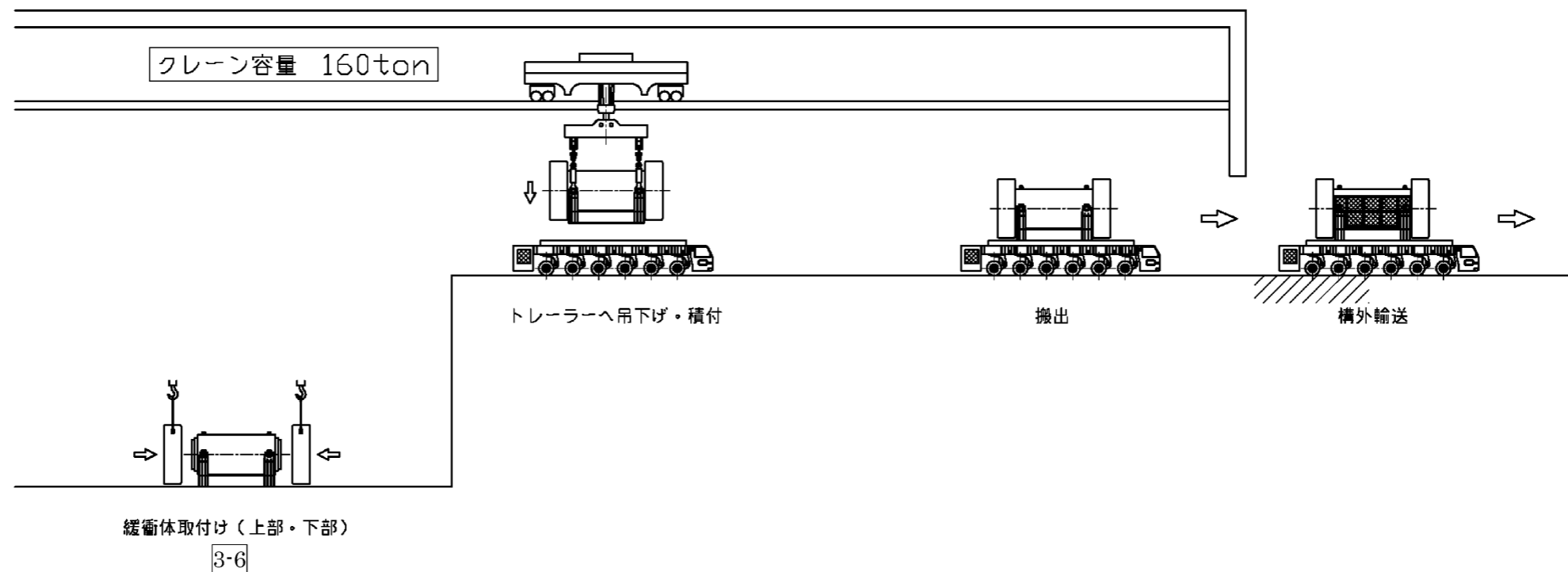


第 7-2 図 乾式キャスク取扱い時及び貯蔵時の運用手順（受入）【断面図】

乾式貯蔵建屋フロー図（搬出）



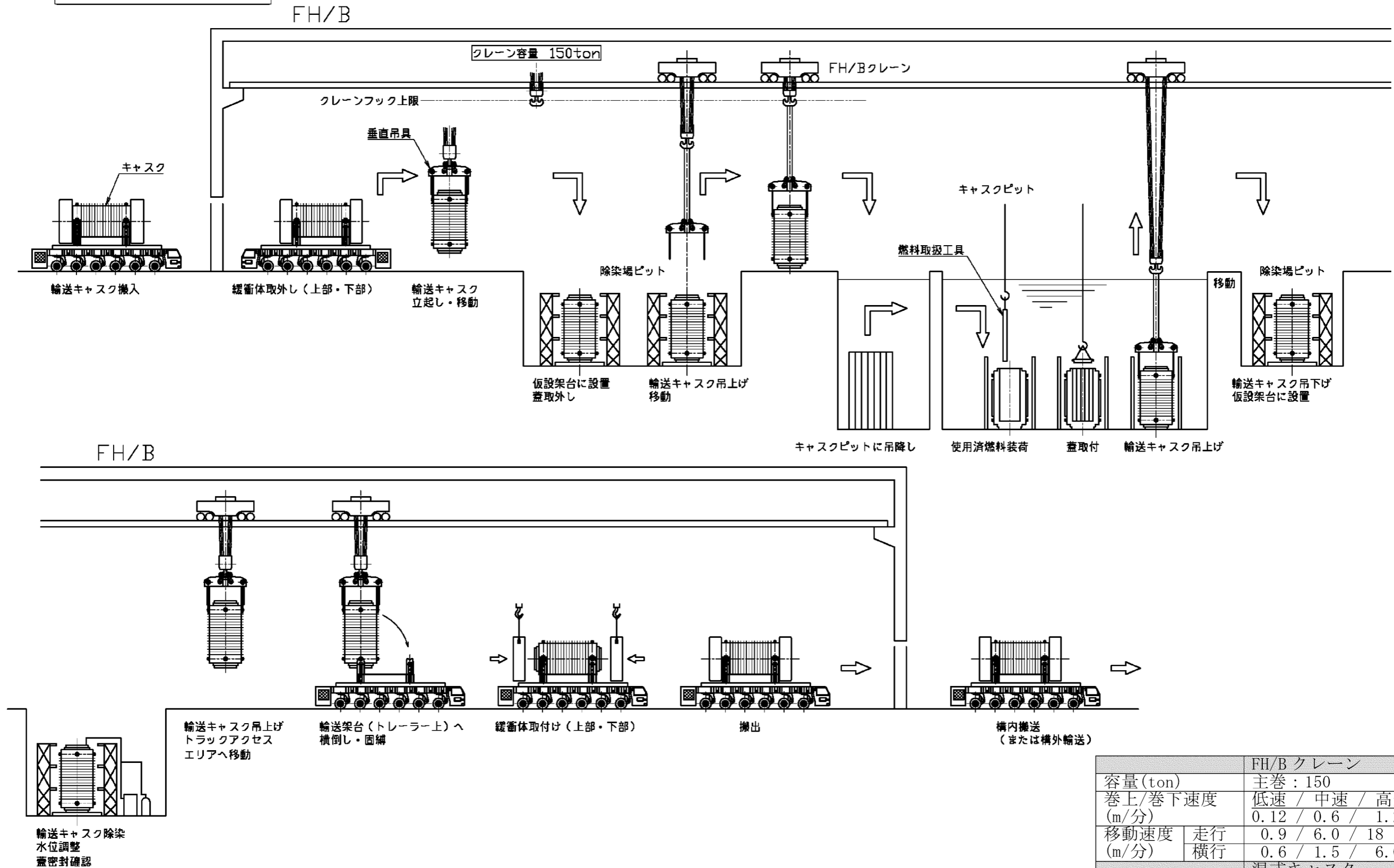
		乾式貯蔵建屋天井クレーン	評価で使用する値
容量 (ton)		主巻：160	—
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速	巻き下げ最大速度の1.2 m/分を適用
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	走行最大速度の18 m/分を適用
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		搬送設備	
容量 (ton)		160	—
移動速度 (m/分)		低速/高速	—
		MSF-21P型   MSF-24P型	
寸法 (m)		φ3.6×6.8 (緩衝体含む)	—
重量 (ton)	吊上	約147 (吊具、緩衝体含む)	重量の大きい24Pを適用
	搬送	約136 (架台含む)	
キャスク吊上高さ (m)	垂直	約2 (横倒し時)	—
	水平	約2 (車両積付時)	—



第7-3図 乾式キャスク取扱い時及び貯蔵時の運用手順（搬出）【断面図】

FH/B 内フロー図

使用済燃料運搬用容器  
燃料取扱フロー（燃料装荷・容器搬出）



		FH/B クレーン	
容量 (ton)		主巻：150	
巻上/巻下速度 (m/分)		低速 / 中速 / 高速 0.12 / 0.6 / 1.2	
移動速度 (m/分)	走行	0.9 / 6.0 / 18	
	横行	0.6 / 1.5 / 6.0	
		湿式キャスク NFT-14P 型	
寸法 (m)		φ2.5×5.4 (緩衝体無)	
重量 (ton)		約120 (吊具含む)	
キャスク吊上高さ (m)		約4 (車両積付時)	

第7-4 図 FH/B 内の湿式キャスク運用手順【断面図】

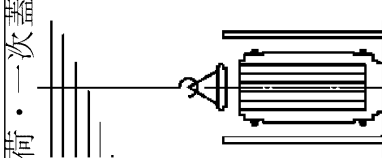
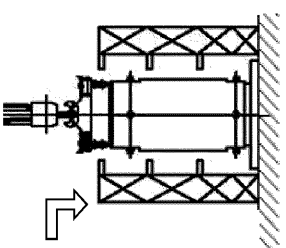
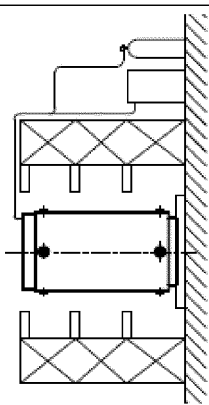
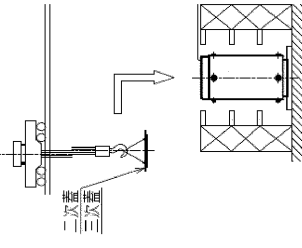
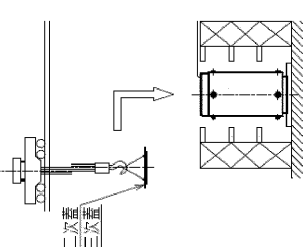
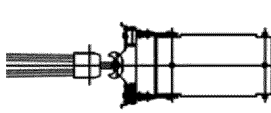
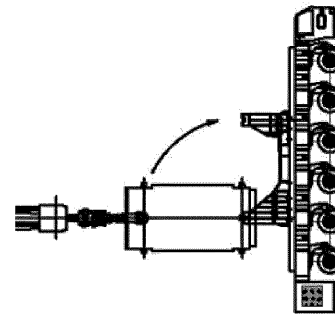
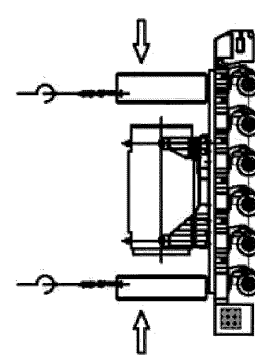
第 7-2 表 評価で使用する設備の重量

設備	部材	重量 (トン)	
		MSF-21P 型	MSF-24P 型
乾式キャスク	① 本体	83.1	83.7
	② 一次蓋	5.2	5.6
	③ 二次蓋	4.3	4.5
	④ 三次蓋	3.5	3.3
	⑤ バスケット	5.9	5.6
緩衝体	⑥ 上部緩衝体	8.6	8.7
	⑦ 下部緩衝体	6.0	6.2
	⑧ 燃料集合体	14.6	16.7
関連工具類	⑨ 垂直吊具	約 4	約 4
	⑩ 水平吊具	約 8	約 8
	⑪ 貯蔵架台	約 20	約 20
	⑫ 輸送架台	約 5	約 5
FH/B 容器吊り上げ重量 (① ② ③ ④ ⑤ ⑧ ⑨)		約 121	約 123
乾式貯蔵施設 容器吊り上げ重量 (① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑩ ⑫)		約 144	約 147
乾式貯蔵施設 搬送重量 (① ② ③ ⑤ ⑧ ⑪)		約 133	約 136

第 7-3 表 評価で使用する設備の仕様

	FH/B クレーン	乾式貯蔵建屋 天井クレーン
容量 (ton) : 主巻	150	160
巻上/巻下速度 (m/分)	1.2	1.2
移動速度 (m/分)   走行	18	18

＜乾式キヤスクの燃料装荷～緩衝体取付＞

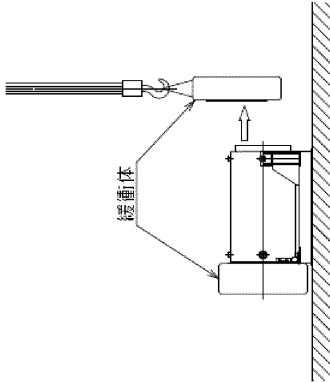
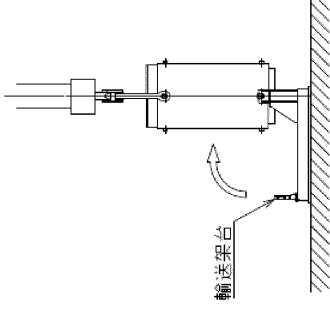
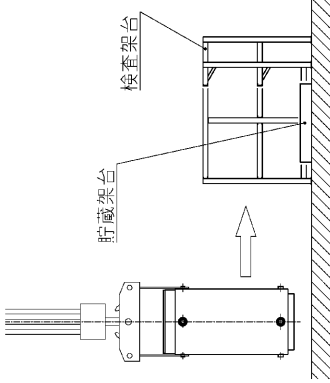
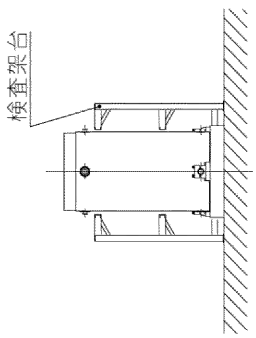
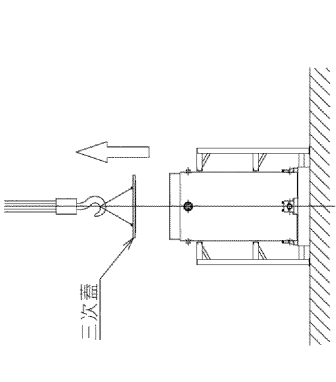
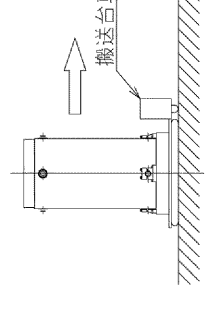
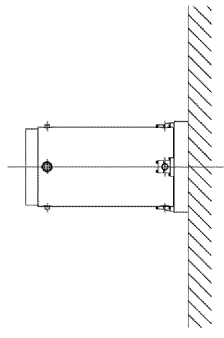
No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
1-1	燃料装荷・一次蓋取付	1-2	容器吊上げ・移動・吊降し	1-3	排水・真空乾燥※・不活性ガス充填・一次蓋密封確認	1-4	二次蓋取付・二次蓋間圧力調整・二次蓋密封確認
							
想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8 図(a)) 貯蔵架台への衝突 (第7-8 図(b))	想定 事象	—	想定 事象	二次蓋の衝突 (第7-8 図(e))
1-5	三次蓋取付・三次蓋密封確認	1-6	トレーラエリアへの移動	1-7	トレーラ上へ横倒し	1-8	緩衝体取付け
							
想定 事象	三次蓋の衝突	想定 事象	—	想定 事象	横倒し時の衝突 (第7-8 図(d))	想定 事象	緩衝体の衝突 (第7-8 図(f))

※：真空乾燥作業は、収納する使用済燃料の崩壊熱による温度上昇を踏まえ、作業時間等を管理することにより、使用済燃料の温度制限範囲内で実施する。

第7-5 図 FH/B内における取扱いフロー（燃料装荷～緩衝体取付け）

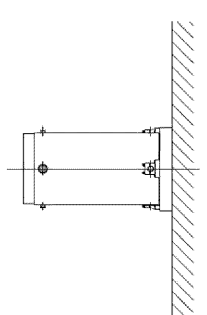
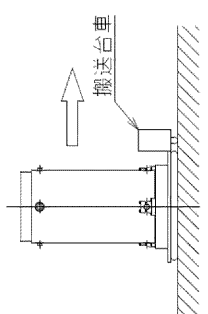
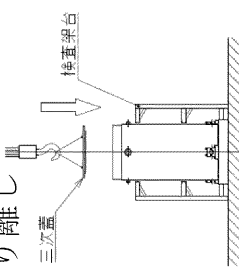
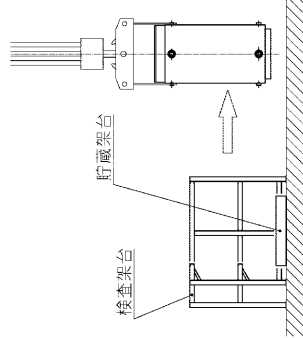
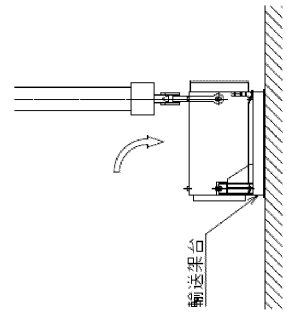
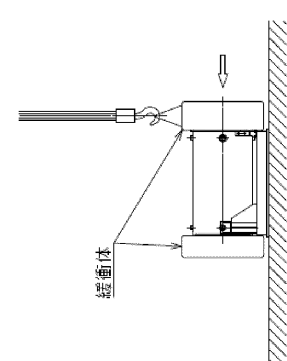


＜乾式キャスクの緩衝体取外し～貯蔵＞

No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
2-1	緩衝体取外し 	2-2	乾式キャスク立て起こし 	2-3	検査架台への移送 	2-4	取扱いモード ・貯蔵架台上への設置 ・下部トラニオンと貯蔵架台を固定 
想定 事象	—	想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8図(a)) ・貯蔵架台と基礎を基礎 ボルトで固定	想定 事象	貯蔵架台への衝突 (第7-8図(b))
2-5	・三次蓋取外し ・監視装置取付け 	2-6	貯蔵エリアへの移動 	2-7	— 		
想定 事象	三次蓋の衝突	想定 事象	搬送台車で搬送中の衝 突 (第7-8図(c))	想定 事象	—		

第7-6図 乾式貯蔵施設内における取扱いフロー（緩衝体取外し～貯蔵）

＜乾式キャスクの貯蔵～緩衝体取付＞

No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード	No.	取扱いモード
3-1	貯蔵架台と基礎との基礎ボルトの取外し 	3-2	検査架台へ移動 	3-3	監視装置取外し 三次蓋取付け 下部トラニオンと貯蔵架台を切り離し 	3-4	作業エリアへの移送 
想定 事象	—	想定 事象	搬送台車で搬送中の衝突 (第7-8図(c))	想定 事象	—	想定 事象	検査架台への衝突 (第7-8図(a))
3-5	乾式キャスク横倒し 	3-6	緩衝体取付け 	想定 事象	—	想定 事象	—
想定 事象	横倒し時の衝突 (第7-8図(d))	想定 事象	緩衝体の衝突 (第7-8図(f))	想定 事象	—	想定 事象	—

第7-7図 乾式貯蔵施設内における取扱いフロー（貯蔵後～緩衝体取付）

## 7.2 通常取扱い時に想定すべき事象の抽出

第7-1図～第7-7図の取扱いフローを踏まえ、通常取扱い時に想定すべき事象を第7-4表に示す。

第7-4表 通常取扱い時において想定すべき事象（1/2）

原因	想定事象	作業エリア	具体的な想定
作業員の誤操作	a. 検査架台への衝突 (第7-8図(a))	FH/B	乾式キャスクを吊上げ移送中に、クレーン走行速度（18m/分）で仮設架台に衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクを吊上げ移送中に、クレーン走行速度（18m/分）で検査架台に衝突する。
	b. 貯蔵架台への衝突 (第7-8図(b))	FH/B	乾式キャスクを仮設架台へ設置時に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）でキャスク底部が衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクを貯蔵架台へ設置時に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で貯蔵架台に衝突する。
	c. 搬送台車で搬送中の衝突 (第7-8図(c))	FH/B	搬送台車による作業はない。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスク搬送中に、搬送台車が建屋壁及び他の乾式キャスク貯蔵架台等へ衝突した場合においても、搬送中の乾式キャスクは幾何学的に傾き角度を制限しており、壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しない。詳細は参考4参照。
	d. 横倒し時の衝突 (第7-8図(d))	FH/B	乾式キャスクをトレーラー上で輸送架台へ横倒しする際に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で輸送架台に衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクを輸送架台へ横倒しする際に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で輸送架台に衝突する。
	e. 蓋の衝突 (第7-8図(e))	FH/B	乾式キャスクへの二次蓋及び三次蓋取付け作業時に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で二次蓋（4.5t）が乾式キャスクに衝突する <sup>(注1)</sup> 。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクへの三次蓋取付け作業時に、クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で三次蓋（3.3t）が乾式キャスクに衝突する <sup>(注1)</sup> 。

第 7-4 表 通常取扱い時において想定すべき事象 (2/2)

原因	想定事象	作業エリア	具体的な想定
作業員の誤操作	f. 緩衝体の衝突 (第 7-8 図 (f))	FH/B	乾式キャスクへ緩衝体取付け作業時にクレーン走行速度 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。
		乾式貯蔵施設	乾式キャスクへ緩衝体取付け作業時にクレーン走行速度 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。

(注1) 二次蓋及び三次蓋の衝突時は、胴フランジ上端が一次蓋及び二次蓋上面より高い位置にあることから、二次蓋及び三次蓋は胴フランジ上端に衝突する。

第 7-4 表のとおり抽出した事象のうち、以下の理由から評価対象事象を第 7-5 表のとおりとし、評価条件を第 7-6 表に示す。

- ・ FH/B クレーンと乾式貯蔵建屋天井クレーンの仕様速度（走行・横行及び巻き上げ・巻き下げ）が同じであることから、乾式貯蔵施設での事象を代表事象とする。
- ・ FH/B 仮設架台よりも、乾式貯蔵施設の検査架台（常設）のほうが剛構造であるため、乾式貯蔵施設の評価に包絡される。
- ・ 乾式キャスク横倒し作業については、立起こし架台が設置される床条件は、床を剛体とし、乾式貯蔵施設及び FH/B の床条件（輸送車両上）に依らず包絡する条件としている。
- ・ 蓋の衝突については、乾式キャスク胴フランジ部に衝突し、密封境界部へ荷重が付加される挙動は二次蓋及び三次蓋でも同じであり、影響度合いは荷重に概ね比例するため、重量の大きい二次蓋（4.5t）の衝突を評価事象とする。

第 7-5 表 通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果（1/2）

原因	想定事象	具体的な想定
作業員の誤操作	キャスクの衝突 a. 検査架台への衝突 (第 7-8 図 (a))	乾式キャスクを吊上げ移送中に、乾式貯蔵建屋天井クレーン走行速度（18m/分）で検査架台に衝突する。
	b. 貯蔵架台への衝突 (第 7-8 図 (b))	乾式キャスクを貯蔵架台へ設置時に、乾式貯蔵建屋天井クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で貯蔵架台に衝突する。
	c. 搬送台車で搬送中の衝突 (第 7-8 図 (c))	乾式キャスク搬送中に、搬送台車が建屋壁及び他の乾式キャスク貯蔵架台等へ衝突した場合においても、搬送中の乾式キャスクは幾何学的に傾き角度を制限しており、壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しない。
	d. 横倒し時の衝突 (第 7-8 図 (d))	乾式キャスクの横倒し時に、乾式貯蔵建屋天井クレーン巻き下げ速度（1.2m/分）で輸送架台に衝突する。

第 7-5 表 通常取扱い時において想定すべき事象の抽出結果 (2/2)

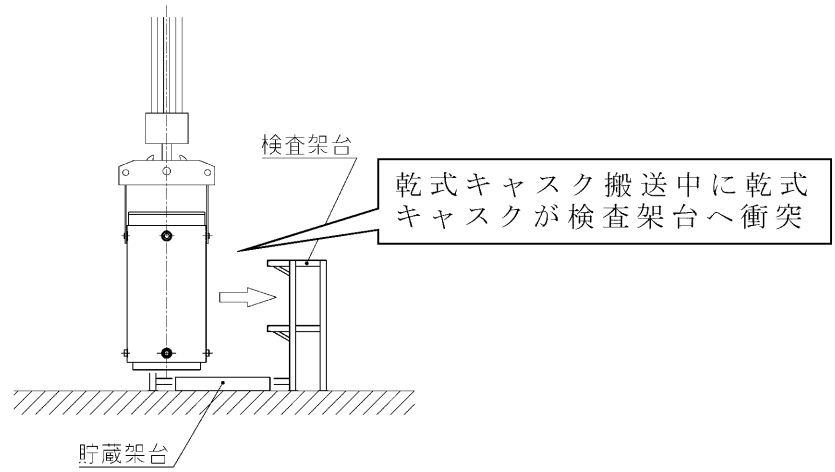
原因	想定事象		具体的な想定
作業員の誤操作	キャスクへの衝突	e. 二次蓋の衝突 (第 7-8 図 (e))	乾式キャスクへの二次蓋取付け作業時に、FH/B クレーン巻き下げ速度 (1.2m/分) で二次蓋が乾式キャスクに衝突する <sup>(注 1)</sup> 。
		f. 緩衝体の衝突 (第 7-8 図 (f))	乾式キャスクへ緩衝体取付け作業時に乾式貯蔵建屋天井クレーン走行速度 (18m/分) で乾式キャスクに衝突する。

(注 1) 二次蓋の異常衝突時は、胴フランジ (二次蓋部) が一次蓋上面より高い位置にあることから、二次蓋は胴フランジ上端に衝突する。

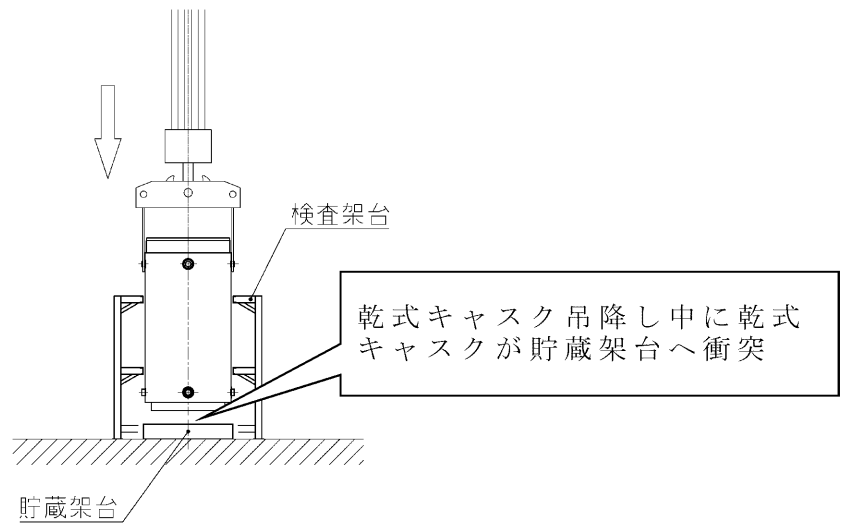
第 7-6 表 想定事象の評価条件

想定事象 <sup>(注 1)</sup>	被衝突物	衝突物	評価で使用する衝突物の仕様	
			質量	速度
a. 検査架台への衝突	検査架台	乾式キャスク	119.4ton	18 m/分
b. 貯蔵架台への衝突	貯蔵架台	乾式キャスク	119.4ton	1.2 m/分
d. 横倒し時の衝突	輸送架台	乾式キャスク	119.4ton	1.2 m/分
e. 二次蓋の衝突	乾式キャスク	二次蓋	4.5ton	1.2 m/分
f. 緩衝体の衝突	乾式キャスク	上部緩衝体	8.7ton	18 m/分
		下部緩衝体	6.2ton	18 m/分

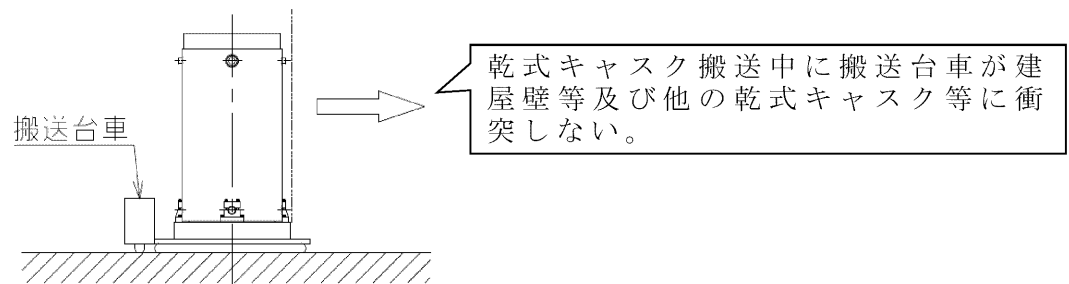
(注 1) c. 搬送台車で搬送中の衝突は、幾何学的に傾き角度が制限され、壁及び他の乾式キャスク等へ衝突しないため、除外する。



(a) 検査架台への衝突

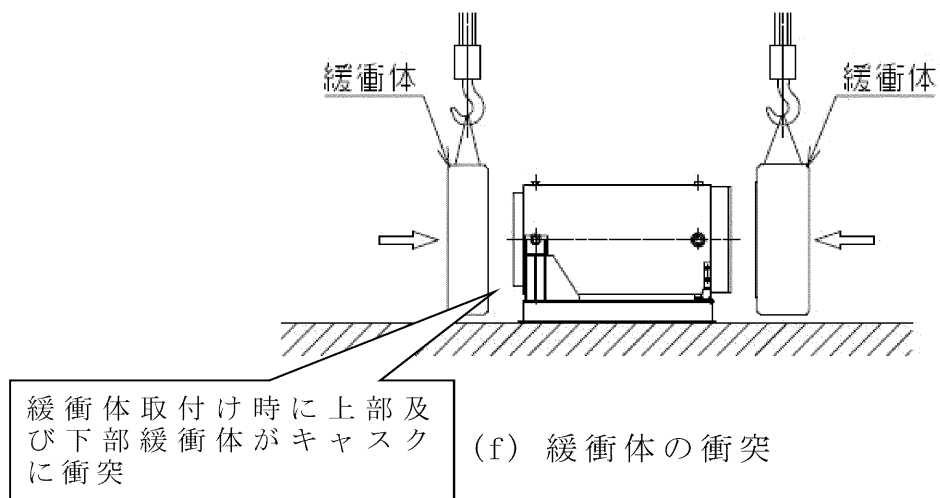
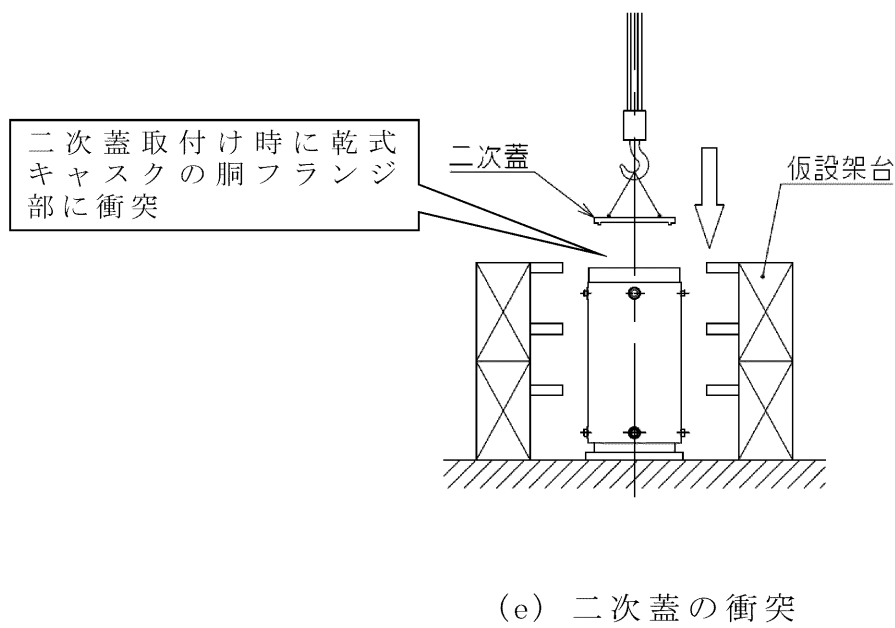
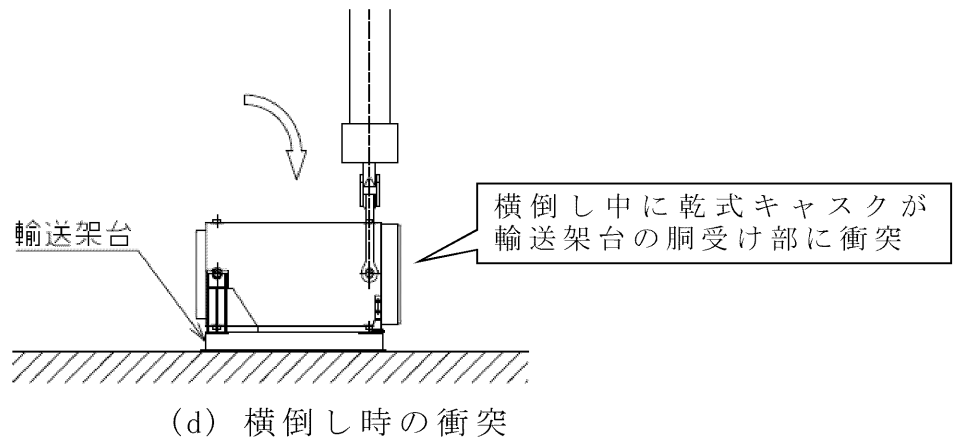


(b) 貯蔵架台への衝突



(c) 搬送台車で搬送中の衝突

第 7-8 図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (1/2)



第7-8図 想定される事象の衝撃荷重の算出体系 (2/2)



### 7.3 通常取扱い時に想定すべき事象の評価

7.2 で抽出した想定事象が万一発生した場合でも、乾式キャスクの安全機能が維持可能であることを評価する。

#### 7.3.1 衝撃荷重の算出

(1) 衝突方向と重力が同じ方向の場合(想定事象 b. 及び e.)

誤作動による衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動エネルギーと位置エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}mv^2 + mg\delta = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = mg\alpha = k\delta$$

以上より、

$$\alpha = 1 + \sqrt{1 + \frac{kV^2}{mg^2}}$$

したがって、衝撃荷重  $F$  は、

$$F = mg\alpha = mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{kV^2}{mg^2}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- $g\alpha$  : 衝撃加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- $V$  : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- $m$  : 衝突物の質量 (kg)
- $g$  : 重力加速度 = 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- $\delta$  : 被衝突物の変形量 (m)

(2) 衝突方向と重力が直行する場合 (想定事象 a. 及び f.)

誤作動による衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = mg\alpha = k\delta$$

以上より、

$$\alpha = \sqrt{\frac{kV^2}{mg^2}}$$

したがって、衝撃荷重  $F$  は、

$$F = mg\alpha = mg\sqrt{\frac{kV^2}{mg^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

- $g\alpha$  : 衝撃加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- $V$  : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- $m$  : 衝突物の質量 (kg)
- $g$  : 重力加速度 = 9.80665 (m/s<sup>2</sup>)
- $\delta$  : 被衝突物の変形量 (m)

(3) 横倒し時 (想定事象 d.)

横倒し時の衝突により乾式キャスクに作用する衝撃荷重  $F$  は、下部トラニオンを中心とした回転の運動エネルギーが被衝突物の変形によって全て吸収されるものとして、下式により算出される。

エネルギー保存則より、衝突物の運動（回転）エネルギーと位置エネルギーが被衝突物の変形エネルギーと釣り合うとして、

$$\frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mg\left(\frac{L_1}{L_2}\delta\right) = \frac{1}{2}k\delta^2$$

また、運動方程式より、

$$F = k\delta$$

以上より、衝撃荷重 F は、

$$F = \frac{mgL_1 + \sqrt{(mgL_1)^2 + 4L_2^2 k I \omega^2}}{2L_2} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- ω : 横倒し時の角速度 (V/r) (rad/s)
- V : 衝突物の衝突速度 (m/s)
- r : 回転半径=3.860 m (下部トラニオンから上部トラニオンまでの距離)
- I : 下部トラニオン周りの慣性モーメント (kg・m<sup>2</sup>)
- k : 被衝突物のバネ定数 (N/m)
- δ : 被衝突物の変形量 (m)
- L<sub>1</sub> : 下部トラニオンから重心までの距離 (2.152 m)
- L<sub>2</sub> : 下部トラニオンから衝撃荷重の作用点までの距離 (4.170 m)
- m : 乾式キャスクの質量 (kg)

(1)～(3)で使用した計算条件及び衝撃荷重計算結果をそれぞれ第7-7表及び第7-8表に示す。

第7-7表 各想定事象時の衝撃荷重の計算条件

分類	想定事象						
	項目	適用式	$k$ <sup>(注9)</sup> [N/m]	$V$ [m/分]	$m$ [kg]	$I$ [kg・m <sup>2</sup> ]	$\omega$ [rad/s]
キヤスクの 衝突	a. 検査架台への衝突	(2)	$1.410 \times 10^9$ <sup>(注1)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	/	/
	b. 貯蔵架台への衝突	(1)	$1.016 \times 10^{11}$ <sup>(注2)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	/	/
	d. 横倒し時の衝突	(3)	$3.620 \times 10^{10}$ <sup>(注3)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	119400 (乾式キヤスク)	$8.92 \times 10^5$ <sup>(注8)</sup>	0.00518
	e. 二次蓋の衝突	(1)	$6.692 \times 10^{10}$ <sup>(注4)</sup>	1.2 <sup>(注7)</sup>	4500 (二次蓋)	/	/
キヤスクへの 衝突	f. 緩衝体（上部）の衝突	(2)	$4.646 \times 10^9$ <sup>(注5)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	8720 (上部緩衝体)	/	/
	f. 緩衝体（下部）の衝突	(2)	$4.643 \times 10^9$ <sup>(注5)</sup>	18 <sup>(注6)</sup>	6240 (下部緩衝体)	/	/

(注1)検査架台の足場の梁をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、検査架台の足場の梁が変形するとしてばね剛性を算出。

(注2)貯蔵架台全体をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、貯蔵架台が変形するとしてばね剛性を算出。

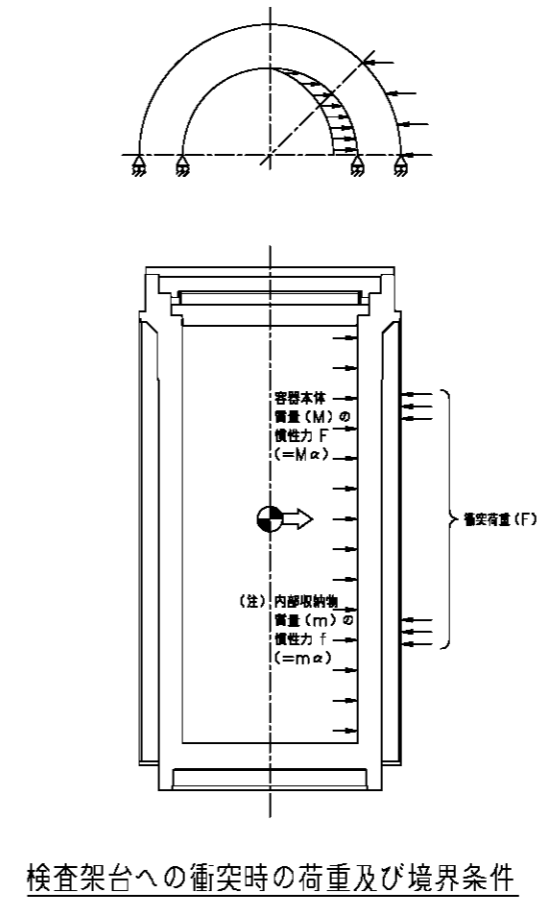
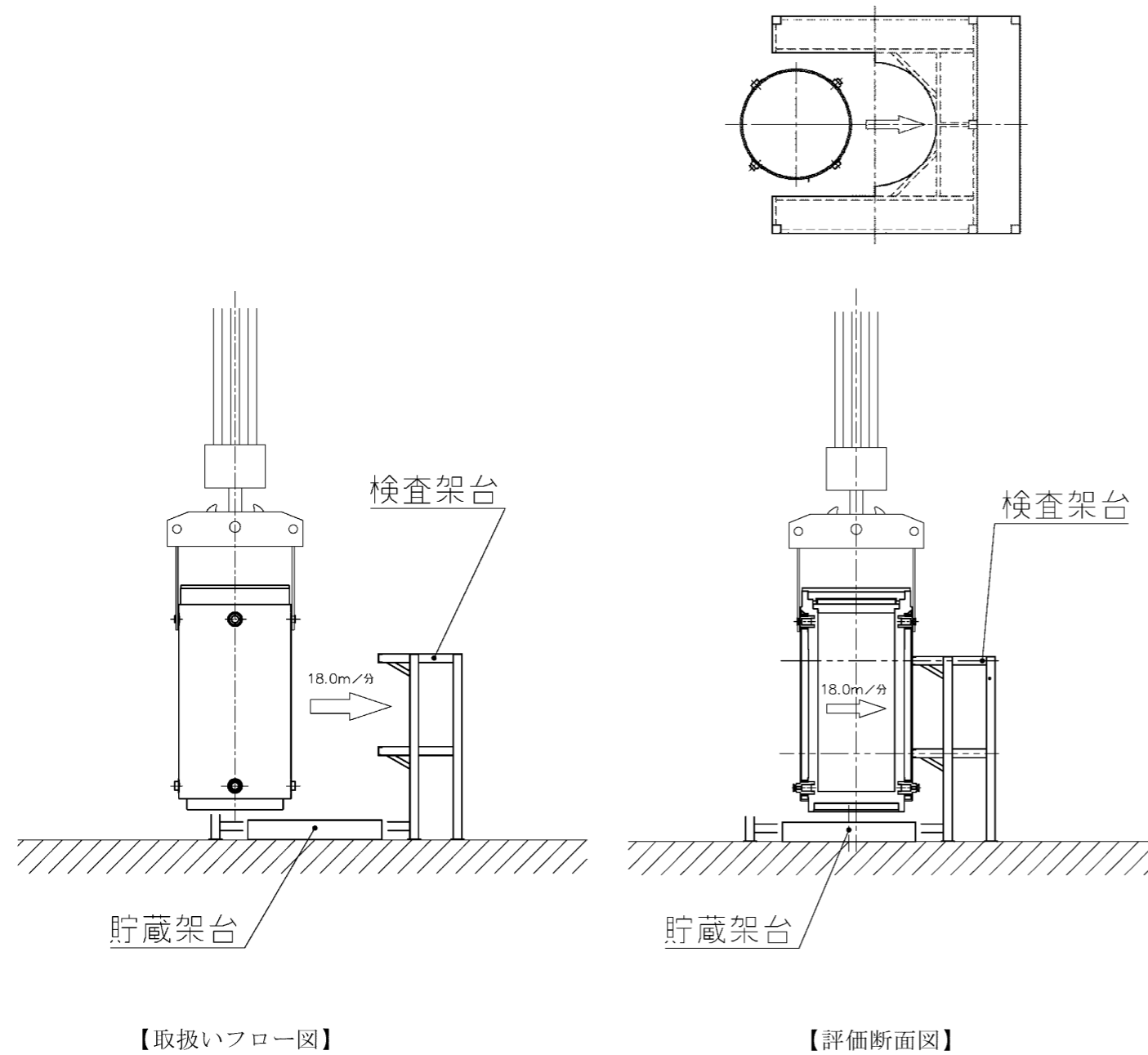
(注3)輸送架台の胴受け部をモデル化し、乾式キヤスク衝突荷重により、輸送架台の胴受け部が変形するとしてばね剛性を算出。

(注4)乾式キヤスク全体をモデル化し、二次蓋衝突荷重により、乾式キヤスクが変形するとしてばね剛性を算出。

- (注 5) 乾式キヤスク全体をモデル化し、緩衝体衝突荷重により、乾式キヤスクが変形するとしてばね剛性を算出。
- (注 6) 設計上のクレーン走行最大速度
- (注 7) 設計上のクレーン巻き下げ最大速度
- (注 8) 乾式キヤスクの各部材質量、形状、回転軸（下部トラニオン）から各部材の重心までの距離から算出。
- (注 9) ばね定数の算出方法は 7.3.6 項で説明する。

第 7-8 表 各想定事象時の衝撃荷重

分類	想定事象	
	項目	衝撃荷重 (N)
キャスクの衝突	a. 検査架台への衝突	$3.893 \times 10^6$
	b. 貯蔵架台への衝突	$3.666 \times 10^6$
	d. 横倒し時の衝突	$1.281 \times 10^6$
キャスクへの衝突	e. 二次蓋の衝突	$3.940 \times 10^5$
	f. 緩衝体（上部）の衝突	$1.910 \times 10^6$
	f. 緩衝体（下部）の衝突	$1.615 \times 10^6$

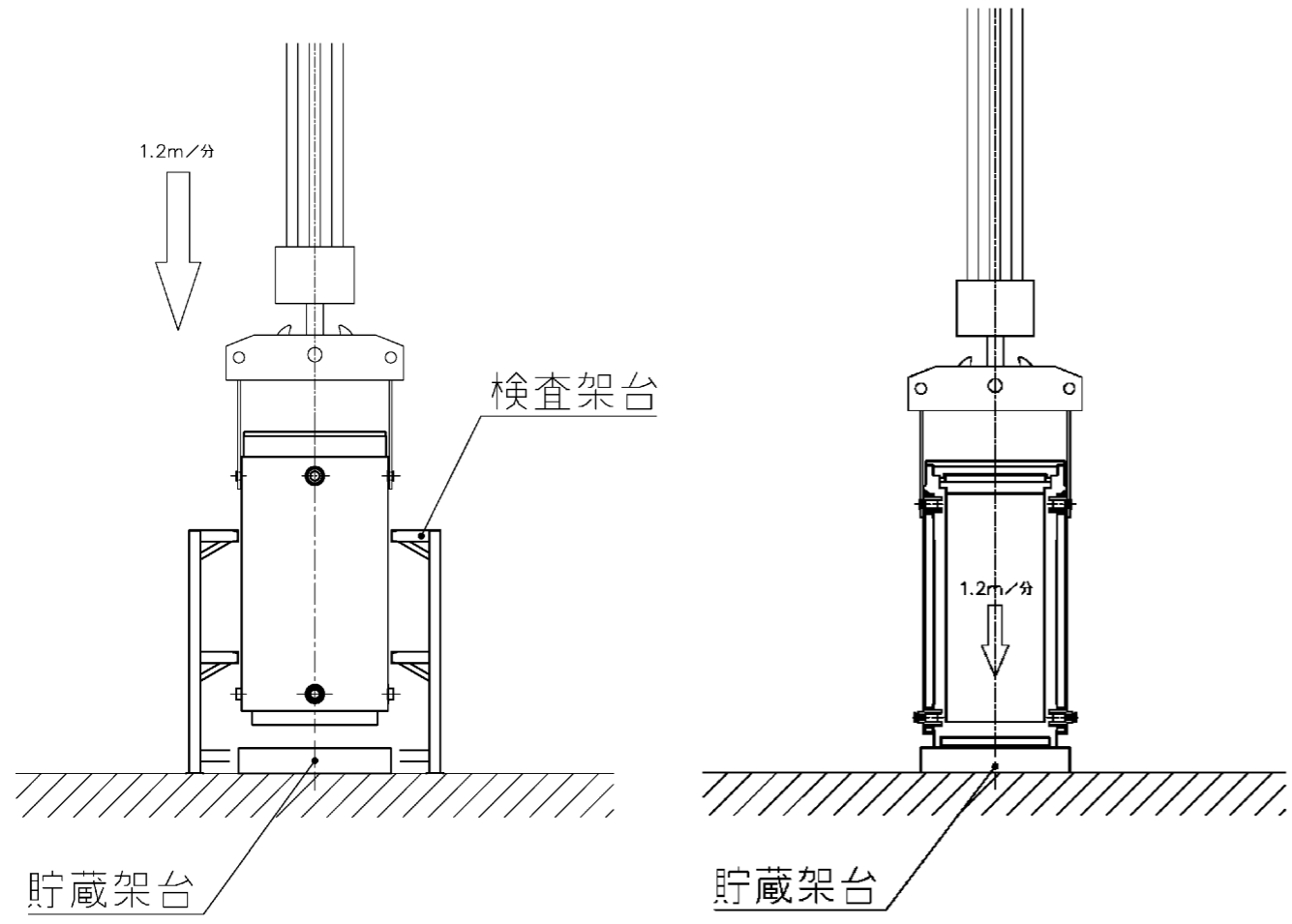


検査架台への衝突時の荷重及び境界条件

(注)  $\alpha$  は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

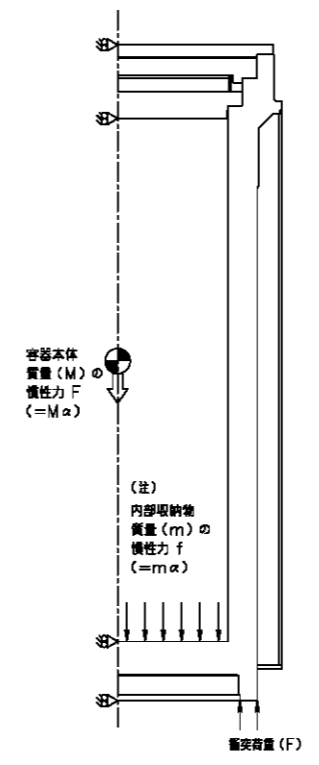
【評価モデル図】

第 7-9 図 (a) 検査架台への衝突



【取扱いフロー図】

【評価断面図】



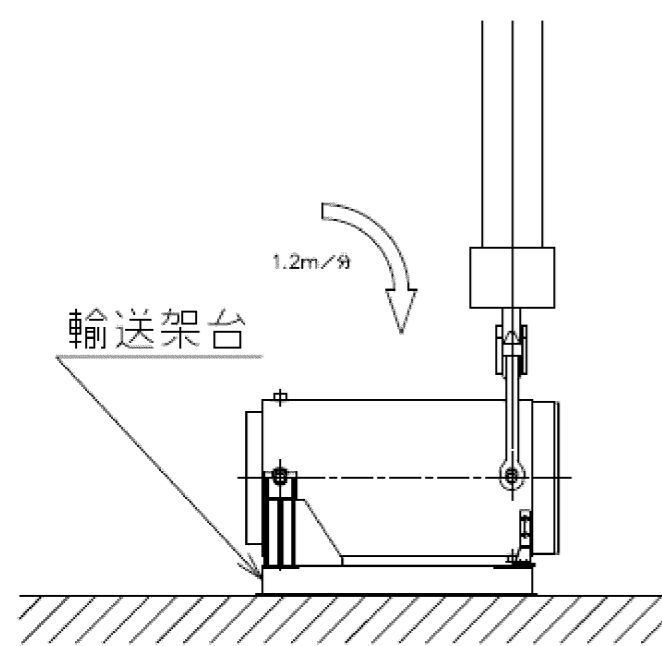
貯蔵架台への底部垂直落下時の荷重及び境界条件

(注)  $\alpha$ は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

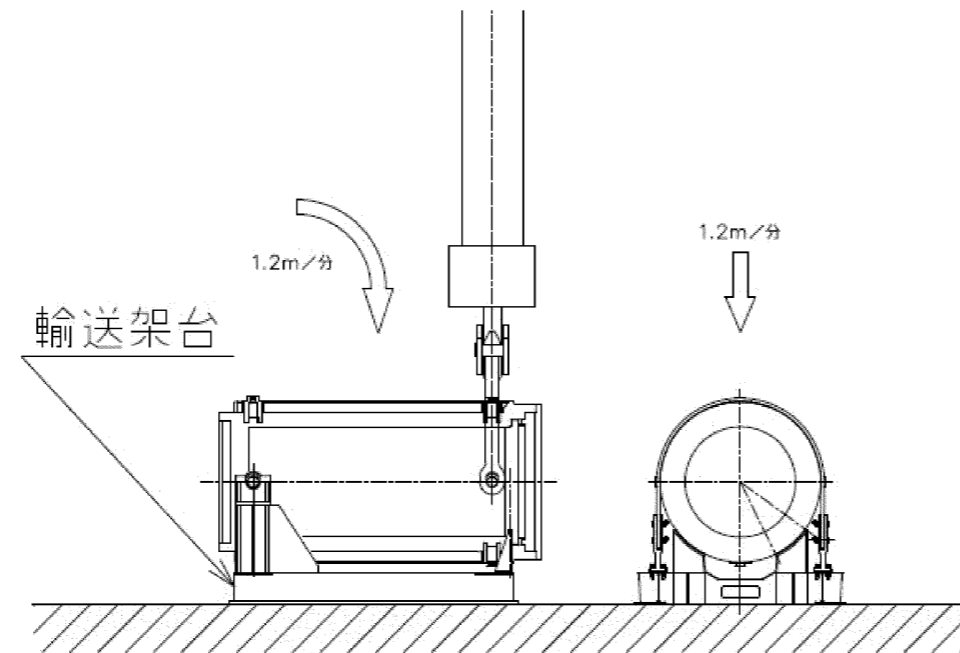
【評価モデル図】

第 7-9 図 (b) 貯蔵架台への衝突

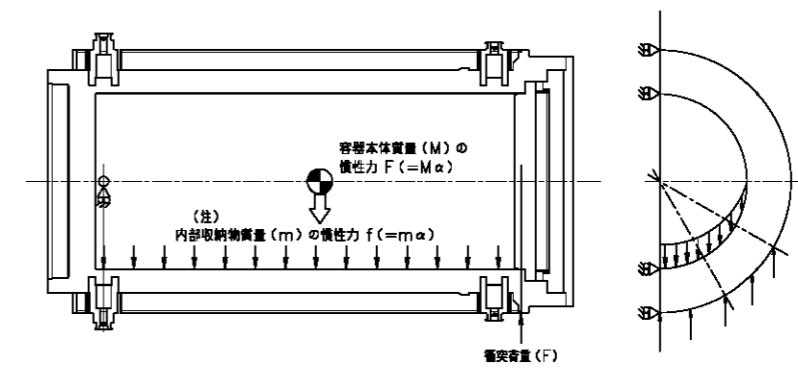




【取扱いフロー図】



【評価断面図】

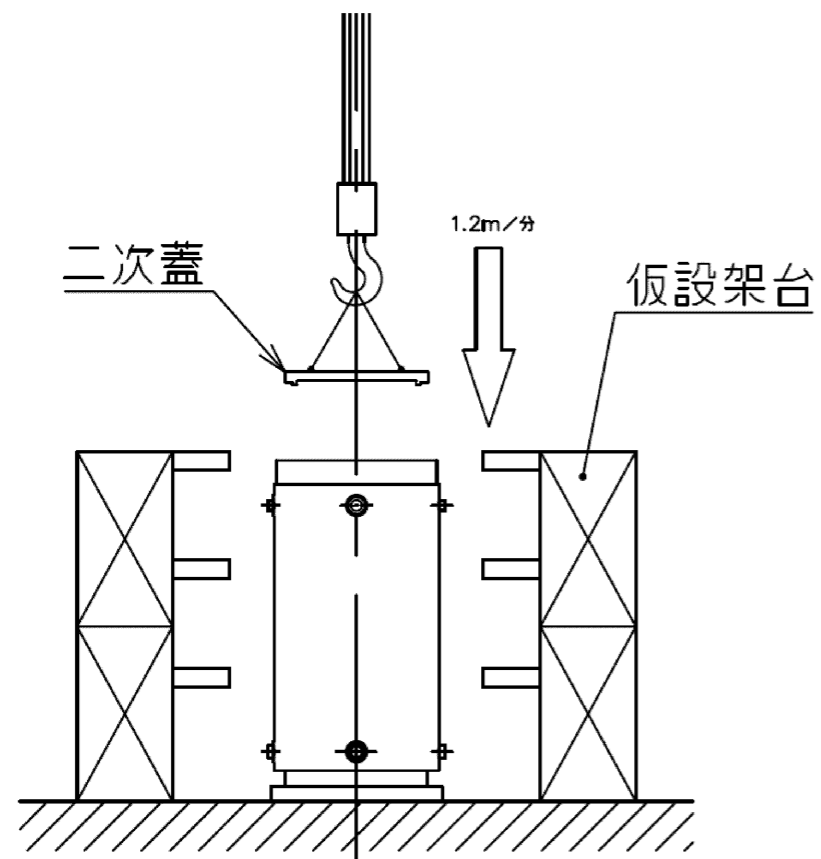


横倒し時の衝突時の荷重及び境界条件

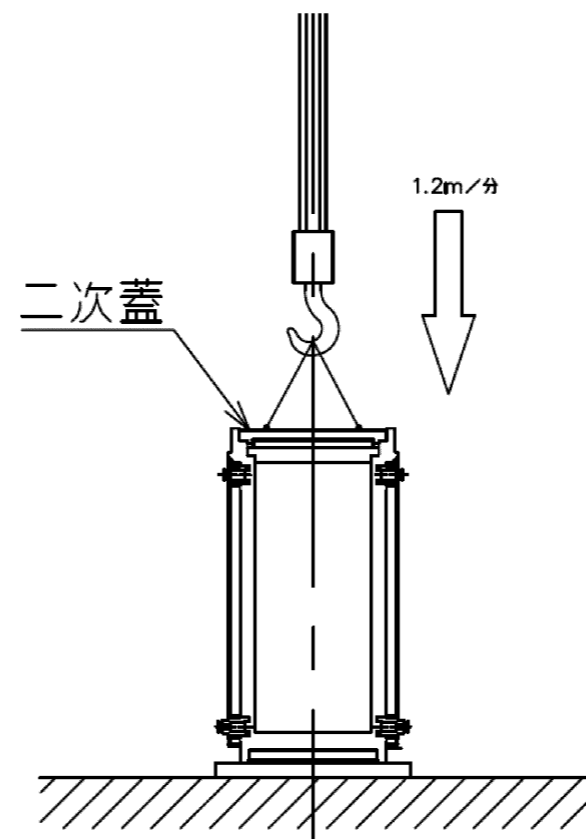
(注)  $\alpha$  は衝撃加速度 ( $\alpha = \text{衝突荷重} / (\text{容器本体質量 } M + \text{内部収納物質量 } m)$ ) を示す。  
 内部収納物 (バスケット及び燃料集合体) は形状をモデル化しないため、内部収納物の質量に衝撃加速度を乗じた荷重を内部収納物の慣性力として、胴内面に作用させる。

【評価モデル図】

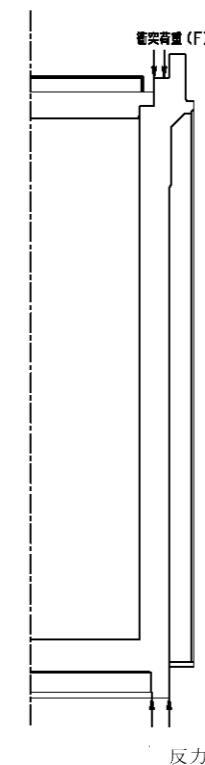
第 7-9 図 (d) 横倒し時の衝突



【取扱いフロー図】



【評価断面図】

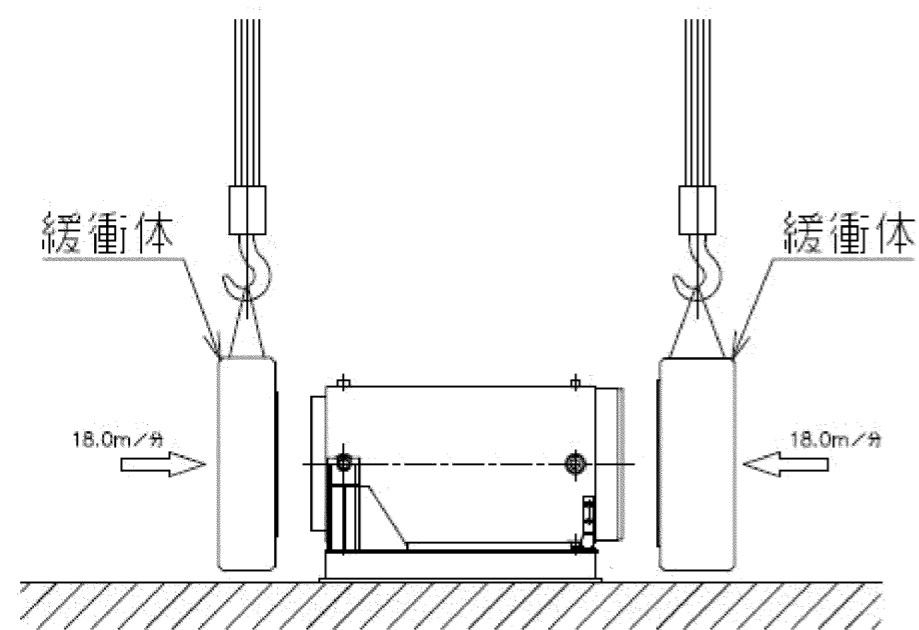


二次蓋の衝突時の荷重及び境界条件

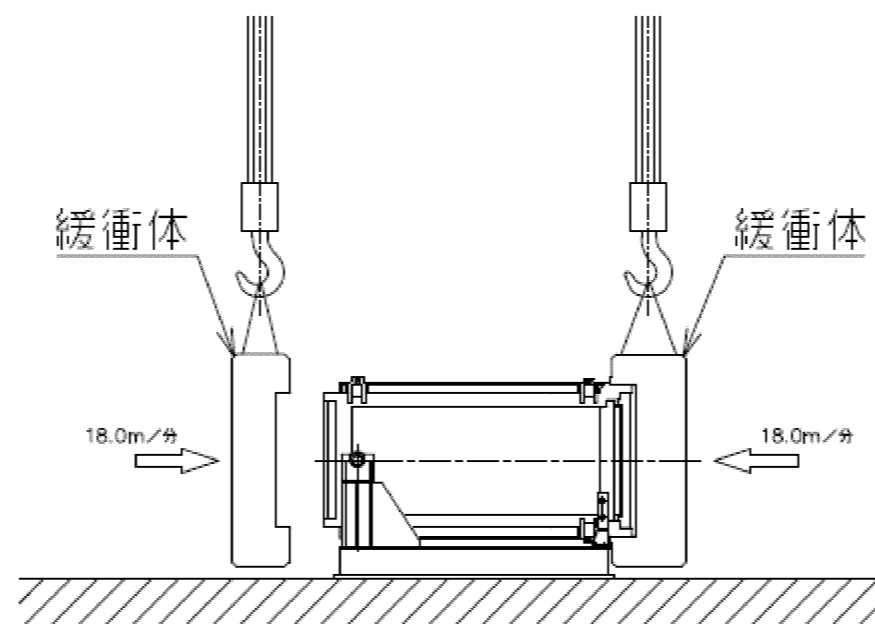
【評価モデル図】

(注) 二次蓋装着時は、二次蓋ボルト穴に位置決めピンを設置し、胴フランジからずれないように吊り下ろすため、胴フランジに一樣に荷重が作用するものとして評価を行う。

第 7-9 図 (e) 二次蓋の衝突

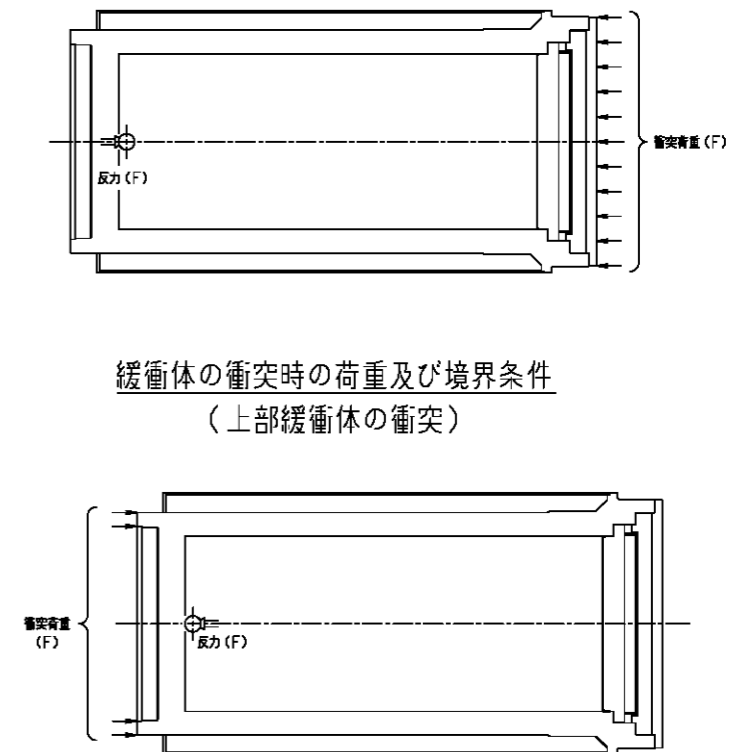


【取扱いフロー図】



【評価断面図】

(注) 緩衝体装着時は、緩衝体取付ボルト穴に位置決めピンを設置し、胴からずれないように取り付けるため、三次蓋又は胴底面に一様に荷重が作用するものとして評価を行う。



緩衝体の衝突時の荷重及び境界条件  
(上部緩衝体の衝突)

緩衝体の衝突時の荷重及び境界条件  
(下部緩衝体の衝突)

【評価モデル図】

第 7-9 図 (f) 緩衝体の衝突

### 7.3.3 応力評価の方針

乾式キャスクへ求められる4つの安全機能は未臨界、閉じ込め、遮蔽、除熱であり、想定事象時においてもこれら乾式キャスクの機能を維持する部位の構造健全性を維持する必要がある。ここで、各想定事象における衝突により乾式キャスクへ発生する加速度によりキャスクの各部材（胴、胴（底板）、外筒、中性子遮蔽材カバー、一次蓋、二次蓋、伝熱フィン、バスケット）へ発生する応力については、各部材の代表部位について評価を行い、各部材が構造健全性を維持することを確認する。

胴、胴（底板）、外筒、中性子遮蔽材カバー、一次蓋、二次蓋は、三次元FEMモデルを用いて評価を行う。なお、解析モデルは保守的に伝熱フィンをモデル化していないが、伝熱フィンに荷重が作用する場合は材料力学の公式を用いて評価を行う。また、バスケット及び胴（脚部）は、材料力学の公式及び核燃料輸送物設計承認申請で用いている式により評価を行う。評価基準は、乾式キャスクの除熱解析から得られた各評価部位の最高温度から設定した値を用いる。

各安全機能を維持する部材及び評価基準を表7-9に示す。胴、胴（底板）、一次蓋、二次蓋は、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）と同様に、使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版)の密封容器の供用状態Bの評価基準とする。外筒、中性子遮蔽材カバーは、胴、胴（底板）、一次蓋の中性子遮蔽材を支持する部材であって、圧力保持を目的としないことから、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）と同様に、発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)の支持構造物の供用状態Bの基準を準用して評価基準とする。バスケットは、臨界評価上の有意な変形を起こさないことを評価基準とする。伝熱フィンは、除熱機能を維持するための基準として弾性範囲内とする。また、乾式キャスクの応力評価位置を第7-10図に示す。

また、各想定事象において、衝突部近傍の評価を行い、衝突部近傍の構造健全性を確認し、安全機能が損なわれないことを確認する。

表 7-9 キャスクが担保すべき安全機能及び評価基準

想定事象時にキャスクが担保すべき安全機能	安全機能を維持する部材	安全機能を維持するための基準	左記に該当する応力評価基準
未臨界	バスケット <sup>(注3)</sup>	臨界評価上の有意な変形を起ささない	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_b \leq S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
閉じ込め (閉じ込め境界)	一次蓋シール部 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_y$ $P_L \leq S_y$ $P_L + P_b \leq S_y$ $P_L + P_b + Q \leq S_y$
	一次蓋ボルト、二次蓋ボルト <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$\sigma_m \leq 2S_m$ $\sigma_m + \sigma_b \leq 3S_m$
遮蔽	胴、一次蓋、二次蓋 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_m$ $P_L \leq 1.5S_m$ $P_L + P_b \leq 1.5S_m$
	外筒、中性子遮蔽材カバー <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(設計・建設規格)	引張応力 $\leq F/1.5$ せん断応力 $\leq F/(1.5 \times \sqrt{3})$ 圧縮応力 $\leq F/1.5$ 曲げ応力 $\leq F/1.5$
除熱	バスケット <sup>(注3)</sup>	未臨界と同様とする	$\sigma_m \leq S_y$ $\sigma_b \leq S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
	胴、一次蓋、二次蓋 <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(金属キャスク構造規格)	$P_m \leq S_m$ $P_L \leq 1.5S_m$ $P_L + P_b \leq 1.5S_m$
	伝熱フィン <sup>(注4)</sup>	弾性範囲内	$\sigma_b \leq 1.5S_y$ $\tau \leq S_y/\sqrt{3}$
	外筒、中性子遮蔽材カバー <sup>(注1)</sup> <sup>(注2)</sup>	供用状態 B(設計・建設規格)	引張応力 $\leq F/1.5$ せん断応力 $\leq F/(1.5 \times \sqrt{3})$ 圧縮応力 $\leq F/1.5$ 曲げ応力 $\leq F/1.5$

(注 1) F の値は以下のとおり

(a) 使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼

$$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$$

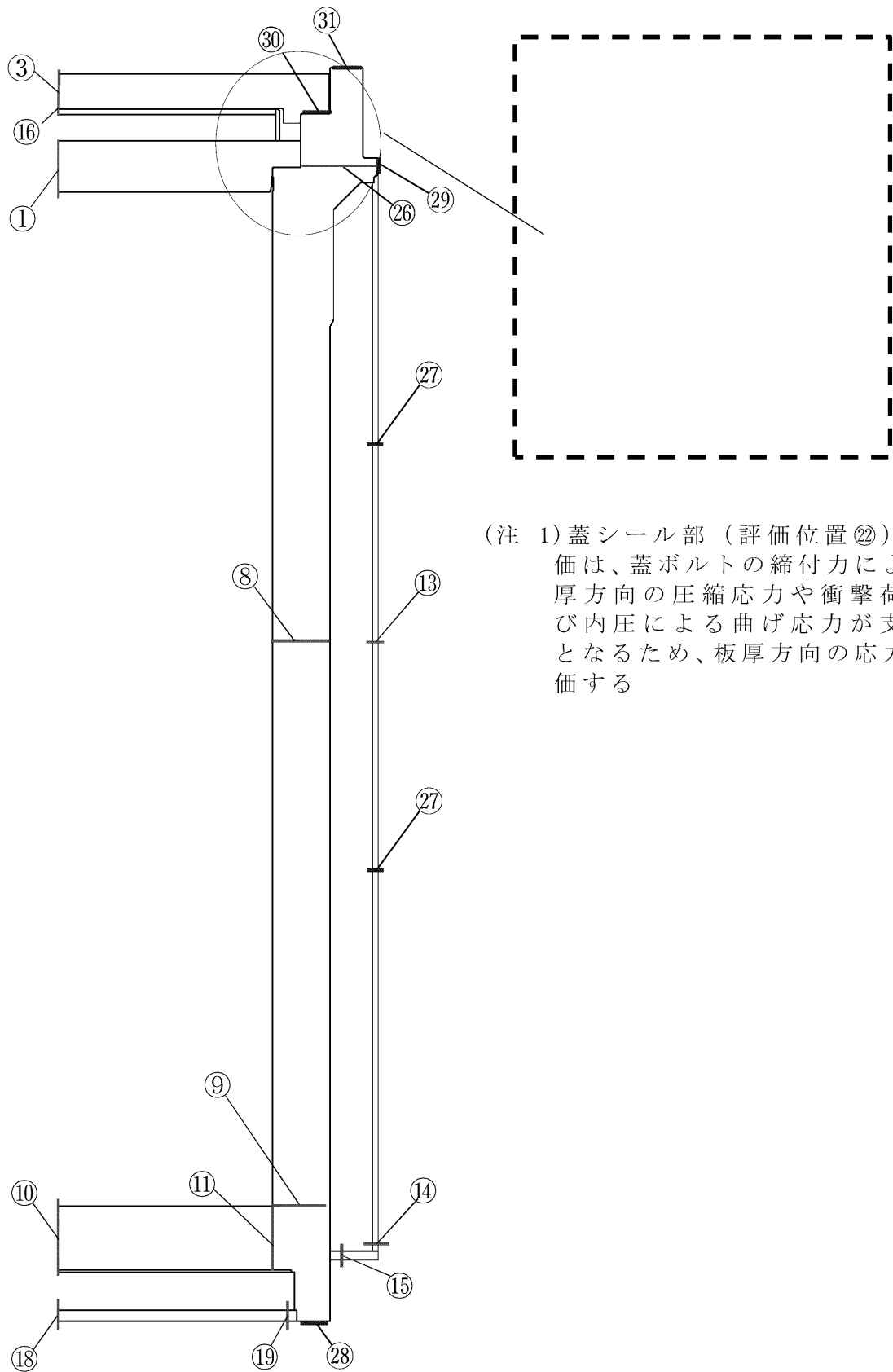
(b) 上記(a)に示すもの以外

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

(注 2) 評価基準を定める物性値は、発電用原子力設備規格 材料規格(2012年版)を適用。

(注 3) 評価基準を定める物性値は、メーカー保証値(MSF-21P型及びMSF-24P型の核燃料輸送物設計承認申請と同様)を適用。

(注 4) 評価基準を定める物性値は、2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code を適用。



(注 1) 蓋シール部 (評価位置②) の評価は、蓋ボルトの締付力による板厚方向の圧縮応力や衝撃荷重及び内圧による曲げ応力が支配的となるため、板厚方向の応力を評価する

第 7-10 図 キヤスクの応力評価位置

(赤線は評価断面、青線は衝突面/衝突箇所を示す)

【 〇 〇 】: 商業機密に係る事項のため公開できません



評価断面	部 位	4つの安全機能	想定事象	備考
①	一次蓋中央部	閉/遮/熱	○	
②	一次蓋端部	閉/遮/熱	○	
③	二次蓋中央部	遮/熱	○	
④	二次蓋端部	遮/熱	○	
⑤	三次蓋中央部	閉	×	三次蓋は輸送時のみ装着のため、想定事象時は評価対象外
⑥	三次蓋端部	閉	×	
⑦	胴上部	閉	×	
⑧	胴中央部	閉/遮/熱	○	
⑨	胴下部	閉/遮/熱	○	
⑩	胴（底板）中央部	閉/遮/熱	○	
⑪	胴（底板）端部	閉/遮/熱	○	
⑫	外筒上部	遮/熱	○	
⑬	外筒中央部	遮/熱	○	
⑭	外筒下部	遮/熱	○	
⑮	下部端板端部	遮	○	
⑯	蓋部中性子遮蔽材カバー中央部	遮	○	
⑰	蓋部中性子遮蔽材カバー端部	遮	○	
⑱	底部中性子遮蔽材カバー中央部	遮	○	
⑲	底部中性子遮蔽材カバー端部	遮	○	
⑳	二次蓋シール部（蓋）	閉	×	輸送時のみ二重の水密性で要求のため、想定事象時は評価対象外
㉑	二次蓋シール部（胴）	閉	×	
㉒	一次蓋シール部（蓋）	閉	○	
㉓	一次蓋シール部（胴）	閉	○	

評価断面	部 位	4つの安全機能	想定事象	備考
②4	二次蓋ボルト	閉	○	輸送時のみ二重の水 密性で要求、想定事 象時は構造健全性の 維持で要求
②5	一次蓋ボルト	閉	○	
②6	胴上部 (vs 横倒し架台)	閉/遮/熱	○	衝突・荷重負荷され る部位を評価対象に 選定
②7	外筒 (vs 検査架台)	遮/熱	○	
②8	胴底板 (vs 貯蔵架台、下部緩衝体)	—	○	
②9	胴上部 (vs 横倒し架台)	遮	○	
③0	胴フランジ (vs 二次蓋)	閉	○	
③1	胴フランジ (vs 上部緩衝体)	—	○	
—	バスケット	臨/熱	○	
—	伝熱フィン	熱	○	

(1) バスケットプレートの圧縮応力の算出式

貯蔵架台への衝突時及び二次蓋の衝突時に最下段のバスケットプレート（第 7-11 図参照）には、それより上部にあるバスケットプレート等の自重及び鉛直方向の慣性力が作用し、圧縮による膜応力  $\sigma_c$  (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_b \times G_v}{A_1} \quad (1)$$

ここで、

$W_b$ : バスケットプレート、バスケットサポート、中性子吸収材の合計

質量 (kg)

$G_v$ : 自重及び鉛直方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$A_1$ : バスケットプレートと胴の接触面積 ( $mm^2$ )

バスケットプレートと胴の接触面積  $A_1$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-11 図に示す。

$$A_1 = (b_1 - b_2) \times L_1 \times n \quad (2)$$

ここで、

$b_1$ : バスケットプレート幅 1 (mm)

$b_2$ : バスケットプレート幅 2 (mm)

$L_1$ : バスケットプレート長さ (mm)

$N$ : 胴に接触するバスケットプレート  $L_1$  部の個数 (-)

(2) バスケットプレート縦板の圧縮応力の算出式

検査架台への衝突時、横倒し時の衝突時、及び緩衝体の衝突時にバスケットプレート縦板切欠部には、第 7-12 図に示すように、領域 I の範囲にあるバスケットプレート、バスケットサポート及び燃料集合体に生じる水平方向の慣性力並びに、領域 II のバスケットプレートに生じる水平方向の慣性力により、圧縮による膜応力  $\sigma_c$  (MPa)が生じる。

$$\sigma_c = \frac{W_I + W_{II}}{A \times N} G_H \quad (3)$$

ここで、

$W_I$ ：領域Ⅰのバスケットプレート、中性子吸収材、バスケットサポート及び燃料集合体の質量 (kg)

$W_{II}$ ：領域Ⅱのバスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)

$G_H$ ：水平方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$N$ ：バスケットプレートの数 (枚)

$A$ ：バスケットプレート縦板の断面積 ( $mm^2$ )

バスケットプレート縦板の断面積 $A$ は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-13 図に示す。

$$A = (b_1 + b_2 \times 2) \times h_1 - (b_3 + b_4 \times 2) \times h_2 \quad (4)$$

ここで、

$b_1$ ：バスケットプレート幅 1 (mm)

$b_2$ ：バスケットプレート幅 2 (mm)

$h_1$ ：バスケットプレート高さ 1 (mm)

$b_3$ ：バスケットプレート幅 3 (mm)

$b_4$ ：バスケットプレート幅 4 (mm)

$h_2$ ：バスケットプレート高さ 2 (mm)

### (3) バスケットプレート横板の曲げ応力及びせん断応力の算出式

検査架台への衝突時、横倒し時の衝突時、及び緩衝体の衝突時にバスケットプレート横板切欠部には、第 7-14 図に示すようにバスケットプレート、中性子吸収材及び燃料集合体に生じる慣性力により曲げ応力  $\sigma_b$  及びせん断応力  $\tau$  が生じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (6)$$

ここで、

- $\sigma_b$  : 曲げ応力 (MPa)
- $\tau$  : せん断応力 (MPa)
- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $F$  : せん断荷重 (N)
- $A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

曲げモーメント  $M$  は、以下の式で与えられる。

$$M = \frac{w \times \ell^2}{12} G_H \quad (7)$$

ここで、

- $w$  : 分布荷重 (kg/mm)
- $\ell$  : バスケットセルの内幅 (mm)
- $G_H$  : 水平方向の加速度 (m/s<sup>2</sup>)

分布荷重  $w$  は、以下の式で与えられる。

$$w = \frac{W_f + W_b \times N}{\ell \times N} \quad (8)$$

ここで、

- $W_f$  : 燃料集合体の質量 (kg)
- $W_b$  : バスケットプレート及び中性子吸収材の質量 (kg)
- $N$  : バスケットプレートの数 (段)

断面係数  $Z$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-15 図に示す。

$$Z = \frac{h_1^3 \times b_1 - h_2^3 \times (b_2 + b_3 \times 2)}{6h_1} \quad (9)$$

ここで、

- $h_1$  : バスケットプレート高さ 1 (mm)
- $b_1$  : バスケットプレート幅 1 (mm)
- $b_2$  : バスケットプレート幅 2 (mm)

$h_2$  : バスケットプレート高さ 2 (mm)

$b_3$  : バスケットプレート幅 3 (mm)

断面積  $A$  は、以下の式で与えられる。計算に用いた寸法を第 7-15 図に示す。

$$A = b_1 \times h_1 - h_2 \times (b_2 + b_3 \times 2) \quad (10)$$

せん断荷重  $F$  は、以下の式で与えられる。

$$F = \frac{w \times \ell}{2} G_H \quad (11)$$

(4) 伝熱フィンの曲げ応力及びせん断応力の算出式

検査架台への衝突時に伝熱フィン溶接部には、衝突時の外筒の変形により伝熱フィンに曲げ応力 $\sigma_b$ 及びせん断応力 $\tau$ が生じる。なお、第7-16図に示すとおり、伝熱フィン溶接部は伝熱フィンに対して両側に隅肉溶接を施すが、保守側の評価として伝熱フィン溶接部のど部の面積は片側の隅肉のみを考慮して評価する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad (12)$$

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (13)$$

ここで、

$\sigma_b$  : 曲げ応力 (MPa)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$\tau$  : せん断応力 (MPa)

F : 作用荷重 (N)

A : フィン溶接部のど部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、曲げモーメントMは、以下の式で求められる。

$$M = F \times \ell \quad (14)$$

$\ell$  : フィンの長さ (mm)

ここで、作用荷重Fは、以下の式で求められる。

$$F = \frac{3EI}{\ell^2} v \quad (15)$$

E : 縦弾性係数 (MPa)

I : 断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

v : 外筒の変形量 (mm)

また、貯蔵架台への衝突時、二次蓋の衝突時、緩衝体の衝突時に伝熱フィン溶接部には、伝熱フィン及び中性子遮蔽材に生じる慣性力によりせん断応力 $\tau$ が生じる。なお、第7-16図に示すとおり、伝熱フィン溶接部は伝熱フィンに対して両側に隅肉溶接を施すが、保守側の評価として伝熱フィン溶接部のど部の面積は片側の隅肉のみを考慮して評価する。

$$\tau = \frac{(W_1+W_2)G_v}{A} \quad (16)$$

ここで、

$\tau$  : せん断応力 (MPa)

$W_1$  : 伝熱フィンの軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

$W_2$  : 中性子遮蔽材の軸方向単位長さ当たり重量 (kg/mm)

$G_v$  : 鉛直方向の加速度 ( $m/s^2$ )

$A$  : フィン溶接部のど部の軸方向単位長さ当たりの面積 ( $mm^2/mm$ )

#### (5) 胴（脚部）の圧縮応力の算出式

底面衝突時には、乾式キャスクの慣性力が作用し、衝突部近傍に圧縮応力 $\sigma_c$ が生じる。

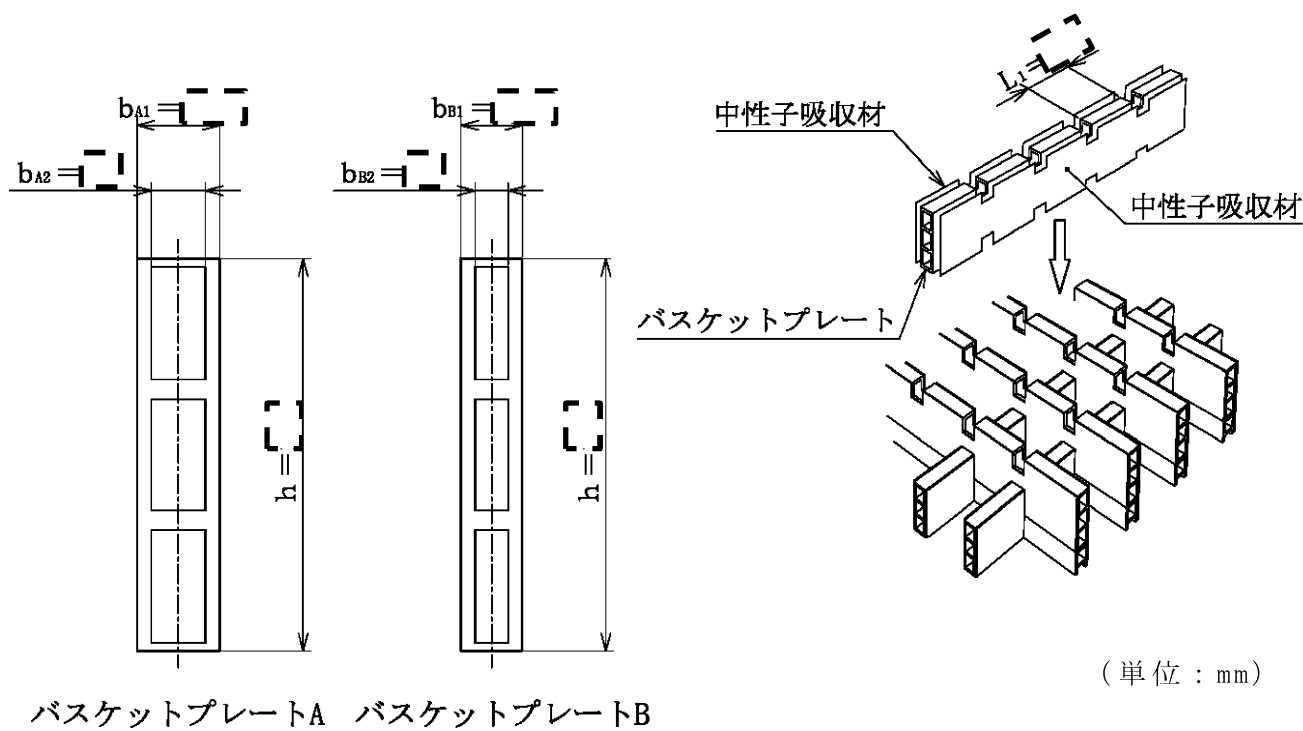
$$\sigma_c = \frac{F_v}{A_c} \quad (17)$$

ここで、

$F_v$  : 乾式キャスクに作用する鉛直方向荷重 (N)

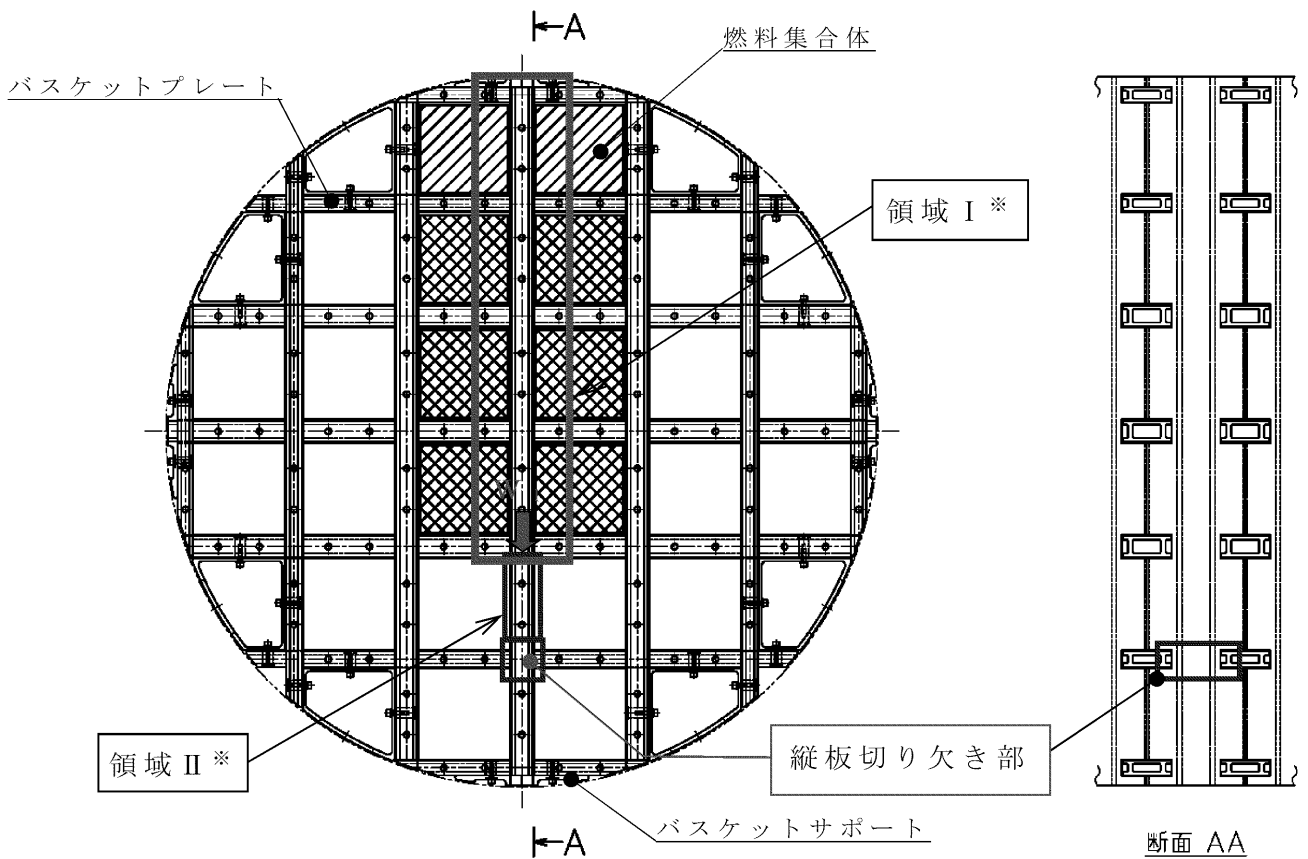
$A_c$  : 胴（脚部）の圧縮面積 ( $mm^2$ )





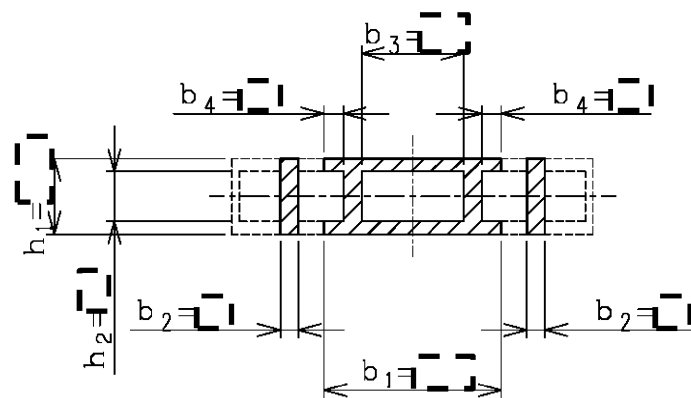
第 7-11 図    バスケットプレートのモデル図

□□: 商業機密に係る事項のため公開できません



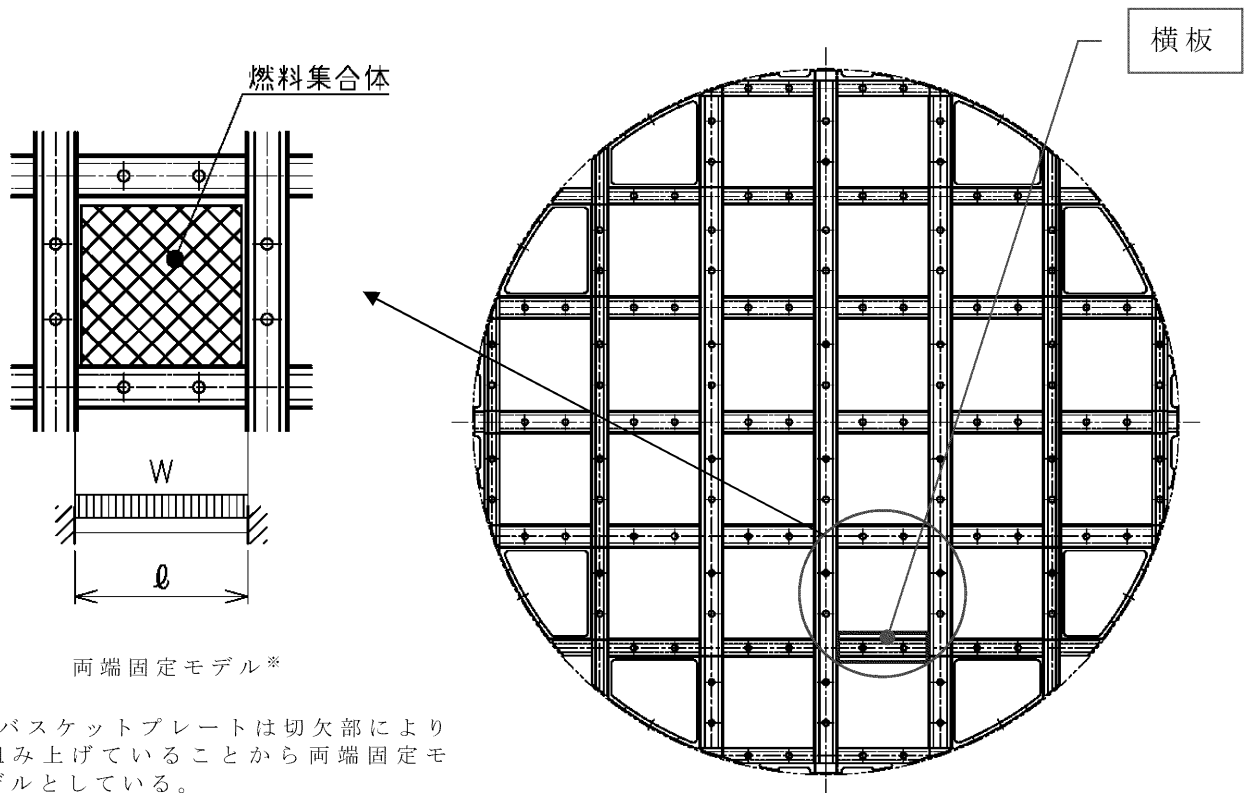
※：バスケットプレート最下段の縦板切欠部は、切欠部にかかる質量は最も大きくなる一方、バスケットサポートの支持により荷重を受ける断面積が大きくなり、発生する圧縮応力は最下段から2段目の切欠部と比較して低減され、最下段から2段目の切欠部において圧縮応力が最大となることから、領域 I 及び領域 II を選定している。

第 7-12 図 バスケットプレート縦板のモデル図

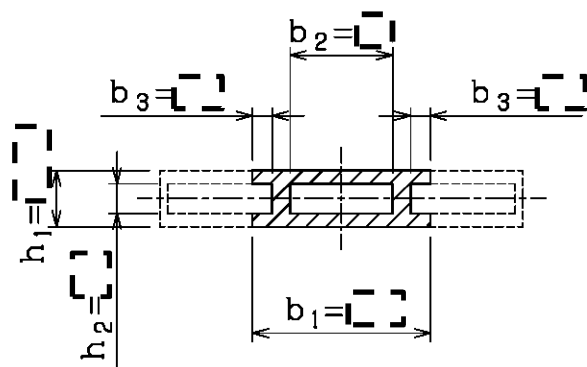


第 7-13 図 バスケットプレート縦板の断面

[ ]: 商業機密に係る事項のため公開できません

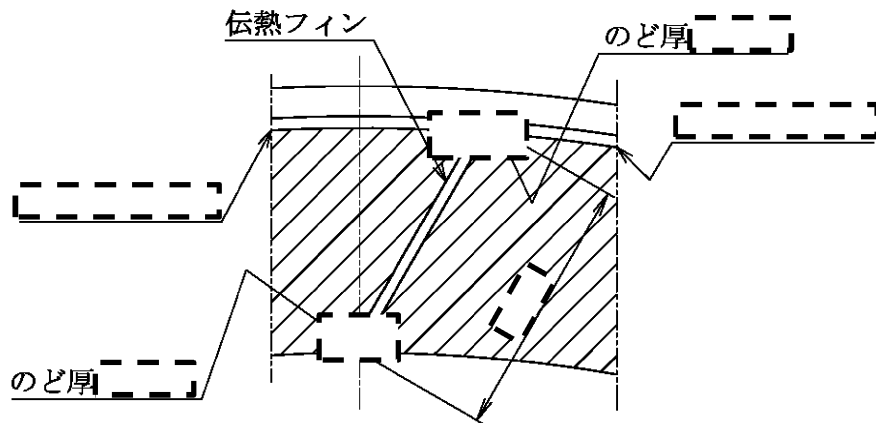


第 7-14 図 バスケットプレート横板のモデル図



第 7-15 図 バスケットプレート横板の断面

□□：商業機密に係る事項のため公開できません



第7-16図 伝熱フィン溶接部のモデル図

#### 7.3.4 応力評価(各部材の構造健全性の確認)

##### (1) 検査架台への衝突(第7-9図(a.))

###### i. 評価事象

検査架台への衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの側部が最大速度(18m/分)で検査架台に衝突することを想定した評価を行う。

###### ii. 評価条件

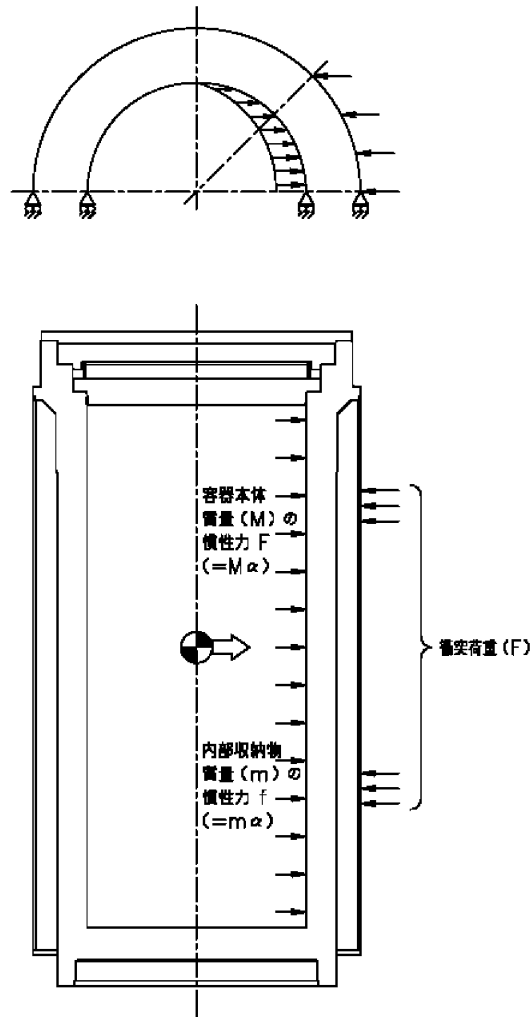
検査架台への衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体(胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト)を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第7-17図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て検査架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される乾式キャスクに生じる衝撃荷重(第7-8表に示す  $3.893 \times 10^6$  N)に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝突荷重を外筒の2箇所に作用させる。

また、外筒と検査架台の衝突位置は、外筒の変形量が

〔 〕: 商業機密に係る事項のため公開できません

きくなるよう（後で述べる衝突部近傍の評価において、保守側の評価となるよう）、外筒の中央付近に検査架台が衝突する条件を代表として解析を実施する。



第 7-17 図 検査架台への衝突時の荷重条件及び境界条件

### iii. 基準値

評価基準は表 7-9 に示すとおりとする。

### iv. 評価結果

検査架台への衝突時における応力解析結果を第 7-10 表に示す。検査架台への衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していること

から、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-10 表 検査架台への衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	8	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	3	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	43	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	23	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	6	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	16	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	2	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	60	1.5Sy	82

(注 1) Sy：設計降伏応力（規格値又は文献値）、Sm：設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ （上記示すもの以外）

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(2) 貯蔵架台への衝突（第 7-9 図（b.））

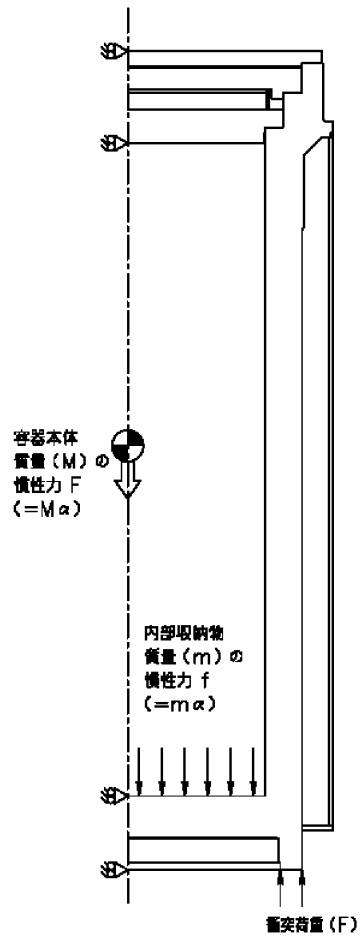
i. 評価事象

貯蔵架台への衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの底部が最大速度（1.2m/分）で貯蔵架台に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

貯蔵架台への衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-18 図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て貯蔵架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $3.666 \times 10^6$  N）から保守側に設定した約  $5.9 \times 10^6$  N（5G 相当）に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝突荷重を胴の下端部に作用させる。



第 7-18 図 貯蔵架台への衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

貯蔵架台への衝突時における応力解析結果を第 7-11 表に示す。

貯蔵架台への衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。



第 7-11 表 貯蔵架台への衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	9	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	9	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	3	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	6	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	34	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	4	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	4	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	34	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	16	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	203	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	2	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$Sy/\sqrt{3}$	31

(注 1) Sy : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、Sm : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$  (使用温度が 40°C を超える  
オーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(3) 横倒し時の衝突（第 7-9 図（d.））

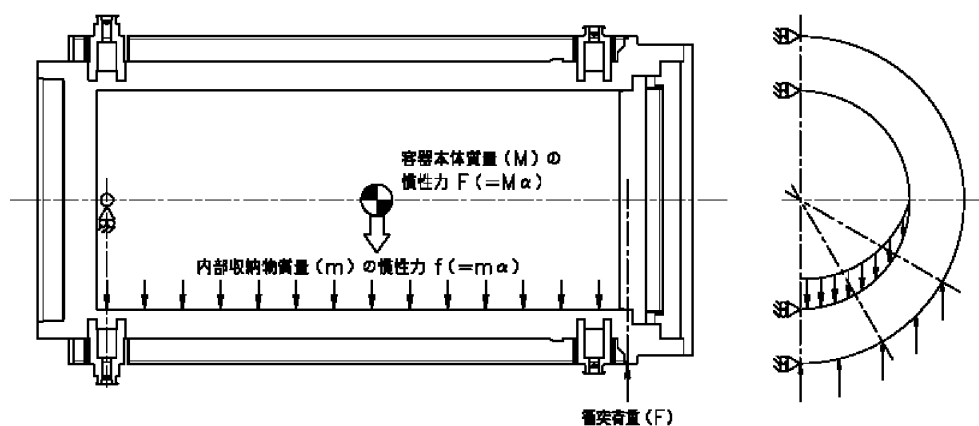
i. 評価事象

横倒し時の衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、乾式キャスクの胴上部が最大速度（1.2m/分）で縦起こし架台に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

横倒し時の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-19 図に示す。乾式キャスクの有する運動エネルギーが全て輸送架台のひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $1.281 \times 10^6 \text{ N}$ ）に対応する慣性力を乾式キャスクに作用させるとともに、衝撃荷重を本体胴フランジ部に作用させる。



第 7-19 図 横倒し時の衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

横倒し時の衝突時における応力解析結果を第 7-12 表に示す。

横倒し時の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-12 表 横倒し時の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	3	Sm	123
胴（底板）	GLF1	140	2	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	40	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	12	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	4	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	63	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	34	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	-	-	-	-

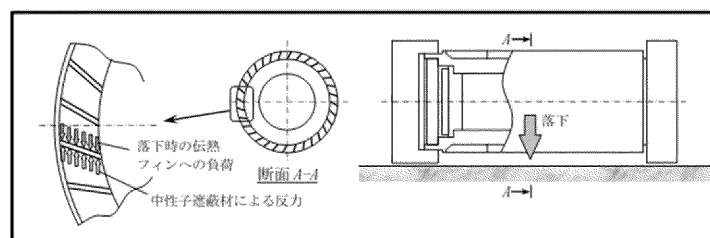
(注 1)  $S_y$  : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、 $S_m$  : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$  (使用温度が  $40^\circ\text{C}$  を超えるオーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(注 3) 横倒し時には、伝熱フィンの鉛直上側に位置する中性子遮蔽材の慣性力が伝熱フィンに作用するが、伝熱フィンは鉛直下側の中性子遮蔽材により支えられるため、伝熱フィンに慣性力による応力は発生しない。したがって、構造強度評価は行わない。



(4) 二次蓋の衝突（第 7-9 図（e.））

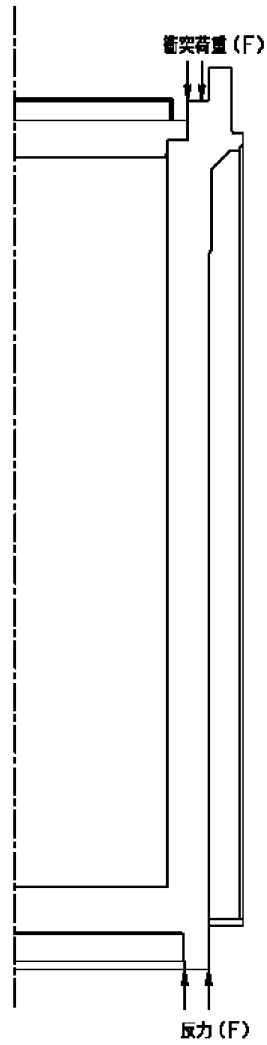
i. 評価事象

二次蓋の衝突として、FH/B クレーンの誤操作により、二次蓋が最大速度（1.2m/分）で乾式キャスクの胴上面に衝突することを想定した評価を行う。

ii. 評価条件

二次蓋の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体（胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト）を三次元でモデル化する。

荷重条件及び境界条件を第 7-20 図に示す。二次蓋の有する運動エネルギーが全て乾式キャスクのひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重（第 7-8 表に示す  $3.940 \times 10^5 \text{ N}$ ）を胴上面に作用させるとともに、衝撃荷重の反力を胴の下端部に作用させる。



第 7-20 図 二次蓋衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

二次蓋の衝突時における応力解析結果を第 7-13 表に示す。なお、二次蓋の衝突時には、内部収納物の慣性力が作用せず、バスケットには応力は発生しないため、自重による応力を記載している。

二次蓋の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii. 項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-13 表 二次蓋の衝突時における応力解析結果 (1/2)

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	4	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	-	-	-
胴	GLF1	130	3	1.5Sm	184
胴 (底板)	GLF1	140	1	Sm	122
外筒	SGV480	120	34	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	10	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	51	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	31	F/1.5	136
一次蓋シール部 (蓋側)	GLF1	115	60	Sy	185
一次蓋シール部 (胴側)	GLF1	120	14	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	250	2Sm	562

第 7-13 表 二次蓋の衝突時における応力解析結果 (2/2)

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	-	-	-
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$S_y/\sqrt{3}$	31

(注 1)  $S_y$  : 設計降伏応力 (規格値又は文献値)、 $S_m$  : 設計応力強さ (規格値)

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$  (使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼)

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

(5) 緩衝体 (上部及び下部) の衝突 (第 7-9 図 (f.))

i. 評価事象

緩衝体 (上部及び下部) の衝突として、乾式貯蔵建屋天井クレーンの誤操作により、上部緩衝体が最大速度 (18m/分) で乾式キャスクの三次蓋上面に衝突することを想定した評価、並びに、下部緩衝体が乾式キャスクの胴底面に衝突することを想定した評価を行う。

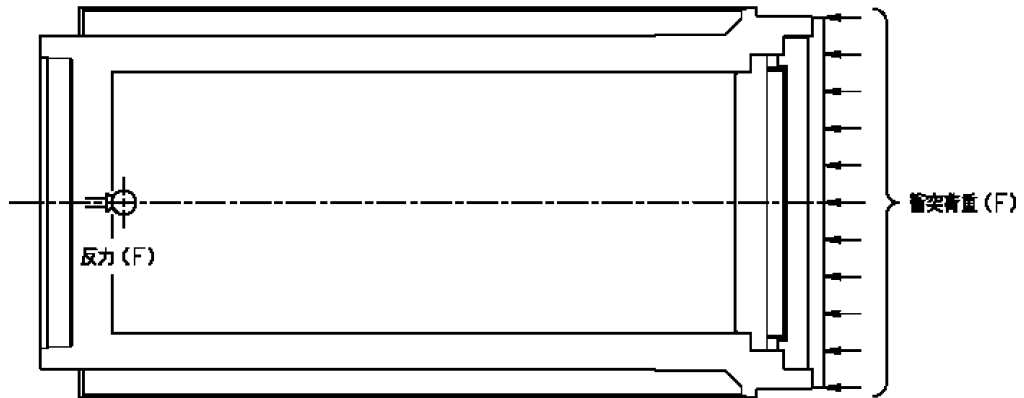
ii. 評価条件

緩衝体の衝突時における容器本体の応力の算出には ABAQUS コードを用いる。応力解析モデルは、容器本体 (胴、外筒、一次蓋、一次蓋ボルト、二次蓋、二次蓋ボルト、三次蓋、三次蓋ボルト) を三次元でモデル化する。

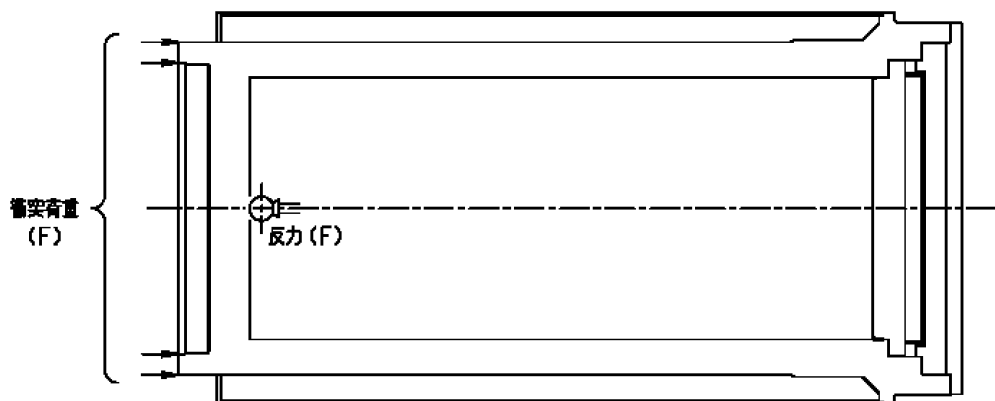
荷重条件及び境界条件を第 7-21 図及び第 7-22 図に示す。緩衝体の有する運動エネルギーが全て乾式キャスクのひずみエネルギーで吸収されるとして算出される衝撃荷重



(第 7-8 表に示す上部： $1.910 \times 10^6 \text{ N}$ 、下部： $1.615 \times 10^6 \text{ N}$ )  
 を三次蓋上面又は胴底面に作用させるとともに、衝撃荷重  
 の反力を下部トラニオンに作用させる。



第 7-21 図 上部緩衝体衝突時の荷重条件及び境界条件



第 7-22 図 下部緩衝体衝突時の荷重条件及び境界条件

iii. 基準値

(1) iii. 項と同じとする。

iv. 評価結果

緩衝体の衝突時における応力解析結果を第 7-14 表及び  
 第 7-15 表に示す。なお、緩衝体の衝突時には、内部収納  
 物の慣性力が作用せず、バスケットには応力は発生しない

ため、自重による応力を記載している。

緩衝体の衝突時において、各評価部位に発生する応力は、iii.項に示す解析基準値を満足していることから、安全機能が維持されることを確認した。

また、一次蓋及び二次蓋は弾性範囲内にとどまることから、開放可能であり、再取出性に問題はない。

第 7-14 表 上部緩衝体の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	10	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	9	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	35	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	13	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	6	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	64	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	32	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	206	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	Sy/ $\sqrt{3}$	31

（注 1）Sy：設計降伏応力（規格値又は文献値）、Sm：設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$  (上記示すもの以外)

(注 2) 各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

第 7-15 表 下部緩衝体の衝突時における応力解析結果

評価部位	材質	温度 (°C)	解析結果 (MPa)	解析基準	解析基準値 (MPa)
一次蓋	GLF1	115	7	1.5Sm	186
二次蓋	GLF1	110	13	1.5Sm	186
胴	GLF1	130	10	1.5Sm	184
胴（底板）	GLF1	140	8	1.5Sm	183
外筒	SGV480	120	37	F/1.5	156
下部端板	SUS304	120	9	F/1.5	136
蓋部中性子 遮蔽材カバー	SGV480	115	3	F/1.5	157
底部中性子 遮蔽材カバー	SUS304	125	29	F/1.5	136
一次蓋シール部 （蓋側）	GLF1	115	63	Sy	185
一次蓋シール部 （胴側）	GLF1	120	33	Sy	185
一次蓋ボルト	SNB23-3	115	249	2Sm	562
二次蓋ボルト	SNB23-3	110	207	2Sm	564
バスケット	MB-A3004-H112	185	1	Sy	56
伝熱フィン	H3100 C1020P	120	1	$Sy/\sqrt{3}$	31

（注 1） $S_y$ ：設計降伏応力（規格値又は文献値）、 $S_m$ ：設計応力強さ（規格値）

$F = \text{MIN}[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(\text{RT})]$ （使用温度が 40°C を超えるオーステナイト系ステンレス鋼）

$F = \text{MIN}[0.7S_u, S_y]$ （上記示すもの以外）

（注 2）各評価位置の解析結果は、解析基準値に対しての裕度が最も小さい値を記載。

### 7.3.5 衝突部位近傍の評価

#### (1) 検査架台への衝突

検査架台への衝突時には、外筒の衝突部近傍にせん断応力が発生することから、せん断により変形しないことを評価する。衝突部近傍に発生するせん断応力は、衝撃荷重を衝突部の断面積で除して算出する。衝突部近傍の応力解析結果を第7-16表に示す。発生するせん断応力は、基準を満足しており、安全機能への影響はない。

#### (2) 貯蔵架台への衝突、横倒し時の衝突、二次蓋の衝突及び緩衝体の衝突

貯蔵架台への衝突時、横倒し時の衝突時、二次蓋の衝突時及び緩衝体の衝突時には、衝突部近傍に圧縮応力が発生することから、圧縮により変形しないことを評価する。衝突部近傍に発生する圧縮応力は、衝撃荷重を衝突部の断面積で除して算出する。衝突部近傍の応力解析結果を第7-16表に示す。発生する圧縮応力は、基準を満足しており、安全機能への影響は生じない。

第 7-16 表 各想定事象時の衝突部位近傍の応力解析結果

項目	衝撃荷重 (N)	衝突部の 断面積 (mm <sup>2</sup> )	衝突部に発 生する応力 (MPa)	解析 基準 (注 1)	解析 基準値 (MPa)
a. 検査架台への 衝突	$3.893 \times 10^6$	$1.970 \times 10^5$ (注 2)	20(せん断)	$S_y/\sqrt{3}$	135
b. 貯蔵架台への 衝突	$3.666 \times 10^6$	$9.448 \times 10^5$ (注 3)	4(圧縮)	$S_y$	183
d. 横倒し時の衝 突	$1.281 \times 10^6$	$4.522 \times 10^4$ (注 4)	29(圧縮)	$S_y$	185
e. 二次蓋の衝突	$3.940 \times 10^5$	$7.556 \times 10^5$ (注 5)	1(圧縮)	$S_y$	185
f. 緩衝体 (上部) の衝突	$1.910 \times 10^6$	$9.377 \times 10^5$ (注 6)	3(圧縮)	$S_y$	185
f. 緩衝体 (下部) の衝突	$1.615 \times 10^6$	$9.448 \times 10^5$ (注 3)	2(圧縮)	$S_y$	183

(注 1)  $S_y$  : 設計降伏点 (規格値)。検査架台への衝突における  
解析 基準値は、せん断ひずみエネルギー説に基づき  
 $S_y$  の  $1/\sqrt{3}$  とした。検査架台への衝突を除く衝突事象  
の解析基準は  $S_y$  とした。

(注 2) 外筒のせん断断面積

(注 3) 胴底部の圧縮断面積

(注 4) 胴上部の圧縮断面積

(注 5) 胴フランジ (二次蓋部) の圧縮断面積

(注 6) 胴フランジ (三次蓋部) の圧縮断面積

### 7.3.6 使用済燃料集合体の評価

7.2で抽出した想定事象が万一発生した場合でも、使用済燃料集合体に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料集合体の再取出性に問題ないことを評価する。

第7-17表に示すとおり、核燃料輸送物設計承認申請の0.3m落下（一般の試験条件）において使用済燃料集合体に発生する応力は弾性範囲内である。想定事象における衝撃加速度は、0.3m落下における衝撃加速度以下であるため、想定事象において使用済燃料集合体に発生する応力も弾性範囲内となる。なお、使用済燃料集合体は乾式キャスク内部にあつて結合されていないため、a.、b.及びd.の事象では使用済燃料集合体に発生する加速度は乾式キャスクの衝突等の事象によって発生する方向の加速度と同等である。一方、e.及びf.の事象では、衝突時に内部収納物の慣性力が作用しないため、使用済燃料集合体に発生する衝撃加速度は自重のみとなる。

したがって、各想定事象において、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料集合体の再取出性に問題はない。

第 7-17 表 使用済燃料集合体の応力評価結果

項目	想定事象 における 衝撃加速度	0.3m 落下 における 衝撃加速度	0.3m 落下 における 発生応力	解析 基準	解析基準値 (MPa)
a. 検査架台への衝突	3.3g <sup>(注 1)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa	Sy	589 MPa <sup>1)</sup> (ジルコニウム、 215°C)
b. 貯蔵架台への衝突	3.1g <sup>(注 1)</sup>	27.5g (頭部垂直 落下)	105 MPa		
d. 横倒し時の衝突	1.1g <sup>(注 1)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		
e. 二次蓋の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	27.5g (頭部垂直 落下)	105 MPa		
f. 緩衝体(上部)の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		
f. 緩衝体(下部)の衝突	1g <sup>(注 2)</sup>	21.4g (水平落下)	141 MPa		

(注 1) 第 7-8 表に記載する衝撃荷重と第 7-6 表に記載する質量から、  
以下式により算出。

$$\text{衝撃加速度 (g)} = \frac{\text{衝撃荷重 (N)}}{\text{質量 (kg)} \times \text{g}(9.80665\text{m/s}^2)}$$

(注 2) 二次蓋の衝突時及び緩衝体の衝突時には、内部収納物の慣性力が作用しないため、使用済燃料集合体に発生する衝撃加速度は自重とする。



### 7.3.7 各想定事象時の衝撃荷重のばね定数の算出方法について

#### (1) 検査架台への衝突

検査架台への衝突時には、第 7-23 図に示す 2 枚の足場板の梁が圧縮変形するとして検査架台衝突部のばね剛性  $K_1$  は次式<sup>2)</sup>より算出する。

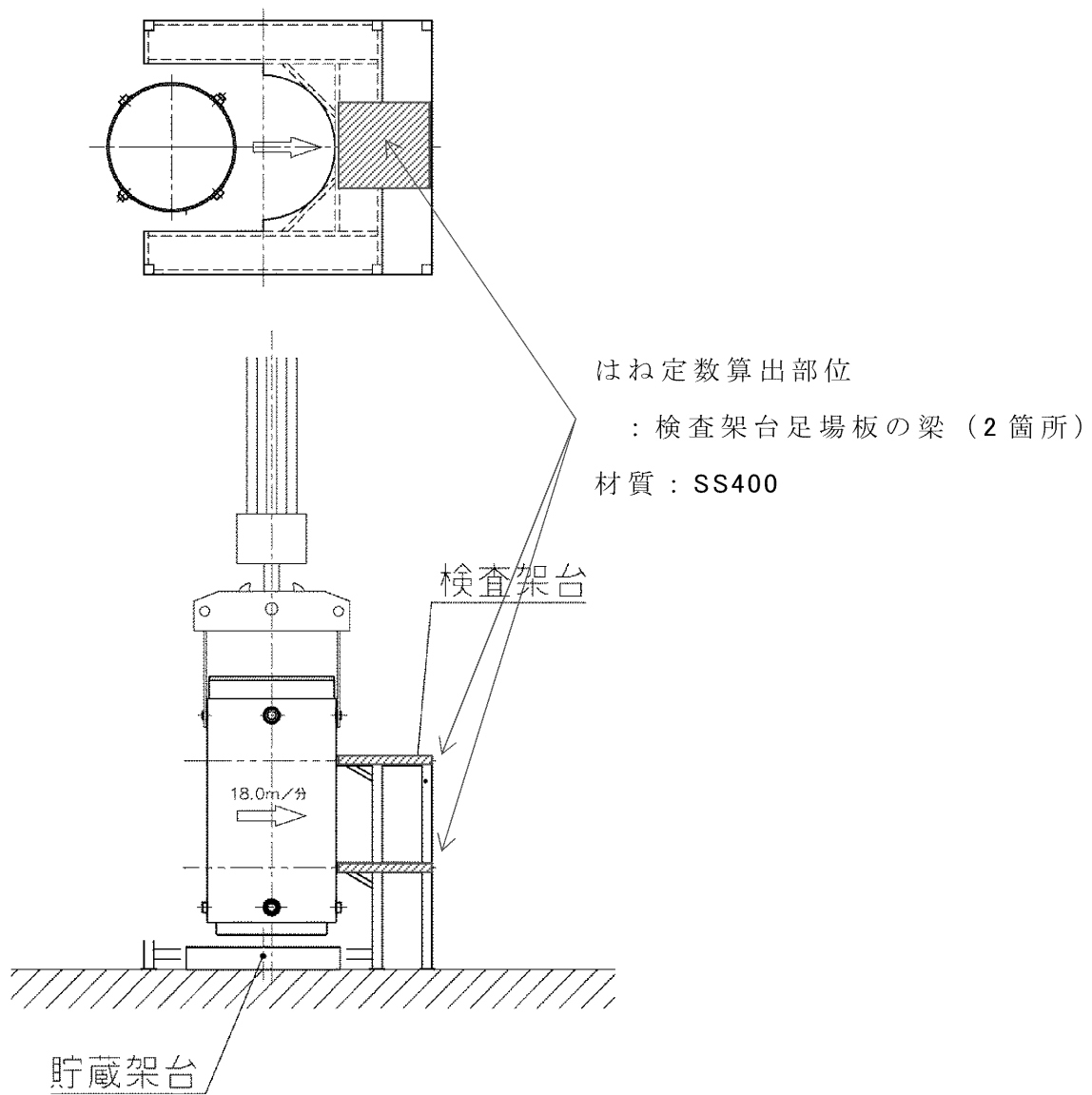
$$K_1 = E_1 A_1 / L_1 \dots\dots\dots (1)$$
$$= 1.410 \times 10^6 \text{ N/mm} \quad (1.410 \times 10^9 \text{ N/m})$$

ここで、

$E_1$  : 梁の縦弾性係数 = 202000 MPa

$A_1$  : 梁の断面積 = 11400 mm<sup>2</sup> (※1)

$L_1$  : 梁の全長 = 1640 mm



第 7-23 図 検査架台への衝突時のばね定数の算出モデル

(※1) 梁の断面積(A<sub>1</sub>) 設計根拠

衝突範囲内にある Lアングルの断面積と個数より算出する。

Lアングル(100×100) 断面積

$$A = 19\text{cm}^2$$

[ JIS G 3192 ]

衝突範囲内の Lアングル個数

$$N = 3 \text{ 個/段} \times 2 \text{ 段} = 6 \text{ 個}$$

[ 下図参照 ]

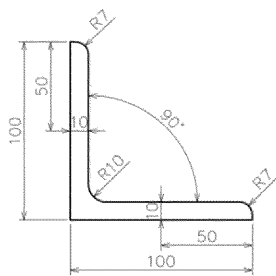
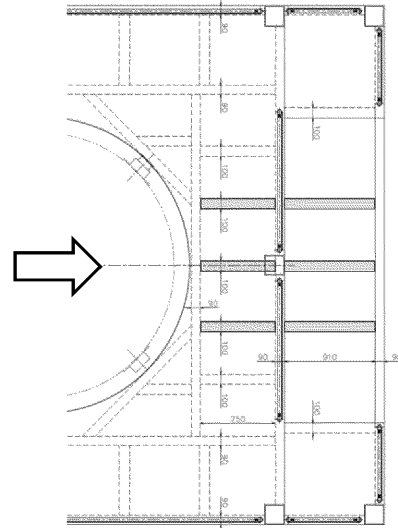
梁の断面積

$$A_1 = A \times N$$

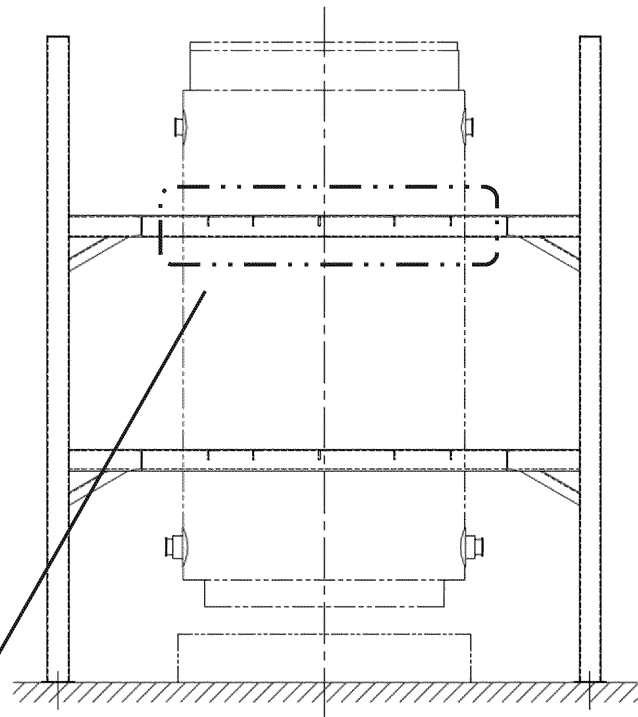
$$= 19 \times 6$$

$$= 114 \text{ cm}^2$$

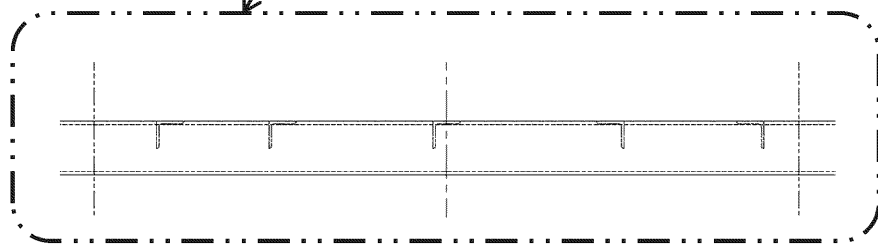
$$= 11,400 \text{ mm}^2$$



Lアングル詳細寸法



矢視

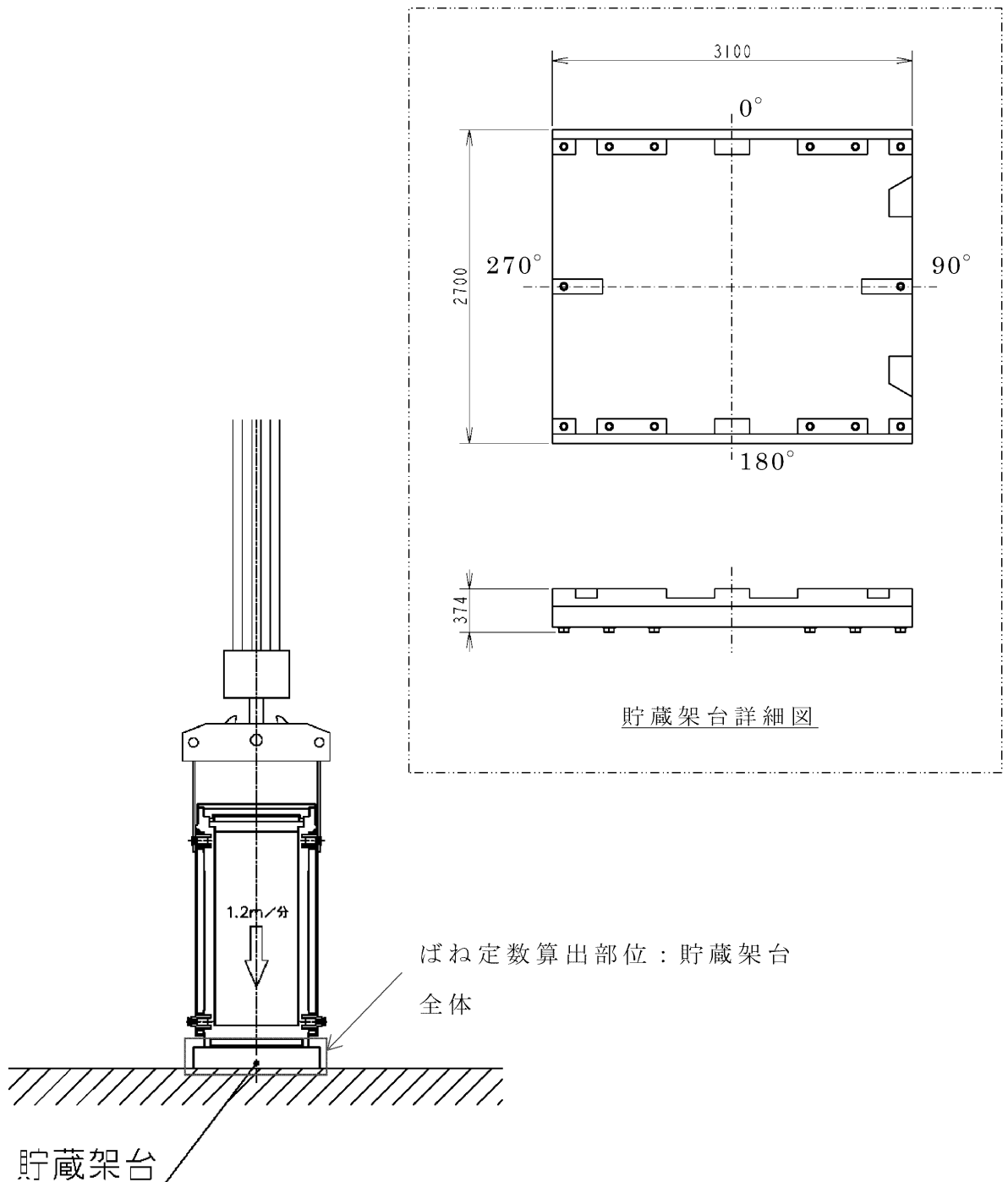


詳細図

(2) 貯蔵架台への衝突

貯蔵架台への衝突時には、第 7-24 図に示す貯蔵架台が圧縮及び曲げ変形するとして貯蔵架台のばね剛性  $K_2$  は FEM により貯蔵架台形状をモデル化し算出する。

$$K_2 = 1.016 \times 10^{11} \text{ N/m} \dots \dots \dots (2) \quad 0^\circ$$



第 7-24 図 貯蔵架台への衝突時のばね定数の算出モデル

(3) 横倒し時の衝突

横倒し時の衝突時には、第 7-25 図に示すたて起こし架台の胴受け部が圧縮変形するとして輸送架台衝突部のばね剛性 $K_3$ は次式<sup>2)</sup>より算出する。

$$K_3 = E_3 A_3 / L_3 \dots\dots\dots (3)$$

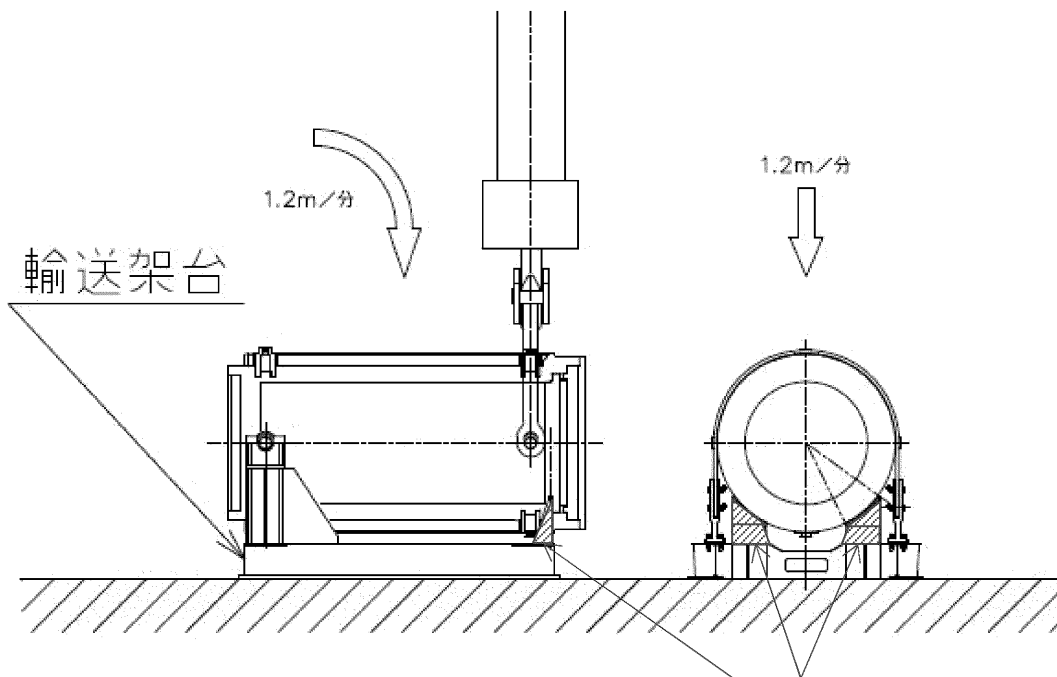
$$= 3.620 \times 10^7 \text{ N/mm} \quad (3.620 \times 10^{10} \text{ N/m})$$

ここで、

$E_3$  : たて起こし架台の縦弾性係数 = 202000 MPa

$A_3$  : たて起こし架台の胴受け部の断面積 = 56924 mm<sup>2</sup>  
(※2)

$L_3$  : たて起こし架台の胴受け部の代表全長 = 318 mm



ばね定数算出部位  
: たて起こし架台の胴受け部  
材質 : SHY685

第 7-25 図 横倒し時の衝突時のばね定数の算出モデル

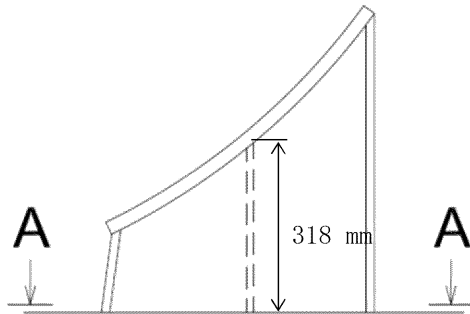
(※2) たて起こし架台の胴受け部の断面積(A<sub>3</sub>) 設計根拠

右の簡易断面図より胴受け部の断面積を算出する。

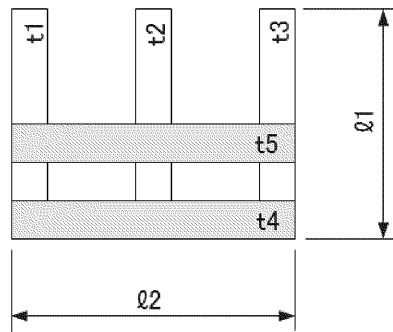
\*\*\*\*\*

$$\begin{aligned}
 A_3 &= [ \{ (t_1+t_2+t_3) \times (\ell_1 - (t_4+t_5)) \} + \{ (t_4+t_5) \times \ell_2 \} ] \times 2 \\
 &= [ \{ (12+12+12) \times (285 - (19+19)) \} + \{ (19+19) \times 515 \} ] \times 2 \\
 &= 28,462 \times 2 \\
 &= 56,924 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

t1=12  
t2=12  
t3=12  
t4=19  
t5=19  
ℓ1=285  
ℓ2=515



たて起こし架台胴受け部正面図

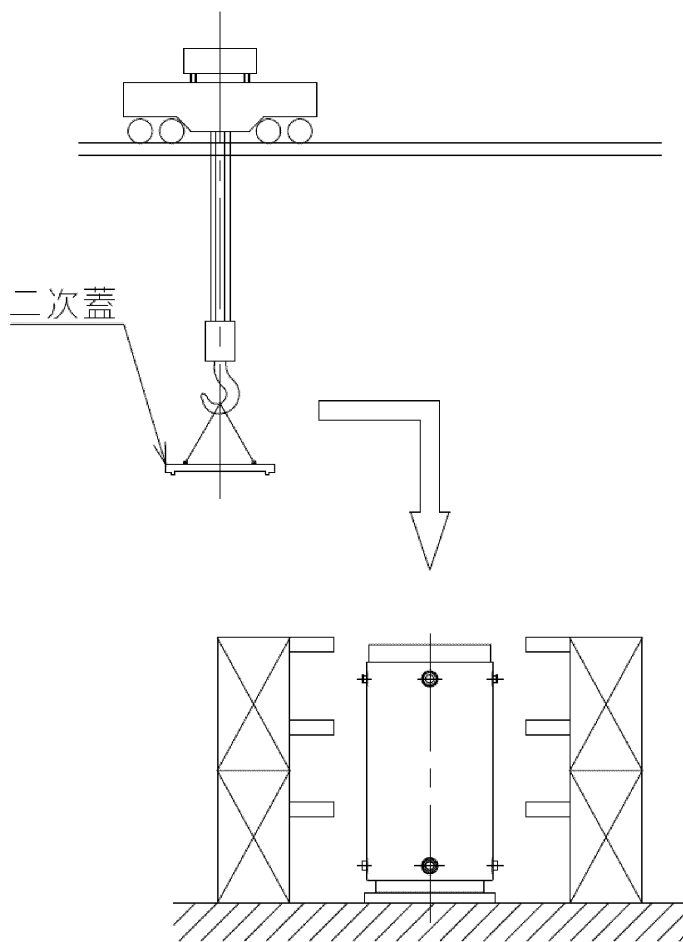


簡易断面図 (AA 断面)

(4) 二次蓋の衝突

二次蓋の衝突時には、第 7-26 図に示すように乾式キャスク底面を基準として、乾式キャスク全体が圧縮変形するとして FEM により乾式キャスク形状をモデル化し、二次蓋の衝突時のばね剛性  $K_4$  を算出する。

$$K_4 = 6.692 \times 10^{10} \text{ N/m} \dots\dots\dots (4)$$



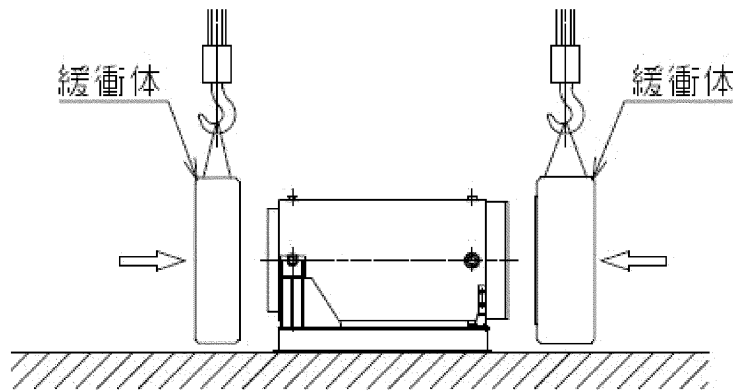
第 7-26 図 二次蓋衝突時のばね定数の算出モデル

(5) 緩衝体の衝突

上部緩衝体及び下部緩衝体の衝突時には、第 7-27 図に示すように下部トラニオンを支点として、下部トラニオン接続部が曲げ変形及び乾式キャスク全体が圧縮変形するとして FEM により下部トラニオンを含む乾式キャスク形状をモデル化し、上部緩衝体及び下部緩衝体の衝突時のばね剛性  $K_5$  及び  $K_6$  をそれぞれ算出する。

$$K_5 = 4.646 \times 10^9 \text{ N/m} \dots\dots\dots (5)$$

$$K_6 = 4.643 \times 10^9 \text{ N/m} \dots\dots\dots (6)$$



第 7-27 図 緩衝体衝突時のばね定数の算出モデル



#### 7.3.8 まとめ

以上のことから、想定事象について評価した結果、評価対象部位に発生する応力は、解析基準値より十分低く、安全機能を維持できる。したがって、一次蓋及び二次蓋が弾性範囲内にとどまること、使用済燃料集合体に過度な変形が生じず、燃料ペレットが燃料被覆管から脱落しないことから、使用済燃料の再取出性に問題はない。

#### 7.4 参考資料

- 1) “Proving Test on the Reliability of PWR 15×15 Fuel Assemblies Through Three Reactor Cycles in Japan”、Proceeding of the International Topical Meeting on LWR Fuel Performance April 17-20、(1988).
- 2) (株)培風館、材料力学の基礎、(1991).

## 8. 使用済燃料乾式貯蔵容器蓋間圧力等の監視について

### 8.1 設置許可基準規則要求事項および原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

#### (1) 設置許可基準規則要求事項

使用済燃料乾式貯蔵容器に関する要求事項は、以下のとおりである。

##### ① 設置許可基準規則第16条第4項第三号

- ・使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする。

##### ② 設置許可基準規則解釈別記4第16条第3項

- ・第16条第4項第2号に規定する「崩壊熱を適切に除去することができる」とは、第5項に規定するもののほか、貯蔵事業許可基準規則解釈第6条並びに第17条第1項第2号（貯蔵建屋を設置する場合に限る。）及び第3号に規定する金属キャスクの設計に関する基準を満たすことをいう。
- ・貯蔵事業許可基準規則解釈第17条第1項第2号
  - ・貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。

#### (2) 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド確認事項

使用済燃料乾式貯蔵容器に関する要求事項は、以下のとおりである。

「2. 安全機能の確保 2.4 閉じ込め機能」には以下のように記載されている。

**【審査における確認事項】**

『

- (1) 設計上想定される状態において、兼用キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができること。

』

**【確認内容】**

『

- (1) 長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力（以下「蓋間圧力」という。）を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。

』

また、「4. 自然現象等に対する兼用キャスクの設計 4.4 監視機能」には以下のように記載されている。

**【審査における確認事項】**

『

蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。

』

**【確認内容】**

『

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量

- の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

』

(3) 要求事項および確認事項の整理

監視項目	基準規則等における 要求事項	審査ガイドにおける 確認事項	審査ガイドにおける確認内容
蓋間圧力	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができ、かつ、その機能を適切に監視することができるものとする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計上想定される状態において、兼用キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができること。</li> <li>蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期間にわたって閉じ込め機能を維持する観点から、耐熱性、耐食性等を有し耐久性の高い金属ガスケット等のシールを採用するとともに、蓋部を一次蓋と二次蓋の二重とし、一次蓋と二次蓋との間の圧力(以下「蓋間圧力」という。)を監視することにより、蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること。</li> <li>蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。</li> </ul>
兼用キャスク表面温度	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓋間圧力及び兼用キャスク表面温度について、適切な頻度での監視をすること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。</li> </ul>
貯蔵建屋内の雰囲気温度	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。</li> </ul>	—	—

## 8.2 適合性について

### (1) 審査ガイド

審査ガイドでは、設置（変更）許可に係る審査において、兼用キャスクの有する4つの安全機能（臨界防止機能、遮蔽機能、除熱機能及び閉じ込め機能）に係る設計の基本方針の妥当性を確認することが定められており、乾式キャスクの監視機能については、以下のとおり審査ガイドの確認内容に適合している。

#### [確認内容]

- (1) 蓋間圧力を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できる頻度をいう。頻度の設定に当たっては、設計貯蔵期間中の兼用キャスク発熱量の低下、周囲環境の温度変化及び蓋間圧力の変化を考慮する。
- (2) 兼用キャスク表面温度を適切な頻度で監視すること。ここで、適切な頻度とは、除熱機能が低下しても、兼用キャスクや燃料被覆管が健全であるうちに異常を検知できる頻度をいう。

玄海原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設に貯蔵する乾式キャスク（タイプ1：MSF-21P及びタイプ2：MSF-24P）の一次蓋および二次蓋間の圧力（以下、「蓋間圧力」という。）および乾式キャスク表面温度について、適切な頻度で監視する。詳細は、8.2.1および8.2.2参照。

### (2) 設置許可基準規則等

設置許可基準規則解釈別記4第16条第3項で規定される貯蔵建屋内の雰囲気温度の監視については、以下のとおり要求事項に適合している。

[要求事項]

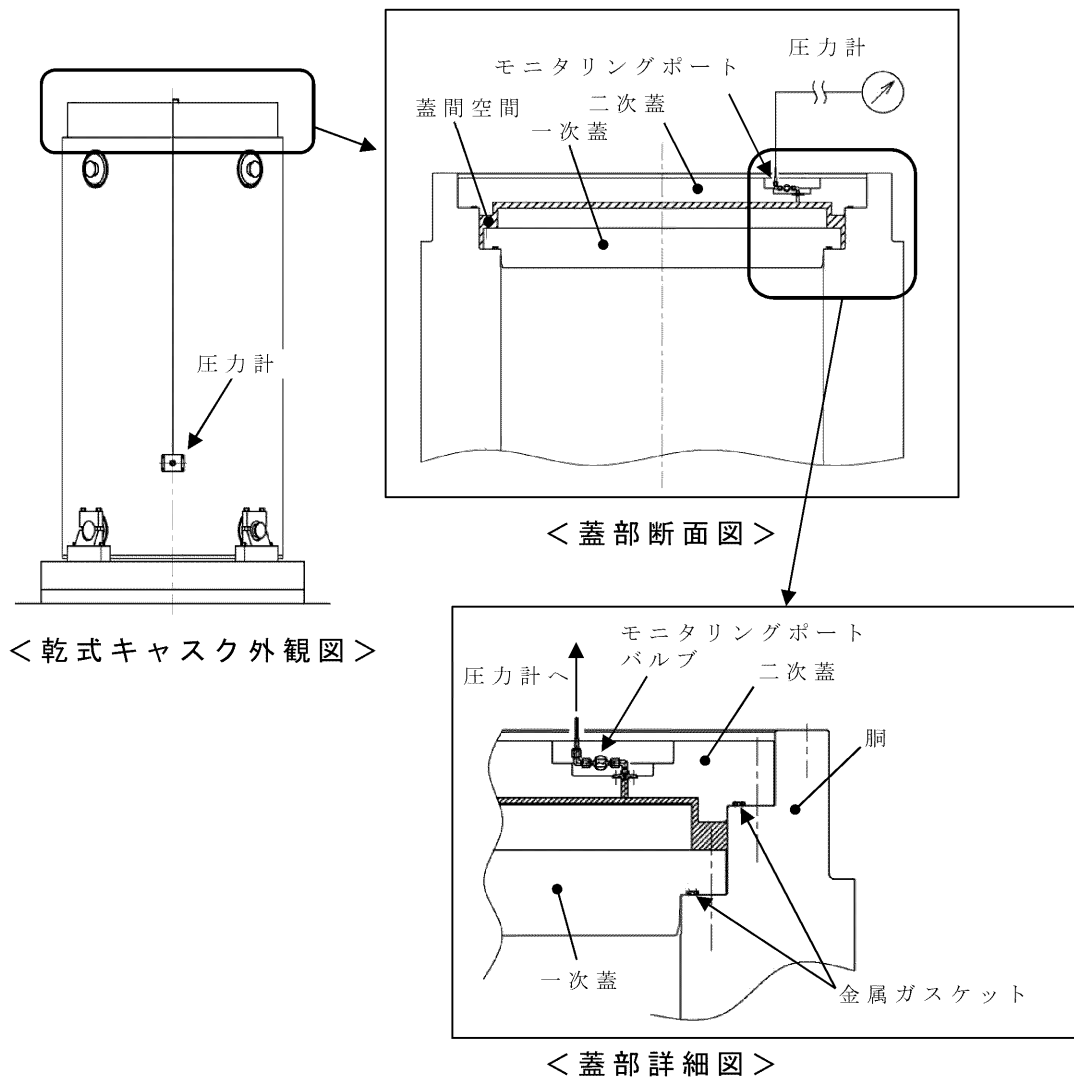
貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できること。

貯蔵建屋内に温度計を設置し、雰囲気温度を監視することで、雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視できる設計とする。詳細は、8.2.3 参照。

## 8.2.1 乾式キャスク蓋間圧力

### (1) 監視方法

乾式キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができていることを監視するために、乾式キャスクの蓋間圧力を監視する。蓋間圧力は、第 8-1 図に示すとおり、乾式キャスクの二次蓋に貫通部を設け、蓋間空間の圧力を圧力計により監視できる設計とする。



第 8-1 図. 乾式キャスク蓋間圧力の監視方法 (イメージ図)

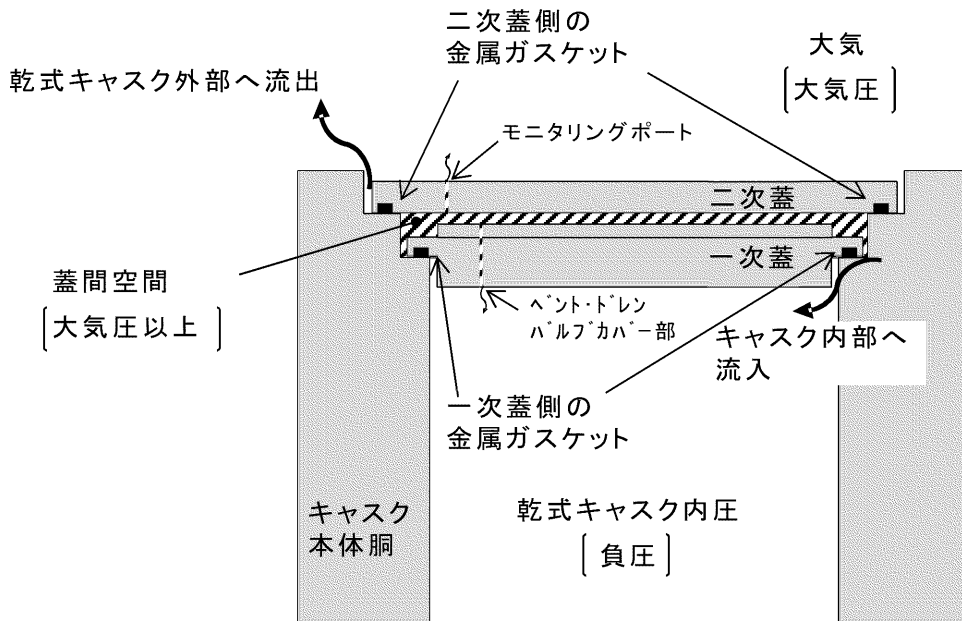


ここで、第 8-2 図に示すように、一次蓋側の金属ガスケットから漏えいが生じた場合は、蓋間のヘリウムガスが乾式キャスク内部に流入し、蓋間圧力は低下するとともに、乾式キャスク内部の圧力（乾式キャスク内圧）は次第に上昇し、大気圧以下で均圧する。

また、二次蓋側の金属ガスケットから漏えいが生じた場合は、蓋間のヘリウムガスが外部へ流出するとともに、蓋間圧力は次第に低下し、大気圧となる。

よって、一次蓋側、二次蓋側の金属ガスケットからの漏えいによらず、蓋間圧力が大気圧以上の間は、蓋間空間からヘリウムガスがアウトリークする。

以上より、乾式キャスクの蓋間圧力が大気圧以上であることを監視することで、乾式キャスクが内包する放射性物質を適切に閉じ込めることができていることを監視できる。



第 8-2 図 乾式キャスク蓋間空間からの漏えい（イメージ）

## （２）監視頻度

基準規則及び審査ガイドの要求事項を踏まえ、審査ガイドに定められている「密封シール部の異常」及び「適切な頻度」を

以下のとおり定義する。

- ・ 密封シール部の異常：乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること。
- ・ 適切な頻度：閉じ込め機能が低下しても、FP ガス等の放出に至る前（蓋間圧力が大気圧になる前）に、密封シール部の異常（乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ること）を検知できる頻度のこと。

蓋間圧力の監視頻度を定めるため、次のとおり保守的に閉じ込め機能の低下を想定する。（蓋間圧力が最も早く低下する想定とする。）

- ① 金属ガスケットの漏えい率を基準漏えい率<sup>※1</sup>とする。
- ② 乾式キャスクの蓋間空間のヘリウムガスが、一次蓋側（キャスク内部）<sup>※2</sup>および二次蓋側（キャスク外部）<sup>※3</sup>の二方向から漏えいする。
- ③ 想定される全ての発熱量条件での圧力変動幅を包絡するよう、蓋間圧力は崩壊熱量を考慮する場合<sup>※4</sup>と崩壊熱量を考慮しない場合（崩壊熱量 0 kW の場合）を想定する。
- ④ 貯蔵開始後は、周囲環境温度が  $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  の範囲で変動すると想定する。
- ⑤ 圧力計の計器誤差を  $\pm 1.6\%$  とする。

※ 1 貯蔵中の金属ガスケットからの漏えい率は別添 5.1「使用済燃料乾式貯蔵容器の4つの安全機能について（閉じ込め機能）」に記載のとおり、 $1.0 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  以下となる。監視頻度の評価においては、蓋間圧力の低下量を保守的に評価するため、一次蓋側に加え、二次蓋側の漏えい率に対しても基準漏えい率を適用する。

※ 2 一次蓋端部、ドレンバルブカバー部、ベントバルブカバー部を考慮

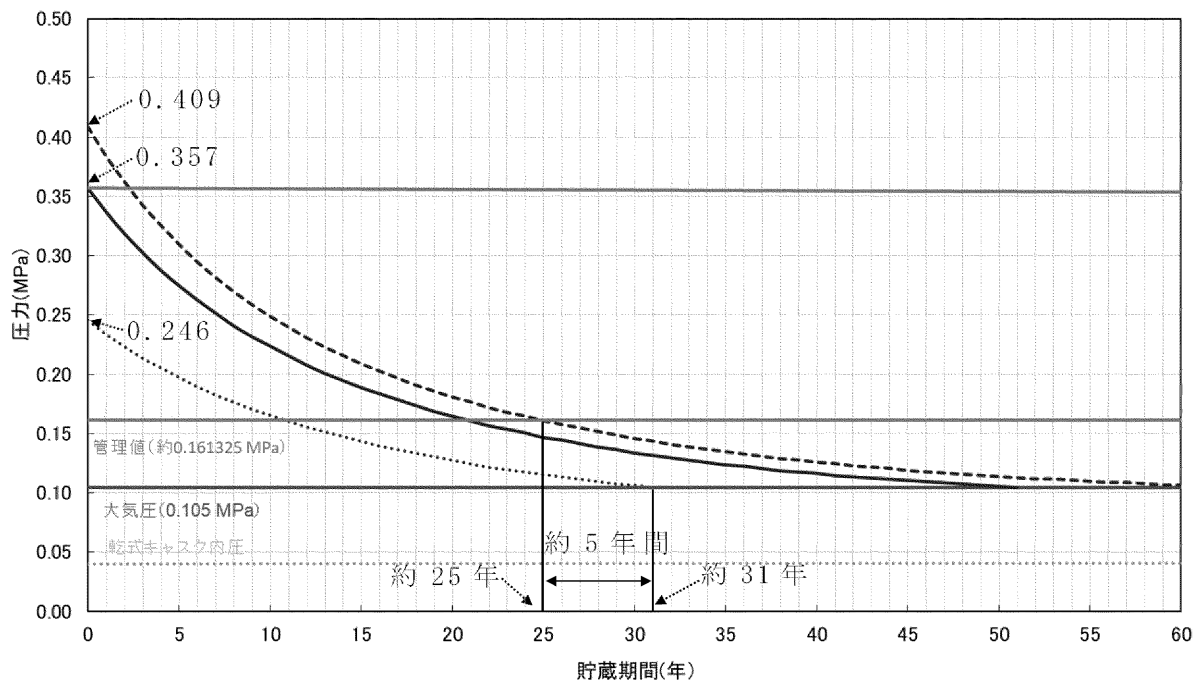
※ 3 二次蓋端部、モニタリングポート部（2箇所）を考慮

※ 4 MSF-24P 型キャスクの収納制限最大の発熱量となる場合

上記想定での設計貯蔵期間（60年）中の蓋間圧力の経時変化を第8-3図に示す。

ここで、以下の理由から設計貯蔵期間中において、金属ガスケットの漏えい率は、基準漏えい率を上回ることはない。

- 乾式キャスクは、設計貯蔵期間中（60年間）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持するため、乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。
- 乾式キャスクは輸送時の落下事象に耐える堅牢性を有しており、設計貯蔵期間中に想定される基準地震動  $S_s$  に対しても安全機能を維持できることから、乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。
- 乾式キャスクを頑健な建屋内に貯蔵し、外郭防護することで、貯蔵中に想定される外部事象に対しても乾式キャスクの閉じ込め機能を担保している金属ガスケットの漏えい率に影響を与えない。



凡例	圧力条件
——	蓋間圧力(周囲環境温度25℃、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
----	蓋間圧力(周囲環境温度50℃、崩壊熱量考慮、計器誤差あり、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
.....	蓋間圧力(周囲環境温度-6℃、崩壊熱量考慮しない、計器誤差あり、ヘリウム充填時の温度影響考慮)
——	金属ガスケットの設計漏えい率による現実的な評価(周囲環境温度25℃、崩壊熱量考慮、計器誤差なし)
——	管理値(約0.161MPa)
——	大気圧(0.105MPa)
.....	乾式キャスク内圧(周囲環境温度-6℃、崩壊熱量考慮しない)

第 8-3 図 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化（二方向からの漏えいを考慮）

第 8-3 図に示すとおり、周囲環境の温度変化（ $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）による圧力変動を考慮すると、周囲環境が  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  で崩壊熱量を考慮しない場合（崩壊熱量  $0\text{ kW}$  の場合）に最も蓋間圧力は低くなり、蓋間圧力は貯蔵開始から約 31 年後に大気圧（ $0.105\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）に到達する。ここで、蓋間圧力は、管理値（約  $0.161\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）を設定し、管理値に到達した場合は、ヘリウムガスを充填することとするため、管理値に最も遅く到達した場合（約 25 年）でも大気圧に至るまでは、約 5 年間時間がかかる。

よって、第 8-3 図に示すとおり、管理値（約  $0.161\text{ MPa}\cdot\text{abs}$ ）

を定め、1年に1回の圧力監視を行うことで、乾式キャスクが内包する放射性物質が乾式キャスク外部に放出される前に密封シール部の異常を検知することができる。これを踏まえて、3ヶ月に1回の頻度で圧力監視を行う。

### (3) 監視頻度の妥当性

#### a. 実機大スケール落下試験からの考察

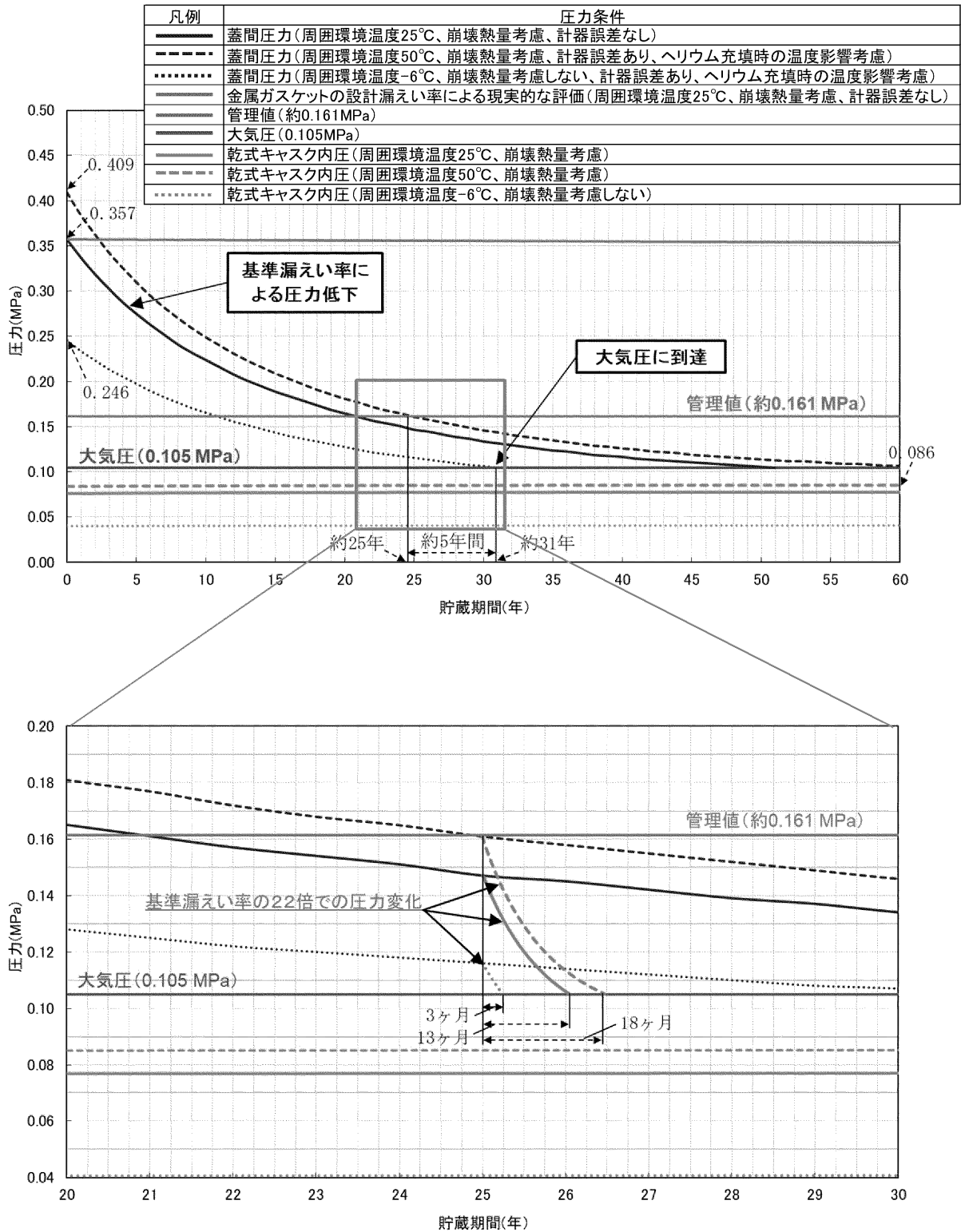
第8-3図のように、基準漏えい率で2方向の漏えいを想定した後、管理値到達後に急に基準漏えい率の22倍 ( $2.49 \times 10^{-6} \times 22 = 5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) で2方向に漏えい量が増加する場合を想定すると、以下のとおりとなる。(第8-4図参照)

- ・周囲温度 $-6^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      3ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度 $+25^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      13ヶ月で大気圧に到達
- ・周囲温度 $+50^{\circ}\text{C}$ の場合：約22倍の漏洩率      18ヶ月で大気圧に到達

以下の実機大スケール落下試験を踏まえても、基準漏えい率の22倍 ( $5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) に至ることはなく、3ヶ月に1回の監視頻度は妥当である。

- ・別途申請中の核燃料輸送物設計承認申請(以下、「設計承認」という)で説明している実規模相当での9.3m傾斜落下試験による衝撃力(約 $4.8 \times 10^7 \text{ N}$ )を受けても、第8-1表及び第8-2表に示すとおり、試験後の漏えい率は最大でも $1.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ である。

なお、乾式キャスクは頑健な建屋内に収納され、建屋は外部からの衝撃に対して損傷の防止が図られ、損壊しない設計とするため、竜巻飛来物の衝突により蓋間圧力が低下する事象は想定し得ない。



第 8-4 図 基準漏えい率の 22 倍で漏えいした場合の蓋間圧力変化

第 8-1 表 落下試験ケース及び条件

試験 No.	試験条件	特記事項
Seq. 1	9.3m 傾斜落下 (180° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜角度は、二次衝突速度が最大となる 10° に設定</li> <li>0.3m 落下と 9m 落下の積み重ねと比較し、衝突速度の観点でより厳しい条件である 9.3m 落下を選定</li> </ul>
Seq. 2	1m 水平貫通 (180° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前評価により、二次蓋の蓋ずれが最も大きくなると考えられる貫通位置として、二次蓋側面中央を貫通位置に設定</li> </ul>
Seq. 3	9.3m 頭部垂直落下	<ul style="list-style-type: none"> <li>0.3m 落下と 9m 落下の積み重ねと比較し、衝突速度の観点でより厳しい条件である 9.3m 落下を選定</li> </ul>
Seq. 4	0.3m 傾斜落下 (270° 下向き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>傾斜角度は、二次衝突速度が最大となる 10° に設定</li> <li>9.3m 落下との比較のために、0.3m 落下と 9m 落下を個別に実施</li> </ul>
	9m 傾斜落下 (270° 下向き)	

第 8-2 表 傾斜落下試験前後の漏えい率

試験 No.	部位	落下試験前 (Pa m <sup>3</sup> /s)	落下試験後 (Pa m <sup>3</sup> /s)
Seq. 4-1 (0.3m)	一次蓋	2.5 × 10 <sup>-11</sup>	1.0 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	1.5 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
Seq. 4-2 (9m)	一次蓋	1.0 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	< 1 × 10 <sup>-11</sup>	3.0 × 10 <sup>-7</sup>
Seq. 1 (9.3m)	一次蓋	< 1 × 10 <sup>-11</sup>	< 1 × 10 <sup>-11</sup>
	二次蓋	7.4 × 10 <sup>-9</sup>	<u>1.6 × 10<sup>-6</sup></u>

b. 海外事例及び文献を踏まえた考察

以下の海外事例及び文献を踏まえても、基準漏えい率の 22 倍に至ることはなく、3 ヶ月に 1 回の監視頻度は妥当である。

- ・サリー発電所における密封異常（アメリカ）<sup>1)</sup>

乾式キャスク蓋部の防護カバーを貫通している電気ケーブル周囲の金属シール部分から雨水が防護カバー内に入り、蓋部の金属ガスケット\*の外側が腐食したことにより、金属ガスケットの外側がリークしたもの。なお、金属ガスケットの内側にはリークはなかった。

※：当該乾式キャスクは一次蓋のみで構成されており、圧力監視境界に接する金属ガスケット（金属ガスケットの二次側）は大気と接している。

一方、玄海原子力発電所では、乾式キャスクを乾式貯蔵建屋内に設置すること、また、圧力監視境界に接する金属ガスケット（一次蓋ガスケットの二次側と二次蓋ガスケットの一次側）は、ヘリウム雰囲気であるため、同様の事象は起こらない。また、2.6項に記載しているとおおり、大気と触れる二次蓋金属ガスケットの外側については、設計貯蔵期間中を通じて閉じ込め機能を維持できることを確認している。

- ・航空機エンジンの衝突における評価（電力中央研究所）<sup>2)</sup>

本評価では、玄海原子力発電所と同様に、二重の蓋をそれぞれ金属ガスケットでシールする構造の乾式キャスクに対して、航空機エンジンを衝突させた際の漏えい率を評価しているものである。

評価の結果、航空機衝突後の金属ガスケットからの漏えい率は、 $3.5 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$  であり、基準漏えい率の22倍 ( $5.71 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) には至っていない。

- ・乾式キャスク落下時の漏えい評価（電力中央研究所）<sup>3)</sup>

本評価では、玄海原子力発電所と同様に、二重の蓋をそれぞれ金属ガスケットでシールする構造の乾式キャスクをコンク



リート床面に落下、及び下部トラニオンを中心に蓋部を回転衝突させた際の漏えい率を評価しているものである。

評価の結果、金属ガスケットからの漏えい率は、一次蓋で  $3.9 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ 、二次蓋で  $8.4 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$  であり、基準漏えい率 ( $2.49 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ) には至っていない。

c. 敷地境界線量への影響

仮に乾式キャスクに装荷されている使用済燃料集合体燃料被覆管が設計承認の評価条件である 0.1%破損し、閉じ込め機能の喪失に伴い内包する放射性物質が瞬時に全量漏洩したと想定した場合においても、敷地境界線量への影響は事象当たり  $1 \mu \text{ Sv}$  未満であり、審査ガイドに要求される通常貯蔵時の線量限度 ( $1 \text{ mSv/y}$ ) に影響はない。

以上のことから、仮に、基準漏えい率の 22 倍の漏えいを 2 方向想定しても、3 ヶ月に 1 回の頻度で監視することで、蓋間圧力が大気圧に至る前に密封シール部の異常（乾式キャスクの蓋間圧力が管理値を下回ることを）を検知できるため、管理値を定めたうえで、3 ヶ月に 1 回の頻度で監視する（蓋間圧力を測定する）ことは適切であると考えられる。

(4) 著しい漏えい率の増加を考慮した監視頻度の妥当性

基準規則及び審査ガイドの要求事項を踏まえ、審査ガイドに定められている「密封シール部の異常」及び「適切な頻度」を以下のとおり定義する。

a. 監視頻度の評価条件

以下のとおり、監視頻度の妥当性を確認した。

① 金属ガスケットの漏えい率は、設計漏えい率程度で推移する

と想定しているが、保守的に、基準漏えい率の 1000 倍の漏えい率<sup>\*1</sup> ( $(2.49 \times 10^{-6} \times 1000 = 2.49 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s})$ ) を設定する。

\*1：文献（航空機衝突試験、キャスク転倒試験、9 m 落下試験）を基に設定。（表 1 参照）

②乾式キャスクの蓋間空間のヘリウムガスが、一次蓋側（キャスク内部）および二次蓋側（キャスク外部）の二方向から漏えいする。

③想定される全ての発熱量条件での圧力変動幅を包絡するよう、蓋間圧力は崩壊熱量を考慮する場合\*2と崩壊熱量を考慮しない場合（崩壊熱量 0 kW の場合）を想定する。

④貯蔵開始後は、周囲環境温度が $-6 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動すると想定する。

⑤圧力計の計器誤差を $\pm 1.6\%$ とする。

\*2：MSF-24P 型キャスクの収納制限最大の発熱量となる場合

#### b. 監視頻度の評価結果

図 1 及び図 2 に示すように、仮に、貯蔵開始直後に、基準漏えい率の 1000 倍の漏えいが 2 方向で生じた場合、蓋間圧力は急激に低下し、最早で約 9 日経過後に大気圧に到達する可能性がある。また、蓋間圧力が大気圧に到達した後は、蓋間空間内のガスは乾式キャスク内部へ大気圧一定条件下で 1 方向に漏えいする。（乾式キャスク外（大気圧）→蓋間空間（大気圧）→乾式キャスク内部、の方向で 1 方向に漏えいする。）

一方、乾式キャスク内部は蓋間空間と比べて容積が大きいいため、乾式キャスク内部は大気圧に到達するまでに比較的時間を要する。具体的には、乾式キャスク内部は、基準漏えい率の 1000 倍の漏えいが生じた場合、約 4 年間が経過しても、乾式キャスク内部は大気圧（大気圧の気象変動を考慮した下限値である

0.097MPa) に到達することはない、大気圧に到達しない。

従って、蓋間空間が大気圧で一定となっている一方で、乾式キャスク内部は、約4年間は乾式キャスク内部が負圧に維持されているため、約4年間はFPガスが外部へ放出されることはない。

以上のことから、監視頻度の設定にあたって、設計貯蔵期間中の乾式キャスクの発熱量の低下、周囲環境の温度変化、蓋間圧力の変化に加え、基準漏えい率の1000倍の漏えい率を考慮しても、3カ月に1回の頻度で監視することにより、閉じ込め機能が低下してもFPガス等の放出に至る前に、密封シール部の異常を検知できるため、監視頻度を3カ月に1回と設定することは適切である。

表1 各種試験前後の漏えい率

試験	部位	漏えい率 (測定値): Pa・m <sup>3</sup> /s		増加率	
		試験前	試験後		
キャスク転倒試験 (トラニオンを回転中心とする回転高さ1mでの蓋部衝突試験)	一次蓋	$3.7 \times 10^{-12}$	$3.9 \times 10^{-9}$	1000	
	二次蓋	$1.2 \times 10^{-12}$	$8.4 \times 10^{-9}$	1000	
航空機衝突試験 (縦置き状態のキャスク蓋部周辺への航空機エンジンの衝突試験)	一次蓋	$8.2 \times 10^{-11}$	$4.0 \times 10^{-6}$	100000	
9m落下試験 (MSF型キャスクのプロトタイプを用いた輸送荷姿(緩衝体付き)での落下試験※)	0.3m 傾斜落下	一次蓋	$2.5 \times 10^{-11}$	$1.0 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$1.5 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
	9m 傾斜落下	一次蓋	$1.0 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	$3.0 \times 10^{-7}$	10000
	9.3m 傾斜落下	一次蓋	$< 1 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	1
		二次蓋	$7.4 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-6}$	1000

以上の知見を踏まえ、監視頻度の設定における金属ガスケットの漏えい率として、基準漏えい率の 1000 倍の漏えい率を設定。  
 ※ 金属ガスケットを用いた二重の蓋構造であり、三次蓋（ゴムリング）を設けない構造

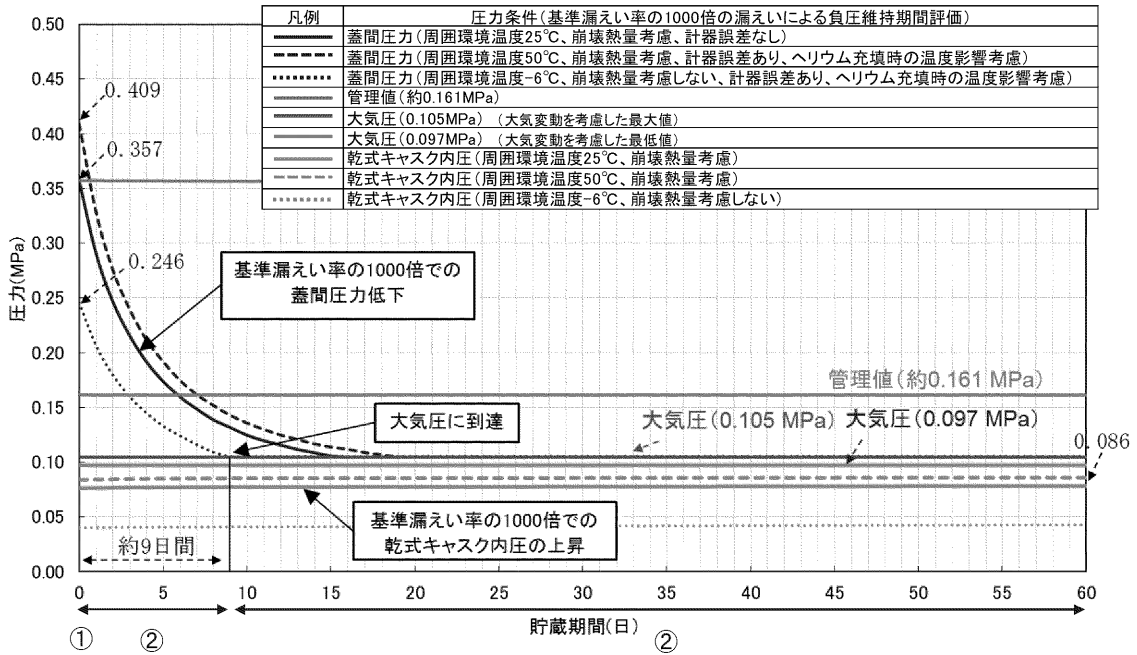


図1 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化(1/2)

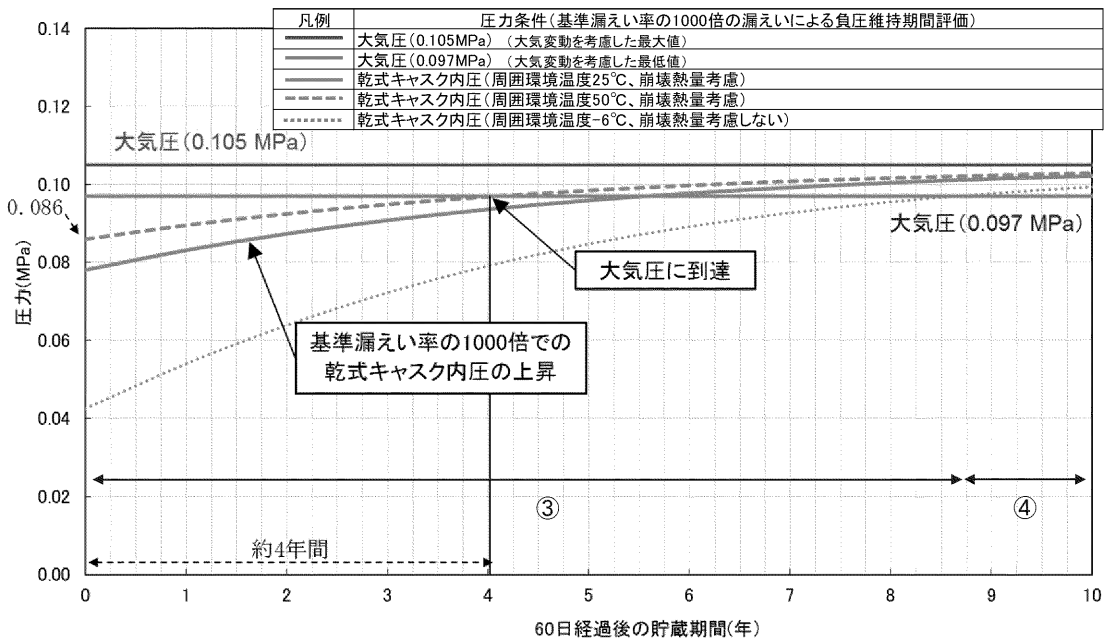


図1 貯蔵期間中における蓋間圧力等の経時変化(拡大図)(2/2)

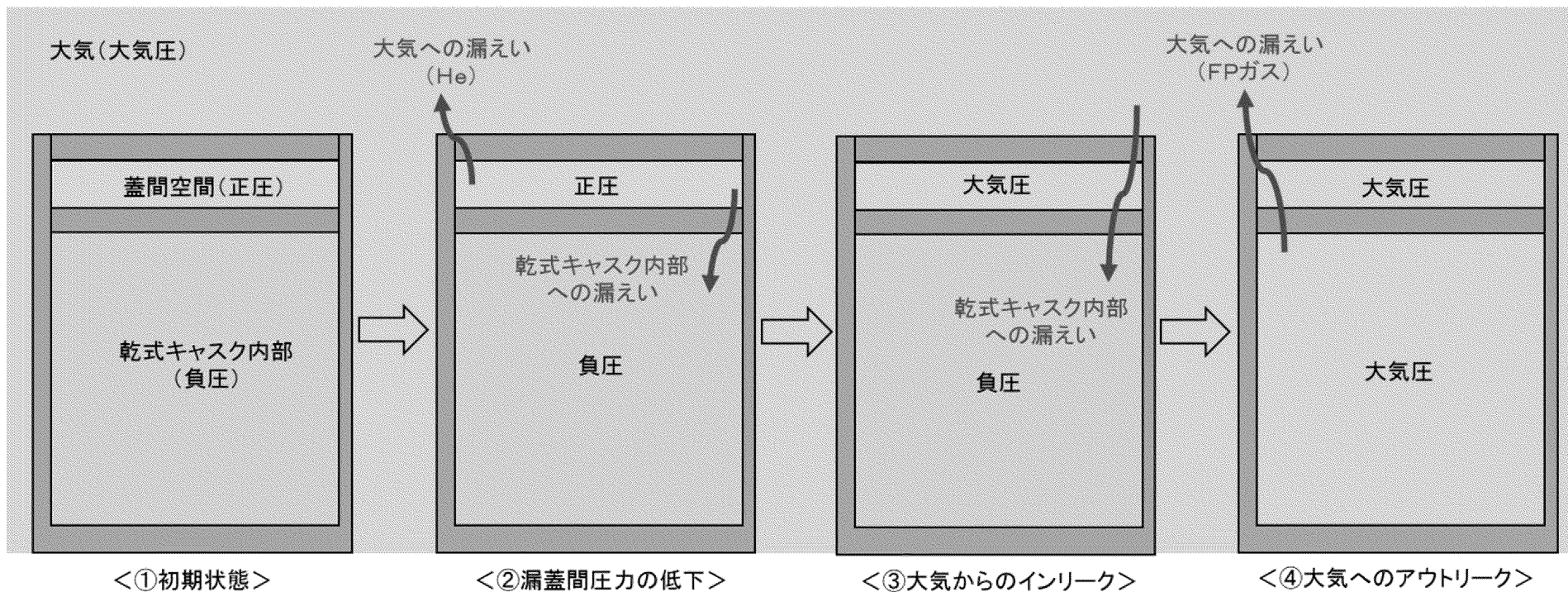


図2 漏えいのイメージ

## 8.2.2 乾式キャスク表面温度

### (1) 監視方法

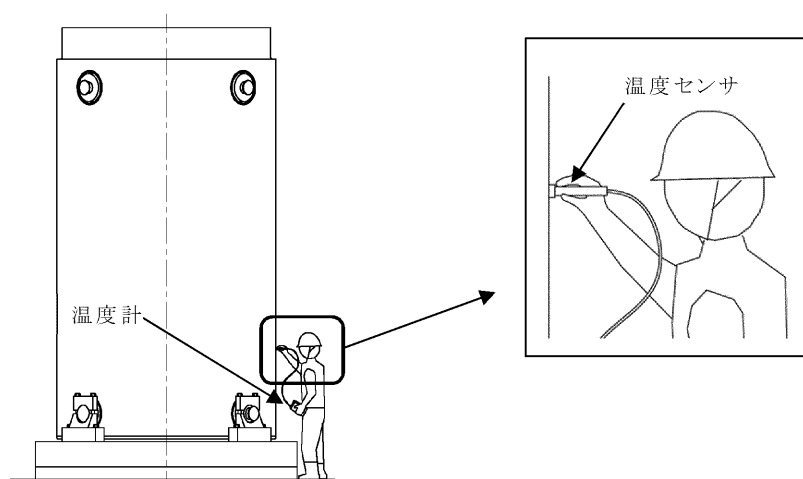
乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることを監視するために、乾式キャスクの表面温度を監視する。

乾式キャスクの表面温度は、第 8-5 図に示すとおり、温度センサを乾式キャスク外筒の外表面に接触させ、外筒外表面の温度を温度計により監視できる設計とする。

ここで、別添 4「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」における乾式キャスクの除熱解析に示すとおり、外筒外表面の温度が設計温度※以下であれば、乾式キャスクおよび燃料被覆管が健全であることが確認できる。

以上より乾式キャスク表面温度が設計温度※以下であることを監視することで、乾式キャスクおよび燃料被覆管が健全であり、乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることが監視できる。

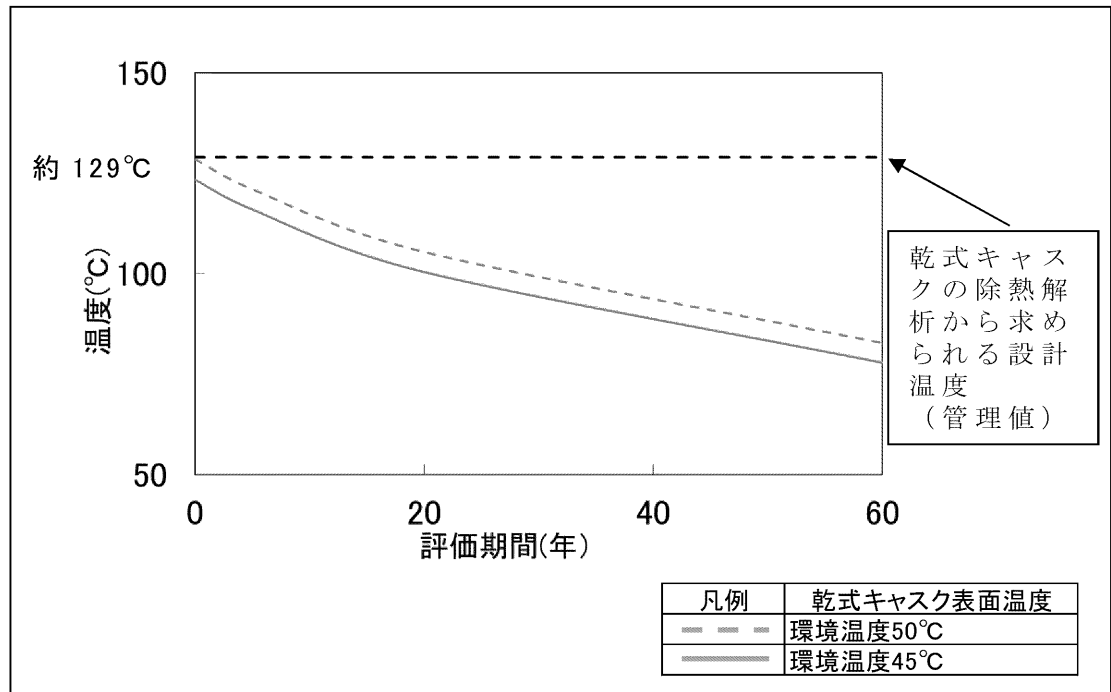
※MSF-21P 型：120℃、MSF-24P 型：129℃



第 8-5 図 乾式キャスク表面温度の監視方法（イメージ図）

## (2) 監視頻度

乾式キャスク表面温度の監視頻度を定めるため、設計貯蔵期間（60年）中の表面温度の経時変化を第8-6図に示す。



第8-6図 乾式キャスク表面（外筒）温度の変化（MSF-24P型の例）

第8-6図に示すとおり、乾式キャスク表面温度は、貯蔵開始直後が最も高く、使用済燃料の発熱量低下とともに乾式キャスクの表面温度は低下する。

ここで、以下の理由から設計貯蔵期間中において、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。

- 乾式キャスクは、設計貯蔵期間中（60年間）の温度、放射線等の環境及びその環境下での腐食等の経年変化に対して必要な耐食性のある材料を選定し、その必要とされる強度及び性能を維持するため、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。
- 乾式キャスクは輸送時の落下事象に耐える堅牢性を有しており、貯蔵中に想定される基準地震動  $S_s$  に対しても安全機

能を維持できることから、乾式キャスクの除熱機能は低下しない。

- ・ 乾式キャスクを頑健な建屋内に貯蔵することで、貯蔵中に想定される外部事象に対しても乾式キャスクの除熱機能は低下しない。なお、乾式貯蔵建屋の給排気口は、積雪等により閉塞しないことから、乾式貯蔵建屋の除熱機能は低下しない。

以上より、乾式キャスク内の使用済燃料の崩壊熱が適切に除去できていることは、設計貯蔵期間の 60 年間にわたり維持できるものの、蓋間圧力を 3 ヶ月に 1 回の頻度で監視することとしており、これに合わせて乾式キャスク表面温度を 3 ヶ月に 1 回の頻度で監視する。

### 8.2.3 貯蔵建屋内雰囲気温度

#### (1) 監視方法

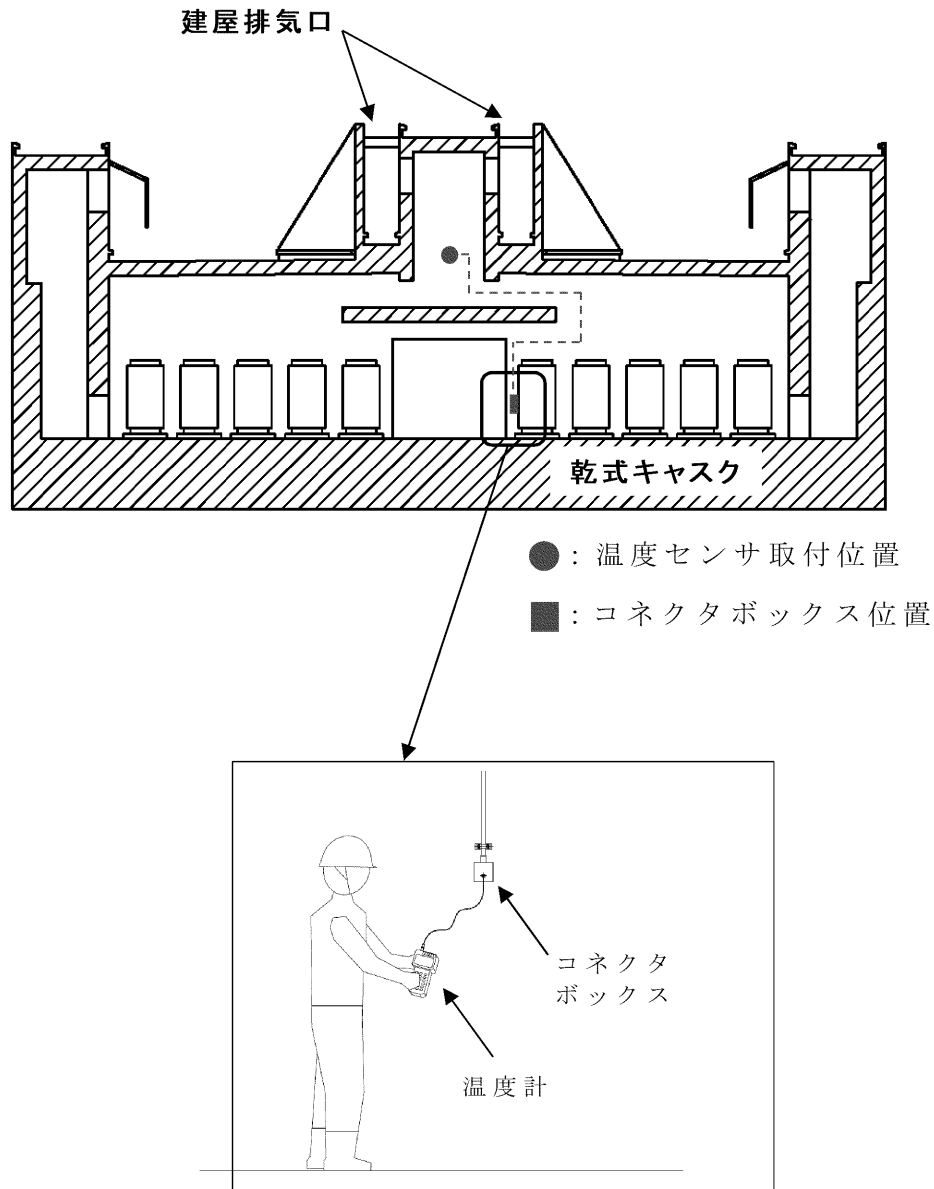
貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視するため、建屋内の雰囲気温度として、建屋排気口付近の温度（建屋排気温度）を監視する。

建屋排気温度は、第 8-7 図に示すとおり、温度センサを貯蔵エリアの 2 つの区画（乾式キャスク 20 基分）の排気口付近に 1 箇所ずつ（計 2 箇所）設置し温度を監視できる設計とする。

ここで、別添 4「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」における乾式キャスクの除熱解析において、貯蔵建屋内雰囲気温度を最高 50℃と設定し、評価しているため、貯蔵建屋内の雰囲気温度が 50℃以下であれば、乾式キャスクの健全性は担保される。

以上より、建屋排気温度が 50℃以下であることを監視することで、貯蔵建屋内の雰囲気温度が異常に上昇していないことを監視する。





第 8-7 図 貯蔵建屋内雰囲気温度の監視方法（イメージ図）

(2) 監視頻度

8.2.2 で示したように設計貯蔵期間の 60 年間に於いて、乾式キャスクの除熱機能は維持されることおよび別添 4 「使用済燃料乾式貯蔵容器の 4 つの安全機能について（除熱機能）」における乾式貯蔵建屋の除熱評価に示すように、乾式キャスク 40 基を貯蔵した場合においても、貯蔵建屋内雰囲気温度は 50℃ を超えないことから、設計貯蔵期間の 60 年間に於いて、貯蔵建屋内雰囲気温度は 50℃ を超えないものの、乾式キャス

ク表面温度の監視に合わせて、貯蔵建屋内雰囲気温度を3ヶ月に1回の頻度で監視する。

### 8.3 参考文献

- 1) 使用済燃料乾式貯蔵施設（中間貯蔵施設）に係る技術検討報告書、資源エネルギー庁、（2000）.
- 2) 航空機エンジンの水平衝突荷重に対する金属キャスクの密封性能評価、（一財）電力中央研究所、（2010）.
- 3) 金属キャスク落下時瞬時漏えい評価、（一財）電力中央研究所、（2006）.

## 9. 自然現象等に対する使用済燃料乾式貯蔵施設の設計方針

兼用キャスクの安全機能の喪失及びそれに続く公衆への放射線による影響を防止する観点から、使用済燃料乾式貯蔵施設の設備ごとの設計方針を示す。

### 9.1 使用済燃料乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能について

乾式貯蔵施設は、兼用キャスク及び周辺施設等から構成されるため、乾式貯蔵施設を構成する設備を以下の考えに基づき第9-1表のとおり分類するとともに、兼用キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能をまとめる。

ここで、地盤及び周辺斜面については、兼用キャスクに影響を及ぼさないよう第3条2項、3項及び第4条第7項に基づき、安定な地盤及び周辺斜面に乾式貯蔵施設を設置する設計とする。詳細については、地盤に係る安全審査資料に示す。

兼用キャスクは、安全機能を維持するために、それ自体で以下の必要な機能を有しており、乾式キャスクが該当する。

- ・ 兼用キャスクを地震による損傷の防止（第4条第1項、第2項、第6項及び第7項）
- ・ 兼用キャスクを津波による損傷から防護するもの（第5条第2項）
- ・ 兼用キャスクを外部からの衝撃による損傷から防護するもの（第6条第4項及び第6項）
- ・ 兼用キャスクを火災による損傷の防止（第8条第1項）
- ・ 兼用キャスクを溢水による損傷の防止（第9条第1項）
- ・ 兼用キャスクの安全機能の維持（第16条第2項及び第4項）

周辺施設は、兼用キャスクである乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有するものと考えられることから、

- ・ 兼用キャスクを地震による損傷から防止するもの : 貯蔵架台、  
(兼用キャスクと相まって耐震性を確保するもの) 基礎ボルト、  
(第4条第1項、第2項、第6項及び第7項) 基礎、  
乾式貯蔵建屋<sup>※1</sup>
- ・ 兼用キャスクを津波による損傷から防護するもの : 乾式貯蔵建屋  
(第5条第2項)
- ・ 兼用キャスクを外部からの衝撃による損傷から防護するもの (第6条第1項及び第3項) : 乾式貯蔵建屋
- ・ 兼用キャスクを火災による損傷から防護するもの : 乾式貯蔵建屋  
(第8条第1項)
- ・ 兼用キャスクの安全機能の維持を監視するもの : 乾式キャスク圧力計、  
(第16条第4項) 乾式キャスク表面温度計、  
乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計
- ・ 兼用キャスクの遮蔽機能を補完するもの : 乾式貯蔵建屋  
(第29条第1項、第30条第1項～第3項)
- ・ 兼用キャスクを通常に取扱うために必要なもの : 乾式貯蔵建屋天井クレーン、  
(第16条第2項) 乾式キャスク搬送台車  
が該当する。

※1 乾式キャスクに波及的影響を及ぼさないよう設計とするもの

ここで、周辺施設のうち、貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎は、乾式キャスクの直接支持構造物及び間接支持構造物として、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように、特段の機能を有する設備<sup>※2</sup>として設計する。また、乾式貯蔵建屋についても、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、貯蔵中の乾式キャスクへ波及的影響を防止するように、特段の機能を有する設備<sup>※2</sup>として設計する。

一方、周辺施設のうち、乾式キャスク蓋間圧力計、乾式キャスク表面温度計、乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計、乾式貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車は、乾式キャスクの安全機能を維持するために、特段の機能を要しないことから、一般産業施設や公衆施設と同等の設計とする。

なお、周辺施設へのユーティリティ設備は、周辺施設へ電気・圧縮空気等を供給する設備であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。また、点検用架台は、乾式キャスクの点検等に用いる足場であり、乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な設備ではない。よって、周辺施設へのユーティリティ設備及び点検用架台は、周辺施設に該当しない。

※2 特段の機能を有する設備：乾式キャスクの安全機能を維持するために、一般産業施設や公衆施設以上の耐震性を有する設備

また、乾式キャスク及び乾式貯蔵建屋は、1、2、3、4号炉の使用済燃料を貯蔵した場合でも乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とするとともに、安全施設（第12条第1、3、4、5、7項）に適合する設計とする。

さらに、乾式貯蔵建屋は、発電用原子炉施設であるため、発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止（第7条）を講じ、安全避難通路等（第11条第1項）を設ける設計とする。

第 9-1 表 乾式貯蔵施設の設備の分類及び担保すべき機能

設 備	名 称	分 類	特段の機能 (周辺施設)		耐震重要 度分類	地震による 損傷防止		津波に よる損 傷防止	外部からの衝撃による 損傷防止		火災に よる損 傷防止	溢水に よる損 傷防止	兼用キャスクの 安全機能維持及 び監視		遮蔽機能を補完		設計 基準 対象 施設	安全施設		備 考	
			有無	機能		第 4 条		第 5 条 第 2 項	第 6 条		第 8 条 第 1 項	第 9 条 第 1 項	第 16 条※8		第 29 条 第 1 項	第 30 条 第 1 項～ 第 3 項		PS-2	PS-3		
						第 1 項 第 2 項	第 6 項 第 7 項		第 1 項 第 3 項	第 4 項 第 6 項			第 2 項	第 4 項							
兼用キャスク	使用済燃料乾式貯蔵 容器 (乾式キャスク)	兼用 キャスク	—	—	S※1	○	○	○	—	○※9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	PS-2	乾式キャスクは、1、2、 3、4号炉の使用済燃料を 貯蔵した場合でも乾式 キャスクの安全機能を 損なわない設計とする。
兼用キャスク支持部 ・ 架台 ・ 基礎ボルト	・ 貯蔵架台注記 ・ 基礎ボルト	周辺施設	○	—	S※1	○※6	○※6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
基礎 (兼用キャスクの間 接支持構造物)	基礎	周辺施設	○	—	—※2	○※6	○※6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
貯蔵建屋等 ・ 貯蔵建屋 (遮蔽壁含 む)	使用済燃料乾式貯蔵 建屋 (遮蔽壁及び火災区 域・区画構造物含 む)	周辺施設	○	—	C※3, ※10	○	○	○	○	—	○	—	○※7	○	○	○	○	○	○	PS-3	・第7条及び第11条第1 項についても適合さ せる設計とする。 ・貯蔵建屋は、1、2、3、 4号炉の使用済燃料を 貯蔵した場合でも乾 式キャスクの除熱機 能を阻害しない設計 とする。
計装設備 ・ 兼用キャスク圧力計 ・ 兼用キャスク表面温度 計 ・ 建屋内雰囲気温度計	・ 乾式貯蔵容器蓋間 圧力計 ・ 乾式貯蔵容器表面 温度計 ・ 乾式貯蔵建屋内雰 囲気温度計	周辺施設	×	—	—※4	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	
クレーン類 ・ 天井クレーン ・ エアパレット	・ 乾式貯蔵建屋天井 クレーン ・ 乾式貯蔵容器搬送 台車	周辺施設 周辺施設	○ ×	—	—※4, ※10 —※4	—	—	—	—	—	—	—	○ ○	—	—	—	—	—	—	—	
周辺施設へのユーティリ ティ設備 ・ 電気供給設備 ・ 空気供給設備 ・ 換気空調設備	・ 乾式貯蔵建屋電源 設備 ・ 搬送台車用コンプ レッサ、空気供給 配管等 ・ 乾式貯蔵建屋給排 気ファン	—※5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
点検用架台 ・ 点検用歩廊 ・ 検査架台	・ 点検用歩廊 ・ 検査架台	—※5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

※1: 耐震重要度分類Sクラス施設として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。  
 ※2: 耐震重要度分類Sクラス施設の間接支持構造物として分類し、基準地震動Ssによる地震力に対して乾式キャスクの支持機能を維持できる設計とする。  
 ※3: 耐震重要度分類Cクラス施設に分類し、当該クラスに応じた地震力に対しておおむね弾性範囲に留まる設計とする。(但し、遮蔽機能を有する部位に限る。  
 当該部位以外については、耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とする。)  
 ※4: 耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とする。  
 ※5: 乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な機能を有していないもの。(乾式キャスクに直接関わらないもの)  
 ※6: 乾式キャスクに貯蔵架台、基礎ボルト及び基礎を含めて適合性を確認する。  
 ※7: 乾式貯蔵施設は、十分余裕を持たせた使用済燃料貯蔵容量を有する設計とする。  
 ※8: 設計上想定される状態における兼用キャスクの安全機能維持、監視機能、材料、構造健全性及び設計貯蔵期間については、2章設計方針に記載する。  
 ※9: 乾式貯蔵建屋に内包することにより、乾式キャスクが安全機能を損なわない設計とする。  
 ※10: 基準地震動Ssによる地震力に対して耐震性を有する設計とすることで、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。  
 注記: 乾式キャスクと貯蔵架台を固定する固定装置を含む。

〔 上表以外の設備として、屋内消火栓等については、プラントと同様の設計とする。火災感知器は、消防法に基づき設計する。 〕

## 9.2 兼用キャスク及び周辺施設の設計方針

兼用キャスク及び周辺施設について、乾式キャスクの安全機能を維持するために、各設備が担保すべき機能を確保できるよう、第9-1表に示す設置許可基準規則の条項の要求を満足するように設計する。具体的な設計方針を以下に示す。

### 9.2.1 兼用キャスクの設計方針

兼用キャスクの設計方針を次の項目ごとに示す。

#### 9.2.1.1 地震

兼用キャスクである乾式キャスクは、第4条第6項に規定する地震力<sup>\*</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスク（支持部及び基礎を含む）は、耐震重要度分類をSクラスとして分類し、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して乾式キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。詳細については、第4条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準地震動による地震力

#### 9.2.1.2 津波

兼用キャスクである乾式キャスクは、津波による作用力<sup>\*</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを津波防護対象設備として分類し、乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋を浸水防護重点化範囲に設定する。詳細については、第5条に係る安全審査資料に示す。

※ 基準津波による作用力（荷重）

#### 9.2.1.3 竜巻

兼用キャスクである乾式キャスクは、竜巻による作用力<sup>\*</sup>に対して安全機能が損なわれない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを竜巻防護施設として分類し、乾式貯蔵

建屋にて防護する設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

※ 設計竜巻による作用力（荷重）

#### 9.2.1.4 外部火災

兼用キャスクである乾式キャスクは、第 6 条第 4 項及び第 6 項において想定される森林火災及び想定される爆発、近隣工場等の火災に対して安全機能を損なわない設計とする。

具体的には、乾式キャスクを「クラス 1 及びクラス 2 に属する外部火災防護施設」等に分類し、乾式貯蔵建屋にて防護する設計とする。詳細については、第 6 条に係る安全審査資料に示す。

#### 9.2.1.5 内部火災

兼用キャスクである乾式キャスクは、火災により乾式キャスクの安全機能が損なわれないよう、火災発生防止の措置を講じる設計とする。

具体的には、乾式キャスクは不燃性材料を使用した設計とする。詳細については、第 8 条に係る安全審査資料に示す。

#### 9.2.1.6 溢水

兼用キャスクである乾式キャスクは、乾式貯蔵施設内における溢水が発生した場合においても、安全機能を損なわない設計とする。具体的には、乾式キャスクを防護対象設備とし、溢水事象を想定しても安全機能を損なわない単純で頑丈な構造の金属製の静的機器（容器）で、外部からの動力の供給を必要としない設計とする。詳細については、第 9 条に係る安全審査資料に示す。



## 9.2.2 周辺施設の設計

周辺施設の設計方針を次の設備ごとに示す。

### 9.2.2.1 機器・配管系（兼用キャスクの支持部、計装設備及びクレーン類）

機器・配管系のうち計装設備（乾式キャスク蓋間圧力計、乾式キャスク表面温度計及び乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計）及びクレーン類（乾式貯蔵建屋天井クレーン及び乾式キャスク搬送台車）は、一般産業施設や公衆施設と同等の静的地震力に対して、必要な機能が維持される設計とする。

具体的には、耐震重要度分類Cクラス施設と同様の設計とするとともに、第9.2-1表に示す一般産業規格等に基づいた一般産業品を用いる設計とする。

第9.2-1表．計装設備及びクレーン類に適用する一般産業規格等※

設備名	一般産業規格等
乾式キャスク蓋間圧力計	JIS B7505（アネロイド型圧力計 ブルドン管圧力計）、圧力センサ 等
乾式キャスク表面温度計	JIS C1602（熱電対） JIS C1605（シース熱電対） 等
乾式貯蔵建屋内雰囲気温度計	
乾式貯蔵建屋天井クレーン	クレーン等安全規則、クレーン構造規格 等
乾式キャスク搬送台車	JIS G3101（一般構造用圧延鋼材） エアベアリング（カタログ品） 等

※ JIS規格等の国内規格類に基づいた部材、部品およびカタログ品により構成される一般産業品を用いる。

機器・配管系のうち乾式キャスク支持部（貯蔵架台及び基礎ボルト）