

伊方発電所 使用済燃料乾式貯蔵施設の 審査状況について

(令和2年10月16日ご説明からの追記箇所を赤文字で示す。)

令和2年11月13日
四国電力株式会社

枠囲みの範囲は商業機密のため公開
できません。



四国電力株式会社

目次

はじめに

1. 設計方針の概要について
2. 当初申請時からの主な変更点
3. 設置許可基準規則への適合状況
4. 今後の予定

参考 1. 乾式貯蔵施設の安全機能について

参考 2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明

参考 3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について

参考 4. 乾式キャスク輸送時および貯蔵時の比較について

参考 5. 乾式貯蔵施設の運用

はじめに

- 当社は、平成30年5月25日、伊方発電所における使用済燃料乾式貯蔵施設の設置に係る原子炉設置変更許可申請書を原子力規制委員会へ提出するとともに、愛媛県および伊方町に対し、「伊方原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書」に基づく事前協議の申入れを行いました。
- その後、当社設計方針の説明など審査対応を行っており、本年2月18日の原子力安全専門部会において、審査状況の一部(設置許可基準規則 第3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12条)についてご説明させていただいております。
- また、本年5月18日に補正書を原子力規制委員会へ提出するとともに、愛媛県および伊方町に対して、事前協議内容を補正する文書を提出しました。
- 本年6月24日の原子力規制委員会において、当社の設計方針が審査基準に適合しているとの、審査結果の取りまとめ案について了承されており、今後、審査結果に対する一般意見公募の結果等を踏まえ許可処分の可否について判断される見通しです。
- 本資料にて、使用済燃料乾式貯蔵施設の審査状況の未説明部分(設置許可基準規則 第16, 29, 30条)および補正内容についてご説明致します。

2. 当初申請時からの主な変更点

本年5月18日に実施した原子炉設置変更許可申請の一部補正における主な変更点は以下の通りです。

○ 原子力規制委員会による規則改正等※に伴う記載の変更

- 設置許可基準規則において、乾式キャスクは「兼用キャスク」、使用済燃料乾式貯蔵建屋および天井クレーン等は「周辺施設」として新たに定義され、要求事項が明確化されたこと等による、設計方針に係る記載の充実化および適正化
- 変更後における発電用原子炉施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の整備に関する説明書の追加

※:「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」の改正および「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の施行(平成31年4月2日)ならびに「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」の改正(令和2年4月1日)

○ 設計方針の一部変更

- 乾式キャスク定置方法の変更(カップホルダ方式→トラニオン固定方式)

2/18部会でご説明済

○ 「中央構造線断層帯(金剛山地東縁一由布院)の長期評価(第二版)」(地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 2017)に係る記載の追加

- 第二版の内容(断層の全長・活動区分・傾斜角)は、既許可に包含されており、基準地震動に対して影響を及ぼさないことを確認した旨を追記

○ 運用開始時期の変更

- 審査状況等を踏まえ、運用開始時期を令和5年度から令和6年度に変更

3. 設置許可基準規則への適合状況

○ 設置許可基準規則に対する当社の設計方針及び審査会合での主な議論についてご説明する。

青字下線部：規則改正等※により追加・変更となった箇所

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			設計方針及び審査会合での主な議論
要求項目		主たる要件	
条・項	記載事項		
第3条 設計基準対象施設の地盤（詳細はP13～）			
第1項	地盤の支持	算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。 <u>ただし、兼用キャスクにあっては、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</u>	<p>【設計方針】</p> <p>乾式キャスクは、基準地震動による地震力が作用した場合においても十分に支持することができる地盤に設置する。また、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤、かつ変位が生じるおそれがない地盤に設置する。</p> <p>【会合での議論】</p> <p>地震本部による中央構造線の長期評価改定による地震動評価への影響等について説明を行い、長期評価の改定による変更点およびその対応について説明した。</p>
第2項	地盤の変形	耐震重要施設及び兼用キャスクは、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。	
第3項	地盤の変位	耐震重要施設及び兼用キャスクは、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。 <u>ただし、兼用キャスクにあっては、地盤に変位が生じてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</u>	

※：「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」の改正および「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の施行（平成31年4月2日）

3. 設置許可基準規則への適合状況

青字下線部: 規則改正等※により追加・変更となった箇所

要求項目		主たる要件	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第4条 地震による損傷の防止 (詳細はP15~)			
第1項	耐震重要度分類	設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができないものでなければならぬ。	【設計方針】 乾式貯蔵施設は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、各耐震クラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対して、設備に要求する機能が保持できるように設計する。
第2項	耐震重要度分類に応じた地震力の算定	前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	乾式キャスクは、 第6項地震力 に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。
第6項	兼用キャスクの耐震性	兼用キャスクは、原子力規制委員会が別に定める地震力、または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ものでなければならない。	【会合での議論】 カップホルダ方式の貯蔵架台に係る加振試験に基づく耐震評価手法の妥当性について説明するよう指摘があり、トランオンを固定し、従来の評価手法を用いることを説明した。
第7項	兼用キャスクへの周辺斜面の影響	兼用キャスクは、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ものでなければならない。	【設計方針】 乾式キャスクは、基準地震動による地震力によって周辺斜面が崩壊しないことを確認し、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。 【会合での議論】 周辺地盤のモデル化の妥当性に関する指摘があり、評価断面を追加し、説明を行った。

3. 設置許可基準規則への適合状況

青字下線部: 規則改正等※により追加・変更となった箇所

要求項目		主たる要件 2/18部会でご説明済	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第5条 津波による損傷の防止 (詳細はP19)			
第2項	<u>耐津波 (基準津波)</u>	<u>兼用キャスク及びその周辺施設は、原子力規制委員会が別に定める津波、または基準津波のいずれかの津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</u>	【設計方針】 乾式キャスク及び周辺施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。
第6条 外部からの衝撃による損傷の防止 (詳細はP20～)			
第1項	自然現象による損傷の防止	<u>安全施設(兼用キャスクを除く。)</u> は、想定される自然現象(地震及び津波を除く。次項において同じ。)が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。	【設計方針】 乾式貯蔵施設は、発電所敷地で想定される自然現象(地震及び津波を除く。)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。 乾式貯蔵施設は、発電所等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわない設計とする。 第5項及び第7項の規定に基づき、乾式キャスクについて第1項及び第3項の規定を適用し、乾式貯蔵施設に対して、既許可(平成27年7月15日付)と同様の設計方針を適用する。 【会合での議論】 規制委員会より、まずはキャスク単体で竜巻等に対して安全機能を維持できることを確認することの方針が示されたことから、建屋で防護することを当社の設計方針としつつ、影響評価として乾式キャスク自体が竜巻等に対して頑健性を有していることを説明した。
第3項	偶発的な外部人為事象による損傷の防止	<u>安全施設(兼用キャスクを除く。)</u> は、工場等内又はその周辺において想定される発電用原子炉施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの(故意によるものを除く。)に対して安全機能を損なわないものでなければならない。	
第4項	<u>兼用キャスクの外部からの衝撃による損傷の防止</u>	<u>兼用キャスクは、合理的な竜巻として原子力規制委員会が別に定めるものや、想定される森林火災が発生した場合においても安全機能を損なわないものでなければならない。</u>	
第5項		<u>前項の規定は、兼用キャスクについて第一項の規定の例によることを妨げない。</u>	
第6項		<u>兼用キャスクは、次に掲げる人為による事象に対して安全機能を損なわないものでなければならない。</u> 一 <u>工場等内又はその周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある爆発</u> 二 <u>工場等の周辺において想定される兼用キャスクの安全性を損なわせる原因となるおそれがある火災</u>	
第7項		<u>前項の規定は、兼用キャスクについて第三項の規定の例によることを妨げない。</u>	

3. 設置許可基準規則への適合状況

要求項目		主たる要件	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第7条 発電用原子炉施設への人の不法な侵入等の防止			
第1項	人の不法な侵入等の防止	発電用原子炉施設への人の不法な侵入、発電用原子炉施設に不正に爆発性又は易燃性を有する物件その他人に危害を与え、又は他の物件を損傷するおそれがある物件が持ち込まれること及び不正アクセス行為を防止するための設備を設けなければならない。	【設計方針】 乾式貯蔵施設を含む発電用原子炉施設への人の不法な侵入等を防止するため接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行える設計とする。 〔人の不法な侵入等を防止するため、接近管理、出入管理及び不正アクセス行為の防止を行う。〕
第8条 火災による損傷の防止(詳細はP23)			
第1項	火災発生防止、火災感知設備及び消火設備	設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう、火災発生防止、火災感知設備及び消火設備並びに火災の影響を軽減する機能を有するものでなければならない。	【設計方針】 火災発生防止、火災感知設備及び消火設備並びに火災の影響を軽減する機能を有する設計とする。
第9条 溢水による損傷の防止等(詳細はP24)			
第1項	溢水による損傷の防止等	安全施設は、発電用原子炉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ものでなければならない。	【設計方針】 乾式貯蔵施設は、発電用原子炉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。
第11条 安全避難通路等(詳細はP25)			
第1項	安全避難通路および避難用の照明	発電用原子炉施設には、次に掲げる設備を設けなければならない。 一 その位置を明確かつ恒久的に表示することにより容易に識別できる安全避難通路 二 照明用の電源が喪失した場合においても機能を損なわない避難用の照明	【設計方針】 乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設けるとともに、安全避難通路には誘導灯を設ける設計とする。

3. 設置許可基準規則への適合状況

要求項目		主たる要件	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第12条 安全施設(詳細はP26)			
第1項	安全機能の重要度分類	安全施設は、その安全機能の重要度に応じて、安全機能が確保されたものでなければならない。	<p>【設計方針】</p> <p>乾式貯蔵施設は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に基づき、それが果たす安全機能の性質に応じて分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。</p> <p>〔安全機能の重要度分類〕</p> <ul style="list-style-type: none"> ・乾式キャスク: PS-2 ・乾式貯蔵建屋: PS-3
第3項	全ての環境条件における機能の発揮	安全施設は、設計基準事故時及び設計基準事故に至るまでの間に想定される全ての環境条件において、その機能を発揮することができるものでなければならない。	<p>【設計方針】</p> <p>乾式貯蔵施設の設計条件を設定するに当たっては、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、供用中に想定される環境条件下においても安全機能を発揮できる設計とする。</p>
第4項	試験又は検査	安全施設は、その健全性及び能力を確認するため、その安全機能の重要度に応じ、発電用原子炉の運転中又は停止中に試験又は検査ができるものでなければならない。	<p>【設計方針】</p> <p>乾式貯蔵施設は、安全機能の重要度に応じ、必要性及びプラントに与える影響を考慮して、供用中に試験又は検査ができる設計とする。</p>
第5項	飛散物による損傷の防止	安全施設は、蒸気タービン、ポンプその他の機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわないものでなければならない。	<p>【設計方針】</p> <p>乾式貯蔵施設は、機器又は配管の損壊に伴う飛散物により、安全性を損なわない設計とする。</p> <p>〔貯蔵エリアには、飛散物になる機器・配管等を設置しない。〕</p>
第7項	安全施設の共用	安全施設(重要安全施設を除く。)は、二以上の発電用原子炉施設と共用し、又は相互に接続する場合には、発電用原子炉施設の安全性を損なわないものでなければならない。	<p>【設計方針】</p> <p>○3号設備である乾式キャスクのうち、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号炉共通の燃料である14×14型燃料専用に設計されているため、1号、2号及び3号炉共用とすることによって、乾式貯蔵施設の安全性を損なうことはない。</p> <p>○乾式貯蔵建屋は、1号、2号及び3号炉共用とすることによって、次の理由により、乾式貯蔵施設の安全性を損なわない設計とする。</p> <p>〔1号、2号及び3号炉の使用済燃料は、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乾式キャスク(1号及び2号炉用:タイプ1、3号炉用:タイプ2)に貯蔵できる設計としている。(詳細は16条にて説明)</p> <p>・乾式貯蔵建屋は、乾式キャスク(タイプ1及びタイプ2)を貯蔵した場合に、乾式貯蔵施設の除熱機能及び遮蔽機能を損なわない設計としている。(詳細は16条、29条、30条にて説明)</p>

3. 設置許可基準規則への適合状況

要求項目		主たる要件 9/8部会ご説明範囲	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(詳細はP27～)			
第2項	燃料体等の貯蔵施設	<p>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を設けなければならない。</p> <p>一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。</p> <p>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。</p>	<p>【設計方針】</p> <p>内包する放射性物質の閉じ込めを乾式キャスクのみで担保する設計とする。</p>
		<p>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。</p>	<p>【設計方針】</p> <p>乾式貯蔵施設は、十分余裕を持たせた貯蔵容量を有する設計とする。</p> <p>【会合での議論】</p> <p>サイト全体での長期的な燃料管理方針を説明するよう指摘があり、十分に冷却が進んだ収納対象燃料は、再処理工場への搬出状況等を踏まえながら、計画的に使用済燃料乾式貯蔵施設に搬出することを説明した。</p>
		<p>ハ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。</p>	<p>【設計方針】</p> <p>乾式キャスクは実効増倍率が0.95以下となる設計とする。</p> <p>【会合での議論】</p> <p>建屋天井クレーンによるキャスクへの波及的影響について説明するよう指摘があり、周辺施設である天井クレーンは、一般産業施設として設計し、乾式キャスクの安全機能を維持するため、落下防止対策として以下の対策を講じることを説明した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天井クレーンの走行及び横行レールには、浮き上がり防止機能を設ける設計としており、走行及び横行レールからガーダ及びトロリが浮き上がることがないよう、落下防止対策を講じる。 ・乾式貯蔵建屋は自然現象等に対し頑健な建屋であり、建屋崩落に伴う天井クレーンの落下は生じない設計とする。

3. 設置許可基準規則への適合状況

青字下線部:規則改正等※により追加・変更となった箇所

要求項目		主たる要件 9/8部会ご説明範囲	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(詳細はP27～)			
第4項	キャスク	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。	【設計方針】 乾式キャスクは、ガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により十分に遮蔽する設計とする。
		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。	【設計方針】 乾式キャスクは、使用済燃料の崩壊熱を外部に放出できる設計とする。
		三 使用済燃料が内包する放射性物質を <u>適切に</u> 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。	【設計方針】 乾式キャスクは、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。 【会合での議論】 蓋間圧力等の監視頻度の妥当性について説明するよう指摘があり、3ヶ月に1回の頻度で監視することで核分裂生成ガス等の放出に至る前(蓋間圧力が大気圧となる前)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)を検知できることを説明した。

3. 設置許可基準規則への適合状況

青字下線部:規則改正等※により追加・変更となった箇所

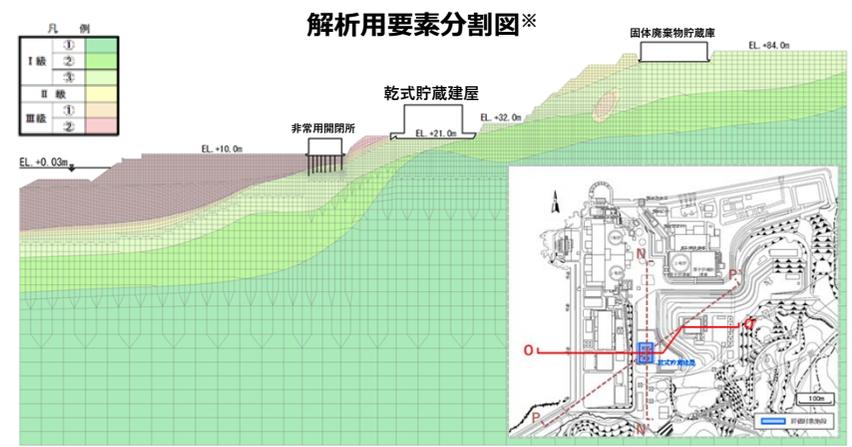
要求項目		主たる要件 9/8部会ご説明範囲	設計方針及び審査会合での主な議論
条・項	記載事項		
第29条 工場等周辺における直接線等からの防護(詳細はP44～)			
第1項	工場等周辺における直接線等からの防護	設計基準対象施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できるものでなければならない。	<p>【設計方針】 乾式貯蔵施設は、通常運転時において発電用原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による工場等周辺の空間線量率が十分に低減できる設計とする。</p> <p>【会合での議論】 規制委員会より、解析における過度な保守性を排した上で建屋の遮蔽機能の必要性を確認するとの方針が示されたが、乾式貯蔵建屋なしで評価条件を現実的に見直した場合でも、目標値である50μSv/y以下を満足できないため、乾式貯蔵建屋を設置し放射線量を低減する必要があることを説明した。</p>
第30条 放射線からの放射線業務従事者の防護(詳細はP46)			
第1項	放射線量の低減	設計基準対象施設は、外部放射線による放射線障害を防止する必要がある場合には、次に掲げるものでなければならない。 一 放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減できるものとする。	<p>【設計方針】 乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者が業務に従事する場所における放射線量を低減できる設計とする。</p>
第2項	放射線管理施設	工場等には、放射線から放射線業務従事者を防護するため、放射線管理施設を設けなければならない。	<p>【設計方針】 乾式貯蔵施設は、放射線管理区域を設定し、放射線業務従事者等の出入管理には、既設の出入管理設備を使用する設計とする。</p> <p>〔 汚染のおそれのない管理区域を設定する。〕</p>
第3項	放射線管理に必要な情報の表示	放射線管理施設には、放射線管理に必要な情報を原子炉制御室その他当該情報を伝達する必要がある場所に表示できる設備(安全施設に属するものに限る。)を設けなければならない。	<p>【設計方針】 乾式貯蔵施設は、放射線管理区域を設定し、放射線業務従事者が立ち入る場所については、定期的及び必要の都度、サーベイメータによる外部放射線に係る線量当量率の測定を行うとともに、作業場所の入口付近等に線量当量率を表示する設計とする。</p>

設計方針

乾式キャスクは、基準地震動による地震力が作用した場合においても十分に支持することができる地盤に設置する。また、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤、かつ変位が生じるおそれがない地盤に設置する。

【具体的な設計方針】

乾式キャスクが設置される地盤について、将来活動する可能性のある断層等が露頭していないことを確認した上で、基準地震動による地盤の動的解析を行い、①基礎地盤のすべり、②基礎の支持力、③基礎底面の傾斜が「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」の定める評価基準値を満足する設計とする。



評価結果の一覧

評価項目	評価値	評価基準値
①基礎地盤のすべり	最小すべり安全率 2.8 	1.5
②基礎の支持力	最大接地圧 0.52 N/mm ²	7.84 N/mm ²
③基礎底面の傾斜	最大傾斜 1/38,000	1/2,000

※ 解析対象断面のうち最も厳しい結果を与えた「O-O'断面」を例として記載

- ・ 乾式キャスクが設置される地盤は、堅硬なCH級岩盤 (I 級岩盤) で構成されており、評価基準値に対して十分な裕度を有することを確認した。
- ・ なお、周辺施設との関係において、固体廃棄物貯蔵庫を含む周辺斜面については、後述の4条 (地震による損傷の防止) の観点から、すべり安全率が評価基準値を上回ることを確認している。また、非常用開閉所については、乾式貯蔵建屋と十分な離隔を有するとともに、耐震重要施設には該当しないものの頑健な杭基礎により支持させる構造物としている。

3条 設計基準対象施設の地盤

なお、基準地震動に関連し、その策定にあたっては、地震調査研究推進本部地震調査委員会の「中央構造線断層帯の長期評価」（平成23年2月）を活用しているところ、その改訂版として「中央構造線断層帯（金剛山地東縁一由布院）の長期評価（第二版）」が平成29年12月に公表された（右表参照）。

	断層全長	断層区分	断層傾斜角 (敷地前面区間)
改訂前	約360km	6区間 (敷地前面区間：約130km)	鉛直
改訂後	約444km	10区間 (敷地前面区間：約88km)	鉛直・北傾斜

改訂の内容は、平成27年7月許可時の地震動評価に含まれており、地震動評価への影響がないことを確認している。

- ・断層全長については、第二版の断層長さ（約444km）よりも長い断層（約480km）を想定しており、地震動評価への影響はない。
- ・断層区分については、既往評価において、敷地前面の断層として長期評価（約88km）よりも長い断層（約130km）・短い断層（約54km）の両方を想定するとともに、断層長さが変わっても地震動レベルが変わらないこと（敷地近傍のアスペリティの影響が支配的であること）を確認できていることから、地震動評価への影響はない。
- ・断層傾斜角については、断層の応力降下量の観点から鉛直を基本と想定する方が保守的であることを踏まえ、鉛直を基本ケースとし、北傾斜ケースを不確かさケースとして評価しており、地震動評価への影響はない。

【審査会合での主な議論】
地震本部による中央構造線の長期評価改定による地震動評価への影響等について説明を行い、長期評価の改定による変更点およびその対応について説明した。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式キャスクは、

- ・基準地震動による地震力が作用した場合においても十分に支持することができる地盤に設置する。
- ・変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤、かつ変位が生じるおそれがない地盤に設置する

ことから、設計基準対象施設の地盤に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

4条 地震による損傷の防止

2/18部会でご説明済

地震による損傷の防止(4条第1項、第2項、第6項)

青字下線部: 規則改正等により変更となった箇所

設計方針

- ・乾式貯蔵施設は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、各耐震クラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対して、設備に要求する機能が保持できるように設計する。
- ・兼用キャスクについては、第6項地震力に対して、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

【具体的な設計方針】

- ・乾式貯蔵施設を構成する主要な施設は、下記の耐震クラスに分類する。
- ・第6項地震力として、既許可の基準地震動 S_s による地震力を用いる。
- ・乾式貯蔵施設のうち兼用キャスクである乾式キャスク及びその直接支持構造物である貯蔵架台は、既許可の基準地震動 S_s による地震力に対して、その安全機能を損なわないよう設計する。
- ・周辺施設（乾式キャスクの支持機能を有するものを除く。）は、耐震Cクラスに準じた地震力に対しておおむね弾性範囲に留まるように設計する。
- ・乾式キャスクの間接支持構造物である乾式貯蔵建屋は、基準地震動 S_s による地震力に対してその支持機能を維持できる設計とする。
- ・乾式キャスクは、周辺施設等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。

乾式貯蔵施設の耐震クラス

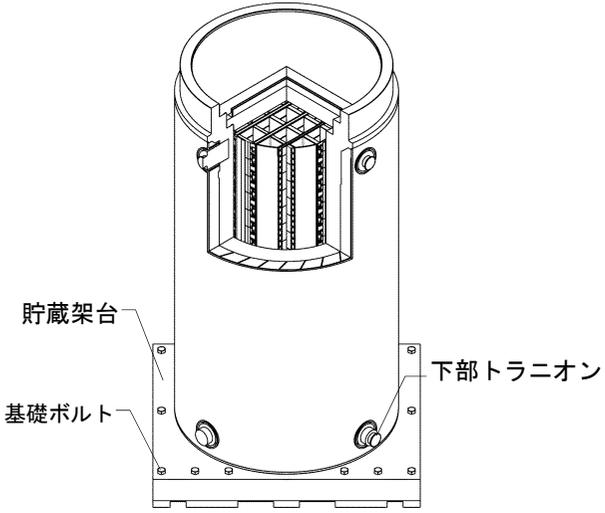
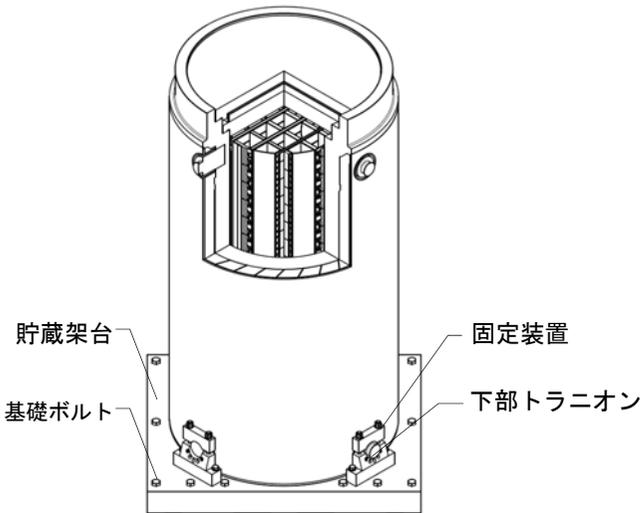
項目		耐震クラス	
兼用キャスク	乾式キャスク	S*2	
周辺施設	貯蔵架台(トラニオン固定方式)	S*2	
	乾式貯蔵 建屋	遮蔽	C
		間接支持構造物	(S_s)*1

*1: 基準地震動 S_s によって使用済燃料乾式貯蔵容器の支持機能を維持できるとともに、耐震クラスSの機器に波及的影響を及ぼさないものとする。

*2: 基準地震動 S_s による地震力に対して、機能を保持できるものとする。
また、概ね1,000ガルの揺れに対する耐震性が確保されていることを確認する。

【貯蔵時の乾式キャスク定置方法について】

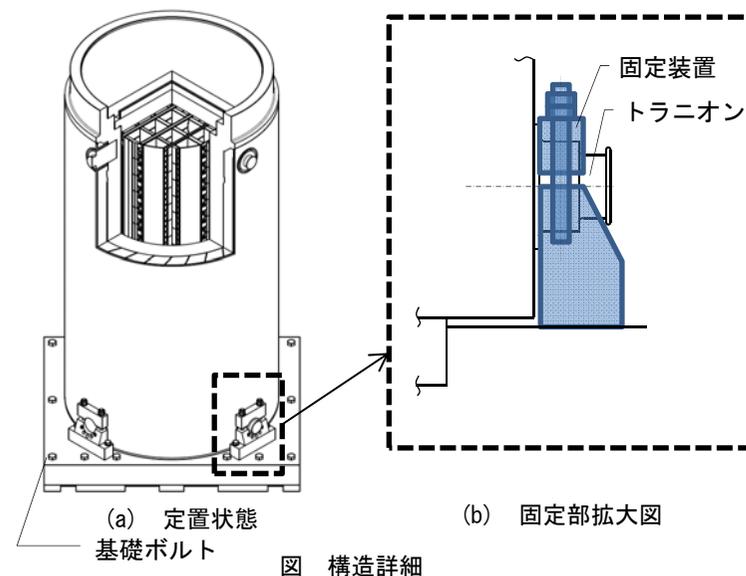
- 申請当初において、キャスクの定置方法としてはカップホルダ方式、トラニオン固定方式、いずれも耐震性を有する定置方法のうち、管理の容易さの観点から、カップホルダ方式を選定していた。（下図参照）
- カップホルダ方式の耐震性は、加振試験で検証しているものの、荷重の算定方法等について従来の評価手法が適用できず、従来の耐震設計と異なる手法が含まれており、保守性を定量的に示すには、更なる丁寧な説明が必要と判断した。
- 以上を踏まえ、定置方法を従来の評価手法が適用できるトラニオン固定方式に設計を変更する。

カップホルダ方式(変更前)	トラニオン固定方式(変更後)
	
<p>貯蔵架台に乾式キャスク底部と嵌め合う凹部を設けることで、固定せず乾式キャスクが転倒しない構造</p>	<p>乾式キャスクの下部トラニオンと貯蔵架台を固定装置で固定する構造</p>

【審査会合での主な議論】
 カップホルダ方式の貯蔵架台に係る加振試験に基づく耐震評価手法の妥当性について説明するよう指摘があり、トラニオンを固定し、従来の評価手法を用いることを説明した。

【耐震評価手法】

- ・ 貯蔵架台に固定した状態の乾式キャスクに対して固有値解析を実施する。
- ・ 固有値解析結果から、評価用加速度を算出し、応力を評価する。
- ・ 以上の耐震評価方法は、従来より実績のある評価手法であることから、詳細な評価結果は、工事計画認可申請においてその耐震計算書に示す。



設計方針の妥当性

以上のとおり、

- ・ 乾式貯蔵施設は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、各耐震クラスに分類し、それぞれに応じた地震力に対して、設備に要求する機能が保持できるように設計する。
- ・ 兼用キャスクについては、[第6項地震力に対して](#)、安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。

ことから、地震による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

4条 地震による損傷の防止

2/18部会でご説明済

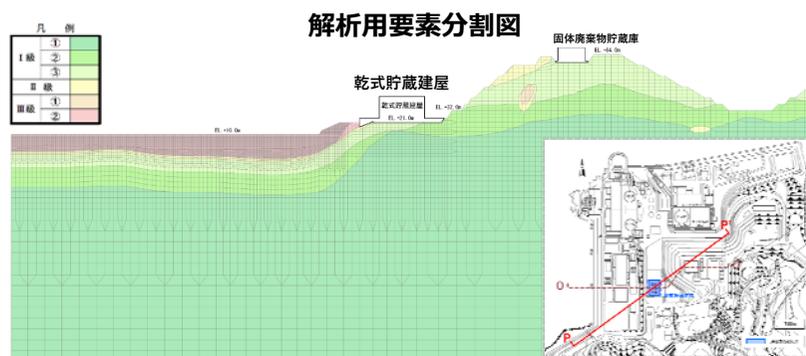
地震による損傷の防止(4条第7項)

設計方針

乾式キャスクは、基準地震動による地震力によって周辺斜面が崩壊しないことを確認し、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置する。

【具体的な設計方針】

基準地震動による周辺斜面の動的解析を行い、周辺斜面のすべり（すべり安全率）が「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」の定める評価基準値を満足する設計とする。



評価結果の一覧

評価項目	評価値	評価基準値
周辺斜面のすべり	最小すべり安全率 1.7	1.2

※ 解析対象断面のうち最も厳しい結果を与えた「P-P断面」を例として記載

【審査会合での主な議論】

周辺地盤のモデル化の妥当性に関する指摘があり、評価断面を追加し、説明を行った。

設計方針の妥当性

以上のおり、乾式キャスクは、

- ・ 基準地震動による地震力によって周辺斜面が崩壊しないことを確認し、その安全機能が損なわれるおそれがない場所に設置することから、地震による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

5条 津波による損傷の防止

2/18部会でご説明済

津波による損傷の防止(5条第2項)

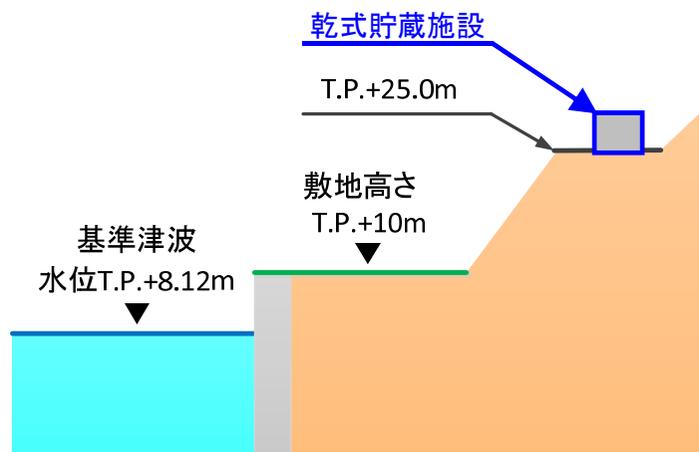
設計方針

乾式キャスク及びその周辺施設からなる乾式貯蔵施設は、基準津波に対して、その安全機能が損なわれることがないように、以下の方針に基づき設計する。

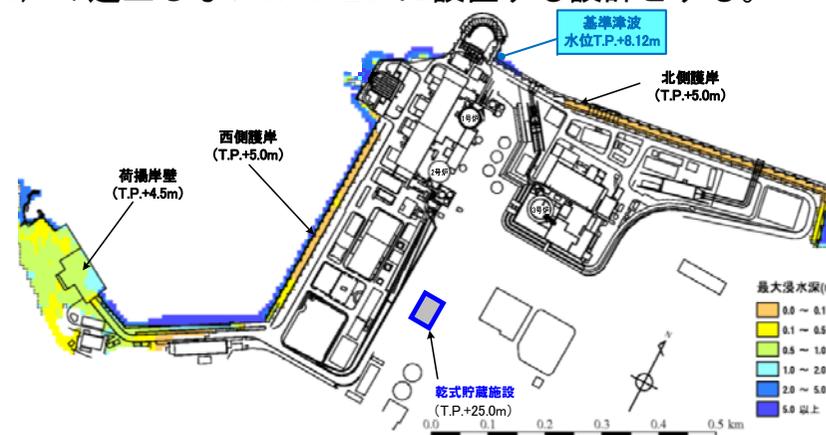
- (1) 乾式貯蔵建屋の設置された敷地において、基準津波による遡上波を地上部から到達又は流入させない設計とする。
- (2) 建屋及び区画については、浸水防護重点化範囲を明確化し、津波による影響等を受けない位置に設置する設計とする。

【具体的な設計方針】

乾式貯蔵施設は、既許可と同じ基準津波 (T.P. +8.12m) の遡上しないT.P. +25mに設置する設計とする。



【乾式貯蔵施設 敷地断面イメージ図】



【基準津波による最大浸水深分布】

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、設置地盤の高さにより、基準津波に対してその安全機能が損なわれることがない設計とすることから、津波による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)(6条第1項)

設計方針

乾式貯蔵施設は、最大風速100m/sの竜巻が発生した場合においても、竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して安全機能を損なわないために、飛来物の発生防止対策及び竜巻防護対策を行う。

【乾式貯蔵施設の設置による基準竜巻、設計飛来物等への影響】

設計竜巻の最大風速は、既許可で設定した値から変更はない。また、伊方発電所で実施している飛来物発生防止対策、竜巻防護対策及び伊方発電所の設計飛来物の変更はない。

【具体的な設計方針】

・飛来物の発生防止対策

乾式キャスクへ影響を及ぼす資機材及び車両については、固縛、固定又は乾式キャスクから離隔する。

・竜巻防護対策

固縛等による飛来物の発生防止対策ができないものが飛来し、乾式貯蔵施設が安全機能を損なわないために、乾式貯蔵建屋により乾式キャスクを防護する。乾式貯蔵建屋は竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重等に対して構造健全性を維持する設計とする。

乾式貯蔵建屋の給排気口はラビリンス構造とし、設計飛来物が乾式キャスクに直接衝突しない設計とする。また、乾式貯蔵建屋は新規制基準適合性審査における工事計画において、設計竜巻(最大風速100m/s)に耐えることを評価式を使って確認した壁厚さ、屋根スラブ厚さに余裕を加えた、壁厚さ、屋根スラブ厚さで設計を行う。

設計方針の妥当性

以上のとおり、飛来物の発生防止対策を実施し、乾式キャスクを内包する施設である乾式貯蔵建屋は設計竜巻(最大風速100m/s)に耐える頑健な外郭を有していることから、外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻)に係る設計の基本方針は妥当である。

外部からの衝撃による損傷の防止(火山)(6条第1項)

設計方針

乾式貯蔵施設は、降下火砕物の構造物への静的負荷に対して安全裕度を有する設計とすること、乾式貯蔵建屋の給排気口に対する機械的影響(閉塞)に対して降下火砕物が侵入しにくい設計とすること、構造物の化学的影響(腐食)に対して短期での腐食が発生しない設計とすることにより、安全機能を損なわない設計とする。

【乾式貯蔵施設の設置による降下火砕物の設計条件への影響】

乾式貯蔵施設の設置による降下火砕物の設計条件への影響はないため、既許可の設計条件を適用する。

【具体的な設計方針】

降下火砕物の影響から防護する施設である乾式キャスクは乾式貯蔵建屋に設置するため、降下火砕物による影響について、乾式貯蔵建屋の構造や設置状況等を考慮し、想定される影響因子に対して、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

・乾式貯蔵建屋への静的負荷

乾式貯蔵建屋の許容荷重が、降下火砕物による荷重に対して安全裕度を有することにより、構造健全性を失わず乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

・乾式貯蔵建屋への化学的影響(腐食)

外装の塗装等によって短期での腐食により乾式キャスクの安全機能を損なわない設計とする。

・乾式貯蔵建屋の給排気口に対する機械的影響(閉塞)

乾式貯蔵建屋の給排気口は開口部の形状等により、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。また、乾式貯蔵建屋の給排気口は、降下火砕物が流路に侵入した場合でも、流路が閉塞しない設計とする。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式キャスクを設置する乾式貯蔵建屋は、静的負荷、化学的影響(腐食)に対して問題のない建屋とする。また、乾式貯蔵建屋の給排気口は降下火砕物により閉塞しない設計とすることから、外部からの衝撃による損傷の防止(火山)に係る設計の基本方針は妥当である。

外部からの衝撃による損傷の防止(外部火災)(6条第1項)

設計方針

乾式貯蔵施設が外部火災に対して、想定される最も厳しい火災が発生した場合においても必要な安全機能を損なわないよう、防火帯の設置、離隔距離の確保、建屋による防護、障壁による防護及び代替設備の確保等によって、安全機能を損なわない設計とする。

【具体的な設計方針】

- ・乾式貯蔵施設は、防火帯の内側に設置して森林火災の延焼を防止し、熱影響に対しては、離隔距離を確保する。
- ・消防要員を構内に常駐させ、早期に消火体制を確立することで、防火帯外縁での消火活動を可能とする。

【具体的な評価内容】

- ・外部火災熱影響評価のうち、船舶を火災源とした評価以外については、下表の通り、既許可にて離隔距離の妥当性を確認している原子炉建屋の評価結果に包含されることを確認した。
- ・船舶を火災源とした評価については、乾式貯蔵施設との離隔距離が原子炉建屋に比べ短くなるため、熱影響について評価した結果、乾式貯蔵施設の外壁の表面の温度は約56℃となり、許容温度200℃を下回ることを確認した。

火災源から外部火災防護施設の離隔距離

想定する火災源	離隔距離(m)	
	原子炉建屋 (既許可評価)	乾式貯蔵施設
森林火災	70	200
重油タンク	100	140
空冷式非常用発電装置	23	180
航空機墜落(例:UP-3D)	32	90
船舶	690	490

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、外部火災に対して、安全機能を損なわれることはないことから、外部火災による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

8条 火災による損傷の防止

2/18部会でご説明済

火災による損傷の防止(8条)

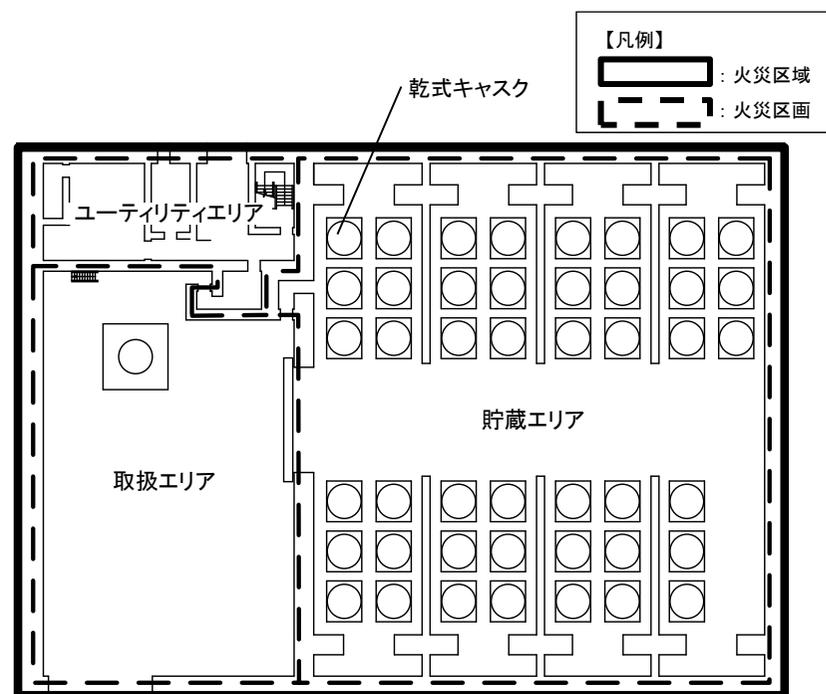
設計方針

乾式貯蔵施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性を損なわないよう、火災発生防止、火災感知器及び消火並びに火災の影響軽減に必要な措置を講じる設計とする。

【具体的な設計方針】

「火災防護審査基準」においては、放射性物質の貯蔵機能を有する構築物、系統及び機器が設置される火災区域を対象とすることから、火災防護の対象機器である乾式キャスクを貯蔵する乾式貯蔵建屋を火災区域として設定する。

火災区域のうち、乾式キャスクの貯蔵機能を有する貯蔵エリア、貯蔵エリアに隣接する取扱エリア及びユーティリティエリアを火災区画として設定し、火災発生防止、火災感知設備及び消火設備並びに火災の影響を軽減する機能を有する設計とする。



図：乾式貯蔵建屋の火災区域

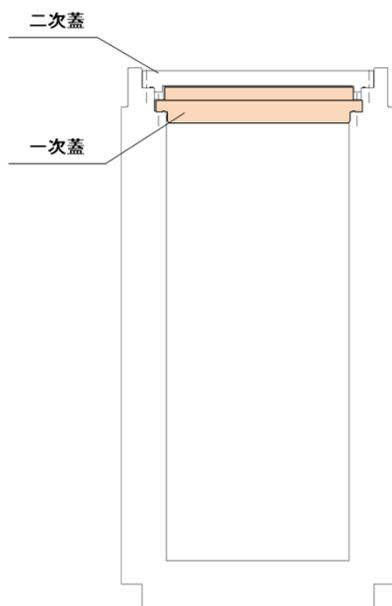
設計方針の妥当性

以上のおり、乾式貯蔵施設は、内部火災に対して、安全機能を損なわれることはないことから、火災による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

溢水による損傷の防止等(9条)

設計方針

乾式貯蔵施設は、発電用原子炉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。



【乾式キャスク断面 概略図】

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、発電用原子炉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ことから、溢水による損傷の防止に係る設計の基本方針は妥当である。

【具体的な設計方針】

防護対象設備である乾式キャスクは、溢水事象を想定しても必要とされる安全機能(放射性物質の閉じ込め機能)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。

乾式キャスクは溢水の影響を受けても安全機能を損なわない機器であることから、溢水影響評価の対象外となる。

なお、乾式キャスクの閉じ込め機能は、金属製のガスケットを頑丈な胴と一次蓋で挟んで圧縮することで維持しており、輸送状態で200mの水中に浸漬させても問題ない設計となっている。今回、貯蔵状態(三次蓋及び緩衝体が無い状態)で200mの水圧を想定しても、一次蓋に発生する応力はおおむね弾性範囲内であり、閉じ込め機能を担保できることを確認した。

3. 設置許可基準規則への適合状況

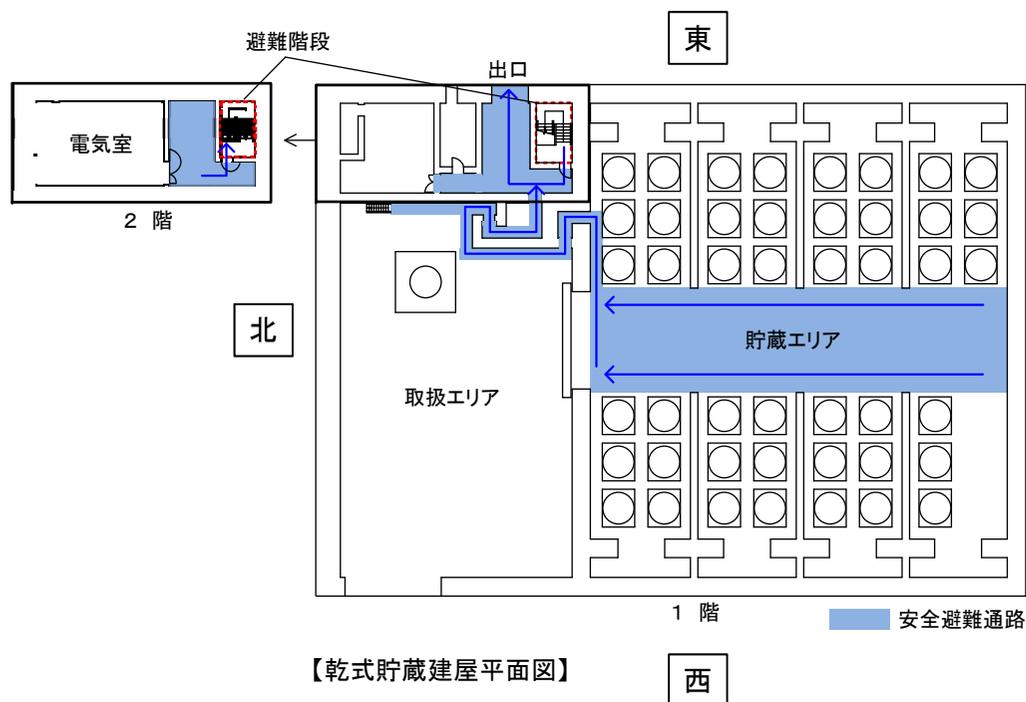
11条 安全避難通路等

2/18部会でご説明済

安全避難通路等(11条第1項)

設計方針

乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設ける設計とする。
また、安全避難通路に誘導灯を設ける設計とする。



【乾式貯蔵建屋平面図】

【具体的な設計方針】

乾式貯蔵建屋全体に避難階段、安全避難通路および誘導灯を設置する設計とする。

- ・建築基準法に準拠し、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設置する。
- ・消防法に準拠し、安全避難通路に誘導灯を設置する。
- ・建築基準法に準拠し、乾式貯蔵施設内には従事者が常時滞在しないため、非常灯は設置しない。

設計方針の妥当性

以上のおり、乾式貯蔵施設内には、避難階段を設置し、それに通じる安全避難通路を設ける設計とするとともに、安全避難通路に誘導灯を設ける設計とすることから、安全避難通路等に係る設計の基本方針は妥当である。

安全機能の重要度分類(12条第1項)

設計方針

乾式貯蔵施設は、「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」に基づき、それが果たす安全機能の性質に応じて分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計とする。

【具体的な設計方針】

・乾式貯蔵施設の安全上の機能別重要度分類を、次のように定め、これらの機能を果たすべき構築物、系統及び機器を適切に設計する。

構築物、系統又は機器	分類	分類の根拠
乾式キャスク ^(注1)	PS-2	乾式キャスクは、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。
乾式貯蔵建屋 ^(注2)	PS-3	乾式貯蔵建屋(貯蔵機能を有する範囲)は、乾式キャスク(PS-2)の貯蔵機能を補完する構築物であり、乾式キャスク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。

(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。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、その安全機能の性質に応じて分類し、十分高い信頼性を確保し、かつ維持し得る設計とすることから、安全機能の重要度分類に係る設計方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

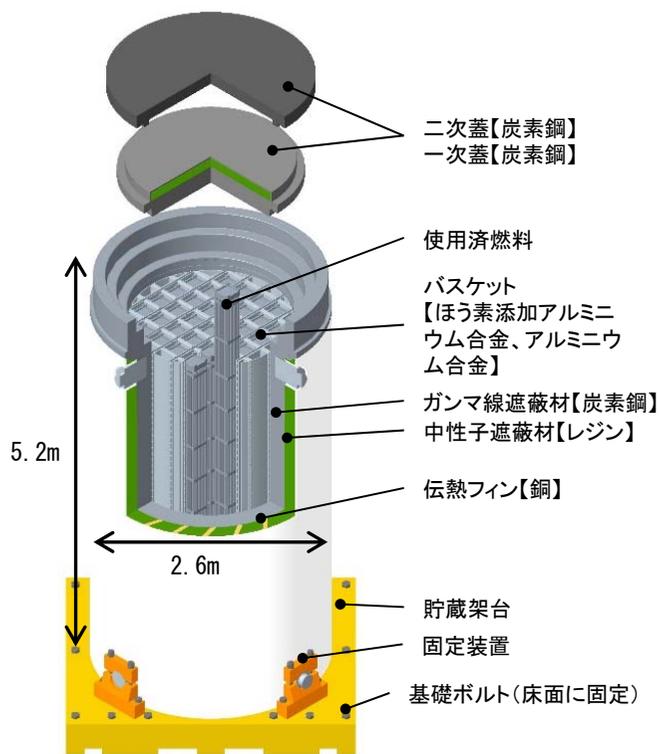
16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条)

乾式キャスクの構造

<タイプ1>

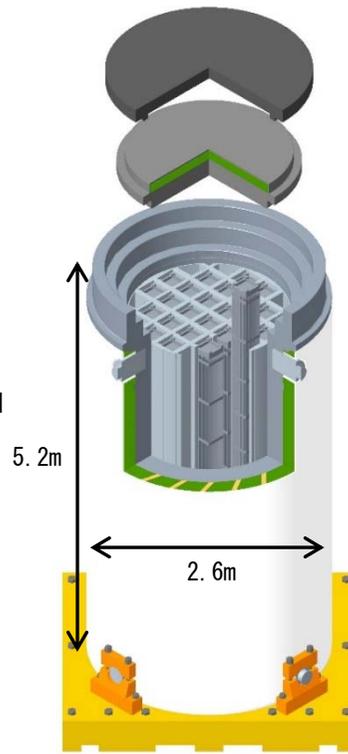
1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用



【乾式キャスクの構造図】

<タイプ2>

3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用



【バーナブルポイズン集合体の構造図(17×17型燃料用の例)】

乾式キャスクの形状

- ✓ 寸法 : (直径)2.6m (高さ)5.2m
- ✓ 重さ : 約120トン(使用済燃料等含む)

収納物

<1,2号炉燃料用>

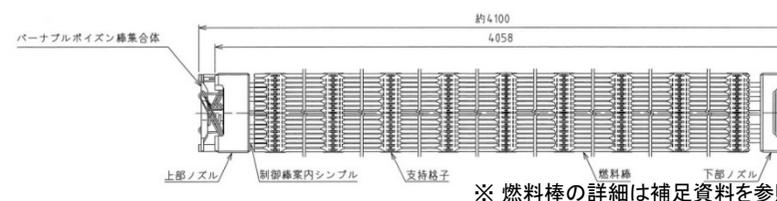
- ・使用済燃料(14×14型燃料)^(注1) : 32体/基

<3号機燃料用>

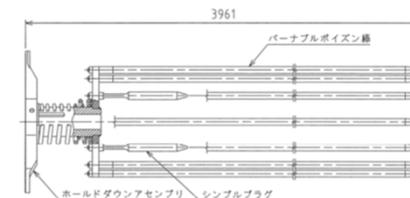
- ・使用済燃料(17×17型燃料)^(注2) : 24体/基
- ・バーナブルポイズン集合体 : 12体以下/基

(注1) 断面寸法197mm角、全長約4.1m

(注2) 断面寸法214mm角、全長約4.1m



【使用済燃料の構造図(17×17型燃料の例)】



(装荷しない場合あり)

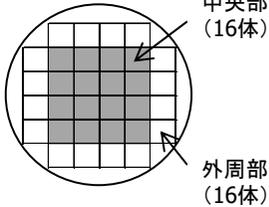
3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

乾式キャスクの収納制限

下表の制限をすべて満足すること。

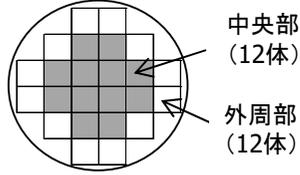
<タイプ1> 1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用

仕様		キャスク収納制限		
		中央部		外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	14×14型 (A/B型)		
		48GWd/t型	39GWd/t型	39GWd/t型
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2	≤3.5	
	最高燃焼度 (燃料集合体平均) (GWd/t)	≤48	≤39	
	SFP※ ¹ での冷却期間 (年)	≥15		≥25
キャスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤45		≤33
配置制限				

※1: 使用済燃料ピット

※2: 回収ウラン燃料(使用済燃料を再処理して得られたウランを再利用した燃料)については、15年以上冷却した通常ウラン燃料と放射線量及び発熱量が同程度以下となるよう20年以上冷却した後、収納する。

<タイプ2> 3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用

仕様		キャスク収納制限	
		中央部	外周部
燃料 集合体 1体の 仕様	燃料タイプ	17×17型 (A/B型)	
		48GWd/t型	
	初期ウラン濃縮度 (wt%)	≤4.2	
	最高燃焼度 (燃料集合体平均) (GWd/t)	≤48	≤44
	SFP※ ¹ での冷却期間 (年)	A型: ≥15※ ² B型: ≥17	A型: ≥15 B型: ≥17
キャスク 1基あたり	平均燃焼度 (GWd/t)	≤44	
バーナブル ポイズン	最高燃焼度 (GWd/t)	≤90	—
	SFP※ ¹ での冷却期間 (年)	≥15	—
配置制限			

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号イ及び第4項三号、16条解釈別記4 16条第4項)

【乾式キャスクの閉じ込め機能】

設計方針

乾式貯蔵施設内では、乾式キャスク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乾式キャスクのみで担保する設計とする。

乾式キャスクは、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。

【閉じ込め構造】

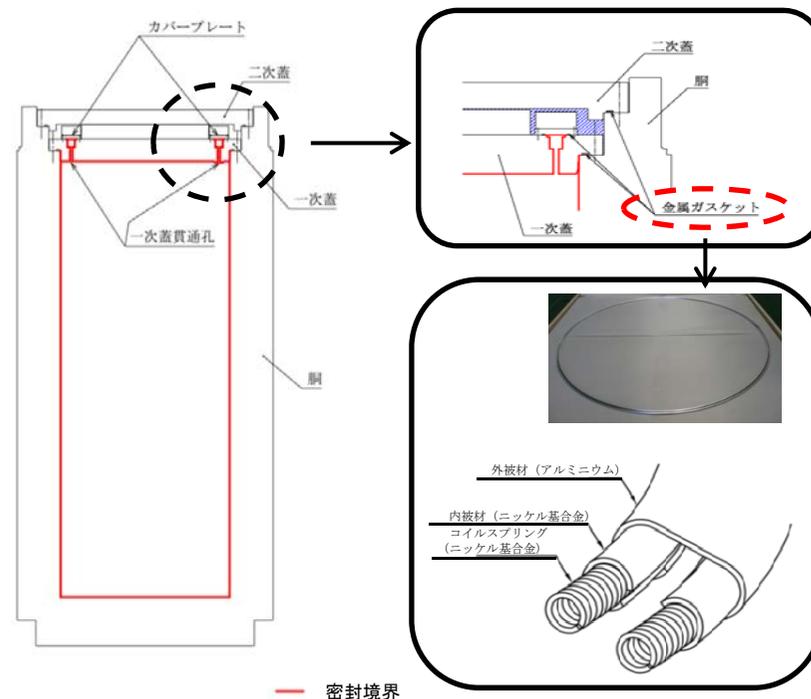
- ・乾式キャスク本体及び一次蓋により使用済燃料を封入する空間を設計貯蔵期間を通じて負圧に維持する※1。一次蓋と二次蓋の蓋間をあらかじめ正圧とし圧力障壁を形成することにより、放射性物質を乾式キャスク内部に閉じ込める。蓋及び蓋貫通孔のシール部には、長期にわたって閉じ込め機能を維持する観点から金属ガスケットを使用し、金属ガスケットは、設計貯蔵期間中に乾式キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率(以下、「基準漏えい率」という)を満足するものを使用する。
- ・蓋間の空間圧力を測定することにより閉じ込め機能を監視する。

【評価方法※2】

- ・蓋間の空間に充填されているヘリウムガスが設計貯蔵期間を通じて圧力を一定とした条件下で乾式キャスク内部に漏えいするとともに、燃料棒からの核分裂生成ガスの放出を仮定しても、乾式キャスク内部を負圧に維持可能な基準漏えい率を求める。
- ・基準漏えい率よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認する。

※1: 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。(P43参照)

※2: タイプ1(1,2号炉燃料用)及びタイプ2(3号炉燃料用)の乾式キャスクそれぞれ評価する。



【乾式キャスクの閉じ込め構造】

3. 設置許可基準規則への適合状況

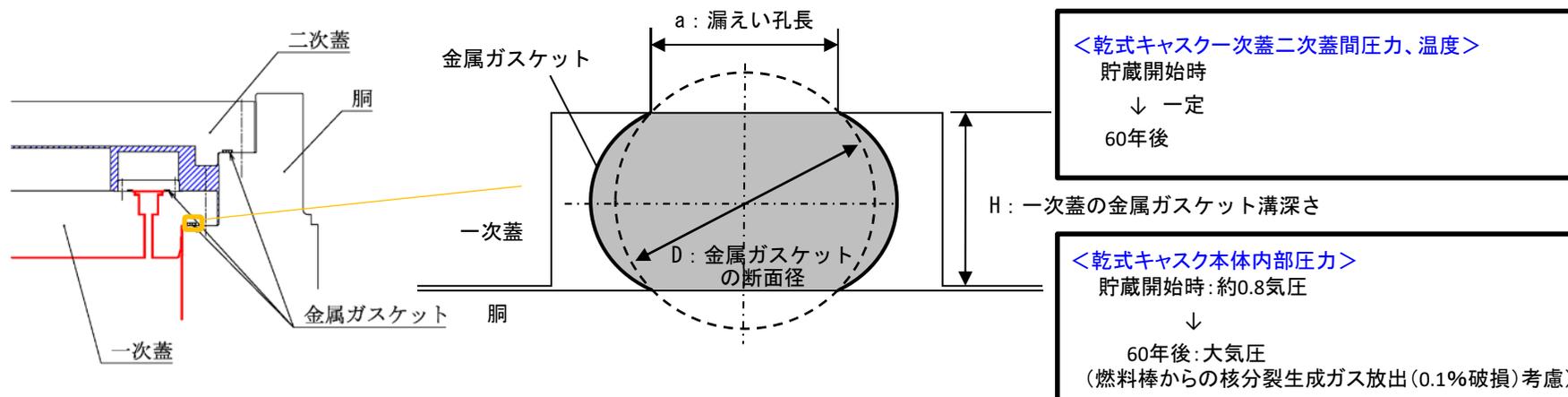
16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号イ及び第4項三号、16条解釈別記4 16条第4項)

【乾式キャスクの閉じ込め機能】

閉じ込め計算条件、計算式

○ボイル・シャルルの式(気体の状態を評価する工学式)およびクヌッセンの式(気体の流れを評価する工学式)を用い、設計貯蔵期間(60年)経過後の乾式キャスク本体内部圧力が大気圧となる漏えい率(基準漏えい率)を算出する。



閉じ込め評価結果

○設計貯蔵期間(60年)を通じて、乾式キャスク内部を負圧に維持可能な基準漏えい率を求め、基準漏えい率よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いることを確認した。

1,2号炉ウラン燃料用

基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
2.58 × 10 ⁻⁶	≤ 1.0 × 10 ⁻⁸

3号炉ウラン燃料用

基準漏えい率 (Pa・m ³ /s)	金属ガスケットの性能 (Pa・m ³ /s)
2.49 × 10 ⁻⁶	≤ 1.0 × 10 ⁻⁸

3. 設置許可基準規則への適合状況

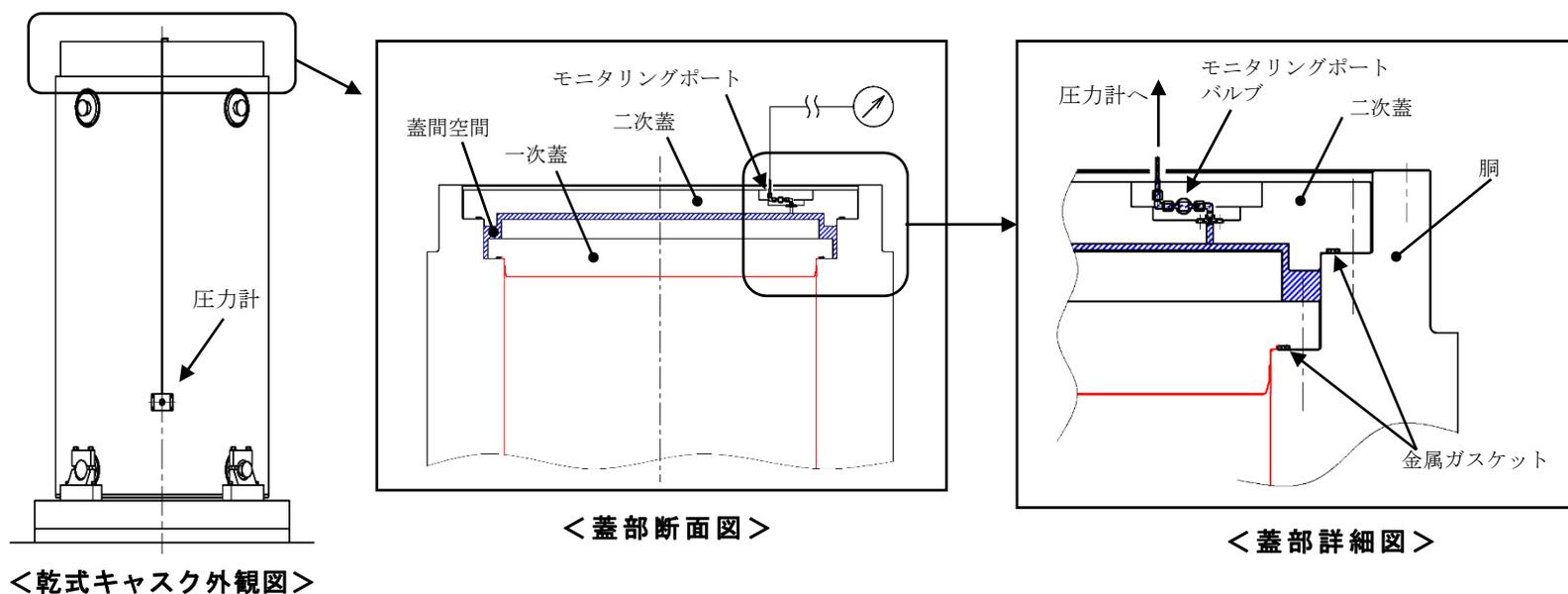
16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号イ及び第4項三号、16条解釈別記4 16条第4項)

【乾式キャスクの閉じ込め機能】

閉じ込め機能の監視構造

- ・下図のとおり、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構造とする。



設計方針の妥当性

以上のとおり、設計貯蔵期間中に乾式キャスク内部を負圧に維持できる漏えい率(基準漏えい率)を評価し、基準漏えい率よりも漏えい率の小さい金属ガスケットを用いる設計としていること、一次蓋と二次蓋の間の圧力を監視できる構造としていることから、乾式キャスクの閉じ込め機能に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号ハ、16条解釈別記4 16条第1項)

【乾式キャスクの臨界防止機能】

設計方針

乾式キャスクは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。

【臨界防止構造】

- ・乾式キャスク内のバスケットは、格子構造とし、設計貯蔵期間を通じて使用済燃料を所定の配置に維持できる設計※¹としている。
- ・また、バスケットには中性子吸収材であるほう素添加アルミニウム合金を配置する。

【評価方法※²】

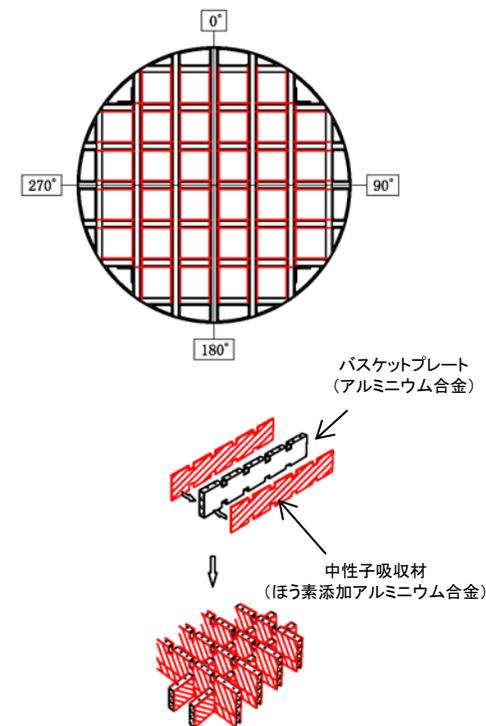
- ・最も厳しい条件となる乾式キャスクに使用済燃料を収納する際の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95以下であることを確認する。

【評価条件】

- ・収納物に係る解析条件は、収納制限(P28参照)を鑑みて、保守的に設定する。
 - ✓ 乾式キャスクに収納する使用済燃料は照射済(使用済燃料)であるが、未照射の燃料とし、ウラン濃縮度は初期ウラン濃縮度の仕様上の最大値、燃焼度はOGWd/tとする。
 - ✓ ウラン燃料集合体のみを収納するとする。
(Gd入燃料集合体やバーナブルポイズン集合体も収納することがあるが、本評価では無視する)

※1: 設計上想定される状態においても、バスケットが塑性変形しない設計とする。(P43参照)

※2: タイプ1(1,2号炉燃料用)及びタイプ2(3号炉燃料用)の乾式キャスクそれぞれ評価する。



【バスケット構造図(1, 2号炉燃料用の例)】

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号ハ、16条解釈別記4 16条第1項)

【乾式キャスクの臨界防止機能】

臨界解析評価手法

○前頁の収納物仕様および保守的な解析モデルを用いて、SCALEコードシステムを用い、実効増倍率の計算には同じコードシステムに含まれるKENO-VIコードにより評価する。
なお、KENO-VIコードは、モンテカルロ計算コードであり、実効増倍率を評価し、その評価結果にはバラツキが生じるため、評価結果を統計処理し、平均値に統計誤差(σ)の3倍(3σ)を加味した値を中性子実効増倍率の評価結果とする。

臨界解析結果

○最も厳しい条件となる乾式キャスクに使用済燃料を収納する際の冠水状態における臨界評価を実施し、中性子実効増倍率が0.95を下回ることを確認した。

乾式キャスク型式	中性子 実効増倍率	基準値
1,2号炉ウラン燃料用	0.91※	≤ 0.95
3号炉ウラン燃料用	0.92※	

※:統計誤差(σ)の3倍(1,2号炉ウラン燃料用では $3\sigma:0.00129$ 、3号炉ウラン燃料用では $3\sigma:0.00135$)を加味した値である。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式キャスクは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。)以下となる設計としていることから、乾式キャスクの臨界防止機能に係る設計の基本方針は妥当である。

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項一号、16条解釈別記4 16条第2項)

【乾式キャスクの遮蔽機能】

設計方針

乾式キャスクは、一般公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により適切に遮蔽する設計とする。

【遮蔽構造】

- ・ 乾式キャスクは、使用済燃料からの放射線を乾式キャスク本体及び蓋部により遮蔽する。
- ・ ガンマ線遮蔽材には、鋼製の材料を用い、中性子遮蔽材には、水素を多く含有するレジンを用いる。

【評価方法※】

- ・ 使用済燃料を線源として遮蔽解析を実施し、乾式キャスク表面の線量当量率が2mSv/h 以下及び表面から1m離れた位置における線量当量率が $100 \mu\text{Sv/h}$ 以下となることを確認する。

【評価条件】

- ・ 収納物に係る解析条件は、収納制限（P 2 8 参照）を鑑みて、保守的に設定する。
 - ✓ ウラン濃縮度は、保守的に設定する
 - ✓ 燃焼度は中央部、外周部共に最高燃焼度とする
 - ✓ バーナブルポイズン集合体は、放射化による線源強度については考慮するが、構造材としての遮蔽効果は無視する
 - ✓ 中性子遮蔽材（レジン）は設計貯蔵期間中（60年）の熱影響によりわずかに質量減損が発生するため、中性子遮蔽材の質量減損（2.5%）を考慮する

※:タイプ1(1,2号炉燃料用)及びタイプ2(3号炉燃料用)の乾式キャスクそれぞれ評価する。

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項一号、解釈別記4 16条第2項)

【乾式キャスクの遮蔽機能】

遮蔽解析評価手法

○使用済燃料の線源強度計算はORIGEN2コード、乾式キャスクの線量当量率の解析にはDOT3.5コードを使用して評価する。

遮蔽解析評価結果

乾式キャスク型式	最大線量当量率		基準値
<タイプ1> 1,2号炉ウラン燃料 (14×14型燃料)用	表面	1.57 m Sv/h	≤ 2 m Sv/h
	表面から1m離れた位置	83.8 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h
<タイプ2> 3号炉ウラン燃料 (17×17型燃料)用	表面	1.83 m Sv/h	≤ 2 m Sv/h
	表面から1m離れた位置	86.0 μ Sv/h	≤ 100 μ Sv/h

設計方針の妥当性

以上のおり、乾式キャスク表面の線量当量率が2 m Sv/h 以下及び表面から1m離れた位置における線量当量率は100 μ Sv/h 以下であり、使用済燃料から放出される放射線をガンマ線遮蔽材及び中性子遮蔽材により適切に遮蔽する設計であることから、乾式キャスクの遮蔽機能に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項二号、16条解釈別記4 16条第3項)

【乾式キャスクの除熱機能】

設計方針

乾式キャスクは、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。

【除熱構造、伝熱経路】

- ・ 乾式キャスクは、使用済燃料から発生する崩壊熱を熱伝導及びふく射により乾式キャスクの外表面に伝え、対流及びふく射により周囲の空気等に伝達する。乾式キャスク本体側部の中性子遮蔽材には熱伝導率の低いレジンを用いるため、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

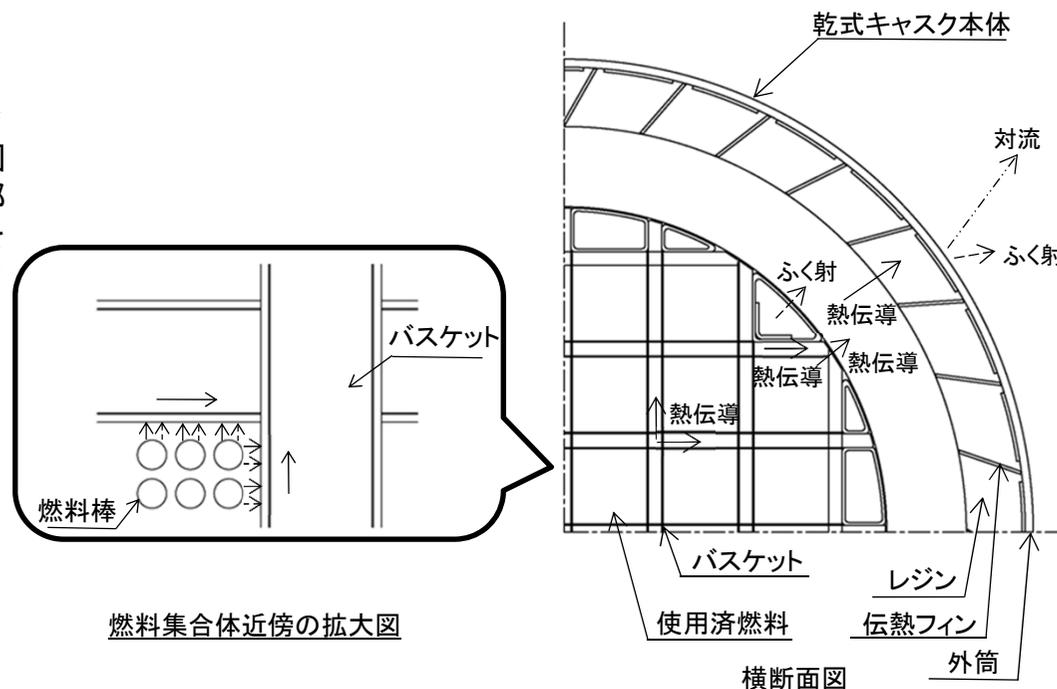
【評価方法※】

- ・ 燃料被覆管及び乾式キャスク構造部材の健全性が維持できる温度を超えないこと、乾式貯蔵建屋が乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認する。

※:タイプ1(1,2号炉燃料用)及びタイプ2(3号炉燃料用)の乾式キャスクそれぞれ評価する。

【評価条件】

- ・ 収納物に係る解析条件は、収納制限(P28参照)を鑑みて、保守的に設定する。
 - ✓ 初期ウラン濃縮度は、保守的に設定する
 - ✓ 燃焼度は、燃料温度が高く評価できるよう、中央部(中心4体)は最高燃焼度とする
 - ✓ 環境温度を50℃とする
 - ✓ 乾式キャスク内部のヘリウムガスによる熱伝導は考慮するが、乾式キャスク内部の温度が高くなるようヘリウムガスの対流は考慮しない。



3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項二号、16条解釈別記4 16条第3項)

【乾式キャスクの除熱機能】

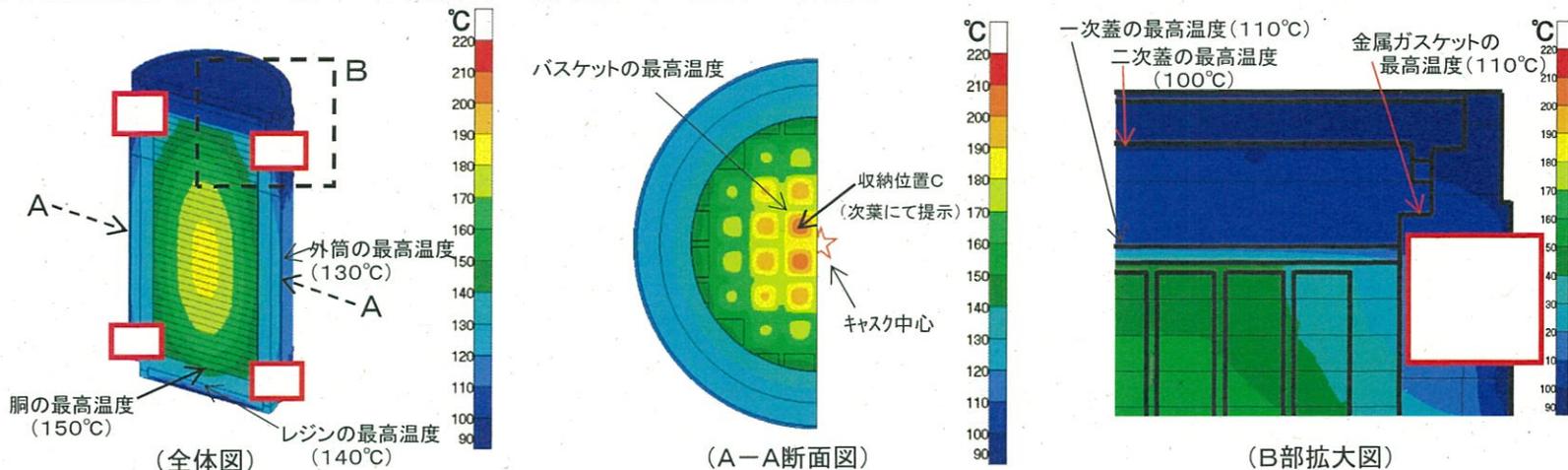
熱解析評価手法

- 使用済燃料の崩壊熱計算はORIGEN2コード、乾式キャスク構成部材及び燃料集合体の温度の解析にはABAQUSコードを使用し、乾式キャスク構造部材及び燃料集合体の健全性が維持できる温度を超えないことを確認する。
- なお、燃料集合体は、燃料ペレットを燃料被覆管で閉じ込めた構造であるため、燃料被覆管の温度に着目して、基準値を満足することを確認する。

除熱評価結果

評価部位 ^{※1}		解析結果		基準値	基準値の考え方
		1, 2号炉 ウラン燃料用	3号炉 ウラン燃料用		
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	約 150℃ ^{※2}	約 150℃ ^{※2}	≤350℃	設計貯蔵期間中の構造強度が確保される制限温度
	中性子遮蔽材(レジン)	約140℃	約 140℃	≤149℃	エポキシ系レジンの使用可能温度
	金属ガスケット	約 110℃	約 110℃	≤130℃	金属ガスケットの長期健全性が維持される制限温度
	バスケット	約 190℃	約 200℃	≤250℃	設計貯蔵期間中の構造強度が確保される制限温度

※1: 主要な部材を材質毎に整理している。 ※2: 各評価部位の最高温度のうち最も高い温度を記載している。



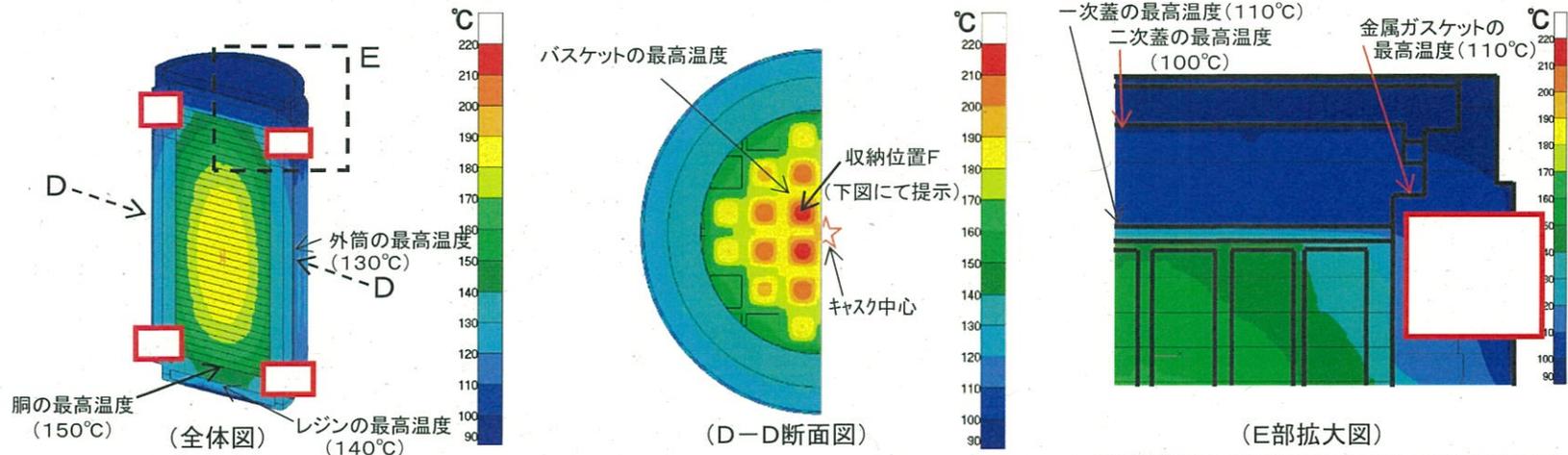
【温度分布図】<タイプ1> 1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用(発熱量: 16.9kW)

※燃料集合体は当該断面にないが、輪郭線のみ表示



3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

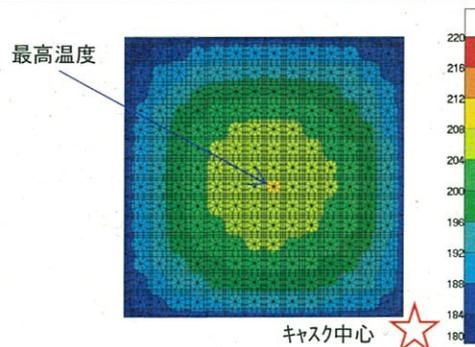


【温度分布図】<タイプ2> 3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用(発熱量: 18.1kW)

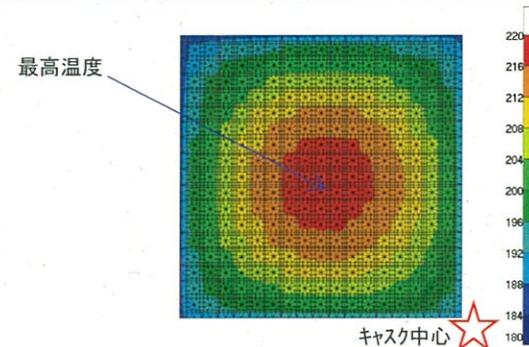
※燃料集合体は当該断面にないが、輪郭線のみ表示

除熱評価結果

評価部位	解析結果		基準値	基準値の考え方
	1, 2号炉 ウラン燃料用	3号炉 ウラン燃料用		
使用済燃料	約 210 °C	約 220 °C	≤ 275 °C	燃料被覆管の長期健全性が維持される制限温度



【温度分布図】 使用済燃料集合体断面(収納位置C)
<タイプ1> 1,2号炉ウラン燃料(14×14型燃料)用(発熱量: 16.9kW)



【温度分布図】 使用済燃料集合体断面(収納位置F)
<タイプ2> 3号炉ウラン燃料(17×17型燃料)用(発熱量: 18.1kW)



3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

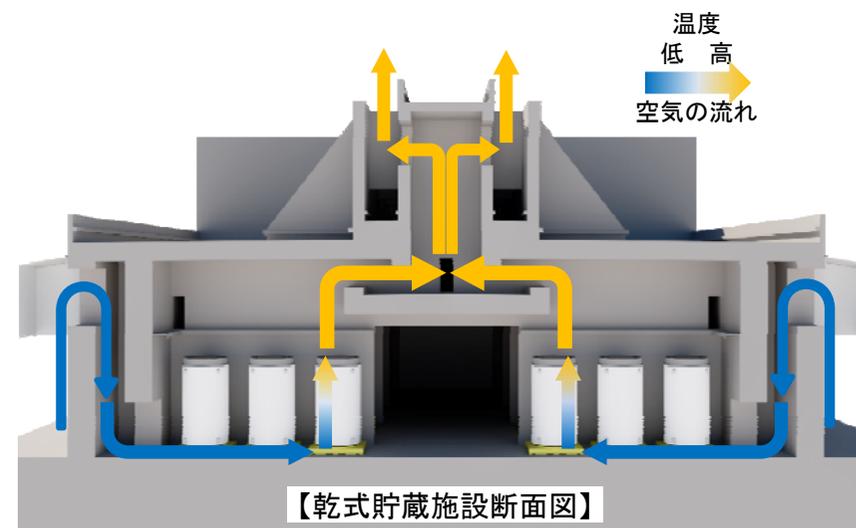
燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項二号、16条解釈別記4 16条第3項)

【乾式キャスクの除熱機能】

建屋の評価

【評価方法】

- ・ 発熱量の大きい乾式キャスク (3号炉ウラン燃料用) を貯蔵した状態で、乾式貯蔵建屋が乾式キャスク除熱機能を阻害しないことを評価する。
- ・ 評価にあたっては、
 - － 乾式キャスクの発熱量は、全て空気による対流で除熱されると考え、建屋コンクリート等を通じて大気や地中に逃げる熱は考慮しない。等の保守性を持たせている。



【評価結果】

	評価結果	基準値	備考
乾式キャスクの周囲温度	約45℃	≤50℃	基準値は乾式キャスクの除熱評価で設定している温度

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式キャスクに収納した燃料集合体及び乾式キャスク構成部材の温度は設計基準値以下であり、乾式キャスクは、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する設計としている。また、乾式貯蔵建屋は乾式キャスクの除熱機能を阻害しないことを確認したことから、乾式キャスクの除熱機能に係る設計の基本方針は妥当である。

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第4項二号、16条解釈別記4 16条第3項)

【貯蔵建屋内温度等の監視】

蓋間圧力等の監視頻度

監視項目	監視頻度
蓋間圧力	1回/3ヶ月
乾式キャスク表面温度	
貯蔵建屋内温度	

【審査会合での主な議論】

蓋間圧力等の監視頻度の妥当性について説明するよう指摘があり、3ヶ月に1回の頻度で監視することで核分裂生成ガス等の放出に至る前(蓋間圧力が大気圧となる前)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)を検知できることを説明した。

貯蔵建屋内温度等の監視方法

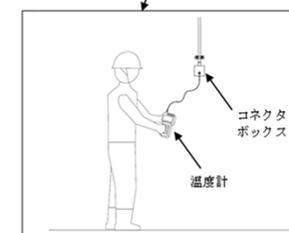
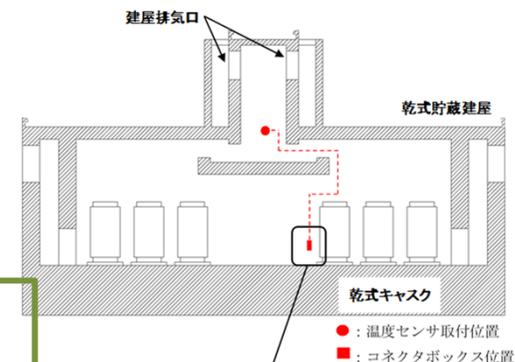
(蓋間圧力の監視方法は、P31参照)

<貯蔵建屋内温度>

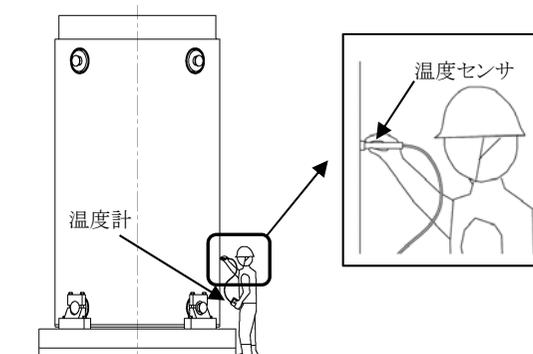
- 貯蔵建屋内温度が異常に上昇していないことを監視するため、建屋内温度が最も高くなる建屋排気口付近の温度(建屋排気温度)を監視する。
- 建屋排気温度は、右上図に示すとおり、温度センサを貯蔵エリアの排気口付近に設置し温度を監視できる設計とする。

<乾式キャスク表面温度>

- 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、右下図に示すとおり、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。



貯蔵建屋内温度の監視方法



乾式キャスク表面温度の監視方法

3. 設置許可基準規則への適合状況

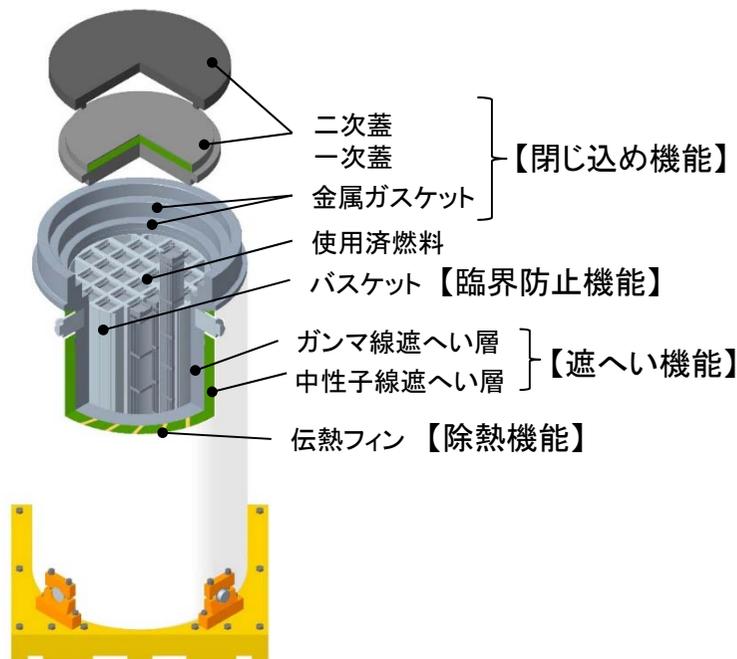
16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条解釈別記4 16条第5項) 【乾式キャスクの材料および構造】

使用済燃料及び乾式キャスクの長期健全性

【評価方法】

- 設計貯蔵期間(60年)における放射線、温度及びキャスク内部環境下における、乾式キャスク各部部材及び使用済燃料が健全であることを文献等により確認した。



<照射影響>

設計貯蔵期間中の中性子照射量が文献等に示される機械的特性変化が見られない基準値を超えないことから、中性子照射による影響はない。

評価部位		解析結果 (n/cm ² ※)		基準値 (n/cm ²)
		<タイプ1> 1,2号炉燃料用	<タイプ2> 3号炉燃料用	
使用済燃料		1.5 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ^{21~22}
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	4.8 × 10 ¹⁴	5.9 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁶
	中性子遮蔽材(レジン)	1.3 × 10 ¹⁴	1.6 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁵
	金属ガスケット	1.8 × 10 ¹⁴	2.0 × 10 ¹⁴	< 10 ¹⁹
	バスケット	1.5 × 10 ¹⁵	1.5 × 10 ¹⁵	< 10 ¹⁶

※ 単位：単位面積あたりの中性子の個数 (以下同じ)

<熱的影響>

使用済燃料及び乾式キャスク構成部材温度が文献等に規定される基準値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。

評価部位		解析結果(°C)		基準値(°C)
		<タイプ1> 1,2号炉燃料用	<タイプ2> 3号炉燃料用	
使用済燃料		約 210	約 220	≦ 275
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、一次蓋及び二次蓋	約 150	約 150	≦ 350
	中性子遮蔽材(レジン)※	約 140	約 140	≦ 149
	金属ガスケット	約 110	約 110	≦ 130
	バスケット	約 190	約 200	≦ 250

※：設計貯蔵期間中の熱影響によりわずかに質量減損が発生するため、遮蔽解析において、中性子遮蔽材の質量減損を考慮(2.5%)した評価を実施している。

<化学的影響(腐食等)>

乾式キャスク内部及び一次蓋と二次蓋の間には不活性ガスであるヘリウムを封入する設計としており、腐食の影響はない。また、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。

以上のとおり、乾式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うえで、使用済燃料の健全性を確保する設計としている。(使用済燃料については、42ページで補足)

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

(補足)燃料の長期健全性について

総合資源エネルギー調査会報告書等（P55参照）において、PWR燃料被覆管を用いた各種材料試験の結果を基に、貯蔵期間中の使用済燃料の健全性を維持するための具体的な温度や圧力等の条件が示されている。これに対し、伊方発電所の乾式キャスクは、示された条件の範囲内で以下の通り設計しているため、使用済燃料の長期健全性を維持できる。

また、PWR燃料を対象とした乾式キャスク先行貯蔵試験等の知見や情報について、引き続き収集を行う。

【照射影響】

- 燃料被覆管に使用するジルカロイは、設計貯蔵期間中の中性子照射量が 1.5×10^{15} n/cm²であることを解析で確認しており、基準となる炉内の中性子照射量($10^{21} \sim 10^{22}$ n/cm²)に対して十分低いことから、照射の影響は無視し得る。

【熱的影響】

- 熱による経年変化（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）に対して、以下の通り、最も厳しい制限である燃料被覆管の温度を275℃以下、周方向応力を100 MPa以下とすることにより、熱による経年変化を防ぐことができる。
 - ・クリープひずみの進行について
PWR使用済燃料被覆管を用いたクリープ試験の結果、燃料被覆管は1%以上のクリープ変形能力を有すること、また、温度を320℃以下に制限することによってクリープ変形が1%以下となり、クリープ破損を防止できることが確認されている。
 - ・照射硬化の回復について
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、300℃以下であれば照射硬化の回復の可能性は小さいことが確認されている。
 - ・燃料被覆管中の水素化物再配向について
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、**燃料**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275℃以下、周方向応力が100MPa以下と確認されている。
 - ・応力腐食割れについて
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よう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。なお、腐食性雰囲気での応力腐食割れ試験でPWR燃料の燃料被覆管材料であるジルカロイ-4の応力腐食割れのしきい応力は200MPaであることが確認されている。

【化学的影響】

- 残留水分が10 wt%以下の不活性雰囲気（ヘリウムガス）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ことが確認されている。これに対し、乾式キャスクに燃料を収納する際に行う真空乾燥作業において残留水分が10wt%を下回るよう管理するため、健全性に影響はない。

3. 設置許可基準規則への適合状況

16条 燃料体の取扱施設及び貯蔵施設

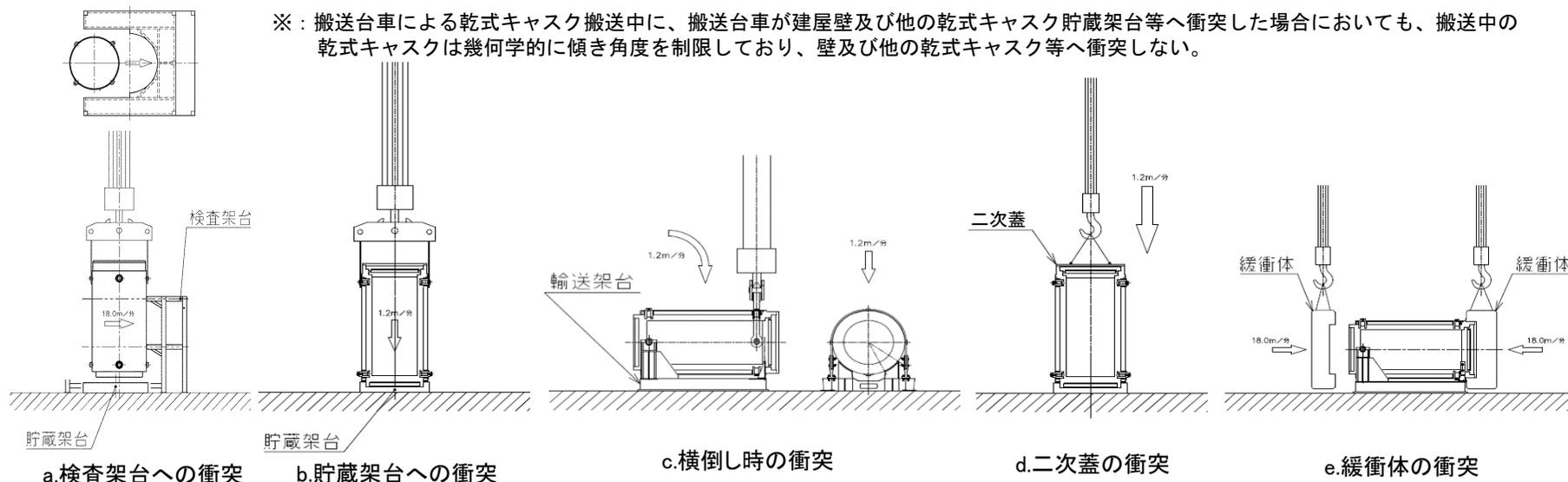
燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条第2項一号イ及び第4項三号、16条第2項一号ハ)

【設計上想定される状態】

【評価内容】

- ・使用済燃料乾式貯蔵施設で乾式キャスクを取扱う天井クレーン及び搬送台車については、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、通常取扱時において想定すべき事象としては、作業員の誤操作が想定され、下表のとおり抽出した※。
- ・抽出した事象に対して、バスケットが塑性変形しないこと、密封境界部がおおむね弾性範囲内にとどまること及び燃料の健全性が維持されることを確認した。

※：搬送台車による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。



【審査会合での主な議論】

建屋天井クレーンによるキャスクへの波及的影響について説明するよう指摘があり、周辺施設である天井クレーンは、一般産業施設として設計し、乾式キャスクの安全機能を維持するため、落下防止対策として以下の対策を講じることを説明した。

- ・天井クレーンの走行及び横行レールには、浮き上がり防止機能を設ける設計としており、走行及び横行レールからガード及びトロリが浮き上がることがないよう、落下防止対策を講じる。
- ・乾式貯蔵建屋は自然現象等に対し頑健な建屋であり、建屋崩落に伴う天井クレーンの落下は生じない設計とする。

3. 設置許可基準規則への適合状況

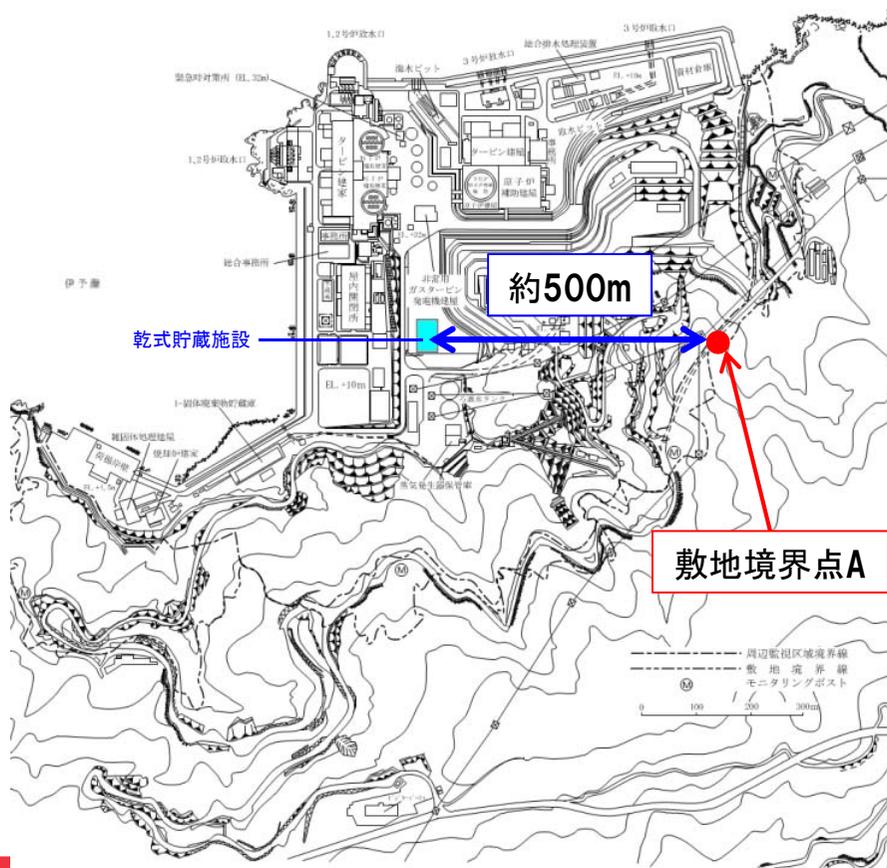
29条 工場等周辺における直接線等からの防護

工場等周辺における直接線等からの防護(29条)

青字下線部: 規則改正等により変更となった箇所

設計方針

乾式貯蔵施設は、既設を含めた原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を合理的に達成できる限り小さい値となるように設計する。
具体的には、年間50マイクロシーベルトを超えない設計とする。



【具体的な設計方針】

敷地境界での線量評価を行い、年間50マイクロシーベルト以下となる設計とする。

<線源>

・敷地境界外線量評価における線源条件

線源	基数	線源強度	スペクトル
乾式 キャスク	貯蔵エリア : 48基	容器表面1mの線 量率が100 μ Sv/h となるように 規格化	包絡 スペクトル

3. 設置許可基準規則への適合状況

29条 工場等周辺における直接線等からの防護

工場等周辺における直接線等からの防護(29条)

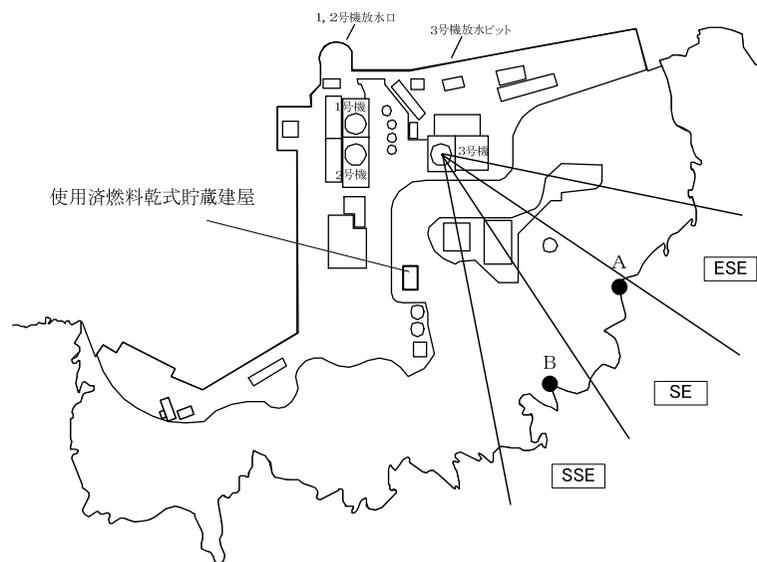
青字下線部: 規則改正等により変更となった箇所

【解析結果】

<敷地境界外>

敷地境界外における年間線量は、下表のとおり、既設建屋からの線量寄与を考慮しても、基準値 $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下を満たすとともに、安全協定に定める目標値 $7 \mu\text{Sv/y}$ 以下を満たすことを確認した。

評価地点	年間線量(μSv)			基準値
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	既設建屋	合算	
A	0.16	5.1	5.2	≤ 50
B	0.27	3.9	4.2	



敷地境界外評価地点図

- A: 伊方発電所敷地境界での最大評価地点
- B: 伊方発電所敷地境界での評価地点のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋からの最短地点

【審査会合における主な議論】

規制委員会より、解析における過度な保守性を排した上で建屋の遮蔽機能の必要性を確認するとの方針が示されたことから、乾式貯蔵建屋なしで評価条件を現実的に見直した場合、目標値である $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下を満足できないため、乾式貯蔵建屋を設置し放射線量を低減する必要があることを説明した。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、既設を含めた原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による敷地周辺の空間線量率を年間50マイクロシーベルトを超えない設計としていることから、工場等周辺における直接線等からの防護に係る設計の基本方針は妥当である。

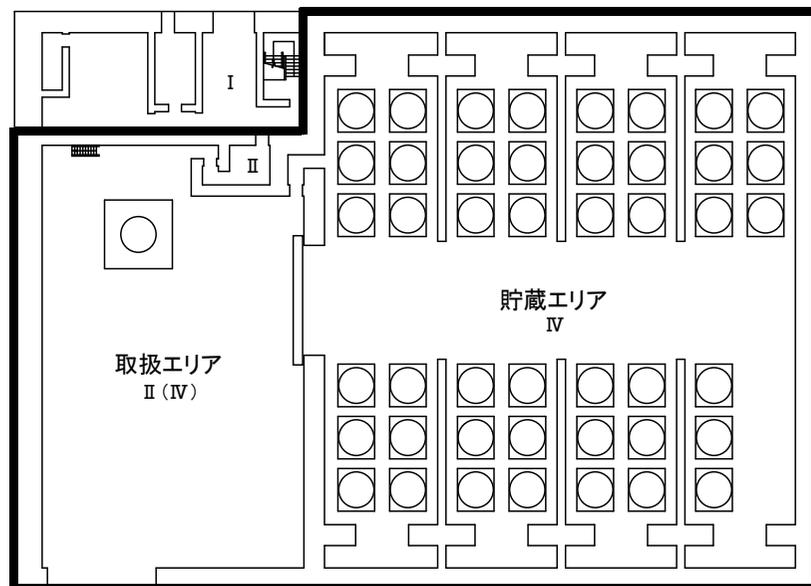
3. 設置許可基準規則への適合状況

30条 放射線からの放射線業務従事者の防護

放射線からの放射線業務従事者の防護(30条第1項一号)

設計方針

乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮蔽し、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とする。



— : 管理区域境界

【具体的な設計方針】

立ち入り頻度等を考慮し、遮蔽設計を行い、左図のとおり管理区域を設定する。

遮蔽壁等を考慮し放射線量の減衰評価を行うことで、遮蔽設計区分の妥当性を確認した。

- I $\leq 1.3\text{mSv}/3\text{月}$
- II $\leq 0.01\text{mSv}/\text{h}$
- III $\leq 0.15\text{mSv}/\text{h}$
- IV $> 0.15\text{mSv}/\text{h}$ *

- ・()内は使用済燃料乾式貯蔵容器の取扱時を示す。
- ・使用済燃料乾式貯蔵施設には、区分Ⅲに相当するエリアは無い。

※ 遮蔽設計区分上、第Ⅳ区分の線量率の上限は設けていないが、作業時には、実際の線量当量率の測定結果、作業時間及び個人の被ばく線量等を考慮して被ばく低減のため作業計画を定めるとともに、警報付線量計着用により線量限度を超えないよう被ばく管理を行う。

設計方針の妥当性

以上のとおり、乾式貯蔵施設は、放射線業務従事者の受ける放射線量を低減できるよう、遮蔽し、乾式キャスクの配置等放射線防護上の措置を講じた設計とするとともに、適切に管理区域を設定することから、放射線からの放射線業務従事者の防護に係る設計の基本方針は妥当である。

4. 今後の予定

- 原子力規制委員会の審査については、本年6月24日に当社の設計方針が審査基準に適合しているとの、審査結果の取りまとめ案が了承されました。
- その後、審査結果に対する一般意見公募等を経て、本年9月16日に原子力規制委員会より、乾式貯蔵施設の設置に係る原子炉設置変更許可を受けました。
- 当社は、引き続き、令和6年度の運用開始を目指して、地域の皆様のご理解をいただきながら、乾式貯蔵施設の設置に向けた取り組みを着実に進めてまいります。

参考 1. 乾式貯蔵施設の安全機能について

乾式キャスクおよび乾式貯蔵建屋が有する安全機能については、以下の通り。

		乾式キャスク	貯蔵建屋	貯蔵架台	備考
耐震クラス		Sクラス (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)	Cクラス (乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする:基準地震動Ssにより損壊しない設計とする)	Sクラス (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)	
外部事象 (竜巻、火山、外部火災)		—	○	—	外部からの衝撃については建屋外郭で防護する
安全機能	閉じ込め機能	○ (設計貯蔵期間中、乾式キャスク内部の負圧を維持する)	—	—	
	遮蔽機能	○ (キャスク表面の線量当量率: 2mSv/h以下、キャスク表面から1m離れた位置における線量当量率:100μSv/h以下を満足する)	○ (補助遮蔽:建屋により更に線量当量率を低下させ、他施設と合わせた敷地境界線量を50μSv/年以下とする)	—	敷地境界線量は、乾式キャスクの線量を法令上限値(表面から1mで100μSv/h)に規格化したキャスクが48体配置されているものとして評価している
	除熱機能	○ (環境温度が50℃の状態、各部の温度を制限値以下とする)	— (キャスクの除熱機能を阻害しないよう設計する)	—	貯蔵建屋は解析により、自然換気にて建屋内の雰囲気温度が50℃以下となることを確認している
	臨界防止機能	○ (未臨界を維持する)	—	—	

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (1 / 12)

2/18部会でご説明済

地震による損傷の防止(4条)

<カップホルダ方式耐震評価方法>

- (1) 乾式キャスクに最も厳しい荷重が生じる時の応答をエネルギー保存則を用いて解く。
- (2) 乾式キャスクの挙動1サイクルを右図に示す。傾き支点(図中▲)は、挙動の進展により時々刻々移動する。この傾き支点(図中▲)及び乾式キャスクと貯蔵架台の接触箇所には、動摩擦力が発生し、運動エネルギーが消費されるが、保守的にこの運動エネルギーの消費を無視する。
- (3) 鉛直方向の応答荷重は、地震により乾式キャスクが傾いた状態(右図①)から、乾式キャスクが貯蔵架台嵌め合い部底面に衝突した時(右図②)に発生する荷重をエネルギーのつり合い式より算出する。
- (4) 水平方向の応答荷重は、(3)の挙動後、乾式キャスクが逆側に傾き(右図③)、貯蔵架台嵌め合い部の二側面と接触した時(右図④)に発生する荷重をエネルギーのつり合い式及びモーメントのつり合い式より算出する。
- (5) 算出した各荷重を用い、乾式キャスクや貯蔵架台の耐震評価を実施する。

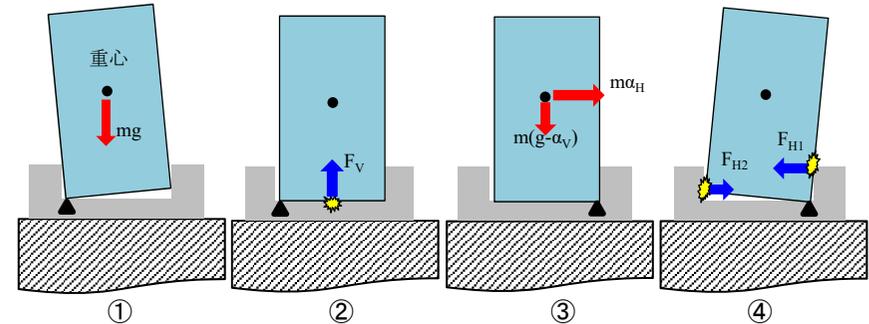


図 耐震評価手法で考慮した挙動イメージ

<耐震評価方法の妥当性の説明内容>

加振試験で、乾式キャスクにとって、最も厳しい挙動を確認した上で、耐震評価手法を構築していること、また、加振試験で観測された各種荷重と耐震評価手法で算出された荷重を比較し、耐震評価手法が保守性を有することを説明。

鉛直方向荷重の算出方法の妥当性

- ✓ 加振試験で生じた鉛直方向荷重(加速度)は、11G程度であるのに対して、本耐震評価手法で算出した鉛直方向加速度は、22Gと十分な保守性を有している。

水平方向荷重の算出方法の妥当性

- ✓ 試験供試体諸元を用いて本耐震評価方法により算出したひずみ(2700 μ)は、加振試験の結果(934 μ)を大きく上回っており、乾式キャスク及び貯蔵架台に生じる水平方向荷重は、十分な保守性を有している。



図 加振試験

<審査における論点>

- 地震時に乾式キャスクにとって一番厳しい条件を考慮した妥当な耐震評価手法となっているか。
- 加振試験で用いた加振波は妥当か。

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (2 / 1 2)

2/18部会でご説明済

外部からの衝撃による損傷の防止(6条:竜巻・火山)

下図のとおり、乾式貯蔵施設の設置により竜巻影響エリアが拡大することにより、ハザード曲線の最大竜巻風速が変わるが、設計竜巻の最大風速は既許可で設定した100m/sから変更なく、既許可と同じ設計竜巻の特性値を設定する。既許可と変更後の竜巻最大風速の比較を下表に示す。

表: 既許可と変更後の竜巻最大風速の比較

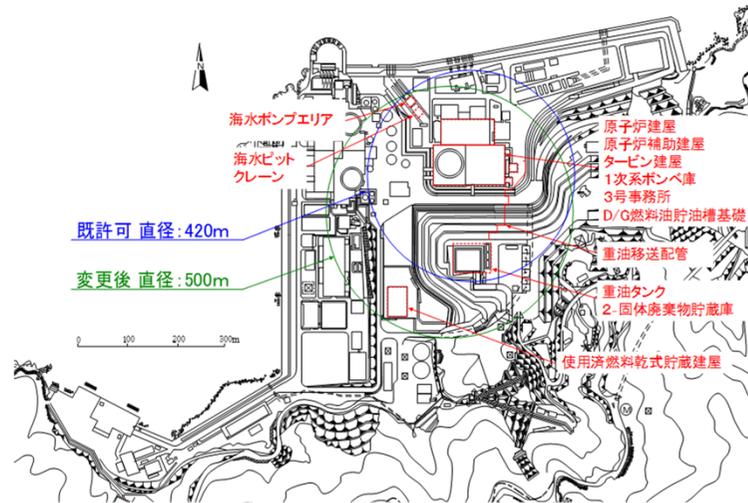
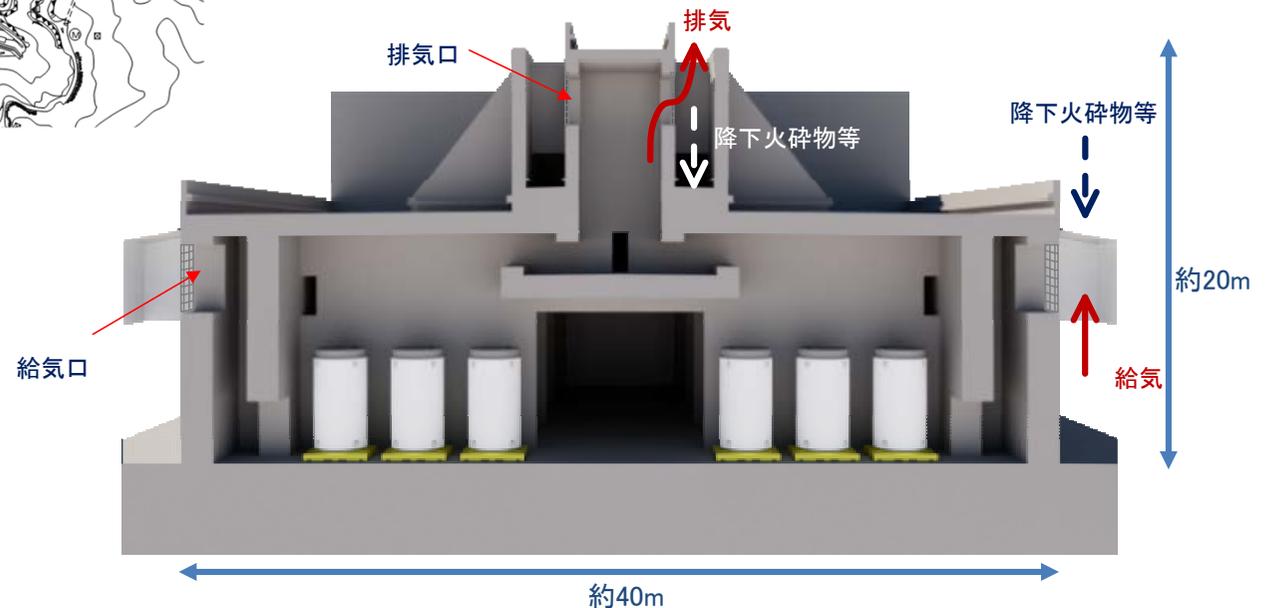


図: 竜巻影響エリア

	既許可	変更後
日本で過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})	92m/s	92m/s
ハザード曲線の竜巻最大風速 (V_{B2})	83.0m/s	84.0m/s
基準竜巻の最大風速 (V_B)	92m/s	92m/s
設計竜巻の最大風速 (V_D)	100m/s	100m/s

構造上の対応として、乾式貯蔵建屋の給排気口は開口部の形状等により、降下火砕物が流路に侵入しにくい設計とする。また、乾式貯蔵建屋の給排気口は、降下火砕物が流路に侵入した場合でも、流路が閉塞しない設計とする。乾式貯蔵建屋の給排気口の構造イメージを右図に示す。



参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (3 / 12)

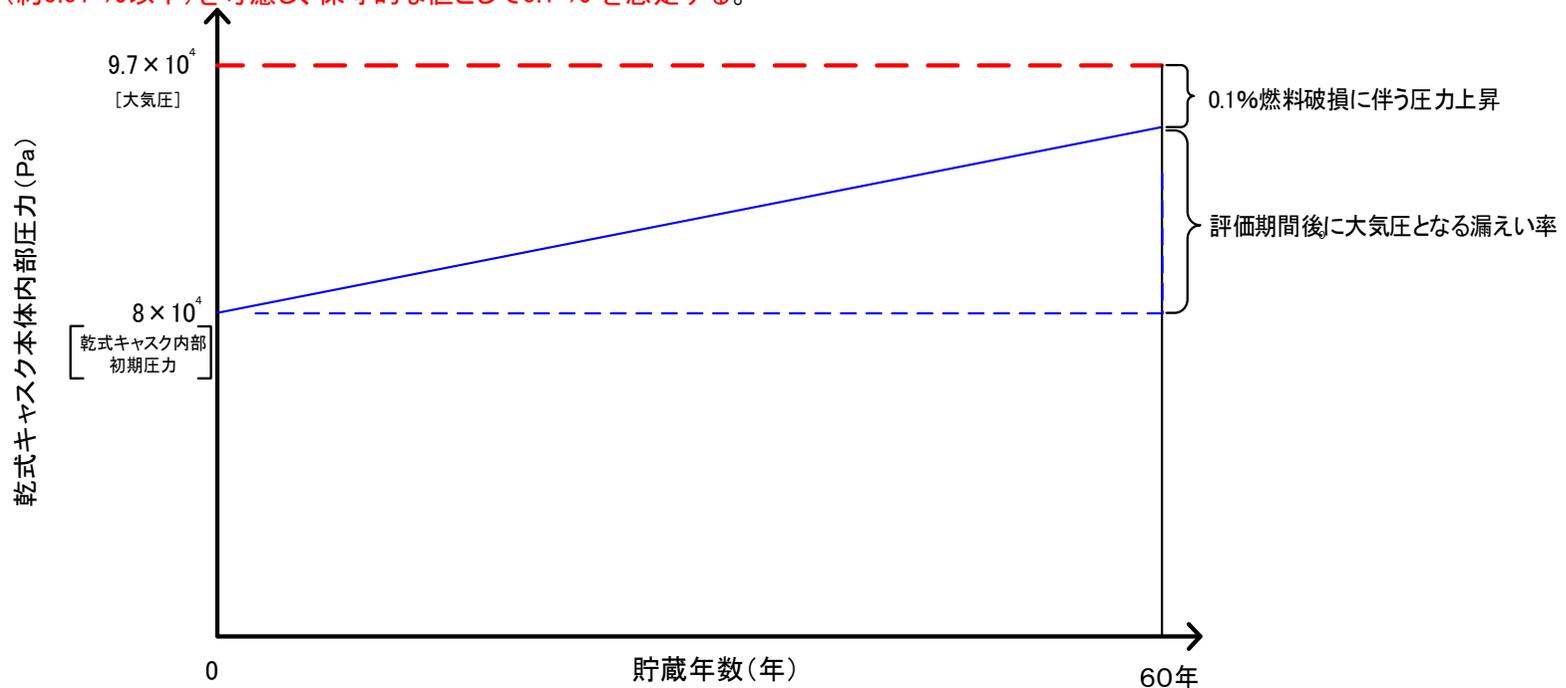
燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条)

閉じ込め評価における基準漏えい率は、以下の方法で評価している。

- 蓋間圧力と乾式キャスク内部圧力の圧力差のもとで、シール部を通して乾式キャスク内部へ流入する気体の漏えい量を積分することによって、乾式キャスク内部圧力が大気圧となるまでの圧力変化を求めた際の漏えい率として計算する。
- 大気圧は、気象変化による圧力変動を保守的に考慮した値として 9.7×10^4 Pa とする。
- 乾式キャスク内部初期圧力は、 8×10^4 Pa とする。
- 使用済燃料の破損率として0.1 % を想定し、燃料破損に伴う圧力上昇を考慮した上で、60年間で大気圧となる漏えい率を計算する。

なお、本評価では、以下の保守性を見込んでいる。

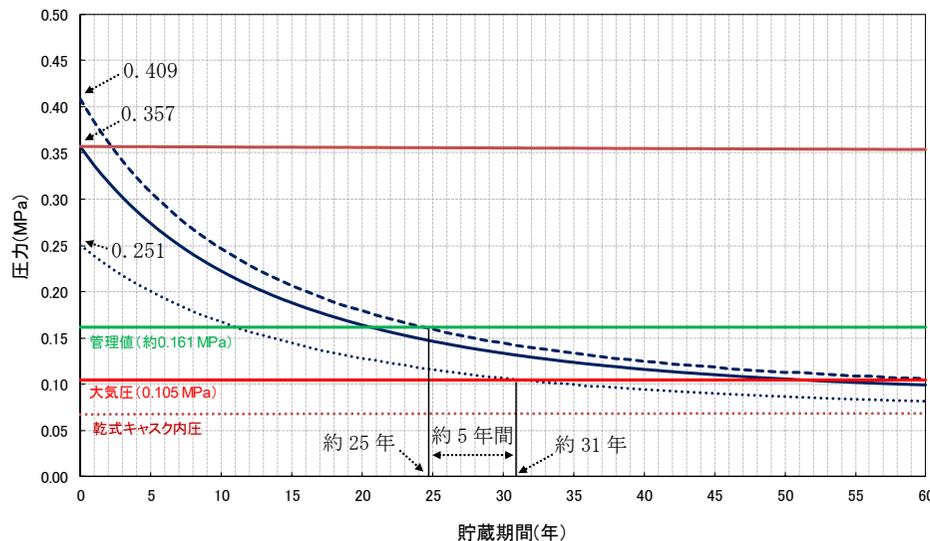
- 設計貯蔵期間中において使用済燃料の崩壊熱は低下していくが、使用済燃料の崩壊熱低下による乾式キャスク本体内部温度の温度低下を考慮せず、乾式キャスク本体内部温度は初期温度で一定とする。
- 設計貯蔵期間中において上流側(蓋間)の圧力は漏えいにより低下していくが、漏えいによる圧力低下を考慮せず、初期圧力で一定とする。
- 使用済燃料の破損率として、米国の使用済燃料の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率(約0.01 %)、及び日本の軽水炉(運転中)における漏えい燃料発生率(約0.01 %以下)を考慮し、保守的な値として0.1 % を想定する。



参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (4 / 12)

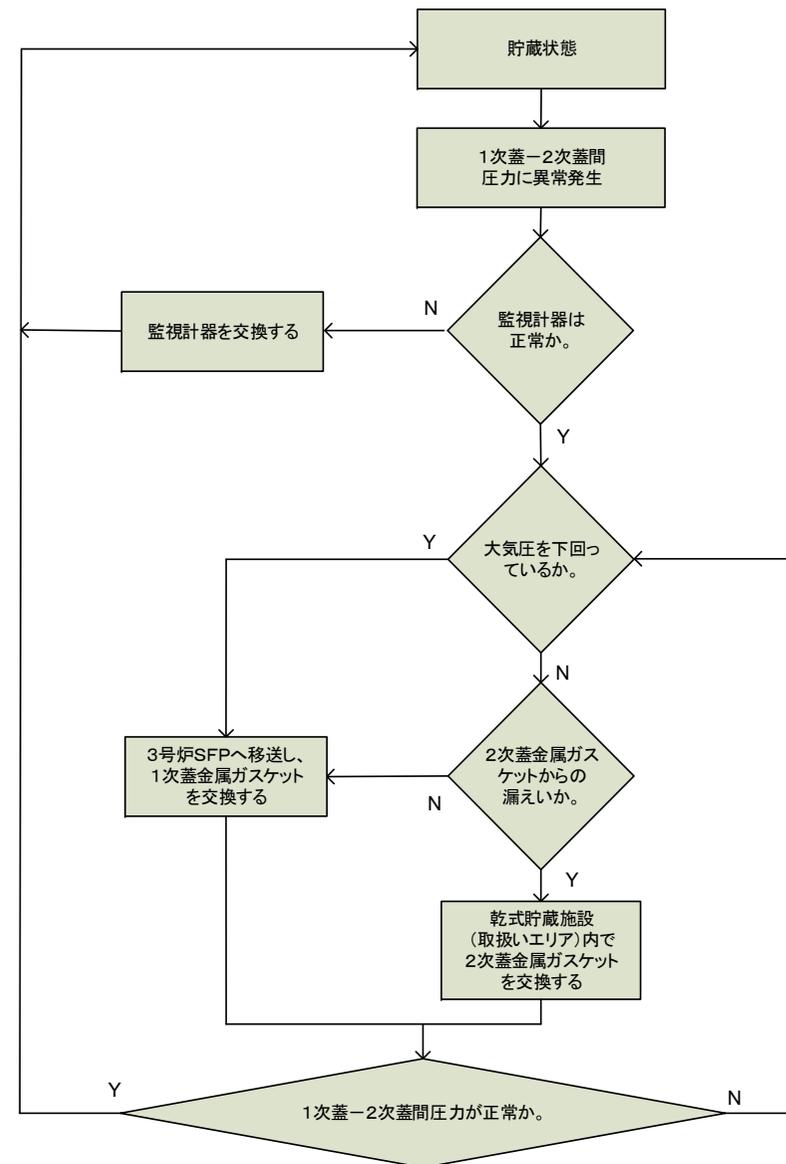
燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条)

- ・基準漏えい率で2方向への漏えいによる蓋間圧力の低下を想定し※、周囲環境の温度変化等による圧力変動を考慮した場合でも、蓋間圧力が大気圧に至る前に検知できるよう管理値を設定する。
- ・3カ月に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)検知できる。



- ・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ピット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する設計とする。
- ・なお、貯蔵中の乾式キャスク閉じ込め機能異常時は、体制を整備の上、右図のフローにより対応する。

※ 一次蓋および二次蓋の間の空気(蓋間空間)から乾式キャスク内部へのインリークおよび大気へのアウトリークの2方向へ同時に基準漏えい率($2.58 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)での漏えいを保守的に想定する

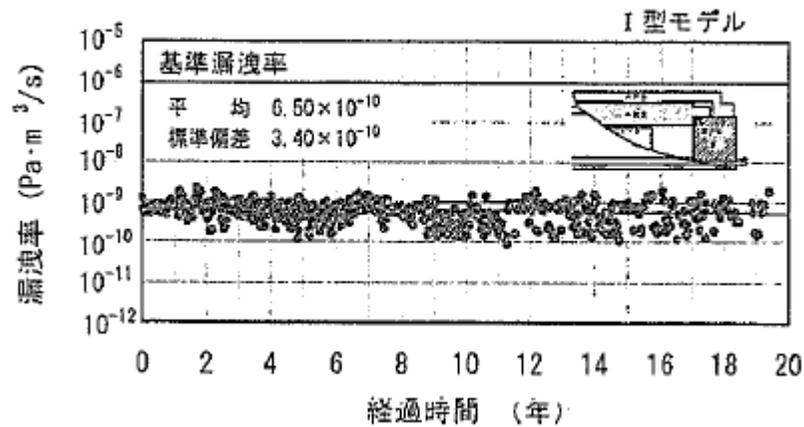


参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明（5 / 12）

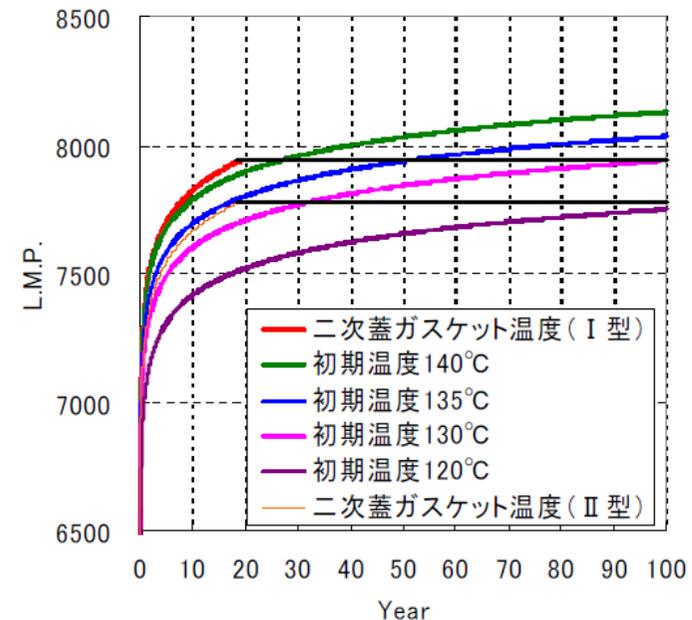
燃料体の取扱施設及び貯蔵施設（16条）

金属ガスケットの長期健全性について

- 平成21年度の（一財）電力中央研究所研究において、金属ガスケット（外被材：アルミニウム、コイルスプリング：ニッケル基合金）の長期密封機能について試験を実施し、試験と解析で得られた乾式キャスクの温度と時間をラーソン・ミラー・パラメータ（以下「LMP」という。）により長期密封性能について検討を行っている。
- 金属ガスケットの性能について、ガスケット部の温度を約130℃～140℃で保持し、定期的に密封性能を測定した結果、試験開始から19年以上が経過しても左下図のとおり密封部の漏えい率の変化はなく（ $1 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ を十分に下回る）、良好な密封性能を保持していることが確認されている。
- また、右下図は当該試験結果の二次蓋ガスケット温度から得られたLMPを示しており、LMPが7942以下であれば密封性は健全であることが示されている。また、同文献には、蓋初期温度と評価年数の関係が示されており、評価年数（貯蔵期間）を60年とすると、その期間健全性を担保するためには、初期温度を134℃以下にすればよいことが示されている。
- タイプ1（1,2号炉燃料用）及びタイプ2（3号炉燃料用）の除熱評価の結果から、金属ガスケット部の温度はそれぞれ約110℃であるため、金属ガスケットは設計貯蔵期間を通じて初期の漏えい率を維持できると判断される。



漏えい率の経時変化



蓋部温度をもとに計算したLMP



※ 当社の乾式キャスクではI型と同等の金属ガスケットを使用する

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (6 / 12)

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条)

除熱評価の基準値に係る参考文献

評価部位		基準値	文献名	文献の概要
使用済燃料		$\leq 275^{\circ}\text{C}$	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).	PWR燃料被覆管を用いた各種材料試験の結果を基に、貯蔵期間中の使用済燃料の健全性を維持するための具体的な温度や圧力等の条件が示されている。 詳細はP55参照。
乾式キャスク 構成部材	胴、外筒、一次蓋 及び二次蓋	$\leq 350^{\circ}\text{C}$	(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).	炭素鋼は $-30^{\circ}\text{C}\sim 375^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、ステンレス鋼は、 $-30^{\circ}\text{C}\sim 425^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、ニッケルクロムモリブデン鋼は、 $-30^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ の温度範囲において、設計用強度と物性値が規定されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・GLF1(胴、一次蓋、二次蓋) } 炭素鋼 ・SGV480(外筒、蓋部中性子遮蔽材カバー) } ステンレス鋼 ・SUS304(下部端板、底部遮蔽材カバー) } ステンレス鋼 ・SUS630(トラニオン) } ステンレス鋼 ・SNB23-3(蓋ボルト) } ニッケルクロムモリブデン鋼
	中性子遮蔽材 (レジン)	$\leq 149^{\circ}\text{C}$	BISCO PRODUCTS, Inc., “NS-4-FR Fire Resistant Neutron and/or Gamma Shielding Material”, (1986).	エポキシ系レジンの使用可能温度として、 149°C と示されている。
	金属ガスケット	$\leq 130^{\circ}\text{C}$	(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). 平成21年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査報告書	金属ガスケット(外被材:アルミニウム、コイルスプリング:ニッケル基合金)の性能について、ガスケット部の温度を約 $130^{\circ}\text{C}\sim 140^{\circ}\text{C}$ で保持し、定期的に密封性能を測定した結果、試験開始から19年以上が経過しても密封部の漏えい率の変化はなく、良好な密封性能を保持していることが確認された。また、試験と解析で得られた乾式キャスクの温度と時間をラーソン・ミラー・パラメータにより評価した結果、60年間の期間健全性を担保するためには、初期温度を 134°C 以下にすればよいことが示されている。 詳細はP53参照。
	バスケット	$\leq 250^{\circ}\text{C}$	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).	アルミニウム合金(MB-A3004-H112)について、設計貯蔵期間中の熱ばく露を適切に考慮した上で、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ の温度範囲における設計用強度及び物性値が示されている。

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明（7 / 12）

燃料体の取扱施設及び貯蔵施設(16条)

燃料健全性に係る参考文献

参考文献	文献の概要
<p>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).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・照射劣化 貯蔵期間中の中性子照射量は$10^{15} \sim 10^{16} \text{ n/cm}^2$程度と評価されており、炉内照射に伴う中性子照射量$10^{21} \sim 10^{22} \text{ n/cm}^2$に比べて無視できるものであり、貯蔵中の中性子照射は機械特性に影響しないと評価する。 ・クリープ 国内で照射された照射済ジルカロイ4被覆管を用いたクリープ試験が実施され、1%以上の変形能力を有する※ことが確認されている。設計貯蔵期間中には温度を制限することによりクリープひずみが1%以下に制限でき、クリープ破損を防止することができる。 ・照射硬化 燃料被覆管は炉内照射により強度が増し、延性が低下するが、高温条件に長時間保持されると照射効果が徐々に回復する。約300°Cでは照射硬化の回復の可能性は小さい※ことが確認されている。 ・水素化物再配向 貯蔵中は燃料棒の内圧が外圧より高いため、燃料被覆管には周方向応力が発生している。照射被覆管を用いた水素化物再配向試験及び機械特性試験を行い、燃料被覆管温度を275°C以下※、周方向応力を100MPa以下※に制限することにより、機械特性の劣化を防止することができる。 ・応力腐食割れ 腐食性雰囲気を整った条件におけるジルカロイ4のSCC発生のしきい応力は200MPa程度※であり、設計貯蔵期間中の応力はこれに比べて低いことから、SCCは発生しない。
<p>(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).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・クリープ PWR燃料を対象としたクリープひずみ量計算式により、累積クリープひずみ量が評価期間(60年)にわたって1%を超えない燃料被覆管の初期温度は320°C程度となる。 ・化学的影響 金属キャスク内部の残留水分を10%(質量)以下に制限すれば、燃料被覆管の酸素量や水素吸収量はわずかとなり、燃料被覆管の健全性に影響を与えることはない。

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明（8 / 12）

燃料健全性に関する国内外の知見について

1. 米国アイダホ国立研究所における乾式貯蔵キャスク中の燃料長期健全性について

1985年より同研究所において、PWRの使用済燃料が乾式貯蔵されている金属キャスクから定期的にカバーガスを採取、貯蔵中の燃料が健全であることの評価を行っている。

左から2つ目が、使用済PWR燃料を収納したCASTOR-V/21キャスク



米国アイダホ研究所の乾式貯蔵使用済燃料の長期健全性評価（電力中央研究所, 2011）

2. 福島第一原子力発電所における津波の影響について

東北地方太平洋沖地震により引き起こされた津波により、乾式貯蔵キャスク保管建屋（当時、9基保管）に大量の海水、砂、ガレキ等が流れ込んだが、その後の点検により、いずれのキャスクも安全機能に問題のないことが確認されている。



乾式貯蔵キャスク保管建屋の状況（津波が引いた後に撮影）

乾式貯蔵キャスク保管建屋の津波高さおよび浸水深さ
 ・津波高さ OP※ + 約11m以上
 （浸水深さ 6m以上）

※ 小名浜港工事基準面（東京湾平均海面の下方0.727m）

燃料健全性の確認結果	内部ガスをクリプトンガスモニタで確認した結果、モニタに有意な変化がなく、収納燃料の燃料被覆管が健全であることを確認 また、燃料を代表的に3体抜き取りし、外観を確認した結果、変形、損傷等の異常のないことを確認
------------	--

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (9 / 12)

2/18部会でご説明済

先行施設とのキャスク定置方式の比較について

貯蔵架台(支持構造物)の形状が異なるものの、固定装置により下部トラニオンを貯蔵架台に固定し、貯蔵架台を基礎ボルトにより床に固定する考え方は同一である。

東海第二発電所	伊方発電所
<p>トラニオンを固定金具／固定ボルトにより支持構造物に固定。支持構造物は、アンカーボルト(基礎ボルト)により床に固定。</p>	<p>トラニオンを固定装置により貯蔵架台(支持構造物)に固定。貯蔵架台は、基礎ボルトにより床に固定。</p>

H31.3.12 茨城県原子力安全対策委員会 東海第二発電所
安全性検討ワーキングチーム(第13回)資料1-2(日本原子力発電(株)より抜粋)

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明（10／12）

2/18部会でご説明済

サイト全体での長期的な燃料管理方針（令和元年8月22日審査会合にて説明）

<搬出の考え方(優先順位)>

○1号及び2号炉を含め、伊方発電所の全ての使用済燃料は再処理工場へ搬出することを基本方針としている。

○使用済燃料は再処理事業者に搬出するまでの間、リスクの低減(使用済燃料乾式貯蔵施設の活用、輸送回数の最少化)を考慮し、以下の通り3号炉使用済燃料貯蔵設備及び現在審査中の使用済燃料乾式貯蔵施設に移送する。

- ① 1号炉の使用済燃料貯蔵設備(使用済燃料ピット)に貯蔵している使用済燃料は、全数3号炉の使用済燃料ピットに移送する。(搬出時期:2019年度内完了予定)
- ② 2号炉の使用済燃料ピットに貯蔵している使用済燃料のうち、十分に冷却が進んだ収納対象燃料^{※1}は使用済燃料乾式貯蔵施設に、それ以外の燃料は3号炉の使用済燃料ピットに移送する^{※2}。
(搬出時期:使用済燃料乾式貯蔵施設運用開始後、第1段階終了まで)
- ③ 3号炉の使用済燃料ピットに貯蔵する1号、2号及び3号炉の使用済燃料のうち、十分に冷却が進んだ収納対象燃料^{※1}は、再処理工場への搬出状況等を踏まえながら、計画的に使用済燃料乾式貯蔵施設に移送する。

○廃止措置終了までには、全ての1号及び2号炉の使用済燃料を再処理工場へ搬出する。

※1:STEP1ウラン燃料(濃縮度:約4.1wt%、集合体最高燃焼度:48GWd/t)以下かつ冷却年数15年以上の燃料のことをいう。

※2:乾式貯蔵容器(乾式キャスク)への収納の組み合わせ等を考慮し、十分に冷却が進んだ収納対象燃料であっても3号炉の使用済燃料貯蔵設備に移送する場合がある。

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明（11／12）

2/18部会でご説明済

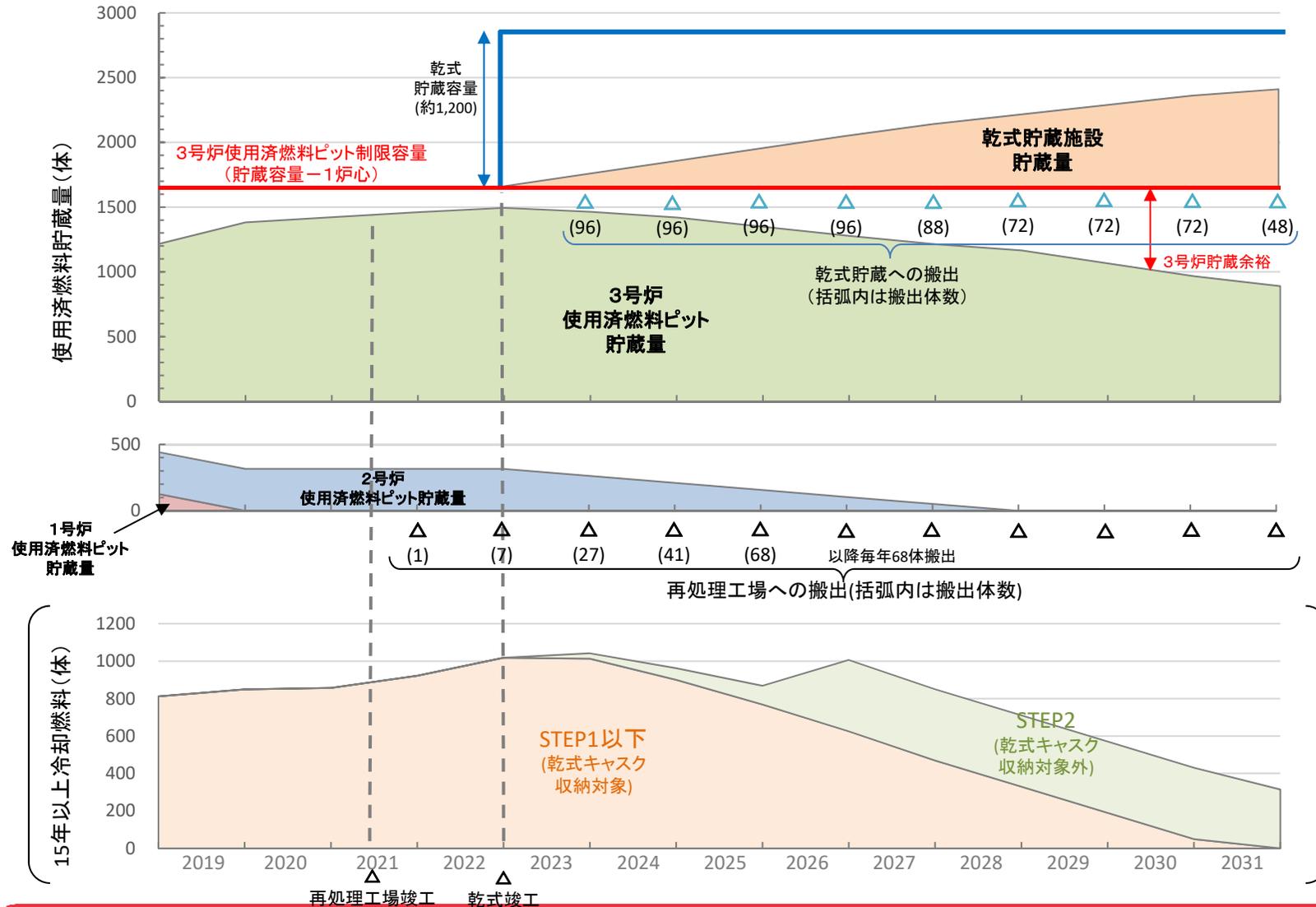
＜貯蔵量推移のイメージ＞（令和元年8月22日審査会合にて説明）

- 伊方発電所の使用済燃料貯蔵量推移のイメージについて、下記条件を想定して算出した結果を次頁に示す。
 - 3号炉の運転に伴い年間40体の使用済燃料が発生する。
 - 1号炉は、2019年度内に使用済燃料ピット中の使用済燃料を3号炉の使用済燃料ピットに移送する。
 - 2号炉は、廃止措置計画認可後、第1段階終了（2028年度）までに使用済燃料ピット内の使用済燃料を3号炉の使用済燃料ピット、使用済燃料乾式貯蔵施設に移送、または再処理工場へ搬出する。
 - 再処理工場への搬出として、2021年度の竣工以降、日本原燃(株)の使用済燃料取得計画の4%相当を搬出可能と仮定し、本格稼働開始後は年間68体の搬出を想定する。
 - 2023年度の乾式貯蔵施設竣工後、十分に冷却が進んだ収納対象燃料については、乾式キャスクに収納し、移送する。なお、本ケースは仮に毎年3基ずつ乾式貯蔵する場合として貯蔵量推移を示すが、実運用としてはメーカーの製造能力および発電所内の工事物量等を勘案し、計画的に使用済燃料乾式貯蔵施設に移送する。

参考2. 設置許可基準規則への適合状況に係る補足説明 (12/12)

2/18部会でご説明済

<貯蔵量推移のイメージ> (令和元年8月22日審査会合にて説明)



参考3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について(1/5)

2/18部会でご説明済

- 平成31年3月13日の原子力規制委員会において、サイト内での乾式貯蔵施設設置に係る規則である、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の改正および「原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド」の制定が決定されました。(同年4月2日施行)

- 本規則改正および審査ガイドの制定については、原子力規制委員会が使用済燃料の乾式貯蔵を促進する観点から、より柔軟な施設設計を可能とすることを主旨とした内容となっている。
 - 地盤・基礎の変形の有無や程度、建屋等の有無や耐震性の程度、兼用キャスク転倒の有無等にかかわらず、乾式キャスク貯蔵施設の4つの基本的安全機能(閉じ込め機能、遮蔽機能、除熱機能及び臨界防止機能)を維持することを求める性能規定化
 - 基準地震動による地震力に加え、基準地震動が確定していないサイトでの使用済燃料の乾式貯蔵を促進する観点から、全国共通の兼用キャスク貯蔵施設用の地震力の設定 等

- 従って、当社としては、基準地震動が確定しており、頑健な建屋を設置するとともに乾式キャスクを転倒しない設計とする当社の設計方針に影響を与えるものではないと考えている。

参考3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について(2/5)

【規則改正等に伴う当社設計方針への影響について】

2/18部会でご説明済

主な 審査項目	要求事項(主旨)		当社設計方針
	「原子力発電所内の使用済燃料の 乾式キャスク貯蔵について」 (平成4年8月27日 原子力安全委員会承認)	「原子力発電所敷地内での 輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる 使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイ ド」 (平成31年3月13日 原子力規制委員会決定)	
建屋の要否	建屋は必須とする。	建屋を必須としないが、建屋が倒壊した場合でも乾式キャスクの安全機能を維持できること。	発電所敷地境界における放射線量を十分に低減することを鑑みて、遮へいのために建屋を設置する。
設計に用いる 地震動等	サイト固有の条件(基準地震動、基準津波、設計基準竜巻)のみを用いることができる。	サイト固有の条件、または、全国共通の条件(地震動、津波、竜巻)を用いることができる。	基準地震動等が既に決まっていることから、サイト固有の条件を用いる。 (全国共通の条件は使わない。)
乾式キャスク の固定	乾式キャスクは固定されていること。 (乾式キャスクおよび支持構造物は耐震Sクラスとすること。)	乾式キャスクの固定を必須としないが、乾式キャスクが転倒した場合でも乾式キャスクの安全機能を維持できること。	乾式キャスクは転倒しない設計とする。
乾式キャスク の安全機能	除熱機能、閉じ込め機能、遮へい機能、臨界防止機能を有すること。 設計貯蔵期間における放射線照射影響、腐食、クリープ、疲労、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分信頼性を有する材料を選定すること。	(左記に加えて)設計貯蔵期間※を明確にすることを要求する。 ※兼用キャスクを設計するに当たり、当該兼用キャスクに使用済燃料を貯蔵すると想定する最大の期間	乾式キャスクは、4つの安全機能(除熱機能、閉じ込め機能、遮へい機能、臨界防止機能)を有する設計とする。 設計貯蔵期(60年)とする。設計貯蔵期間における放射線照射影響、腐食、クリープ、疲労、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分信頼性を有する材料を選定する。
管理・運用	貯蔵中の乾式キャスクの閉じ込め機能および貯蔵場所の放射線レベル等の連続監視を行うこと。	乾式キャスクの蓋間圧力および表面温度について、適切な頻度での監視を要求する。	貯蔵中の乾式キャスクの閉じ込め機能について、適切な頻度で監視する。

上記の通り、規則改正により当社設計方針への特段の影響はありません。

参考3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について(3/5)

【主な経緯について】

2/18部会でご説明済

○平成29年度 第43回 原子力規制委員会(平成29年10月11日)

新しい「規制要求の考え方」が規制庁から示され、了承された。

＜「規制要求の考え方」の方向性＞

- 地盤および基礎の変形の有無や程度、建屋等の有無や耐震性の程度、兼用キャスク転倒の有無等に関わらず、兼用キャスク貯蔵施設の4つの基本的安全機能(閉じ込め機能、遮蔽機能、除熱機能及び臨界防止機能)を維持することを目的に、性能を規定する。
- 耐震設計に用いる地震力は、確定した基準地震動 S_s による地震力、または、兼用キャスク貯蔵施設(基準地震動 S_s が確定していないサイト)用の地震力とする。
- 津波の影響については、確定した基準津波に基づく評価、基準津波が確定していない又は確定しているものの防潮堤等の設置が完了していないサイトについては、兼用キャスクの基本的安全機能への影響に関する評価を実施する。 など

○平成30年度 第11回 原子力規制委員会(平成30年5月30日)

原子力規制庁から規則等の改正案及び新たな審査ガイド案が提示されたが、原子力規制委員会から、

- 兼用キャスクは輸送に係る特別の試験条件(9m落下試験など)も満足する頑丈なものであるため、サイト固有の津波等は乾式キャスク設計に影響がないはず。サイト固有の条件はできる限りガイドから外す方向で再検討すること。

との意見が出され、再検討することとなった。

また、本改正案において、使用済燃料乾式キャスクは「兼用キャスク」、使用済燃料乾式貯蔵建屋および天井クレーン等は「周辺施設」として、新たに定義され、要求事項が明確化された。

なお、兼用キャスクは基本的安全機能を維持するために外部から動的な機器を要していないこと、外力(例えば、航空機衝突)に対しても堅牢であり、放射性物質の放出のおそれがないこと等の理由により大規模損壊時の対応は求めないこととされた。

参考3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について(4/5)

○平成30年度 第22回 原子力規制委員会(平成30年8月1日)

2/18部会でご説明済

原子力規制庁から乾式キャスク設計に対するサイト依存しない基準の方針案が提示され、了承された。

- 地震(静的加速度 水平2300gal、鉛直1600gal等)、津波(漂流物100ton、流速20m/s等)、竜巻(100m/s)
- なお、確定した基準地震動等を用いた評価を行うことを妨げるものではない。

○平成30年度 第45回 原子力規制委員会(平成30年12月5日)

8月1日に了承された方針案に基づく、サイト固有の条件をできる限り外した規則改正案および審査ガイド案の修正案が提示され、パブリックコメントが開始された。

○平成30年度 第63回 原子力規制委員会(平成31年2月27日)

使用済燃料貯蔵事業(むつ市のリサイクル燃料貯蔵センター等の中間貯蔵施設)に対する要求事項と、発電所敷地内貯蔵の規則要求の整合に係る修正方針について了承された。

< 整合に係る敷地内貯蔵の規則修正の方向性 >

- 敷地境界における線量限度について「発生事象当たり1ミリシーベルト」を超えないように応急復旧等の必要な措置を講じることを要求することとしていたが、中間貯蔵施設と同様に通常時の寄与分を含めて「年間1ミリシーベルト以下」に変更した
- 中間貯蔵施設において、蓋部の閉じ込め機能の異常に対して、蓋を追加装着できる構造とする等、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を解釈において規定しており、同様の要求を敷地内貯蔵のキャスクにも求めることとした

○平成30年度 第66回 原子力規制委員会(平成31年3月13日)

上記パブコメおよび使用済燃料貯蔵事業に対する要求事項との整合を踏まえた規則改正案および審査ガイド案について了承された。

参考3. 設置許可基準規則の改正および審査ガイド制定について(5/5)

2/18部会でご説明済

○平成31年4月2日

改正規則および審査ガイドの施行

○令和元年度 第8回 原子力規制委員会(令和元年5月22日)

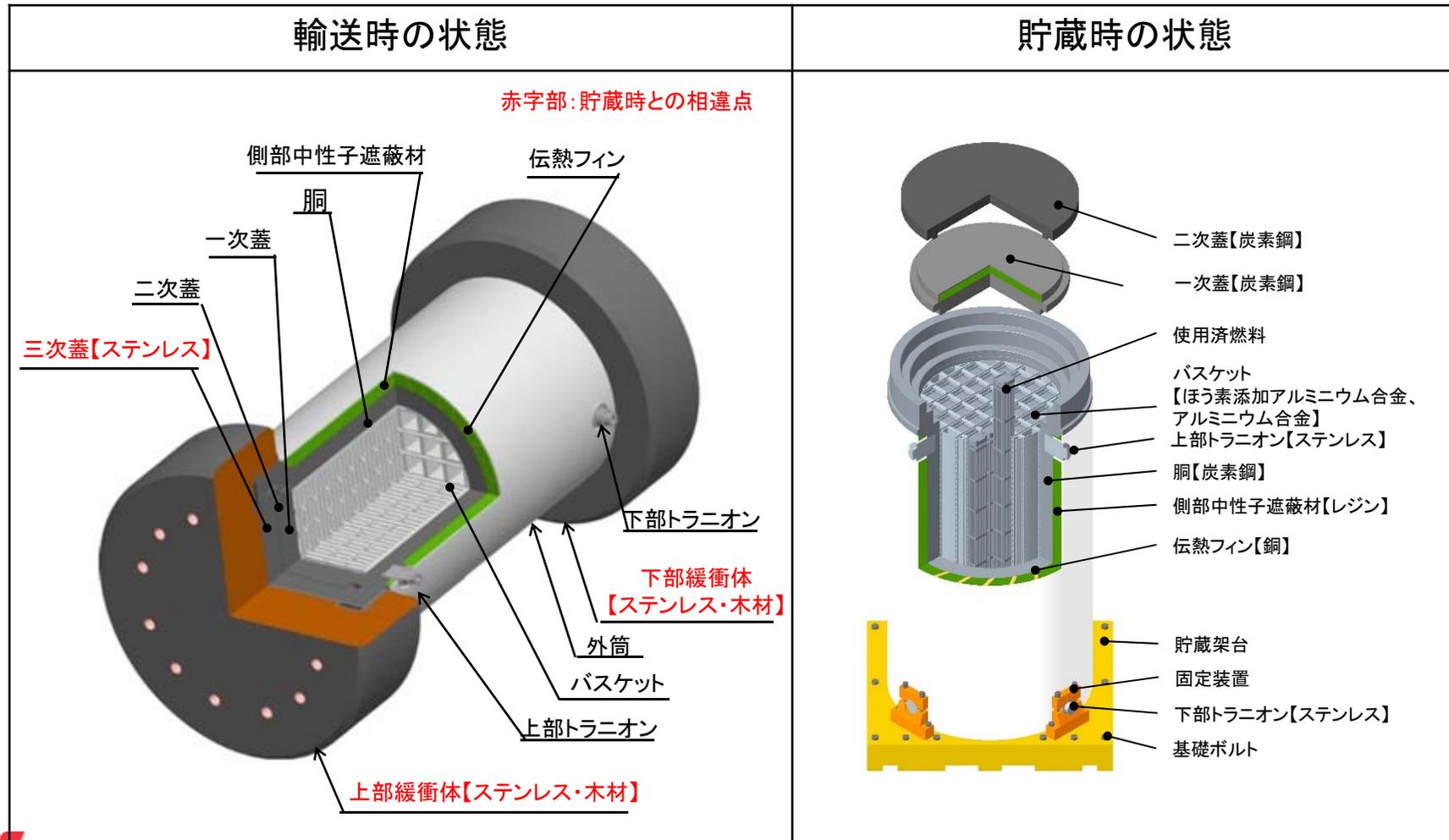
今後の対応方針(案)が審議され、乾式貯蔵施設の建屋の審査上の取扱いについて、以下の内容を確認することになった。

- ・キャスクのみで地震や竜巻等の外力に対して、安全機能が維持可能であるかを確認する。
- ・敷地境界における実効線量評価について、建屋が無い状態で過度の保守性を排した現実的な評価により、建屋としての遮へい機能の必要性を確認する。

参考4. 乾式キャスク輸送時および貯蔵時の比較について(1/3)

【輸送時と貯蔵時の規制要求の考え方について】

今回導入する乾式キャスクは、輸送・貯蔵兼用のため、輸送および貯蔵それぞれの法令適用を受ける。



参考4. 乾式キャスク輸送時および貯蔵時の比較について(2/3)

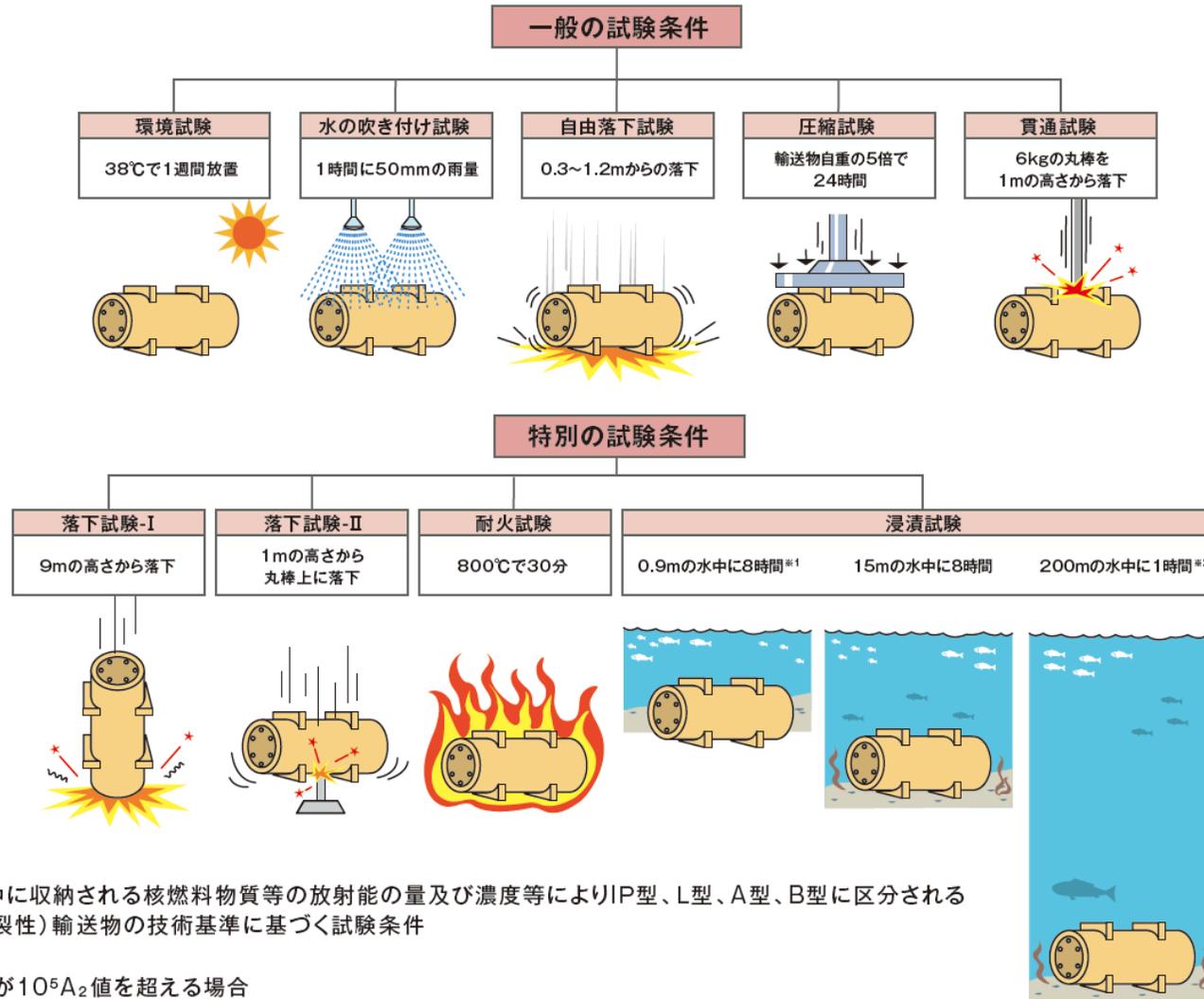
【輸送時と貯蔵時の規制要求の考え方について】

	輸送法令 (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) ※BM型核分裂性輸送物	貯蔵法令 (「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」)
閉じ込め機能	<ul style="list-style-type: none"> 一般の試験条件下において、放射性物質の漏洩率がA_2値$\times 10^{-6}/h$以下であること 特別の試験条件下において、放射性物質の漏洩率がA_2値/week以下であること (A_2値: 告示に定める基準値) 	<ul style="list-style-type: none"> 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(設計貯蔵期間中、兼用キャスク内部の負圧を維持できること)
遮蔽機能	<ul style="list-style-type: none"> 輸送時において、輸送物表面の最大線量当量率が$2mSv/h$以下および輸送物の表面から$1m$の距離における最大線量等量率が$100\mu Sv/h$以下であること 一般の試験条件下において、輸送物表面の最大線量当量率が$2mSv/h$以下であること 特別の試験条件下において、輸送物の表面から$1m$の距離における最大線量等量率が$10mSv/h$以下であること 	<ul style="list-style-type: none"> 通常貯蔵時の兼用キャスク表面の線量当量率を$2mSv/h$以下とし、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を$100\mu Sv/h$以下とすること 他の原子力施設からのガンマ線と兼用キャスクからの中性子及びガンマ線とを合算し、敷地境界において実効線量で$50\mu Sv/y$以下となることを目標に、線量限度($1mSv/y$)を十分下回る水準とすること 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、工場等周辺の実効線量が線量限度($1mSv/y$)を超えないこと
除熱機能	<ul style="list-style-type: none"> 輸送時において、容易に人が近づきうる表面(表面に近接防止枠を設ける場合は当該近接防止枠の表面)の温度が$85^{\circ}C$以下であること 	<ul style="list-style-type: none"> 設計上想定される状態において、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去することができること
臨界防止機能	<ul style="list-style-type: none"> 核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下および特別の試験条件下において臨界に達しないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 設計上想定される状態において臨界に達するおそれがないこと

上記の通り、要求事項および前提となる乾式キャスクの状態が輸送時と貯蔵時で異なることから、個別に評価を行い、それぞれの規則要求に適合することを確認している。

参考4. 乾式キャスク輸送時および貯蔵時の比較について(3 / 3)

2/18部会でご説明済



(注) 輸送容器は、その中に収納される核燃料物質等の放射能の量及び濃度等によりIP型、L型、A型、B型に区分される
本図は、B型(核分裂性)輸送物の技術基準に基づく試験条件

※1 核分裂性輸送物

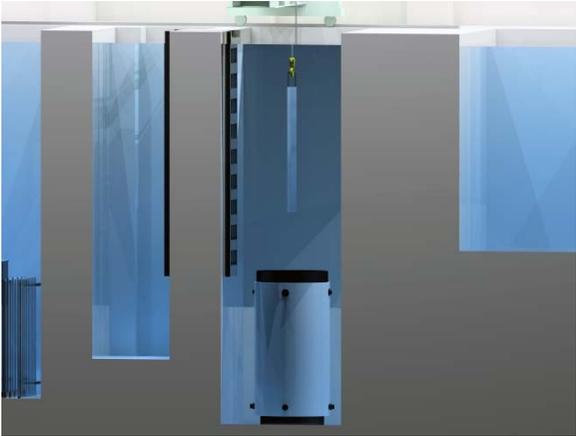
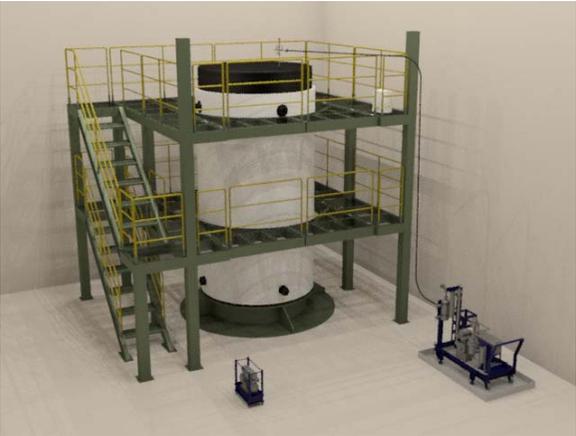
※2 収納物の放射エネルギーが $10^5 A_2$ 値を超える場合



参考5. 乾式貯蔵施設の運用(1/2)

H30 6/15部会でご説明済

- 使用済燃料は、使用済燃料ピット内で乾式キャスクに収納され、専用車両にて乾式貯蔵建屋に搬送し、貯蔵エリアにて保管する。

<p>①乾式キャスクへ燃料を収納</p> 	<p>②真空乾燥、He充填</p> 	<p>③横倒し、専用車両へ積み付け</p> 
<p>④専用車両で取扱エリアへ搬入</p> 	<p>⑤専用車両から荷下し</p> 	<p>⑥縦起し</p> 

参考5. 乾式貯蔵施設の運用(2/2)

H30 6/15部会でご説明済

⑦検査架台へ移動
(監視設備取付等)



⑧搬送台車で貯蔵エリアへ移動



⑨貯蔵



⑩横倒し、専用車両へ積み付け



⑪専用車両で岸壁へ移動



⑫再処理工場へ搬出

