

伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会委員コメント回答  
(乾式貯蔵施設 関係)

## 委員コメント 50

10/16 原子力安全専門部会資料 (資料 1 - 別添 2 p 2) の解析条件の設定の考え方について、臨界解析は実効増倍率、遮蔽解析は線量当量率、除熱解析は温度が高くなる等、記載を適正化すること。

(10月16日原子力安全専門部会 中村秀夫委員、森伸一郎委員)

## 回答

解析条件を高めを設定することにより、解析結果 (実効増倍率、線量当量率、乾式キャスク構成部材および使用済燃料の温度) が高くなる項目は、より保守的に評価を行うため、解析条件を高めを設定している等、記載を適正化した。

⇒資料 1 - 別添 2 p 2 参照

(四国電力)

## 委員コメント 51

燃料健全性を維持するうえで、過去にどのような試験や検討をして、乾式貯蔵に係る温度等の基準値が決められているのか、整理すること。

(10月16日原子力安全専門部会 中村秀夫委員、村松健委員)

## 回答

平成 21 年の総合資源エネルギー調査会等の報告書では、使用済燃料の長期健全性に関する知見を踏まえ、貯蔵期間中における使用済燃料の健全性が維持されていることを判断するための具体的な方法 (PWR 燃料を用いたクリープ試験、照射硬化回復試験、水素化物再配向試験、応力腐食割れ試験の結果を踏まえた評価基準を含む) が示されている。

・使用済燃料の劣化要因としては、化学的要因、熱的要因、放射線による要因があり、例えば、熱的劣化については、燃料被覆管の温度が貯蔵期間を通じて文献に定められた条件以下に維持されていれば、熱的要因による劣化については問題ないものと判断できることが示されている。

なお、燃料健全性に関して安全審査で確認すべき項目については、国の審査ガイドに定められている。

また、1985 年から米国アイダホ国立研究所において乾式キャスクに PWR 燃料を収納した実機検証試験が実施され、以下について報告されている。

- ・ PWR 燃料被覆管の破損は発生していない。
- ・ 抜き取った燃料 1 体について、クリープ試験、水素化物再配向確認、硬さ測定等の詳細調査を行った結果、燃料被覆管の破損につながるような経年変化はない。

当社は、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性については、文献等の知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認するとともに、乾式キャスクの安全機能を維持できることを解析等により確

認している。

引き続き、国内外での乾式貯蔵施設に関する調査および文献等により、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性に関して知見等を幅広く収集し、信頼性の向上を図る。

⇒資料1－別添2 p 7, 8 参照

(四国電力)

#### 委員コメント 52

除熱解析について、燃料集合体内での燃料棒等の詳細な配置および燃料棒内の温度分布を確認する必要があるのではないか。(解析モデルのモデル化次第では局所的に燃料被覆管の温度が高くなっている可能性があるのではないか。)

燃料被覆管とペレットを一緒に解析していると思われるが、解析の保守性、また燃料棒の間の空間や部材の違いによる熱伝導度の違いをどのように考慮しているのか示すこと。

(10月16日原子力安全専門部会 中村秀夫委員、渡邊英雄委員)

#### 回答

1, 2号機燃料用キャスクと比べ発熱量の大きい3号機燃料用乾式キャスクにおける使用済燃料の発熱量は約15.8kW (44GWd/t、15年冷却) であり、使用済燃料1体あたりの発熱量は約660W、燃料棒1本あたり約2.5W、燃料棒1mあたりではわずか0.7Wで、原子炉内(定格出力で運転中)の約1/25000程度であるため、燃料棒内(燃料被覆管表面からペレット中心まで)の温度差は0.06°C程度であり、無視できる程度である。\*

これを踏まえて、除熱解析の燃料集合体モデルでは、燃料棒のモデルは径方向の要素分割は行わず、ペレット、ギャップ及び燃料被覆管の均質体(熱伝導率は体積平均値)としている。

※ (15.8kW/基) ÷ (24体/基) = 約660W/体

(660W/体) ÷ (264本/体) = 約2.5W/本

(2.5W/本) ÷ (3.648m/本) = 約0.7W/m

0.7W/m ÷ 原子炉内線出力(平均17.1kW/m) = 1/25000

(ペレット中心1770°C - 燃料被覆管表面温度349°C) × (1/25000) = 約0.06°C

⇒資料1－別添2 p 9, 10 参照

(四国電力)

【参考資料】伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 委員コメント一覧

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
1	伊方1号機の廃止措置と3号機の運転をしながらの乾式貯蔵施設の設置となるので、総合的な安全対策に万全を期して、それを十分に説明してほしい。	四電 乾式貯蔵施設の設置にあたっては、伊方3号機の運転に影響を与えないように計画を策定し、綿密な調整を図りながら、安全を最優先として工事を進める。 乾式貯蔵施設における乾式キャスクの取扱作業については、今後、作業手順を整備し、安全確保を最優先に準備を進める。 乾式キャスクの監視設備の保守や、作業員の被ばく管理に対しても安全を最優先に進める。	H30 6/15	宇根崎
2	乾式キャスクについて、貯蔵と輸送の兼用であるので、輸送の面での安全性の評価を踏まえて、その安全設計を説明してほしい。	四電 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。 (9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	宇根崎
23	乾式キャスクの設置許可基準規則に対する設計方針について、輸送容器に関する規則はどのように対応し評価しているのか。	四電	H30 6/15	中村
3	乾式貯蔵施設の設置場所に係る斜面の調査は、伊方3号機の場合と同じ手法で行うのか。 調査手法は同じでも、物性が変わるようであれば、新たに評価してほしい。	四電 斜面の安定性に係る物性値については、3号機の場合と同様にボーリング調査および室内試験等を行い、総合的であることを確認し3号機の物性値を用いている。 その上で、乾式貯蔵施設に影響が考えられる斜面のうち、耐震評価上、安定性が最も厳しくなると考えられる斜面を代表斜面として選定し、基準地震動Ssに対する地震応答解析を行い、すべり安全率が基準値以内に収まることで地盤安定性に問題がないことを確認している。	H30 6/15	岸田
4	乾式貯蔵施設を設置するに当たって、新たな検討事項も増えるので、既設の施設等に影響がないよう考えてほしい。	四電 乾式貯蔵施設は、既設プラントから約200m離れて、別建屋として独立していることから、構内のアクセスルート、構外からの参集ルートも含めて、現状影響はないと考えるが、今後の設置計画の立案にあたり、十分に配慮していく。	H30 6/15	岸田
5	使用済燃料の貯蔵については、これまでに発電所外での貯蔵も検討するとしていたが、検討状況と敷地内貯蔵に至った経緯を説明してほしい。	四電 敷地外における使用済燃料貯蔵については、現時点においても適切な立地点を見いだせていないことから、敷地外に比べ、確実かつ柔軟に対応できる発電所敷地内での乾式貯蔵施設の設置について検討を進めることとした。	H30 6/15	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
6	乾式貯蔵施設について、住民に対して施設の安全性だけでなく、最終の搬出先である六ヶ所村の再処理工場の稼働状況、発電所内での保管期間なども含めて十分に説明してほしい。	四電 六ヶ所村の再処理工場については、主な試験を既に完了しており、竣工に向けて技術的な見通しが得られている。 また、新規制基準への適合性審査についても、平成30年10月5日にこれまでの審査会合等における議論を踏まえた補正書を提出しており、現在原子力規制委員会において安全審査が進められているところである。 日本原燃㈱は、2022年度上期竣工に向けて、引き続き最大限努力しており、当社含め電力大で全面的にサポートしていく所存である。 安全協定に定められているとおり、使用済燃料は再処理工場へ搬出することとしており、再処理工場の操業状況や伊方発電所の運転状況等を踏まえて、計画的な搬出に努めてまいりたい。	H30 6/15	渡邊
7	使用済燃料ピットの水中で15年以上の保管した燃料を、乾式キャスク内のヘリウム環境下で長期間保管するとしているが、PWRの燃料では乾式貯蔵は初であるので、乾式キャスクはもとより収納する使用済燃料集合体自体の長期健全性について示してほしい。	四電 使用済燃料の長期健全性について、PWR用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認している。 具体的には、照射影響については、炉内における照射量に比べて十分低いこと、熱的影響については、貯蔵時の燃料温度および応力においてはクリープひずみ、照射硬化回復、燃料被覆管中の水素化物再配向、応力腐食割れの影響を受けないこと、化学的影響については、残留水分が少なく不活性雰囲気にある燃料被覆管の酸化量および水素吸収量は無視できることを確認している。(9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	渡邊
34	乾式貯蔵は、PWRの使用済燃料の保管としては国内では最初の事例になる。 BWRとPWRの燃料を保管する場合に、それぞれの燃料の使用条件は異なっているが、どのような知見で検討されているのか。	四電	H31 2/8	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
8	乾式キャスクによる貯蔵について、他の電力会社で検討がどのように進んでいるのか。 もし進んでいる、もしくは進む予定であるのであれば、共通の問題点というのが既に共有されているのか。	四電	福島第一原子力発電所（東京電力）、東海第二発電所（日本原電）については既に乾式貯蔵施設があり運用されている。そのほか、設置許可の審査中であり敷地外に設置予定の東京電力と日本原電のむつ中間貯蔵施設（青森県むつ市）や、敷地内に設置予定の浜岡原子力発電所（中部電力）及び玄海原子力発電所（九州電力）がある。	H30 6/15	森
9	乾式貯蔵施設について、日本全体での計画や設置等の状況がまとめられた資料を用意してほしい。		また、これら審査中の施設の主とした課題は、地震・津波等の関係となっている。 (H31 2/8 原子力安全専門部会（資料 2-3）)	H30 6/15	吉川
14	先行事例で、安全性がどういうふうに検討されて、どう実証されているかを整理してほしい。そういう中で何が特に問題になったのか教えてほしい。				H30 6/15
10	新規制基準に基づいて設備の審査が行われるのは四国電力が初めてなのか。 既に新規制基準に基づいて設置されている、もしくは審査が進められているところはあるのか。	四電	中部電力の乾式貯蔵施設やむつの中間貯蔵施設については、新規制基準での審査が行われている。現在、原子力規制委員会で見直しされている状況であり、今後、これらが施行されれば、それに基づく適合性審査が行われる。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行)	H30 6/15	吉川
11	飛来物として、航空機などが落ちてきて、乾式貯蔵施設に衝突することについての評価は行われているのか。	四電	偶発的な外部人為事象による損傷の防止のための設計方針で、航空機落下についても影響を及ぼさないことは伊方3号機の新規制基準と同じように確認される。 テロといった故意なものについては、可搬型設備によって、施設に損傷があったとしても、放射性物質が飛散するということをできるだけ抑制するために、大型ポンプ車によって放水するなどの大規模損壊に対応する対応手順等が、規則等の改正を踏まえ必要に応じて、今後審査の中で確認される。	H30 6/15	吉川
12	乾式貯蔵施設は原子炉建屋に比べ、構造上、全然弱いと思うが、耐震だけを担保していれば大丈夫なのか。	四電	現在見直し中のガイドでは乾式貯蔵建屋は必須ではないが、現計画では、周辺への放射線の影響を低減させるため、乾式キャスクを建屋内に貯蔵することとしている。 なお、建屋は地震による倒壊で乾式キャスクの安全機能に影響を与えないように、基準地震動による地震力に耐えられる設計とする。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行。ガイドでは乾式貯蔵建屋は必須とはされていない。)	H30 6/15	吉川

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
13	外国では乾式キャスクを屋外で保管しているが、外国と日本の設計基準を比較して示してほしい。	県	ドイツでは貯蔵建屋の設置を前提としているが、米国及び日本の新しい基準案では、貯蔵建屋の設置は前提としていない。 (2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	吉川
15	乾式キャスクは何度も使うのか、それとも1回限りなのか。	四電	乾式キャスクの設計において、60年間の安全性を確認している。 再処理工場が稼働し、使用済燃料の搬出が可能になると、乾式キャスクから詰め替えることなく使用済燃料を再処理工場に搬出し、空になった乾式キャスクは、発電所に持って帰り、再使用することも含め、運用を進める中で具体化を図る。	H30 6/15	高橋
16	使用済燃料が再処理されなくなった場合どうなるのか。	四電	国のエネルギー基本計画でも原子燃料サイクルが盛り込まれており、今後もこれに沿って対応していく。	H30 6/15	高橋
17	供用中の乾式キャスクの試験又は検査は、具体的にどのようなことを考えているのか。	四電	今後、具体的な試験内容を決める。 現状、閉じ込め機能であればキャスクの内部は負圧にしており、一次蓋と二次蓋との間の圧力の監視、除熱であれば乾式キャスクの外表面の温度の測定を行うこととしている。 そういった乾式キャスクに異常がないこと、経年的な変化がないことを、継続的に確認、試験しながら、安全性を確保していく。	H30 6/15	森
18	内部の圧力が負圧に保てなくなった場合等、乾式キャスクの安全機能が働かなかった場合、どうするのか。	四電	例えば、臨界防止機能については事前の解析工程の中で安全側に計算し、実効増倍率が0.95以下となる設計としている。 閉じ込め機能については、仮に気密性が保持できなくなった場合、処置する必要があるため、今後、処置する場所も含めて手順等を確認しながら対応する。	H30 6/15	森
19	供用中の乾式キャスクの試験又は検査は、どのくらいの頻度で行うのか。	四電	今は基本設計の段階なので、詳細については今後検討する。	H30 6/15	森
20	先行事例での乾式キャスクの試験又は検査の頻度を参考にするのか。	四電	先行事例を参考にし、現在見直されている規則や審査ガイドに適合する検査要領を策定する。 (H31 4/2、規則改正およびガイド施行)	H30 6/15	森
21	乾式貯蔵について、「一時的」というものが、短期的なものなのか、あるいは長期になる可能性があるものなのかという検討はするのか。	四電	乾式貯蔵施設は、使用済燃料を再処理工場に搬出するまでの間、「一時的」に貯蔵する施設として設置する。 一方、乾式キャスクについては、長期的にも安全機能が失われないことを評価している。	H30 6/15	森

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
22	乾式貯蔵施設の安全機能について、重要度分類し対応するとのことなので、対照表として整理してほしい。	四電	規制要求（建屋の有無等に係らず乾式キャスクの4つの安全機能を確保すること）を満足するように、乾式キャスクおよび貯蔵建屋に持たせるべき安全機能を検討し、各機能に対する安全性（要求事項を満足することも含め）を解析等により確認している。 具体的には、乾式キャスクについては耐震Sクラスとして分類し、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設計する。また、貯蔵建屋については、耐震Cクラスとして分類し、乾式キャスクに波及的影響を及ぼさない設計とする。 (9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))	H30 6/15	中村
31	乾式貯蔵施設について、安全機能をリストのようにまとめてほしい。 それぞれの設備の相互作用を考えたどうかを含めて、検討内容とその安全性評価方法を整理してほしい。			H30 6/15	森
24	乾式キャスクに対し行われている各試験と設置許可基準規則に対する設計方針との関連を説明してほしい。例えば、耐火試験として「800℃で30分」との試験があるが、それは航空機が落下して火災となった場合に対応するのかなど説明してほしい。	県	兼用キャスクに実施される「800℃で30分」の耐火試験等の特別の条件での試験は、輸送時の事故※1を想定し輸送に係る技術基準※2に基づき実施されるものであり、貯蔵について規定している設置許可基準規則と対応しているものではないとのこと。 ※1 この場合、放射性物質を輸送する車両が坂道の底にある十字路で液体燃料を運ぶタンクローリーに衝突し、火災発生するケースを想定。 ※2 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2条～15条 (H31 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))	H30 6/15	中村
25	設置許可基準規則の要求事項に対して、設計方針に「ダムの崩壊」という記載があるが、発電所近くにダムがあるから記載しているのか。基準にあるから書いているのか。 記載の判断方法について示してほしい。	四電	「ダムの崩壊」は、3号炉の新規制基準適合性に係る設置変更許可申請時に、伊方発電所において考慮すべき事象の一つとして選定したものであり、審査において周辺のダムの所在や河川流況を確認し、影響がないことを判断している。 乾式貯蔵施設は、同じ発電所敷地内に設置することから、3号炉同様の設計方針を適用することとして、あらためて記載したものである。	H30 6/15	中村
26	Sクラスの設計としている乾式キャスクの耐震性について、構造解析をしているのであれば、その結果を示してほしい。	四電	詳細な耐震評価結果は、工事計画認可申請においてその耐震計算書を示すこととなる。	H30 6/15	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
27-1	輸送容器の安全性確認として落下試験を行っているが、試験条件及び求められる結果について説明すること。	県	<p>輸送キャスクの特別の試験条件における落下試験では、キャスクに緩衝体を付けた状態で、9 mの高さから落下させること等を行うこととなっている。</p> <p>また、求められる結果は、次の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・表面から1メートル離れた位置における最大線量当量率が10ミリシーベルト毎時を超えないこと。</li> <li>・放射性物質の一週間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。</li> </ul> <p>(H31 2/8 原子力安全専門部会(資料2-3))</p>	H30 6/15	中村
27-2	乾式キャスクの落下により内封している燃料の破損が想定される場合の対応を説明すること。	四電	<p>乾式キャスクにおいても、これまでの輸送キャスクと同様に、安全に留意した上で取扱作業を行う。</p> <p>仮に、取扱時に乾式キャスクの落下等により、安全機能または使用済燃料に影響が疑われる事象が発生した場合は、3号機使用済燃料ピットへ移送し、点検等の必要な対応をとることになると考えている。</p>	H30 6/15	中村
28	原子炉から取り出した後、15年経った燃料は大体何度ぐらいに低下するのか。 その温度で、ヘリウム環境下で負圧であっても燃料体は劣化をするのか。	四電	<p>貯蔵時の燃料温度は最大でも約220℃程度と見込んでおり、使用済燃料の長期健全性について、PWR用燃料に関する試験等を踏まえた知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認している。</p> <p>(9/8 原子力安全専門部会(資料1-1))</p>	H30 6/15	中村
29	乾式貯蔵施設の耐震性について、最悪の事象を考えていく上で、施設内のクレーンが落下するといったようなことも検討の対象になり得るのか。	四電	<p>乾式キャスクについては、耐震Sクラスであり基準地震動による地震力に対する評価を行う。</p> <p>建屋については、耐震Cクラスであるが、乾式キャスクの安全機能に影響を与えないように基準地震動による地震力に耐えられる設計とする。</p> <p>なお、施設内のクレーンは、貯蔵エリアの上に設置せず、貯蔵エリア内での乾式キャスクの移動はエアパレットを用いる。</p>	H30 6/15	森
30	乾式貯蔵施設にあるものは、実質上ほぼ全て耐震Sクラスとして設計するのか。	四電	<p>耐震Sクラスの設備と、基準地震動を入力して耐震Sクラスの設備に影響を与えないことを評価する設備があり、安全機能を担保しているのは、あくまでも乾式キャスクである。</p>	H30 6/15	森
32	使用済燃料乾式貯蔵施設に関連する国のエネルギー基本計画の概要について、どういう位置づけで県から説明したのか。	事務局	<p>四国電力が乾式貯蔵設備を設置する中で、国が使用済燃料対策を強化していくという背景を説明したものである。</p>	H30 6/15	吉川

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
33	使用済燃料を保管する方法として、リラッキングではなく乾式貯蔵を選んだのはなぜか。	四電	3号機については、既にリラッキングを行い、貯蔵能力の増強を図っている。 乾式貯蔵施設は、海外も含めて多数の先行事例があり、一定期間冷却後の使用済燃料を、乾式キャスクの中で駆動源を使わず自然対流により冷却ができる貯蔵方法であることから、より安全性が高いということで判断した。	H31 2/8	渡邊
35	1号機、2号機が廃炉となり、3号機をある一定期間運転したときに、発電所構内に使用済燃料がどのくらい保管されていくのか示すことはできないか。	四電	使用済燃料ピットにおける使用済燃料の体数の推移については、今後の運転状況や六ヶ所の稼働状況によって変動するため、一概には言えないが、3号機が13カ月運転を続けていくとすると、年間の使用済燃料の発生体数は35体から40体である。安全協定に定めておき、使用済燃料は再処理工場へ搬出することとしており、伊方発電所内の貯蔵状況等を踏まえ、計画的な搬出に努めてまいりたい。	H31 2/8	渡邊
36	津波の影響評価に関する新たな規制要求として、「浸水深10m、流速20m毎秒、それから漂流物質量100t」とあるが、伊方発電所の場合、こういったことを想定する必要はあるのか。	四電	新たな規制要求案では、基準津波が決まっていれば基準津波にて評価、決まっていなければそのような評価となる。 伊方発電所については、3号機の新規制基準の適合性確認において、基準津波は約8.1m、敷地の沈降を考慮しても8.7mと評価されている。 乾式貯蔵建屋は、標高25mに立地する計画であり、問題ないと考えている。	H31 2/8	中村
37	敷地境界での年間線量に関して、スカイシャイン線と直接線を評価しているが、その内訳を示して欲しい。	四電	敷地境界での年間線量(0.16 $\mu$ Sv/y)の内訳は、直接線が97%、スカイシャイン線が3%である。	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
38	<p>各解析の初期の条件はどのように設定しているのか。(例えば、収納制限48GWd/t以下に対し、解析は48GWd/tで保守的に実施しているのか。)</p> <p>各解析結果の精度、信頼性、ばらつきを説明すること。特にレジンについては、基準値に対し、他と比べ解析結果が近い値であり問題がないのか説明すること。</p>	<p>各解析の初期条件(濃縮度、燃焼度および収納配置等)は、全ての収納制限を満足した上で、保守的に設定している。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p> <p>レジンの解析結果(<math>1.6 \times 10^{14} \text{n/cm}^2</math>)については、設計貯蔵期間中(60年間)の中性子照射量を貯蔵開始時から一定として保守的な評価を行っている。</p> <p>また、解析に使用するコードは検証された許認可実績のあるコードである。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-1))</p> <p>従って、仮に初期条件を現実的に設定した場合、温度等の解析結果は低めとなり、時間の経過とともに更に低下していく。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p> <p>なお、臨界解析については、乱数を用いた統計処理を含むモンテカルロ法であり計算結果(実効増倍率)に統計誤差を有するため、平均値に統計誤差として<math>3\sigma</math>を考慮した値を解析結果としている。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1))</p> <p>その他解析については、決定論的に1つの解が得られるため、統計誤差はない。 また、解析結果における有効桁数の処理は、基準値を満足することを適切に確認できるよう、基準値に近づく方向に保守的に桁処理している。</p>	R02 9/8	森
39	<p>燃料被覆管がどの部分か、図で示すこと。また、使用済燃料を評価する場合において、燃料被覆管を評価する理由を説明すること。</p> <p>燃料棒の溶接線の情報を示してほしい。メーカー機密もあると思うが、明らかにしてほしい。</p>	<p>資料に燃料棒の拡大図を追加 使用済燃料を構成する各燃料棒は燃料ペレットを被覆管で閉じ込めた構造であるため、使用済燃料の健全性を確認する際は、燃料被覆管に着目して温度等の基準値を満足することを確認している。 燃料棒はペレットを燃料被覆管で閉じ込め、端栓を周方向溶接した構造である。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p>	R02 9/8	森 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
40	<p>乾式キャスク表面での放熱については、ふく射による寄与は少なく、対流がメインではないか。建屋の除熱評価では対流のみで評価しているのか説明すること。</p>	<p>四電</p> <p>乾式キャスク外表面での除熱は自然対流による熱伝達とふく射により行われるが、その寄与は自然対流による熱伝達が支配的である</p> <p>除熱評価においては、乾式キャスクの構成部材の温度評価では、乾式キャスク周囲(環境温度 50℃)への自然対流による熱伝達およびふく射を考慮している。また、建屋評価では、乾式キャスクの発熱量は全て空気によって除熱されると考え、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せず評価し、乾式キャスク周囲温度が 50℃以下となることを確認している。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料 1 - 別添 1))</p>	R02 9/8	中村
41	<p>真空乾燥、ヘリウム充填の時点で最も温度は高く、その後 60 年間下がっていくと思うが、その下がり方、経過を説明すること。乾式キャスクに封入した使用済燃料は、しばらく経つと、発熱量と放射線量はさがっていくところに関心がある。直接線やスカイシャイン線にも効いてくる。</p>	<p>四電</p> <p>線量当量率および温度(使用済燃料の崩壊熱量)は貯蔵開始時が最も高く、その後、時間の経過とともに低下していく。これを踏まえ、各解析は最も厳しい貯蔵開始時において実施するとともに、解析条件は解析結果が厳しくなるよう保守的に設定している。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料 1 - 別添 2))</p>	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
42	<p>除熱解析について、軸方向含めた3次元の結果や熱の伝わり方(内部から一次蓋やガスケットへの)も含めて説明すること。2次元断面の結果はどここの断面か示すこと。</p> <p>除熱解析について、縦断面も示すこと。乾式キャスク内では、ヘリウム対流でも熱伝導するが、計算方法について示すこと。</p> <p>断面温度分布はなぜ対称になっていないのか、また乾式キャスク表面130℃であるのに対し、周辺温度は45℃であるが、この間にギャップ(急激な温度変化)があるのはなぜか。</p>	<p>除熱解析(3次元)の温度分布図を追加。除熱解析においては、使用済燃料の発熱量が、構造部材による熱伝導およびヘリウムガスによる熱伝導により、乾式キャスク内部から一次蓋や金属ガスケットに熱が伝達される、として各部材の温度を計算している。</p> <p>なお、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。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1))</p> <p>乾式キャスク中心部を中心に温度分布は対称になっており、燃料断面図ではキャスク中心に近い方が温度は高めの分布となっている。</p> <p>環境温度を50℃として乾式キャスクの除熱解析を実施した結果、乾式キャスク表面温度が130℃となっている。一方、建屋の除熱評価の結果、周囲温度が45℃となっており、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している。</p> <p>なお、空気は熱伝導率が小さいため、キャスク表面から離れるにつれて温度が大きく低下する。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1))</p>	R02 9/8	中村 森
43	<p>まず、遮へい材として使用している物質と放射線(荷電粒子、ガンマ線、中性子)の関係、エネルギーや中性子量も含めて示すこと。</p> <p>解析でどのように設定しているのか説明すること。</p> <p>どのような粒子線が使用済燃料の貯蔵年数に対してどのような割合で存在するのか、保管中の温度分布が貯蔵年数に対してどのようになっているのか、示すこと。</p>	<p>放射線の種類と特性を整理。</p> <p>各解析の初期条件(濃縮度、燃焼度および収納配置等)は、全ての収納制限を満足した上で、保守的に設定している。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p> <p>解析は保守性を考慮して実施しており、線量当量率および温度(使用済燃料の崩壊熱量)は貯蔵開始時が最も高く、その後、時間の経過とともに低下していく。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p> <p>なお、レジンについて、文献には実機照射試験に基づき重量減損が見られない照射量の制限値が示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量はこれを超えないことから、中性子照射による影響はない。</p> <p>(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1))</p>	R02 9/8	渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
44	照射脆化は温度が低い方が悪くなるとの知見もある。(同じ中性子量だと、温度が低い方が脆化し易い。)60年間の間に温度の低下とともに中性子量やガンマ線量は変化し、照射脆化も変化していくが、問題ないことは確認しているのか。	四電	中性子量は時間の経過とともに低下していくが、照射量の解析においては、貯蔵初期の照射量で一定(低下しない)として解析している。このような保守的な解析条件においても、燃料被覆管(ジルカロイ)等の照射試験結果において、照射脆化に影響のあることが確認されている中性子量と比べると、解析で得られる乾式キャスクにおける照射量は十分に小さく、照射脆化への影響は無視できる程度である。	R02 9/8	渡邊
45	乾式貯蔵施設での貯蔵について、比較的新しい設計となっている部分もあるので、国内外での実使用条件に近い条件での総合的な実証試験や同様な設計の先行プラントでの使用経験の調査を確認・反映していくことは意義がある。今後も継続的に知見等の収集に取り組んでいくことを欲しい。	四電	乾式キャスクの設計にあたっては、PWR燃料を対象とした国内外の乾式キャスク先行貯蔵試験等に関する知見や情報を収集したうえで、適切に設計に反映している。 今後も引き続き継続的に知見や情報を幅広く収集するとともに、必要に応じて乾式キャスクの運用管理に反映していく。	R02 9/8	村松 望月
46	レジン(樹脂)は照射により劣化していくが、60年貯蔵を踏まえて基準値(149℃)はどのような考え方で設定したのか。  また、レジン(樹脂)は経年による分解でガスが出るが、問題が生じないか説明すること。  基準値は、34年前の文献をもとに設定しているが、レジン(樹脂)は改良されているのか、性能は上がっているのか。	四電	文献には実機照射試験に基づき重量減損が見られない照射量の制限値が示されており、設計貯蔵期間中の中性子照射量はこれを超えないことから、中性子照射による影響はない。 一方、試験の結果、設計貯蔵期間中の熱影響による質量減損が2%程度と評価されるため、遮蔽解析においては、保守的な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。 (10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1)) 構造強度の評価においては、乾式キャスク側部、蓋部、底部の中性子遮蔽材を配置する領域に、レジンの熱分解により発生した水が水蒸気となり内圧が発生するものとして、各部材の健全性評価を行い、十分な強度を有していることを確認している。 また、使用する予定のレジンの仕様(水素含有量等)は、エポキシ系レジンの仕様の範囲内であり、レジンの性能は当時と同等である。	R02 9/8	中村

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
47	燃料被覆管の監視方法は、どこで破損したか、わかるのか。実績がないのではないか。	<p data-bbox="624 611 655 667">四電</p> <p data-bbox="683 304 1177 965">乾式キャスクの構造上、貯蔵しながら燃料被覆管の状態を直接確認することはできないが、以下のとおり設計・運用することにより、燃料被覆管の健全性は維持でき、異常に対しても適切に対応できる。</p> <ul data-bbox="692 465 1177 909" style="list-style-type: none"> <li>・健全燃料を収納する。</li> <li>・燃料被覆管の長期健全性は文献等をもとに確認している。</li> <li>・貯蔵開始前の仕立作業(真空乾燥およびヘリウムガス充填)により、乾式キャスク内部を不活性雰囲気とする。</li> <li>・貯蔵開始後は乾式キャスク表面温度や建屋内温度、蓋間圧力を定期的に測定する。</li> <li>・貯蔵時における乾式キャスクの取扱いにおいて設計上想定される事象が万一発生した場合でも、使用済燃料に発生する応力は弾性範囲内であることを確認している。</li> </ul> <p data-bbox="692 913 1177 965">(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添1))</p>	R02 9/8	渡邊
48	封入している使用済燃料にリークが発生した場合、どのように対応するのか。仮に取扱い時に乾式キャスクを落下させた場合、内部のガス回収など具体的な対応はどう考えているのか。	<p data-bbox="624 1227 655 1283">四電</p> <p data-bbox="683 987 1177 1518">乾式キャスクの取扱いにおいて設計上想定される事象が万一発生した場合でも、使用済燃料に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料の健全性は維持されることを確認している。</p> <p data-bbox="683 1144 1177 1267">仮に想定事象を超えるような乾式キャスクの落下等が生じた場合、当該燃料は使用済燃料ピットに戻して適切に保管する。</p> <p data-bbox="683 1272 1177 1458">燃料を使用済燃料ピットに戻す際は、貯蔵開始前の準備作業(真空乾燥およびヘリウムガス充填)と同様に、使用済燃料ピットエリアにて乾式キャスクの内部ガスをガス回収タンクに回収し、燃料漏えいの有無を確認する。</p> <p data-bbox="683 1462 1177 1514">(10/16 原子力安全専門部会(資料1-別添2))</p>	R02 9/8	中村 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
49	<p>乾式キャスクに衝撃が加わったとき、収納している燃料は大丈夫か。破損したと思われる時、事後の対策はどうか。</p> <p>設計上想定される事象（衝撃）に対して、使用済燃料の健全性に問題はないのか。</p> <p>加速度 20～30G がかった際のジルカロイにどの程度の応力が発生するか計算すること。燃料被覆管の周方向応力が100MPa を超えないことを数値で示すこと。</p>	<p>乾式貯蔵施設では、地震により乾式貯蔵建屋は損壊せず、乾式キャスクを床に固定して設置することに加え、乾式キャスクを取扱うクレーンや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するよう設計することとしている。これを踏まえ、設置変更許可申請（貯蔵側審査）においては、設計上想定される状態として、通常取扱時の作業員の誤操作を想定している。</p> <p>&lt;設置変更許可申請（貯蔵側審査）における想定事象および燃料健全性&gt;</p> <p>検査架台や貯蔵架台の近辺で乾式キャスクを移動させる場合、低速またはインテング操作を実施するが、想定事象に対する評価としては、保守的に、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・乾式貯蔵建屋天井クレーンの走行速度（高速運転モード）：18.0m/分</li> <li>・乾式貯蔵建屋天井クレーンの巻上/巻下速度（高速運転モード）1.2m/分</li> </ul> <p>で検査架台や貯蔵架台への衝突等を想定しており、想定としては妥当である（これ以上の速度は出ない）。（原子炉建屋の燃料取扱棟クレーンも同じ速度）</p> <p>これらの場合で生じる加速度は1～3G程度であり、燃料被覆管に発生する応力は弾性範囲内であり、使用済燃料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、使用済燃料の健全性や再取出性に問題がないことを確認している。</p> <p>&lt;想定事象時における水素化物再配向への影響&gt;</p> <p>18.0m/分（または1.2m/分）で衝突した際にも燃料被覆管の周方向には応力は増加しないため、貯蔵時と同じ約95MPa（1,2号燃料用乾式キャスク）、約86MPa（3号燃料用乾式キャスク）程度であり、100MPaを下回ることを確認している。（18m/分の場合は横方向の衝突であり、燃料棒の曲げ方向に応力が作用する（軸方向に対して引張/圧縮応力が作用する）のみで、貯蔵時と比べて周方向応力は増加しない。また、1.2m/分の場合は軸方向の衝突であり、燃料棒の軸方向に対して圧縮応力が作用するのみで、貯蔵時と比べて周方向応力は増加しない。）</p> <p>（10/16 原子力安全専門部会（資料1－別添1、資料1－別添2））</p>	R02 9/8	中村 渡邊

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント委員
49		四電	<p>なお、輸送時に対しては、輸送中の事故（乾式キャスクの落下など）を想定した安全性を確認するよう求められており、設計承認申請（輸送側審査）において評価し安全性を確認している。この評価のうち、乾式キャスク 0.3m 落下において 20～30G の加速度が発生するが、燃料被覆管は弾性範囲内であることを確認している。</p>	R02 9/8	中村 渡邊
50	<p>10/16 原子力安全専門部会資料（資料 1－別添 2 p 2）の解析条件の設定の考え方について、臨界解析は実効増倍率、遮蔽解析は線量当量率、除熱解析は温度が高くなる等、記載を適正化すること。</p>	四電	<p>解析条件を高めを設定することにより、解析結果（実効増倍率、線量当量率、乾式キャスク構成部材および使用済燃料の温度）が高くなる項目は、より保守的に評価を行うため、解析条件を高めを設定している等、記載を適正化した。 ⇒資料 1－別添 2 p 2 参照</p>	R02 10/16	中村 森

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
51	<p>燃料健全性を維持するうえで、過去にどのような試験や検討をして、乾式貯蔵に係る温度等の基準値が決められているのか、整理すること。</p>	<p>平成 21 年の総合資源エネルギー調査会等の報告書では、使用済燃料の長期健全性に関する知見を踏まえ、貯蔵期間中における使用済燃料の健全性が維持されていることを判断するための具体的な方法（PWR 燃料を用いたクリープ試験、照射硬化回復試験、水素化物再配向試験、応力腐食割れ試験の結果を踏まえた評価基準を含む）が示されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>使用済燃料の劣化要因としては、化学的要因、熱的要因、放射線による要因があり、例えば、熱的劣化については、燃料被覆管の温度が貯蔵期間を通じて文献に定められた条件以下に維持されていれば、熱的要因による劣化については問題ないものと判断できることが示されている。</li> </ul> <p>なお、燃料健全性に関して安全審査で確認すべき項目については、国の審査ガイドに定められている。</p> <p>また、1985 年から米国アイダホ国立研究所において乾式キャスクに PWR 燃料を収納した実機検証試験が実施され、以下について報告されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PWR 燃料被覆管の破損は発生していない。</li> <li>抜き取った燃料 1 体について、クリープ試験、水素化物再配向確認、硬さ測定等の詳細調査を行った結果、燃料被覆管の破損につながるような経年変化はない。</li> </ul> <p>当社は、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性については、文献等の知見を踏まえ、貯蔵時の照射影響、熱的影響および化学的影響の観点から問題ないことを確認するとともに、乾式キャスクの安全機能を維持できることを解析等により確認している。</p> <p>引き続き、国内外での乾式貯蔵施設に関する調査および文献等により、乾式キャスクおよび使用済燃料の長期健全性に関して知見等を幅広く収集し、信頼性の向上を図る。</p> <p>⇒資料 1－別添 2 p 7, 8 参照</p>	R02 10/16	中村 村松

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
52	<p>除熱解析について、燃料集合体内での燃料棒等の詳細な配置および燃料棒内の温度分布を確認する必要があるのではないか。</p> <p>(解析モデルのモデル化次第では局所的に燃料被覆管の温度が高くなっている可能性があるのではないのか。)</p> <p>燃料被覆管とペレットを一緒に解析していると思われるが、解析の保守性、また燃料棒の間の空間や部材の違いによる熱伝導度の違いをどのように考慮しているのか示すこと。</p>	<p>四電</p> <p>1, 2号機燃料用キャスクと比べ発熱量の大きい3号機燃料用乾式キャスクにおける使用済燃料の発熱量は約 15.8kW (44GWd/t、15年冷却) であり、使用済燃料1体あたりの発熱量は約 660W、燃料棒1本あたり約 2.5W、燃料棒1mあたりではわずか 0.7W で、原子炉内(定格出力で運転中)の約 1/25000 程度であるため、燃料棒内(燃料被覆管表面からペレット中心まで)の温度差は 0.06℃程度であり、無視できる程度である。*</p> <p>これを踏まえて、除熱解析の燃料集合体モデルでは、燃料棒のモデルは径方向の要素分割は行わず、ペレット、ギャップ及び燃料被覆管の均質体(熱伝導率は体積平均値)としている。</p> <p>※(15.8kW/基)÷(24体/基)=約 660W/体  (660W/体)÷(264本/体)=約 2.5W/本  (2.5W/本)÷(3.648m/本)=約 0.7W/m  0.7W/m÷原子炉内線出力(平均17.1kW/m)=1/25000  (ペレット中心 1770℃-燃料被覆管表面温度 349℃)×(1/25000)=約 0.06℃</p> <p>⇒資料1-別添2 p 9, 10参照</p>	R02 10/16	中村 渡邊
53	<p>中性子実効増倍率は、統計誤差の3倍を平均値に足したものであるとのことだが、統計誤差はいくらか。また、モンテカルロ法による計算の回数ほどの程度か。</p>	<p>四電</p> <p>統計誤差の3倍については、0.001～0.002程度である。</p> <p>また、モンテカルロ法による計算は、既設の使用済燃料ピットや従来の輸送キャスクの許認可で実績があり、これらと同様に十分多い回数で行っている。</p>	R02 10/16	森
54	<p>燃料棒が貯蔵中に割れる確率について、どのように認識しているのか。</p>	<p>四電</p> <p>使用済燃料ピットでの貯蔵など発電所供用期間中の事例で燃料リークが発生した割合は、実績としては0.001%程度である。乾式貯蔵施設は、乾式キャスク内部を不活性な状態で静的に保管するものであるため、乾式貯蔵中の漏えい確率はより低いものと考えている。</p>	R02 10/16	渡邊