

使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の増設における 関係規則等への適合性について

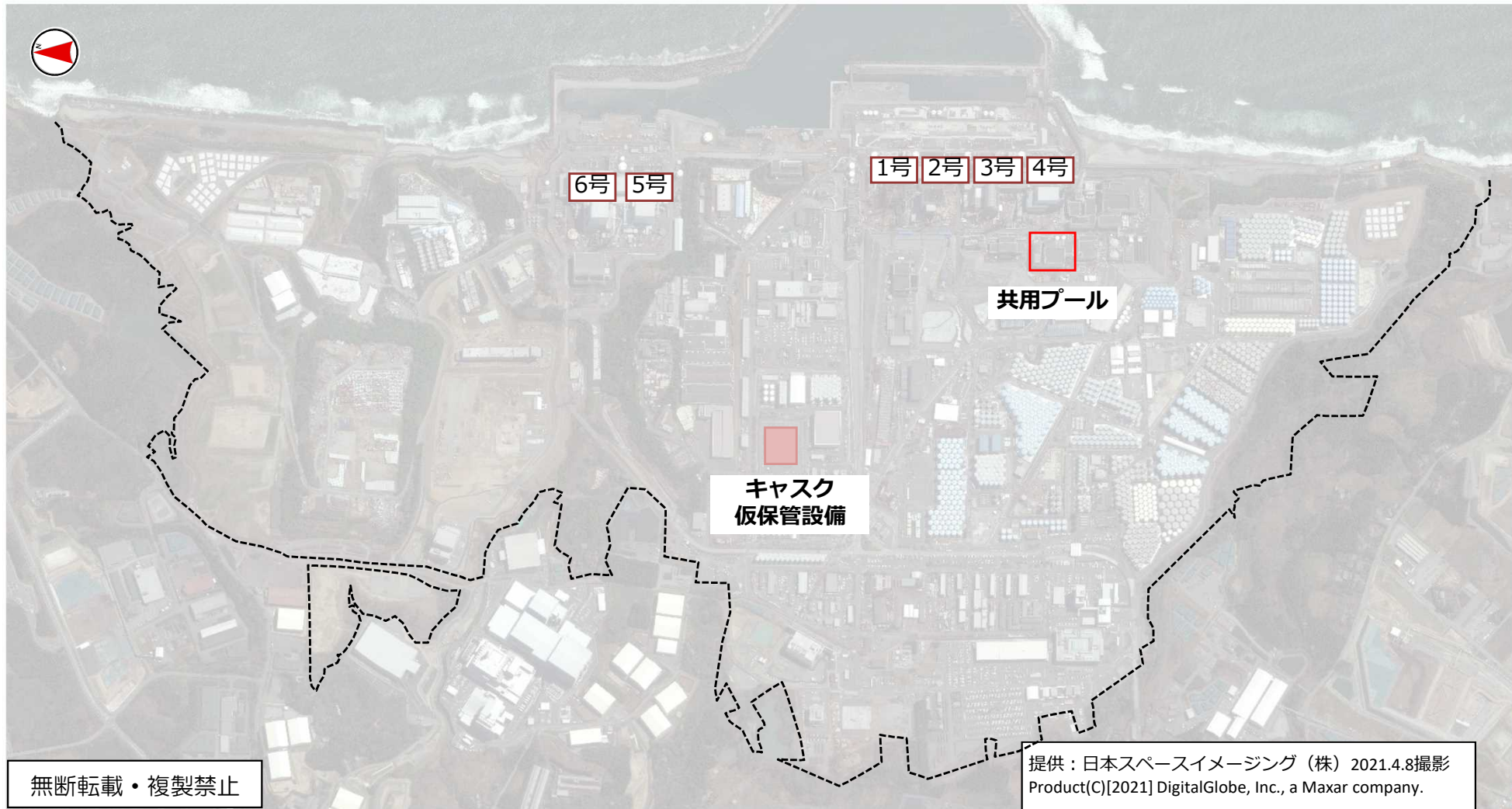
2023年9月4日



東京電力ホールディングス株式会社

使用済燃料乾式キャスク仮保管設備増設の概要(1)

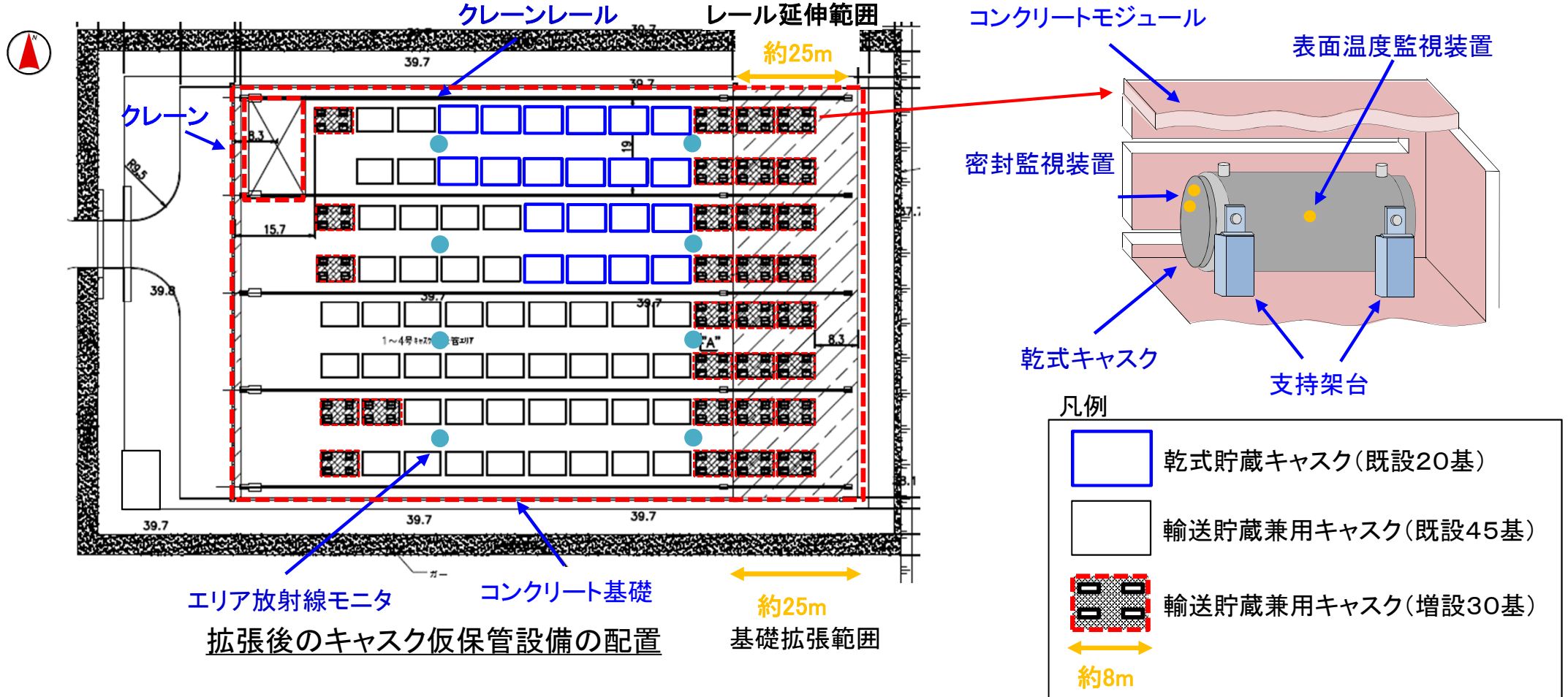
- 1～6号機の燃料取り出し完了に向けて、使用済燃料共用プール(以下、「共用プール」という。)の空き容量を確保するため使用済燃料乾式キャスク仮保管設備(以下、「キャスク仮保管設備」という。)の乾式キャスク(乾式貯蔵キャスク及び輸送貯蔵兼用キャスクの総称)貯蔵容量を65基から95基に増設する工事を行う。(令和5年7月6日申請)



使用済燃料乾式キャスク仮保管設備増設の概要(2)

■ 申請内容は以下の通り。

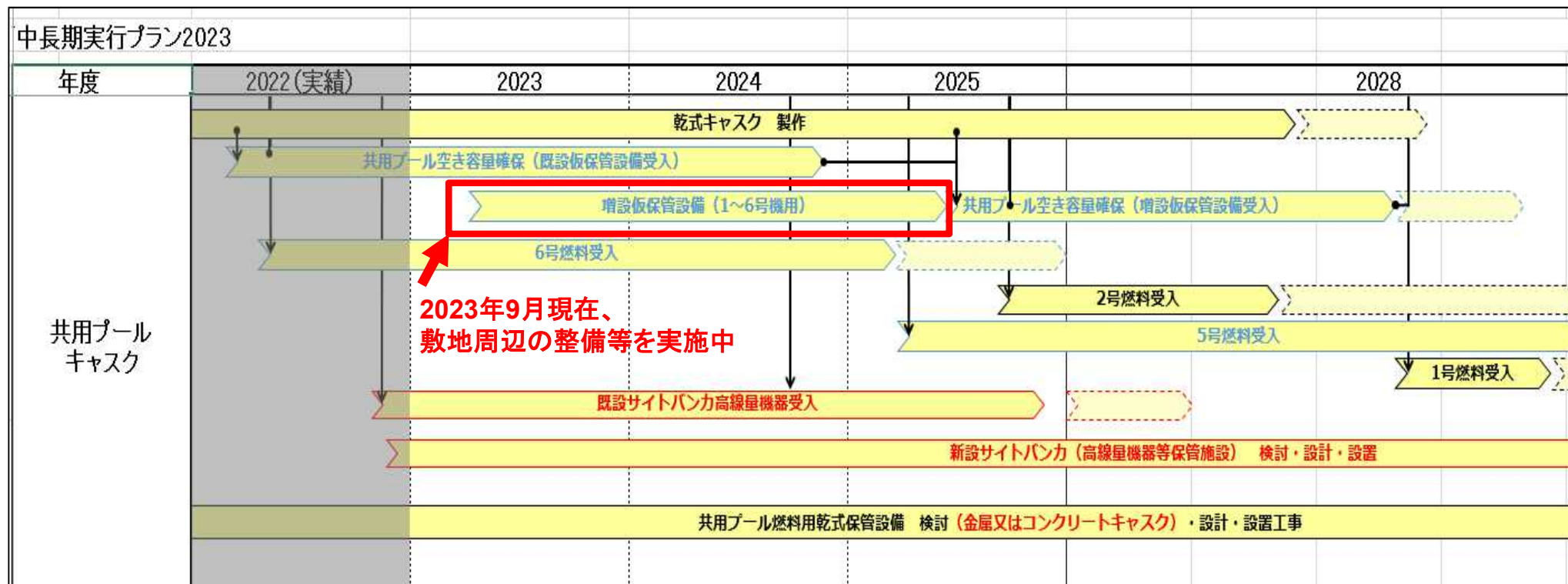
- 輸送貯蔵兼用キャスクの基数及び収納可能な燃料タイプの追加(令和5年3月15日申請)
- コンクリート基礎およびクレーンレールを東側に約25m拡張(クレーン本体は既設)
- 既設基礎および拡張した基礎上に、輸送貯蔵兼用キャスクを保管する支持架台およびコンクリートモジュールを30基増設し、輸送貯蔵兼用キャスクを設置
- エリア放射線モニタを4基から8基に増設
- 既設と同様、キャスク1基毎に表面温度および密封監視(蓋間圧力監視)を実施



使用済燃料乾式キャスク仮保管設備増設の概要(3)

- キャスク仮保管設備の増設は、「中長期ロードマップ」、「中期的リスクの低減目標マップ」に示す燃料取り出しの工程を達成するため、「中長期実行プラン」に基づき、2025年度に竣工し順次増設箇所にキャスクを保管していく
 - 中長期ロードマップ:「2031年内に、1～6号機すべての燃料取り出し完了を目指す。」
 - 中期的リスクの低減目標マップ:「2023年度:キャスク仮保管設備の増設着手」
 - 中長期実行プラン:「2023年度～2025年度にかけてキャスク仮保管設備増設工事を実施」

中長期実行プラン2023 工程表(抜粋)



【参考】燃料取り出しと乾式キャスク基数

- キャスク仮保管設備に増設する30基の乾式キャスクは1号用7基、2号用9基、5号用20基のうち14基が該当する。

号機	取り出し体数	乾式キャスク基数 (69体収納/基)	キャスク仮保管設備保管箇所
1号機	392体 (100体は新燃料)	7基※1	増設30基の箇所に保管
2号機	615体 (28体は新燃料)	9基	増設30基の箇所に保管
5号機	1374体	20基	14基: 増設30基の箇所に保管 6基: 既設65基の箇所に保管
6号機	1456体	22基	既設65基の箇所に保管

※1: 破損燃料受け入れに伴う共用プールラック取り替えを想定し、取り出し体数に対して乾式キャスク1基分多く設定

- 1F使用済燃料の総数は12,337体。共用プールと乾式キャスク(増設30基含む全95基)を合わせた保管容量は合計12,769体。乾式キャスク30基の増設により1-6号機使用済燃料は全て共用プールでの受け入れが可能となる。
- 5,6号機に保管している新燃料は燃料加工工場へ搬出する予定※2

1F使用済燃料総数	共用プール保管容量 (2023年6月時点)	乾式キャスク保管容量 (増設30基含む全95基)
12,337体	6,734体※3	6,035体
	合計: 12,769体	

※2: 1-3号機新燃料180体については共用プールに取り出しを行う予定(3号機は取り出し済)
※3: 1号機破損燃料受け入れのためのラック取り替えにより、保管容量は変更となる可能性有り

- 乾式キャスクは、実用炉等の規制基準に照らした場合、耐震Sクラス設備に位置付けられる。
- 事故後の1Fにおいても、乾式キャスクについては耐震Sクラス相当の設備として、基準地震動Ss(最大加速度600gal。以下、「Ss600」という。)への耐震性を確保した設計であることを実施計画で示している。
- その後、令和3年2月13日に発生した福島県沖での大規模な地震を受け、令和3年9月8日の原子力規制委員会で1Fの耐震設計フローが示された。
- 同フローに照らしても、乾式キャスクは耐震Sクラス設備と位置付けられることに変更はないが、Sクラス設備に要求される設計用地震動がSs600から検討用地震動(最大加速度900gal以下「Ss900」という。)へ格上げとなった。
- 既設設備についてはSs600での設計を行っているため、Ss900の地震動に対しては地盤の支持力が期待できない状況。*
- 一方で、上記の課題を解決するためには、乾式キャスクを保管する設備自体を既存の増設ではなく新規に建設する必要性、及び長期間の地盤調査や地盤改良等が想定されるため、使用済燃料の高台における乾式保管というリスク低減対策が進まない。
- このため、キャスクの設置場所を問わない規制基準等が既に整備されていることを踏まえ、キャスク自体の堅牢性に着目した設計及び必要な評価を示すこととした。
 - Ss900により付帯設備が機能喪失した場合の乾式キャスクへの波及的影響を評価(参考P25～P34)
 - 影響を踏まえた各設備の耐震クラスの設定及び耐震評価(参考P35)

※: 1/2Ss450の基礎地盤の評価において、コンクリート基礎の接地圧に対する地盤支持力の安全率が一部の箇所では2を下回るため、Ss900(地震動約2倍)においては、基礎地盤の安定性が確保できない可能性がある。

- 乾式キャスクの付帯設備が地震時に機能喪失した場合の波及的影響評価は申請書に示している。
- 乾式貯蔵設備は他の実用炉と同様の設備であることを踏まえ、「措置を講ずべき事項」を満たすに当たって、関連する規則等に照らし合わせた整理を次頁以降に示す。
- 適用する規則等は主に下記の通り。
 - 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
 - 使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
 - 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 等

乾式キャスクに対する適合性(1)

■ 基本的な安全機能及び材料・構造健全性

- 乾式キャスクの臨界防止機能及び遮蔽機能については、キャスク仮保管設備の増設においても適合した設計とする。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
1. 臨界防止機能 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。	/	/
使用済燃料貯蔵施設における金属キャスクは単体として、使用済燃料を収納した条件下で、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計であること	否	
金属キャスク内部のバスケットが臨界防止機能の一部を構成する場合には、設計貯蔵期間を通じてバスケットの構造健全性が保たれる設計であること	否	
使用済燃料貯蔵施設は、当該施設内における金属キャスク相互の中性子干渉を考慮し、技術的に想定されるいかなる場合でも臨界を防止する対策が講じられていること	否	
臨界評価において、配置・形状、中性子吸収材の効果、減速材(水)の影響、燃焼度クレジットを含め、未臨界性に有意な影響を与える因子が考慮されていること	否	
2. 遮蔽機能 適切な遮蔽能力を有すること。	/	/
兼用キャスク表面の線量当量率が1時間当たり2mSv以下であり、かつ、兼用キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率が1時間当たり100μSv以下であること	否	
貯蔵建屋(工場等内において兼用キャスクを収納する建物をいう。以下この条において同じ。)を設置する場合には、当該貯蔵建屋の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下したときにおいても、工場等周辺の実効線量は周辺監視区域外における線量限度を超えないこと	否	貯蔵建屋(モジュール)の遮蔽機能を考慮せずに1mSv/y以下という解釈

乾式キャスクに対する適合性(2)

■ 基本的な安全機能及び材料・構造健全性

- 乾式キャスクの除熱機能について、キャスク表面温度に加え貯蔵建屋内(コンクリートモジュール内)の雰囲気温度についても定期的に測定する。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
3. 除熱機能 崩壊熱を適切に除去することができること。		
使用済燃料の温度を、被覆管のクリープ破損及び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できる設計であること	否	
基本的な安全機能を維持する観点から、金属キャスクの温度を制限される値以下に維持できる設計であること	否	
貯蔵建屋は、金属キャスクの除熱機能を阻害しない設計かつ、貯蔵建屋の給排気口は積雪等により閉塞しない設計であること	否	
使用済燃料を金属キャスクに収納するに当たり、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よう必要な措置が講じられること	否	
<u>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</u>	要	既設65基も含め、3ヶ月以内に1回の頻度で巡視点検に合わせてコンクリートモジュール給排気口の閉塞有無やコンクリートモジュール内の雰囲気温度の測定を実施する。また、その旨をマニュアル等に反映する。
使用済燃料及び金属キャスクの温度が制限される値以下に維持されていることを評価するために必要なデータを測定等により取得できること	否	

乾式キャスクに対する適合性(3)

■ 基本的な安全機能及び材料・構造健全性

- 乾式キャスクの閉じ込め機能及び経年変化を考慮した材料・構造健全性についてはキャスク仮保管設備の増設においても適合した設計とする。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
4. 閉じ込め(密封)機能及び監視 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こと。	/	/
金属キャスクは、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料等を内封する空間を負圧に維持できる設計であること	否	
金属キャスクは、多重の閉じ込め構造を有する蓋部により使用済燃料等を内封する空間を容器外部から隔離できる設計であること	否	
蓋部が有する閉じ込め機能を監視できること	否	
5. 経年変化を考慮した材料・構造健全性 上記1. ～4. に示す機能を満たすため、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。	/	/
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して、設計貯蔵期間を明確にしていること	否	
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	否	

■ キャスク仮保管設備の耐震性

- 耐震クラス及び耐震評価については、令和3年9月8日の令和3年度第30回原子力規制委員会資料(令和4年11月16日一部改訂)に基づき設定・評価する。(参考P25～P34)

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
<p>1. 耐震重要度(クラス)分類の設定方針 令和3年9月8日の令和3年度第30回原子力規制委員会資料(令和4年11月16日一部改訂)に基づき、キャスク仮保管設備が、地震によって機能喪失した際の安全上の影響(敷地境界における実効線量)を踏まえて、適切に耐震設計上の区分(以下「耐震クラス」という。)が設定されていること。 キャスク仮保管設備が、上記で設定された耐震クラスを踏まえ、当該区分ごとに規定される設計用地震力に対して十分耐えられる設計であることの根拠として、以下に示す基本方針に加えて、詳細な耐震計算に当たっての評価条件や評価結果が示されていること。</p>	否	
<p>2. 弾性設計用地震動の設定方針 1Fにおける弾性設計用地震動は、S_s900との応答スペクトルの比率の値が、目安として0.5を下回らないような値で、工学的判断に基づいて設定した結果、S_s900に0.5を乗じた地震動(以下「S_d450」という。$1/2S_s450$と同義。)としていること。</p>	否	

■ キャスク仮保管設備の耐震性

- 水平2方向及び鉛直方向を適切に組み合わせた地震力とする。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
3. 地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定		
(1)地震応答解析による地震力 ①S、B+、Bクラスの地震力の算定方針 Ss900及びSd450に基づく入力地震動を用いて、建物・構築物の三次元応答性状及び機器・配管系への影響を考慮し、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせ、地震応答解析による地震力を算定すること。	要 (水平2方向を考慮)	10月中に評価完了予定。 水平2方向の影響を考慮しても耐震評価に影響を及ぼさない見込み。
②入力地震動の設定方針 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動について、対象建物・構築物の地盤条件を考慮し、必要に応じて二次元有限要素法又は一次元波動理論を用いて設定すること。地盤条件の設定については、敷地全体の地下構造との関係に留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮していること。必要に応じて敷地における観測記録による検証や最新の科学的・技術的知見を踏まえる方針としていること。	否	
③地震応答解析方法 地震応答解析方法について、対象施設の形状、構造特性、振動特性等を踏まえ、解析手法の適用性、適用限界等を考慮のうえ、使用する解析方法を選定するとともに、十分な調査に基づく解析条件を設定すること。対象とする施設の形状、構造特性等を踏まえたモデル化を行っていること。	否	

■ キャスク仮保管設備の耐震性

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
3. 地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定(続き)		
(2) 静的地震力 ① 建物・構築物の水平地震力 水平地震力について、地震層せん断力係数に、施設の重要度分類に応じた係数(Sクラスは3.0、Bクラスは1.5 及びCクラスは1.0)を乗じ、さらに当該層以上の重量を乗じて算定すること。ここで、地震層せん断力係数は、標準せん断力係数を0.2 以上とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とすること。	否	
② 建物・構築物の保有水平耐力 保有水平耐力について、必要保有水平耐力を上回るものとし、必要保有水平耐力については、地震層せん断力係数に乗じる係数を1.0、標準せん断力係数を1.0 以上として算定すること。	否	
③ 建物・構築物の鉛直地震力 鉛直地震力について、震度0.3 以上を基準とし、建物・構築物の振動特性及び地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より算定すること。	否	
④ 水平地震力と鉛直地震力の組合せ Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。	否	
⑤ 標準せん断力係数等の割増し係数 標準せん断力係数等の割増し係数の適用については、耐震性向上の観点から、一般産業施設及び公共施設等の耐震基準との関係を考慮して設定すること。	否	

■ キャスク仮保管設備の耐震性






- Ss900により付帯設備が機能喪失した場合の乾式キャスクへの波及的影響を評価し、影響を踏まえた各設備の耐震クラスを設定する。(参考P25～P34)

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
4. 荷重の組合せと許容限界の設定方針		
(1)建物・構築物 ①Sクラスの建物・構築物 Sクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重とSs900による地震力との組合せに対して、構造物全体としての変形能力について十分な余裕を有し、終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。	否	
②S、B+、B、Cクラスの建物・構築物 Sクラス、Bクラス及びCクラスの建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と、弾性設計用地震動(Bクラスは共振影響検討用の地震動、Cクラスは考慮せず。)による地震力又は静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。	否	
5. 波及的影響に係る設計方針 耐震重要度分類の下位のクラスに属する施設の波及的影響によって、上位のクラスに属する施設の安全機能を損なわないように設計すること。	否	

■ 兼用キャスクガイドに基づく設置方法の整理

- 乾式キャスクの保管形態は基礎等に固定された支持架台上への保管(耐震B+クラス)である。
- Ss900においては支持架台上からの乾式キャスクの落下を考慮するため、兼用キャスクガイドの整理に基づく設置方法は、右図③で整理される。
- このため、蓋部の金属部への衝突評価及び乾式キャスク本体への耐震評価が必要。

別表 兼用キャスクの設置方法に応じた評価の例

設置方法	地盤、基礎、支持部等の評価	蓋部の金属部への衝突評価	兼用キャスク本体評価	備考
地盤の十分な支持を想定しない 基礎等に固定しない	①輸送荷姿 	-	-	-
	②蓋部の金属部への衝突が生じない設置方法 	-	-	(加速度)
	③蓋部の金属部への衝突が生じる設置方法 	-	(速度)	(加速度)
地盤の十分な支持を想定する	④基礎等に固定する 	(基準地震動)	-	(加速度)
	⑤基礎等に固定する 	(基準地震動)	-	(加速度)

○ : 評価要
- : 評価不要

*1~*3: 「6.1 安定性評価の基本方針」参照

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
兼用キャスク(設置許可基準規則解釈上Sクラス)については、設置許可基準規則第三条第1項を満たすための前提条件として、「地盤の十分な支持を想定する場合」又は「地盤の十分な支持を想定しない場合」のいずれかケースを選定していること。	/	/
・地盤の十分な支持を想定しない場合 兼用キャスクの安全機能が損なわれない方法について、設置許可基準規則解釈別記4第3条第1項に基づき、以下に示す方針とすること。	/	/
兼用キャスクを基礎等に固定せず、かつ、兼用キャスク蓋部の金属部への衝突に対してその安全機能を損なわない方法とすること。	否	本項目に該当

■ 輸送貯蔵兼用キャスクの耐震性

➤ 輸送貯蔵兼用キャスクに対する地震力はSs900を入力とする。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
<p>1. 告示地震力又はSs900に対する設計 解釈第4条第6項に定める次のいずれか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こと。</p> <p>一 兼用キャスク告示に定める地震力 ・加速度：水平2300Gal 及び鉛直1600Gal ・速度：水平200cm/s 及び鉛直140cm/s</p> <p>二 Ss900による地震力</p>	否	輸送貯蔵兼用キャスクに対してSs900を適用
(1)耐震重要度(クラス)分類の方針	否	
(2)弾性設計用地震動の設定方針	否	
(3)地震応答解析による地震力及び静的地震力の算定方針	否	
<p>(4)荷重の組合せと許容限界の設定方針</p> <p>①兼用キャスク(閉じ込め機能を担保する部位を除く。) 兼用キャスクについて、自重その他の貯蔵時に想定される荷重と第6項地震力を組み合わせた荷重条件に対して、当該兼用キャスクに要求される機能を保持すること。 また、組合せ荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、当該兼用キャスクに要求される機能に影響を及ぼさないこと。</p> <p>②閉じ込め機能を担保する部位 兼用キャスクの閉じ込め機能を担保する部位は、上記の荷重条件に対しておおむね弾性状態にとどまる範囲で耐えること。</p>	否	

■ 輸送貯蔵兼用キャスクの耐震性

- 輸送貯蔵兼用キャスク間の相互影響である蓋部の金属部への衝突評価はSs900が作用した場合のキャスク同士の衝突の有無を評価する。
- 付帯設備(周辺施設)との相互影響は耐震クラス分類にて実施した波及的影響評価と同一。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
1. 告示地震力又はSs900に対する設計(続き)		
(5) 波及的影響に係る設計方針 「波及的影響に係る設計方針」と同じ。 これに加えて、解釈別記4第4条第2項第三号への適合方針として、以下の①～③の内容が示されていること。 ① 兼用キャスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。	否	
② 上記の波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果の妥当性を示すとともに、第6項地震力を適用すること。	否	
③ 上記①の「兼用キャスクは、周辺施設からの波及的影響によって、その安全機能を損なわない」を満たすために、少なくとも次に示す事項について、兼用キャスクがその安全機能を損なわないこと。		
設置地盤、地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響	要	10月中に評価完了予定。 相対変位又は不等沈下による乾式キャスクへの波及的影響はない見込み。
兼用キャスク間の相互影響	否	
兼用キャスクと周辺施設との相互影響(周辺施設の損傷、転倒、落下等による兼用キャスクへの影響を含む。)	否	

■ 輸送貯蔵兼用キャスクの耐震性

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
2. 周辺斜面の安定性		
<p>兼用キャスクについて、地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう、Ss900による地震力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認するとともに、崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去、敷地内土木構造物による斜面の保持等の措置を講ずることにより、兼用キャスクの安全機能が損なわれるおそれがないようにすること。</p>	否	<p>キャスク仮保管設備の周辺に評価対象となる斜面は存在しない。</p>

■ 輸送貯蔵兼用キャスクの耐津波設計

➤ 検討用津波による遡上解析によりキャスク仮保管設備が浸水域外と確認。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
<p>1. 設計において想定する津波 設置許可基準規則第五条第2項を踏まえ、次のいずれかによる津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないこと。</p> <p>一 兼用キャスク告示で定める津波</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浸水深：10m ・流速：20m/s ・漂流物質量：100t <p>二 検討用津波</p>	否	検討用津波を適用
<p>2. 設計方針及び条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検討用津波の場合 <p>検討用津波に対する兼用キャスクの設計については、設置許可基準規則解釈別記3第5条第3項中、Sクラスに属する施設に関する規定を準用すること。</p>	/	/
<p>①検討用津波の遡上高さについて</p> <p>敷地及び敷地周辺における地形と施設の配置等を踏まえ、検討用津波による敷地周辺の遡上域及び浸水域が遡上解析により評価されていること。</p>	要 (評価完了)	検討用津波の浸水域外にキャスク仮保管設備が位置していることを確認した。
<p>②耐津波設計方針について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・兼用キャスクの設置位置への津波の遡上がある場合は、設置許可基準規則の解釈別記3に基づく基準津波を用いた津波伝播解析及び遡上解析により兼用キャスクへの入力津波を評価していること。 ・兼用キャスクの設置地盤の高さや津波防護施設等により、兼用キャスクの設置位置への津波の遡上がないことを示すことができれば、津波による作用力に対する評価は不要。 		

キャスク仮保管設備の地震以外の設計方針(2)

- 輸送貯蔵兼用キャスクのその他の自然現象等に対する設計上の考慮
 - 最大風速100m/sの竜巻影響評価及び外部火災による評価を実施中。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
1. 設計上考慮すべきその他の自然現象の抽出		
(1) 1Fの自然環境条件や兼用キャスクの設置条件に照らして、その他の自然現象(豪雨、台風、竜巻等)が網羅的に抽出され、各自然現象のハザードの規模が設定されていること。	要	年内を目途に評価を実施。
(2) ①竜巻 設置許可基準規則第六条第4項に規定する兼用キャスク告示で定める竜巻として、設置許可基準規則解釈別記4第6条第2項第1号に基づき、設計竜巻(原子力発電所の竜巻影響評価ガイド「1.4 用語の定義」に規定する「設計竜巻」をいう。以下同じ。)の最大風速を以下のとおり定め、設計荷重を設定していること。 ・最大風速：100m/s	要	同上
設計荷重の設定に用いる設計飛来物は、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド解説表4.1に基づき、兼用キャスクに与える影響が最大となるものを選定していること。	要	同上
②外部火災 外部火災として、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発及び航空機落下等の火災(発電所敷地内に存在する危険物タンク火災等を含む。)による熱影響並びに二次的影響としてばい煙、有毒ガス及び近隣の産業施設の爆発に伴う爆風等による影響を考慮すること。	要	同上

■ 輸送貯蔵兼用キャスクのその他の自然現象等に対する設計上の考慮

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
2. その他の自然現象への設計方針		
(1)設計方針(竜巻及び外部火災を除く。) ①上記1. (1)で抽出したその他の自然現象ごとに、兼用キャスクの安全機能が損なわれない設計としていること。	要	同上
(2)竜巻及び外部火災に対する設計方針 ②上記1. (2)②について、森林火災、爆発及び人為による火災に対する具体的な評価及び対策は、「原子力発電所の外部火災影響評価ガイド」に基づき、外部火災による影響評価の実施により、離隔等の適切な対応が図られていること。 影響評価に当たっては、以下の事項が整理されていること。	要	同上
発電所内外で考慮すべき火災として、少なくとも、森林火災、近隣の産業施設の火災・爆発、航空機墜落による火災が選定されていること。	要	同上
上記の各火災の規模が設定されていること。航空機墜落による火災については、発電所敷地内であって、墜落の可能性を無視できない範囲の最も厳しい場所で発火した場合の火災が設定されていること。	要	同上
各火災による二次的影響(ばい煙、有毒ガス等によるもの)が検討されていること。	要	同上
兼用キャスクの十分な防火機能を確認するための適切な影響評価手法及びその健全性を判断するための基準が設定されていること。	要	同上

キャスク仮保管設備の保安のために措置を講ずべき事項

- 閉じ込め機能の異常が確認された場合の措置については、具体的な事象を想定しマニュアル等に反映することを検討する。

関連する規則等に基づき審査において示すべき事項	追加評価又は追加設計の要否	備考
兼用キャスクガイドに示す以下の事項①及び②について、体制・手順等が整備されていること。	/	/
①閉じ込め機能の異常に対し、適切な期間内で使用済燃料の取出しや詰替え及び使用済燃料貯蔵槽への移送を行うこと、これらの実施に係る体制を適切に整備すること等、閉じ込め機能の修復性に関して考慮がなされていること。	要	
②貯蔵建屋等を設置する場合は、貯蔵建屋等の損傷によりその遮蔽機能が著しく低下した場合においても、必要に応じて土嚢による遮蔽の追加等の適切な手段による応急復旧を行うことにより、工場等周辺の実効線量が敷地全体で線量限度(1mSv/y)を超えないこと。この場合において、応急復旧による遮蔽機能の回復を期待する場合には、その実施に係る体制を適切に整備すること。	否	貯蔵建屋(モジュール)の遮蔽機能を考慮せずに1mSv/y以下という解釈

主な評価スケジュール

- 2024年1月の認可希望時期までに、追加評価を実施し、申請書に反映する。

主な評価項目	2023年 6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2024年 1月
乾式キャスクの安全評価(除熱・密封・遮蔽・臨界防止)		評価完了						
Ss900による付帯設備が機能喪失した場合の乾式キャスクへの波及的影響評価		評価完了						
耐震クラス設定								
水平2方向を考慮した耐震評価								
Ss900におけるコンクリート基礎の相対変位又は不等沈下による影響								
検討用津波による遡上解析				評価完了				
竜巻影響評価								
外部火災による熱影響								

認可希望



以上

【参考】輸送貯蔵兼用キャスクの収納可能な燃料タイプの追加

- 増設する乾式キャスクは、これまで使用しているものと同構造の輸送貯蔵兼用キャスク
- 30基分、2070体の共用プール保管燃料を収納可能とするため、収納可能燃料について見直しを実施※1

※1: 収納可能燃料の見直しについてはキャスク仮保管設備の増設に先行し、キャスク30基の追加として2023年3月に実施計画を変更申請

既認可キャスクと増設キャスクの収納可能な燃料タイプの比較

	燃料配置パターン	収納可能な燃料タイプ	平均燃焼度	最高燃焼度	冷却期間
既認可65基	—	新型8×8ジルコニウムライナ燃料のみ	34,000MWd/t以下	40,000MWd/t以下	18年以上
増設30基	i	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 + 高燃焼度8×8燃料	34,000MWd/t以下	40,000MWd/t以下	18年以上
	ii	新型8×8ジルコニウムライナ燃料 + 高燃焼度8×8燃料	40,000MWd/t以下	48,000MWd/t以下	22年※2以上
	iii	新型8×8燃料のみ	29,000MWd/t以下	34,000MWd/t以下	28年以上

※2: キャスク中央部は冷却期間20年以上の高燃焼度8×8燃料のみ収納可能

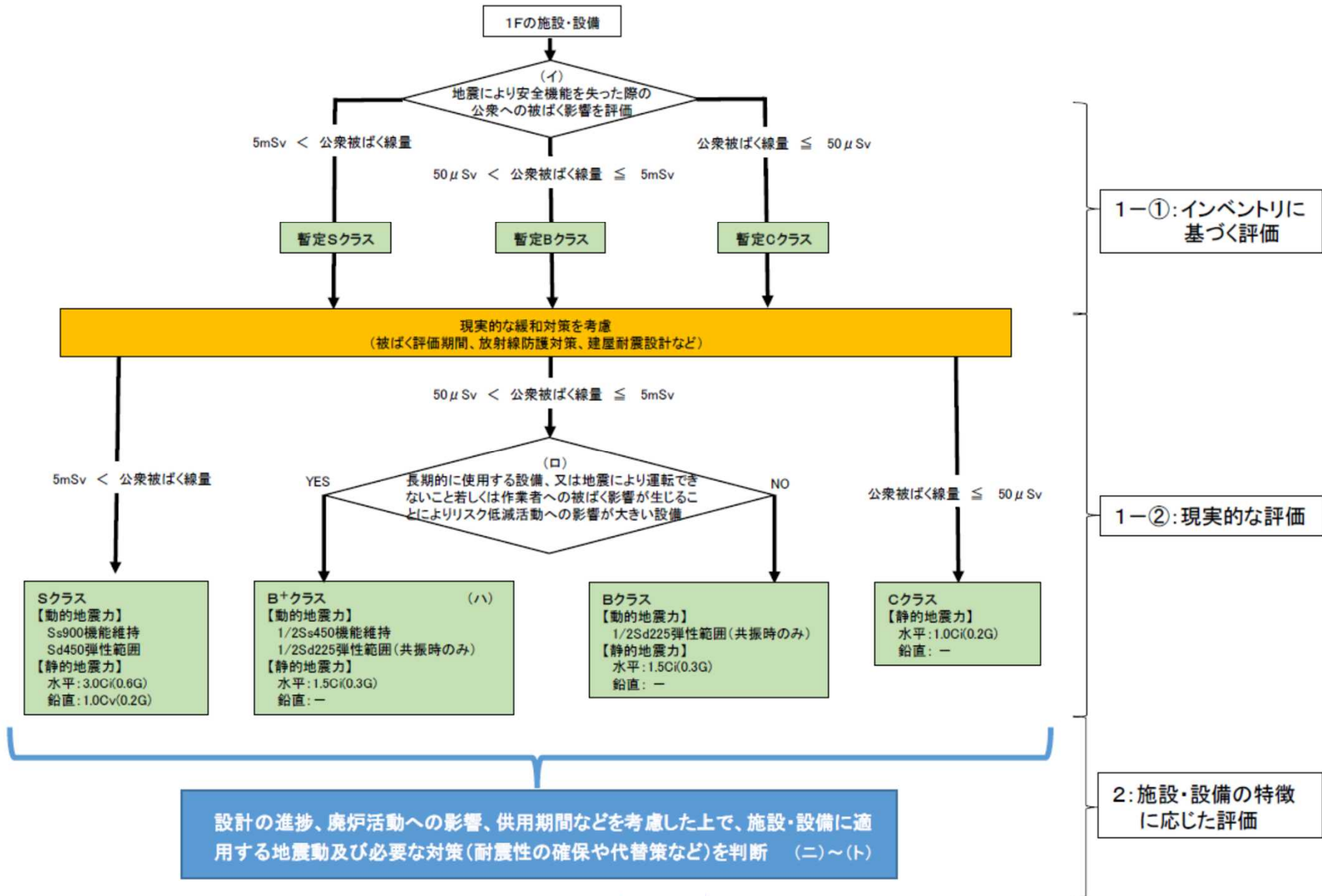
増設キャスクに収納する対象の燃料タイプの体数

燃料タイプ	共用プール保管燃料体数※3
新型8×8ジルコニウムライナ燃料	921体
新型8×8燃料	576体
高燃焼度8×8燃料	1608体
合計	3105体

※3: 既認可キャスク65基搬出時点(5・6号燃料のみ受け入れ、3・4号燃料は除外)

【参考】耐震設計フローに基づく耐震クラスの設定(1)

- 令和3年9月8日の令和3年度第30回原子力規制委員会資料(令和4年11月16日一部改訂)で示された耐震設計フロー



■ 耐震設計方針

- 乾式キャスクはインベントリより耐震Sクラスであるため、Ss900に耐え得る十分な耐震性を有していることを確認
- 乾式キャスク以外の付帯設備がSs900により機能喪失した場合の損傷モードを抽出
- 抽出された損傷モードに対する想定シナリオにおいて乾式キャスクへの波及的影響を評価
- 波及的影響評価より公衆被ばく線量を評価し耐震クラスを設定
- 耐震クラスに応じた耐震評価を実施し、安全機能が維持されることを確認

対象設備	Ss900に対する設備への影響	想定される損傷モード	想定シナリオ
乾式キャスク	堅牢なつくりのため、安全機能は維持される	—	—
支持架台	Ss900に耐えられないため、設備に損傷等が生じることを想定	支持架台の損壊	<ul style="list-style-type: none"> ・乾式キャスクの水平落下(①-1) ・乾式キャスクの回転落下(①-2) ・乾式キャスク同士の衝突(①-3)
コンクリートモジュール		天板の落下・側板の転倒	<ul style="list-style-type: none"> ・乾式キャスクへの落下・転倒による衝突(②-1) ・乾式キャスクの埋没(②-2)
クレーン		転倒	<ul style="list-style-type: none"> ・乾式キャスクへの転倒による衝突(③)
コンクリート基礎	基礎版にひび割れが生じる可能性があるため、基礎上に設置される設備(支持架台・コンクリートモジュール・クレーン)に損傷等が生じることを想定	支持架台・コンクリートモジュール・クレーンに同じ	

■ 乾式キャスクへの波及的影響評価の評価結果

- Ss900によって想定されるシナリオを整理し設計検討した結果、いずれのシナリオにおいても乾式キャスクの安全機能が維持されることを確認

想定シナリオ		評価方針	評価結果
支持架台の損壊	乾式キャスクの水平落下(①-1)	密封機能が維持できること ➢ 胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部: おおむね弾性範囲 ➢ 一次蓋締付けボルト: 設計降伏点以下	➢ 0.1%程度の塑性ひずみは生じるものの、おおむね弾性範囲 ➢ 一次蓋締付けボルトも判定基準を満足
	乾式キャスクの回転落下(①-2)		➢ 塑性ひずみは発生せず、おおむね弾性範囲 ➢ 一次蓋締付けボルトも判定基準を満足
	乾式キャスク同士の衝突(①-3)	キャスク同士の衝突が生じないこと	保守的に大きい初速及び小さい摩擦係数を用いても衝突事象は生じない
コンクリートモジュールの落下・転倒	乾式キャスクへの落下・転倒による衝突(②-1)	衝突荷重より想定シナリオ①-1に包絡されること	天板の水平落下及び回転落下並びに天板の一部落下においても衝撃荷重は想定シナリオ①-1に包絡
	乾式キャスクの埋没(②-2)	キャスク各部分が事故時の制限温度を超えないこと	いずれの部位も制限温度を満足
クレーンの転倒	乾式キャスクへの転倒による衝突(③)	密封機能が維持できること ➢ 胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部: おおむね弾性範囲 ➢ 一次蓋締付けボルト: 設計降伏点以下	➢ 塑性ひずみは発生せず、おおむね弾性範囲 ➢ 一次蓋締付けボルトも判定基準を満足

■ 乾式キャスクの水平落下(想定シナリオ①-1)

➤ 評価方針

- ・900galの地震により保守的に前後左右の支持架台の支持機能が同時に喪失し、支持架台を無視して保管位置の高さからコンクリート床板まで自由落下する場合を評価

➤ 評価方法

- ・上部トラニオン及び下部トラニオンとコンクリート床板(剛)の衝突により落下エネルギーをすべてトラニオンが受けた場合を想定し、トラニオンの圧縮応力(≒引張強さ)から衝撃加速度を算出
- ・構造解析コードABAQUSを用いて応力評価を実施

➤ 判定基準

- ・先行プラント※1を参考に、密封性能が維持できることを確認

評価部位	判定基準	備考
胴体密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋締付けボルト	831MPa※2	ボルト材料の設計降伏点

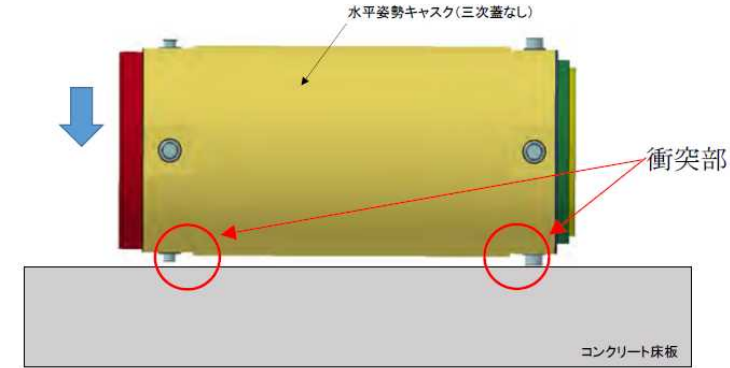
※1:「リサイクル燃料備蓄センターにおける津波防護方針について(貯蔵建屋損傷時の金属キャスクの基本的安全機能維持の確認)」(令和元年12月9日 リサイクル燃料貯蔵株式会社)

※2: 貯蔵時最高使用温度に対する値

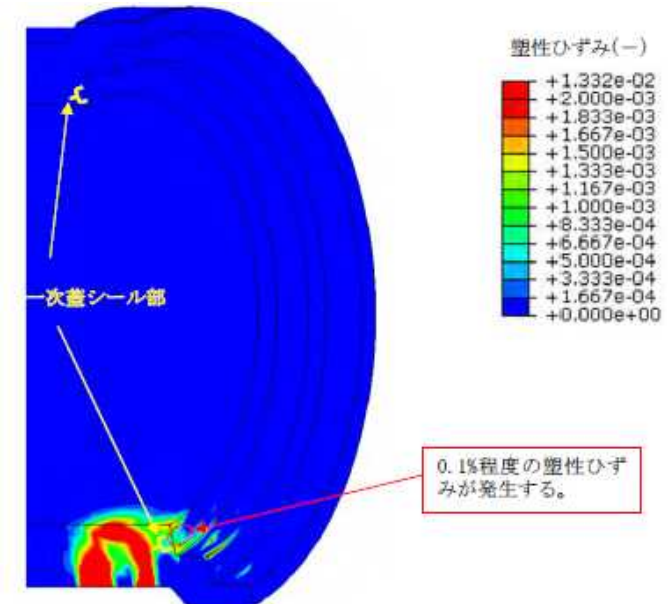
➤ 評価結果

- ・胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に0.1%程度の塑性ひずみは生じるものの、おおむね弾性範囲で判定基準を満足
- ・また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は判定基準を満足

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	279MPa	704MPa	831MPa



水平落下



評価結果

(胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみ)

【参考】耐震設計フローに基づく耐震クラスの設定(5)

■ 乾式キャスクの回転落下(想定シナリオ①-2)

➤ 評価方針

- ・「水平落下」と同様に、900galの地震により保守的に前方(蓋側)左右の支持架台の支持機能が喪失し、保管位置の高さからコンクリート床板まで回転落下(蓋部とコンクリート床板との衝突)する場合を評価

➤ 評価方法

- ・上部トラニオンとコンクリート床板(剛)の衝突により落下エネルギーをすべてトラニオンが受けた場合を想定し、トラニオンの圧縮応力(≒引張強さ)から衝撃加速度を算出
- ・構造解析コードABAQUSを用いて応力評価を実施

➤ 判定基準

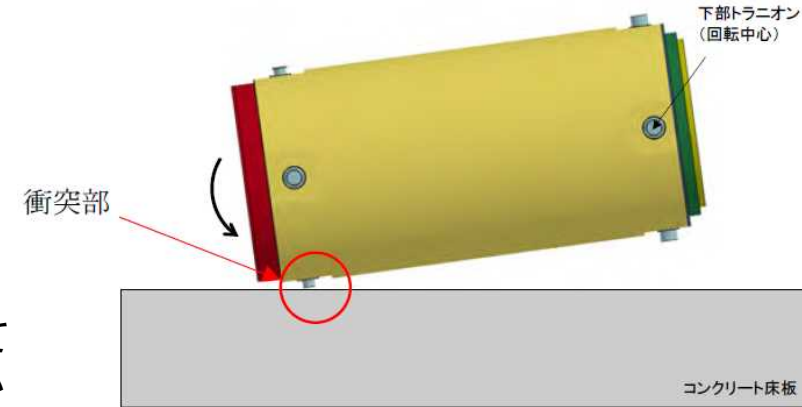
- ・密封性能が維持できることを確認

評価部位	判定基準	備考
胴体密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋締付けボルト	831MPa	ボルト材料の設計降伏点

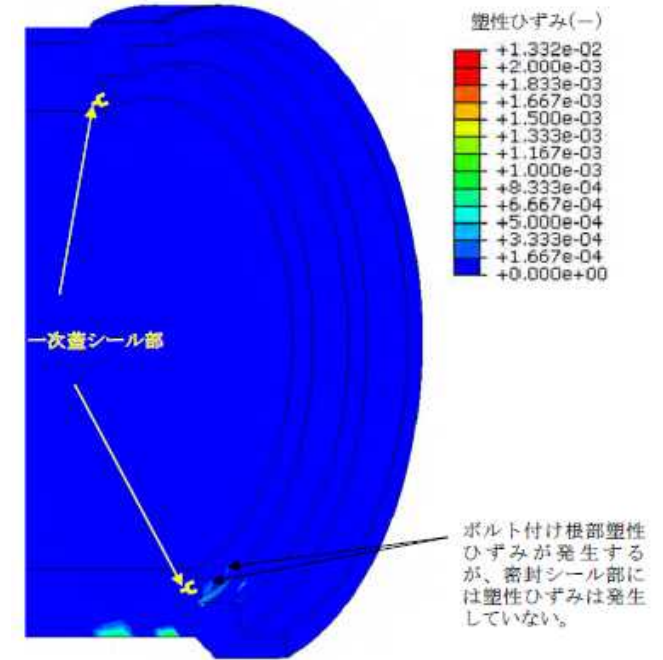
➤ 評価結果

- ・胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に塑性ひずみは発生せず判定基準を満足
- ・また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は判定基準を満足

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	265MPa	616MPa	831MPa



回転落下



評価結果
(胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に生じるひずみ)



■ 乾式キャスク同士の衝突性評価(想定シナリオ①-3)

➤ 評価方針

- ・保守的に支持架台などによる減速効果を見せず、水平面に置かれた円筒形の剛体がコンクリート床板上を並進運動する場合を評価
- ・また、地震発生時、敷地全体がある同一方向に動き、キャスク全体も同一方向に動くが、キャスク同士が同時かつ互いに近接する方向に運動するとし、コンクリート床板との摩擦を考慮した移動距離によりキャスク同士の衝突性を評価

➤ 評価方法

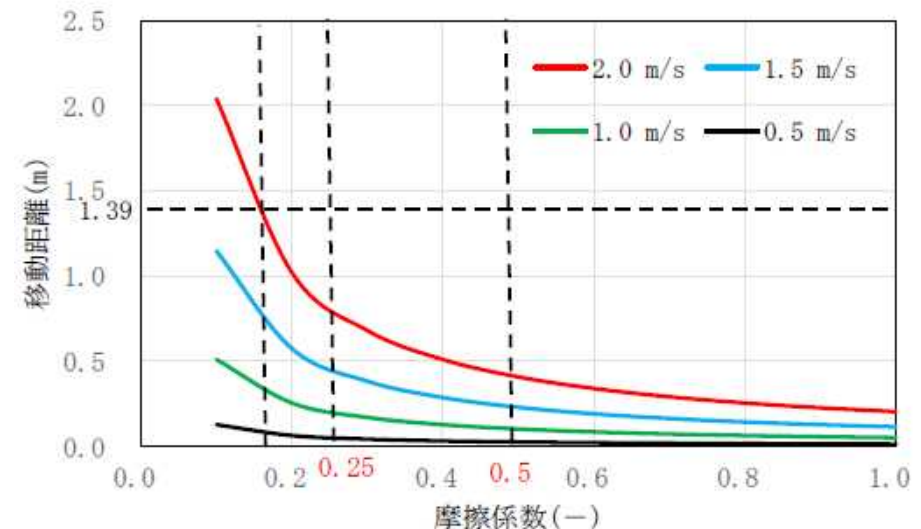
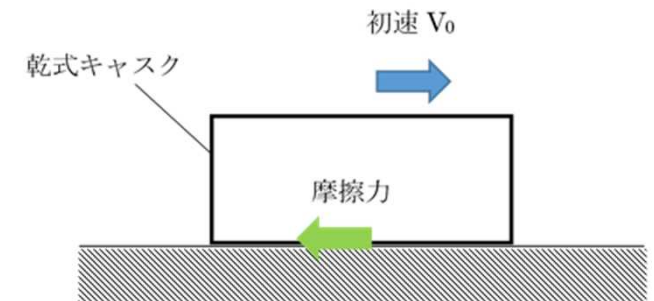
- ・床面からの摩擦力以外の力は働かず、キャスクは剛体で回転せずにコンクリート床板上を水平移動し、キャスクの運動エネルギーがすべて摩擦力により消費される場合を想定し移動距離を算出
- ・初速は審査ガイド(原子力規制委員会発出)で示される保守的な水平方向速度2.0m/sを最大とし、0.5m/s、1.0 m/s、1.5 m/sのケースについても評価
- ・摩擦係数は実施計画に記載されている鋼材とコンクリートを適用

➤ 判定基準

- ・キャスク間距離で距離の短い東西方向を判定基準1.39m(=2.78/2)とする

➤ 評価結果

- ・摩擦係数を実施計画に記載される最小値0.25としても基準値を満足



■ コンクリートモジュールの落下・転倒による評価

(想定シナリオ②-1)

➤ 評価方針

- ・地震によりコンクリートモジュールが損傷し、貯蔵中のキャスクにコンクリートモジュールが落下・転倒した場合の影響を評価
- ・想定される衝突事象におけるコンクリートモジュールの形状、落下エネルギーの大きさから以下のケースを選定

- 天板(全体)が水平姿勢でトラニオンに衝突する場合
- 天板(全体)が傾斜してフランジ部側面に衝突する場合
- 天板(パネル1枚)が水平姿勢および傾斜姿勢で外筒に衝突する場合

評価ケース	衝突位置	影響する安全機能
a	鉛直上側トラニオン	閉じ込め機能
b	胴フランジ部	閉じ込め機能
c	外筒 伝熱フィン	外筒: 遮蔽機能 伝熱フィン: 除熱機能

	a	b	c
評価ケース			
評価方法	コンクリートモジュール天板に許容曲げモーメントが作用するとし、キャスクに作用する荷重を算出		コンクリートモジュール天板の落下エネルギー、外筒のせん断に要するエネルギー及び伝熱フィンの圧縮変形エネルギーを算出
判定基準	衝突荷重が「支持架台の支持機能喪失によるキャスク落下事象」における衝突荷重以下	衝突荷重が「クレーン転倒事象」における衝突荷重以下	コンクリートモジュール天板の落下エネルギーが外筒のせん断エネルギーと伝熱フィンの圧縮変形エネルギーの合計以下
評価結果	衝突荷重が判定基準以下であるためキャスク落下事象に包絡	衝突荷重が判定基準以下であるためクレーン転倒事象に包絡	落下エネルギーが判定基準以下であるため外筒は破断しない

■ コンクリートモジュールの落下・転倒による乾式キャスクの除熱評価

(想定シナリオ②-2)

➤ 評価方針

- ・地震によりコンクリートモジュール天板の落下等により、保守的にキャスクの上半分に天板が隙間なく張り付いて覆う場合の除熱評価を行う

➤ 評価方法

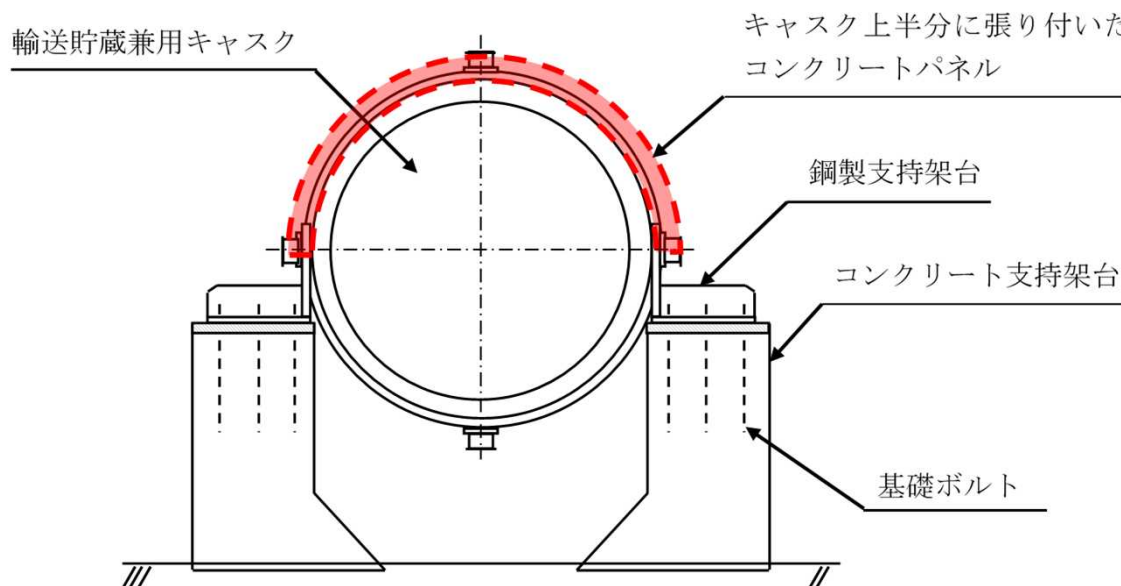
- ・キャスクの上半分に厚さ200mmの天板が密着状態で覆い、さらに保守的に断熱と設定。下半分については物理的にコンクリートが密着しないため、自然対流熱伝達、放射伝熱を考慮
- ・定常状態の温度分布を時刻0とし、1000h(約42日)までの温度変動を評価

➤ 判定基準

- ・地震発生後、数年間安全機能を確保できる温度を制限温度とする

➤ 評価結果

- ・温度上昇は400h程度でほぼ定常となり、すべての部位で安全機能が確保できる制限温度を満足



■ クレーンの転倒による評価(想定シナリオ③)

➤ 評価方針

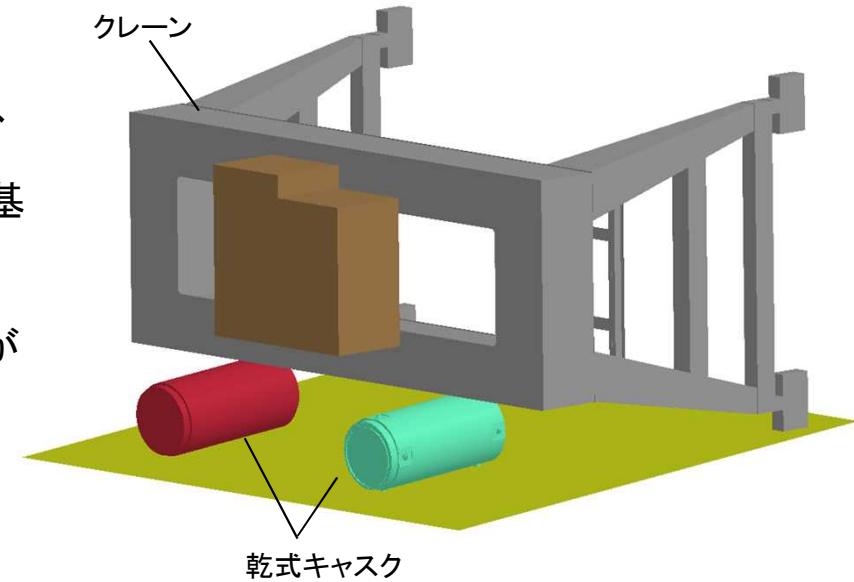
- ・クレーンの使用期間は設備全体の供用期間に対して十分小さいため、待機位置におけるクレーン転倒時のキャスクへの影響を評価
- ・また、クレーンは形状を維持した状態でコンクリート床板に置かれた2基のキャスクの胴下部外筒表面へ回転転倒する場合を評価

➤ 評価方法

- ・クレーンとキャスク外筒(剛)との衝突によりクレーンの桁に塑性変形が生じるとして衝突荷重を算出
- ・構造解析コードABAQUSを用いて応力評価を実施

➤ 判定基準

- ・密封性能が維持できることを確認

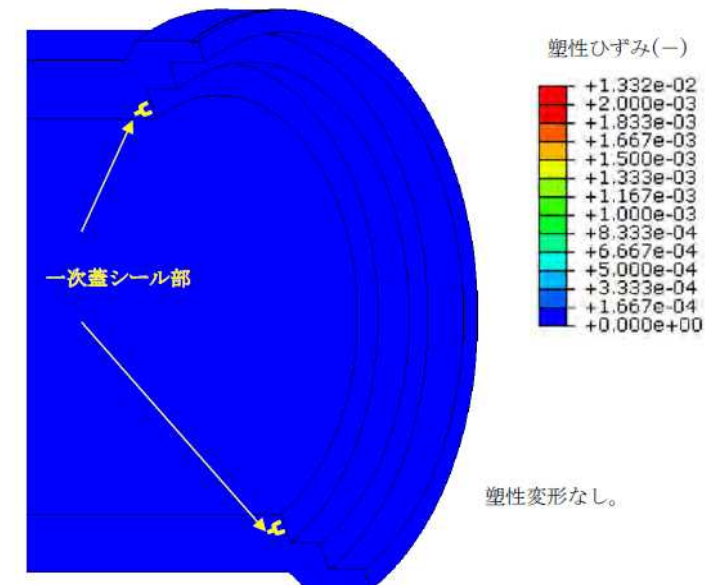


評価部位	判定基準	備考
胴体密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋密封シール部	おおむね弾性範囲	塑性ひずみ0.2%以下
一次蓋締付けボルト	831MPa	ボルト材料の設計降伏点

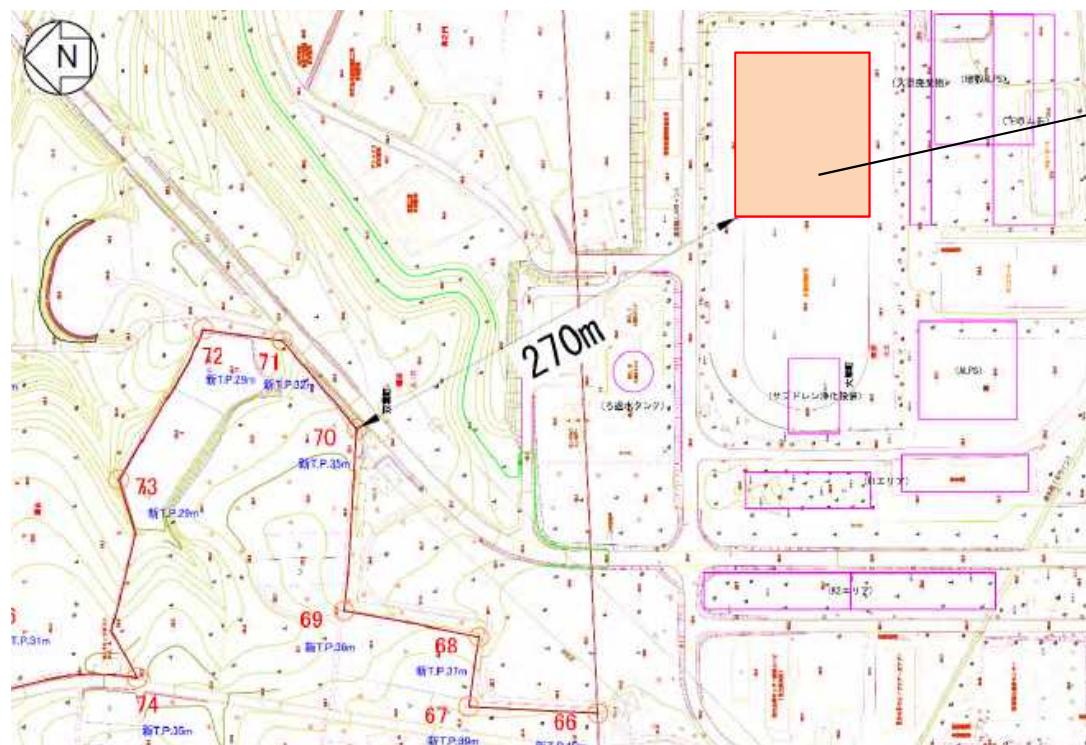
➤ 評価結果

- ・胴体密封シール部及び一次蓋密封シール部に塑性ひずみは発生せず判定基準を満足
- ・また、一次蓋締付けボルトに生じる応力は判定基準を満足

評価部位	一次応力		判定基準
	引張応力	引張+曲げ応力	
一次蓋締付けボルト	255MPa	286MPa	831MPa



- コンクリートモジュールの倒壊等による公衆への被ばく影響
コンクリートモジュールの耐震クラス設定のため、当該設備の機能喪失(落下・転倒)による敷地境界線量への影響を評価
 - 評価条件
 - ・すべてのコンクリートモジュールが落下・転倒することで遮へい機能を喪失したと仮定し、コンクリートモジュールの遮へい効果を見捨てる。
 - 評価位置
 - ・敷地境界の最寄りの評価点



キャスク
仮保管設備

- 評価結果
 - ・最寄りの評価点で、約 $540 \mu\text{Sv/y}$

- 乾式キャスクはインベントリ※1より耐震Sクラス
 - Ss900・1/2Sd450に対し、安全機能を維持するために必要な構造強度を有すること確認
- コンクリートモジュールはキャスクへの波及的影響はないが、遮蔽機能を有するコンクリートモジュールの倒壊等により公衆への被ばく線量が $50 \mu \text{Sv}$ を超過※2、かつ長期的に使用(設計貯蔵期間50年)するため耐震B+クラス
 - 1/2Ss450に対し、コンクリートモジュールの遮蔽機能を維持することを確認
- その他付帯設備はキャスクへの波及的影響はなく、設備自体の機能喪失による公衆への被ばく影響もないが、コンクリートモジュールへの波及的影響が考えられるため、耐震C(B+)クラス
 - 1/2Ss450に対し、コンクリートモジュールの遮蔽機能に影響を与えないことを確認

設備区分	耐震クラス	上位クラスへの波及的影響を考慮
乾式キャスク	S	—
コンクリートモジュール	B+	—
支持架台	C	B+ (コンクリートモジュール)
クレーン	C	B+ (コンクリートモジュール)
コンクリート基礎	C	B+ (コンクリートモジュール)

※1: 燃料1体分のUO₂を点線源とした時の直接線及びスカイシャイン線の敷地境界線量は約 $91 \mu \text{Sv/h}$ と評価されることから、69体収納の増設キャスク30基分の燃料が7日間気中に露出した場合の公衆への被ばく線量は、 $69 \text{体} \times 30 \text{基} \times 91 \mu \text{Sv/h} \times 24 \text{h} \times 7 \text{日} \div 365 \text{日} \approx 32 \text{Sv}$ と計算される。

※2: 今回の対象は増設30基であるが、仮に全95基のコンクリートモジュールが倒壊した場合、敷地境界線量は約 $61 \mu \text{Sv/y}$ から約 $540 \mu \text{Sv/y}$ に増加。

乾式貯蔵キャスク設計貯蔵期間後の扱いについて

・既設の乾式貯蔵キャスクは1995年から貯蔵を開始しているため設計貯蔵期間40年となるのは、最短で2035年となる。

・設計貯蔵期間の40年は、原子力発電所の運転期間に合わせたもので、40年ありきで当時評価し、その間の機能維持を確認している。

遮へい機能に影響する中性子遮へい材のレジン、臨界防止機能に影響するバスケットに添加されている中性子吸収材のボロン、密封機能に影響する金属ガスケットの長期健全性が論点だが、貯蔵期間を延長して再評価し機能維持を示すことにより寿命は延ばせると考えている。

・2035年の期限に対し、仮にキャスクを取り替えることになった場合の製造・調達のリードタイムから逆算すると、2030年頃には意思決定が必要と考えている。

乾式貯蔵キャスク貯蔵開始年

号機	キャスク種類	基数	貯蔵開始年
6号機	乾式貯蔵キャスク（大型）（52体/基）	1～6基目	1995年
4号機	乾式貯蔵キャスク（中型）（37体/基）	1～3基目	1995年
		4基目	1996年

以上