

東京電力福島第一原子力発電所4号機使用済燃料貯蔵プールからの 使用済燃料の取り出しに関する確認状況について（案）

平成25年3月29日
原子力規制庁

1. まえがき

東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第64条の2第2項の規定に基づき平成24年12月7日に「東京電力株式会社福島第一原子力発電所特定原子力施設に関する保安又は特定核燃料物質の防護のための措置に係る実施計画」（以下「実施計画」という。）を提出した。実施計画では、1～4号機の使用済燃料貯蔵プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料、5,6号機の使用済燃料貯蔵プールに貯蔵中の使用済燃料及び炉内燃料（新燃料を除く）について、合計5,936体の使用済燃料共用プールへの受け入れを計画している。また、この受け入れ準備として共用プールの空き容量を確保するため、共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式キャスクに装填し、キャスク仮保管設備に保管することを計画している。

使用済燃料貯蔵プールからの燃料取り出しに関し、原子力規制委員会では、措置を講ずべき事項として、「使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたり、確実に臨界未滿に維持し、落下防止、落下時の影響緩和措置及び適切な遮へいを行い、取り出した燃料は適切に冷却及び貯蔵する設計となっていること。」を求めている。

本資料は、これらの計画のうち、計画が具体化している4号機の使用済燃料貯蔵プールからの使用済燃料の取り出し及び共用プールに貯蔵されている使用済燃料のキャスク仮保管設備での保管について、これまでの確認状況を取りまとめたものである。

2. 使用済燃料貯蔵プールからの燃料の取り出し設備について

使用済燃料貯蔵プールからの燃料取り出し設備は、燃料取扱設備、構内用輸送容器、燃料取り出し用カバーで構成されており、これらの設備に要求される事項を満足することの確認を行った。

2-1 燃料取扱設備

燃料取扱設備は、使用済燃料の落下防止、遮へい、臨界防止に係る機能を有する設計とするとしている。

燃料取扱設備は、燃料取扱機、クレーンで構成される。燃料取扱機は、使用済燃料プール及びキャスクピット上を水平に移動するブリッジ並びにその上を移動するトロリで構成される。また、クレーンは、オペレーティングフロア上部を水平に移動するガーダ及びその上を移動するトロリで構成される。

燃料取扱設備は、以下に示すように、二重のワイヤなどにより落下防止を図る設計とするとしている。

(a) 駆動源喪失時にも燃料取扱機のホイストは電磁ブレーキで保持する構造と

し、燃料把握機はフックが開かない構造とし、さらにクレーンの巻上装置は電動油圧押し上機で保持する構造とするなど、燃料集合体を落下させない設計とする

(b) 使用済燃料貯蔵ラック上には、重量物を吊ったクレーンを通過できないようにインターロックを設け、貯蔵燃料への重量物の落下を防止できる設計とする

(c) 燃料取扱機の燃料把握機は、二重のワイヤや過荷重時の上昇阻止、燃料集合体落下防止に係るインターロックを設ける設計とし、クレーンの主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造を施すなどにより、燃料移送操作中の燃料集合体等の落下を防止できる設計とする

遮へいについては、燃料取扱設備は、使用済燃料プールから構内用輸送容器への燃料集合体の収容操作を、燃料の遮へいに必要な水深を確保した状態で、水中で行うことができる設計とするとしている。

臨界防止については、燃料取扱設備は、燃料集合体を一体ずつ取り扱う構造とすることにより、燃料の臨界を防止する設計とするとしている。

その他安全対策として、燃料取扱エリアの放射線のモニタリングを行うため、放射線モニタを設け、放射線レベルを測定し、これを免震重要棟集中監視室に表示するとともに、過度の放射線レベルを検出した場合には警報を発し、放射線業務従事者へ伝える設計とするとしている。

なお、燃料取扱設備の設計に係る考え方については、既往の原子炉設置許可及び工事計画の認可を受けた設備と同様であるが、通常燃料取り出しが気密性のある原子炉建屋で実施されるのに対し、今回の燃料取り出しでは新たに設置した燃料取り出し用カバー内で実施される点が相違している。このため、燃料落下事故により、構内用輸送容器内の収納燃料が全て破損し、よう素及び希ガスが放出されたと仮定した評価を行った結果、燃料取り出しカバーの気密性を期待しなくても使用済燃料内の放射性物質の減衰により、敷地境界における周辺公衆の被ばく線量は約 $1.7 \times 10^{-3} \text{mSv}$ となり、原子炉設置許可申請で評価された使用済燃料の炉心での落下評価結果（約 $6.8 \times 10^{-2} \text{mSv}$ ）に対し約 1 桁小さい値となることを確認した。

これらの対策の結果から、燃料取扱設備は要求される機能を満たす設計がなされることを確認した。

2-2 構内用輸送容器

2-2-1 確認の方針

構内用輸送容器は、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能を有する設計とするとしている。また、破損燃料集合体を収納して輸送する容器については、燃料集合体の破損形態に応じて輸送中に放射性物質の飛散・拡散を防止できる設計とするとしている。

構内輸送に用いる使用済燃料輸送容器（NFT-22B 型）については、輸送に係る認可・承認において示された評価と異なる事項として、①構内輸送では緩衝体を装着しない運用とすること、②平均燃焼度を上回る使用済燃料を新たに輸送すること、③工事計画書で認可を受けていない燃料体を輸送することの 3 点がある。これらの異なる事項を考慮し、必要な構造強度を有する設計であるとともに、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能の各安全機能を有することにつ

いて確認を行った。

2-2-2 確認内容

(1) 緩衝体の影響

構内輸送では緩衝体を装着しない運用とするため、衝突時の構造強度、遮へい機能、除熱機能への影響について確認を行った。

(a) 構造強度

- ・ 構内輸送では、4号機建屋内において(1)構内用輸送容器の搬出、(2)吊り下ろし、(3)輸送車両へ積載され、(4)構内輸送が行われる。また、(6)共用プール内で輸送台車への積載、(7)キャスク取扱室への異動、(8)除染ピットへの移動、(9)キャスクピットへの移動が行われる。
- ・ これら一連の作業の中で、構内輸送に係る設計事象として、クレーン吊り下げ時の衝突（垂直吊り；(2)、(8)、(9)での作業時及び、水平吊り；(6)の作業時）が抽出されていることを確認した。
- ・ 設計事象の荷重条件として、(2)、(6)、(8)、(9)で想定される衝突事象について、構内用輸送容器（衝突に応じて対象部位として容器本体及び蓋、バスケット、トラニオンを想定）に発生する加速度を算出し、衝突時の荷重が既往評価の落下時の荷重に包絡されていることを確認した。

(b) 遮へい機能

- ・ 構内用輸送容器は、ガンマ線及び中性子線による遮へい機能を有しており、主要なガンマ線遮へい材は、胴、底板及び外筒の炭素鋼及び蓋のステンレス鋼であり、主要な中性子遮へい材は、胴内水及び胴と外筒間のレジンである。構内用輸送容器に求められている放射線量の基準は、事業所外を輸送する際に法令で求められる基準に準拠し、輸送容器表面で $2000 \mu\text{Sv/h}$ 以下、表面から 1m の距離において $100 \mu\text{Sv/h}$ 以下としている。
- ・ 遮へい計算は、緩衝体がないことによる遮へい効果の低減を考慮した解析モデルであることを確認した。
- ・ 構内輸送用容器の頭部径方向、頭部軸方向、側部、底部径方向、底部軸方向における線量当量率の最大値は構内用輸送容器の許容値を満足していることを確認した。

(c) 除熱機能

- ・ 緩衝体の有無は除熱機能に対して影響を与えるが、緩衝体が無いことにより除熱は促進されることから、除熱機能については既往の評価結果に包絡されることを確認した。

(2) 平均燃焼度を上回る燃料体及び工事計画書で認可を受けていない燃料体に係る確認

今般の輸送では、既往評価の平均燃焼度を上回る使用済燃料を新たに輸送することから、除熱機能・遮へい機能・臨界防止機能について確認を行った。

(a) 除熱機能

・高燃焼度 8×8 燃料及び 8×8 燃料については、既往評価の平均燃焼度を上回るものが貯蔵されている。これらの燃料は、冷却期間が十分長いことから、崩壊熱量はそれぞれ既往の評価値を下回っており、その他の燃料についても、既往の評価で用いた崩壊熱量を下回っていることを確認した。このため、除熱機能については、既往の評価に包絡されることを確認した。

(b) 遮へい機能

・前述の評価と同様、冷却期間が長いことから、放射能強度についてもすべての燃料体について既往の評価で用いた放射能強度を下回っていることを確認した。

(c) 臨界防止機能

・臨界防止機能については、初期濃縮度の高い 9×9 燃料で評価されており、初期濃縮度はすべての燃料体について既往の評価で用いた初期濃縮度を下回っていることを確認した。

以上のことから、当該構内用輸送容器については、既往評価との変更点を考慮しても、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能の各安全機能を有するとともに、必要な構造強度を有する設計となっていることを確認した。

なお、破損燃料の取扱については、今後実施計画の変更申請において東京電力から具体的な検討結果が示された後に確認することとする。

2-3 燃料取り出し用カバー

燃料取り出しカバーは、使用済燃料プールを覆う構造としており、燃料取扱機支持用架構及びクレーン支持用架構を有する。また、燃料取り出し用カバーは放射性物質の飛散・拡散防止の観点から換気設備及びフィルタユニットを有する。なお、換気設備の運転状態やフィルタユニット出入口で監視する放射性物質濃度等の監視データは現場制御盤及び免震重要棟集中監視室に表示され、異常時は警報を発するなどの管理を行うとしている。

燃料取り出しカバーには、燃料取扱設備の支持、放射性物質の飛散・拡散防止が要求されることから、これらの機能を満足できる設計となっていることについて確認を行った。

2-3-1 構造強度及び耐震性

1) 燃料取扱機及びクレーン

燃料取扱機は検討用地震動として基準地震動 S_s の揺れに対して、使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラックへ落下しないことを確認している。

クレーンは、使用済燃料ラック上を通過できないようにインターロックを設けることから、耐震Bクラスとして検討用地震動（弾性設計用地震動 S_d ）により落下しないことを確認している。

耐震性及び構造強度の評価に当たっては、JEAG4601「原子力発電所耐震設計指針技術指針」及び JSME 発電用原子力設備規格「設計・建設規格」に準拠し、考慮すべき荷重に対して必要な強度を有することを確認した。

2) 燃料取り出し用カバー

燃料取り出し用カバーはクレーン支持用架構と燃料取扱機支持用架構から構成され、東京電力ではそれぞれの架構ごとに構造強度及び耐震性を評価している。

この評価については、(社)日本建築学会、(社)日本電気協会等の規格等に準拠するとともに、検証された解析プログラムの使用や両架構の解析モデルの適切性を確認した。

両架構の構造強度については、クレーンと同等の耐震 B クラスとして設計し、考慮すべき荷重に対して必要な強度を有することを確認した。

両架構の耐震性については、架構が原子炉建屋に直接もしくは近接することから、原子炉建屋、使用済燃料プール及び使用済燃料ラックへの波及的影響を及ぼさないことを確認するため、基準地震動 S_s による耐震安全性評価が実施されている。この評価の結果、発生応力が許容値を下回ることから、両架構に要求される耐震性が確保されることを確認した。

2-3-2 放射性物質の飛散・拡散防止

放射性物質の飛散・拡散防止については、燃料取り出しカバーは、隙間を低減するとともに、換気設備を設け、排気はフィルタユニットを通じて大気へ放出することにより、カバー内の放射性物質の飛散・拡散を防止し、大気への放出を抑制できる設計とされている。

このため、燃料取り出しカバー内の環境が、燃料取扱機、クレーン及び電源盤の設備保護及び作業環境の維持の観点から適切な温度管理が可能となる換気風量が得られる設計となっていること、また、燃料取り出しカバーからの放射性物質の飛散・拡散の防止及び大気への放出抑制の観点から、適切な排気フィルタユニットの性能が得られる設計となっていることについて確認を行った。

1) 換気設備

燃料取り出しカバー内の環境は、燃料取扱機、クレーン、電源盤の設備保護及び作業環境の維持のため、 40°C 以下となる設計としており、このための換気設備に求められる換気風量は $50,000\text{m}^3/\text{h}$ であることを確認した。

また、当該換気風量の維持等により、以下の措置を確認した。

- ・排気フィルタユニット及び給気フィルタユニットは換気風量約 $25,000\text{m}^3/\text{h}$ のユニットを 3 系列設置し、2 系列を運転し、1 系列を予備とすることにより安定運転が可能となること
- ・放射性物質濃度測定器を排気フィルタユニット出入口に設置することにより、燃料取り出し用カバー内の放射性物質や吹上用排気ダクトから大気に放出される放射性物質の濃度を測定できるようにすること
- ・燃料取り出し用カバー換気設備の電源は、異なる系統の所内高圧母線から受電可能な構成とすること
- ・カバー内の燃料取り出し作業は、有人による作業を計画していることから、作業エリアには、局所的にローカル空調機を設け、夏期及び冬期の作業環境の向上を図ること

2) 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能

燃料取り出し用カバー内から排気フィルタユニットを通じて大気へ放出される放射性物質は、高性能粒子フィルタ（粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒子に対し、効率 97% 以上）により低減できる設計としている。現在、発電所敷地内でよう素は検出されていないことから、フィルタユニットは、発電所敷地内等で検出されているセシウムの大気への放出が低減できる設計としている。

原子炉建屋オペレーティングフロアの Cs-134, Cs-137 の放射能濃度（平成 23 年 6 月 18 日現在）に基づくフィルタ通過後の放射能濃度は、それぞれ約 $3.6 \times 10^{-6}\text{Bq}/\text{cm}^3$, 約 $3.3 \times 10^{-6}\text{Bq}/\text{cm}^3$ となることを確認した。フィルタ通過後の放射能濃度に相当する放出が燃料取り出し用カバーの供用期間である 5 年間続くと仮定して年間被ばく線量を算出した結果、年間被ばく線量は敷地境界で約 0.008mSv であることを確認した。

以上のことから、燃料取り出しカバー内の環境が、設備保護及び作業環境の維持の観点から適切な温度管理が可能となる換気風量が得られる設計となっていることを確認した。また、燃料取り出しカバーからの放射性物質の飛散・拡散の防止及び大気への放出抑制の観点から、適切な排気フィルタユニットの性能が得られる設計となっていることを確認した。

3. 使用済燃料共用プールでの保管について

使用済燃料共用プールは、基本的に原子炉設置変更許可を得た施設であり、設備・機器については工事計画の認可を受けたものであることから、これらの許可を得ていない燃料を保管するに当たっての取扱いについて、確認を行った。

具体的には、津波による被災を受けた既設 9 基の乾式貯蔵キャスクで貯蔵されていた使用済燃料が破損していた場合の取扱い及び許可を受けていない 9×9 型の新燃料について確認を行った。

なお、許可を受けていない 7×7 型の使用済燃料については、今後受入前に未臨界性を評価する予定であることを確認した。

3-1 被覆管損傷が確認された使用済燃料を共用プールに取り出す場合の措置

原子炉設置許可において、使用済燃料共用プールは健全な燃料のみを保管することとなっているが、乾式貯蔵キャスク中の貯蔵燃料の被覆管に損傷が確認された場合、当該使用済燃料を使用済燃料共用プールで保管することとしている。

このため、被覆管損傷が確認された燃料を使用済燃料共用プールに取り出す場合の放射線業務従事者及び周辺公衆への被ばく影響を確認した。

3-1-1 放射線業務従事者への放射線被ばくの影響

乾式貯蔵キャスクを使用済燃料共用プールへ移送した後、内部ガスのサンプリング調査を行い、Kr-85 等の希ガスが検出された場合、内部ガスを一旦タンクに回収し、屋外に徐々に放出する運用とすることにより、放射線業務従事者の放射線被ばくを低く抑える手順としていることを確認した。

ガスサンプリング後、乾式貯蔵キャスクから燃料を使用済燃料共用プールに取り出す際には、除染ピットにて乾式貯蔵キャスク内に水を注入した後、共用プールに

沈め、一次蓋を解放する。貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合、Cs-137 等の水溶性の核分裂生成物が乾式貯蔵キャスク内に溶出し、更に蓋を解放すると使用済燃料共用プール内に溶出するが、使用済燃料共用プール冷却浄化系の浄化能力は、これらの溶出に対し十分に浄化できる能力を有していることを確認した。仮に、使用済燃料共用プール水面上での線量率が上昇した場合でも、エリア放射線モニタにより検知可能であり、検知した場合は作業員を退避させることで放射線被ばくを低く抑えられることを確認した。

3-1-2 周辺公衆への放射線被ばくの影響

貯蔵燃料に損傷が確認された場合、前述のようにキャスク内部ガスを一旦タンクに回収し、ガス状の核分裂生成物を屋外に徐々に放出する運用としている。放出ラインには、流量計とバルブを設置する設計となっており、放出風量を調節することにより放出量を管理した状態での屋外放出ができ、公衆への放射線被ばく影響を十分に小さくすることが可能であることを確認した。

なお、大型キャスクの一基分全ての貯蔵燃料の被覆管が損傷して、ガス状の核分裂生成物が短時間（1時間）で全て放出されたとしても、貯蔵燃料は20年以上冷却されているため、敷地境界における放射線量は約 2.8×10^{-3} mSv であることを確認した。

3-2 9×9型新燃料について

9×9型の新燃料については、使用済燃料プールでの貯蔵の許可を受けていない燃料であるが、9×9型の新燃料を使用済燃料共用プールへ貯蔵した場合の未臨界性については、すでに許可された9×9型の使用済燃料の評価において、未照射状態から燃料寿命末期において最も反応度が高い状態を包絡する評価を行っていることから、既往の評価に包含されていることを確認した。

以上のことから、使用済燃料共用プールについては、既設9基の乾式貯蔵キャスクで貯蔵されていた使用済燃料に起因する放射性物質の浄化能力を有し、9×9型の新燃料についても既往の臨界評価に包含されることから、当該キャスク中の被覆管損傷が確認された使用済燃料及び、9×9型の新燃料を保管することについて、安全上の問題が無いことを確認した。

4. 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備での保管について

使用済燃料乾式キャスク仮保管設備については、すでに乾式貯蔵キャスク及び乾式キャスク仮保管設備について、施設運営計画において保管に係る安全性について確認を行った。このため、実施計画の評価においては、これまで確認を行った結果を踏まえ、新たに申請された輸送貯蔵兼用キャスク及び当該キャスクに係る仮保管設備について、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能及び構造強度について確認を行った。

また、乾式貯蔵キャスクは発電所内保管用として工事計画認可をうけたものであり、輸送貯蔵兼用キャスクについては、使用済燃料の貯蔵事業に係る設計及び工事の方法の認可等が行われていることから、各々の審査結果等を踏まえるとともに、保管方法が異なること等の違いについて安全性の確認を行うこととした。なお、実

施計画においては、輸送貯蔵兼用キャスクについて、輸送貯蔵兼用キャスク A、輸送貯蔵兼用キャスク B の 2 種類に分けて申請がなされているが、キャスク A については、一部のキャスクについて使用材料が規格に基づいた材料試験が実施されていないこと、前述の事業に係る溶接の方法の認可が取得されていないことから、輸送貯蔵兼用キャスク B について確認を行った。

(1) 除熱機能

除熱機能については、乾式貯蔵キャスク及び輸送貯蔵兼用キャスク B（以下、両者を併せて「乾式キャスク」という。）とそれを保管するコンクリートモジュールそれぞれの除熱機能に係る確認を行った。乾式キャスクの除熱機能については、乾式キャスク周囲の温度を 45℃と設定した上で、燃料被覆管、乾式キャスクを構成する部材の温度が、構造強度等が維持される設計基準温度以下に制限されていることを確認した。コンクリートモジュールの除熱機能について、モジュール内にキャスクを保管した際に、空気の自然対流によりモジュール内部の温度が 45℃以下に制限されることで除熱機能が確保されることを確認した。これらの評価の考え方は旧原子力安全委員会の「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」における評価方法と同様であることを確認した。また、解析に用いられているコード（ORIGEN2、ABAQUS、FLUENT）は信頼性の確認されたものであることを確認した。

実施計画で示された東京電力の評価において、既往の評価との相違としては、乾式キャスクの保管場所がコンクリートモジュールとされている点がある。これを踏まえ以下のとおり、適切な解析条件の設定やモデル化がなされるとともに、評価結果は許容される温度を下回することを確認した。また、輸送貯蔵兼用キャスクの評価においては、形状寸法が大きく流路の圧力損失が大きくなる A 型キャスクで模擬されているが、B 型キャスクの評価においては保守的な設定であることを確認した。

- ・乾式キャスクの解析は、貯蔵燃料のうち発熱量が最大となる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の発熱量を用いて行い、その解析結果は燃料被覆管及び乾式キャスクの構成部材毎に設定された設計基準温度を下回っている。
- ・コンクリートモジュールの解析は、コンクリートモジュールへの給気温度を小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007～2011 年の夏場（6 月～9 月）の毎正時の気温データを踏まえ設定している。
- ・除熱機能の評価する解析モデルは、保管状態の乾式キャスク 1 基を含むコンクリートモジュール及び基礎スラブを解析対象とし、コンクリートモジュール及び乾式キャスク形状の対称性を考慮しモデル化している。
- ・コンクリートモジュールについて外気との熱の出入りを考慮した場合と出入りを考慮しない場合とを比較した上で、保守的な条件としてコンクリートモジュール外壁表面及び床基礎スラブ底面は断熱条件としている。
- ・評価の結果、乾式キャスク周囲の温度は評価条件 45℃以下であり、コンクリート内部の温度は構造強度が確保される温度（65℃）を下回っている。

これらのことから、キャスク仮保管設備は、除熱機能を適切に確保できる設計であることを確認した。

(2) 密封機能

乾式キャスクは、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じこめる設計とす

るとしている。この設計方針に基づき、乾式貯蔵キャスク本体の密封境界については胴、底板、一次蓋、貫通孔、蓋板及び金属ガスケットで構成し、輸送貯蔵兼用キャスク B 本体の密封境界については本体胴、一次蓋、バルブカバー及び金属ガスケットでそれぞれ構成するとともに、乾式キャスク内部を負圧とし、一次蓋と二次蓋の間は正圧とすることにより圧力障壁を設ける設計となっていることを確認した。

密封機能について、設計評価期間（乾式貯蔵キャスク；40年、輸送貯蔵兼用キャスク B；60年）中、乾式キャスク内部の負圧が維持できる漏えい率を基準漏えい率として評価が行われていることを確認した。評価条件について、乾式キャスク内部温度は、除熱機能における評価結果である使用済燃料被覆管最高温度に対し、既往の評価において保守的に設定された温度を用いていること、シール部の温度については、乾式貯蔵キャスクについては既往の評価においても福島第一原子力発電所内での保管を想定していたことから -4.5°C としていることを確認した。また、輸送貯蔵兼用キャスク B については、中間貯蔵施設への輸送を前提に、保守的に設定された -22.4°C としていることを確認した。

密封機能に係る東京電力の評価では、乾式貯蔵キャスクの基準漏えい率は $1 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ と評価され、この結果に基づき、東京電力は気密漏えい確認において実機の漏えい率が基準漏えい率を下回ることを確認するとしている。また、輸送貯蔵兼用キャスク B については、基準漏えい率は $2.4 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ と評価され、この結果に基づき、同様に気密漏えい確認において実機の漏えい率が基準漏えい率を下回ることを確認するとしている。

これらのことから、乾式貯蔵キャスクは、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じこめられる設計であることを確認した。

(3) 遮へい機能

乾式キャスクはガンマ線及び中性子の遮へい機能を有する設計とするとしており、乾式貯蔵キャスクは鍛造炭素鋼等で構成されるキャスク構造体、輸送貯蔵兼用キャスク B は、十分な厚みを有する鋼製の材料を用いていることを確認した。また、中性子遮へい材としては、いずれのキャスクも水素を多く含有するレジンで構成されていることを確認した。

遮へい計算は、信頼性が確認されたコードとして、線源強度評価に ORIGEN2、遮へい解析に QAD 及び DOT が用いられており、線源強度計算では、最高燃焼度及び冷却期間が最も厳しくなる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料が全数収納されていると仮定し、乾式キャスクの表面及び表面から 1m の位置における線量当量率が計算されていることを確認した。

線量当量率の計算結果によれば、結果が最も厳しくなるのは乾式貯蔵キャスクについては側面の支持部（トラニオン部）で、表面の線量当量率が規制基準値の $2000 \mu\text{Sv/h}$ に対して $1189 \mu\text{Sv/h}$ 、表面から 1m の位置における線量当量率が最も厳しくなるのは側面のトラニオン部から 1m の位置で、規制基準値の $100 \mu\text{Sv/h}$ に対して $80 \mu\text{Sv/h}$ であり、いずれも規制基準を満足していることを確認した。また、輸送貯蔵兼用キャスク B については、表面線量率が最も厳しくなるのは側面のトラニオン部で、規制基準値の $2000 \mu\text{Sv/h}$ に対して $1108 \mu\text{Sv/h}$ 、表面から 1m の位置における線量率が最も厳しくなるのは底部で、規制基準値の $100 \mu\text{Sv/h}$ に対して $81 \mu\text{Sv/h}$ であり、いずれも規制基準を満足していることを確認した。

これらのことから、乾式キャスクは必要な遮へい機能を有する設計であることを確認した。

(4) 臨界防止機能

臨界防止機能については、想定されるいかなる場合においても使用済燃料が臨界に達することを防止する設計とされており、使用済燃料を収納するバスケットを格子構造として使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持し、バスケットの材料に、乾式貯蔵キャスクについては中性子を吸収するボロン添加アルミニウム合金等を、輸送貯蔵兼用キャスク B についてはボロンを添加したステンレス鋼をそれぞれ使用していることを確認した。

臨界解析の評価条件は、実効増倍率が大きくなるように見積もるために、以下の条件を用いて評価していることを確認した。

- ・ 収納する燃料は、濃縮度の高い新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料とする。
- ・ 燃料集合体の炉心内装荷状態（炉心冷温停止状態）での無限増倍率を、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の使用期間を通じての値を踏まえ保守的に 1.30 とする。
- ・ 乾式キャスク内部の燃料有効長部には水が存在している。
- ・ 乾式キャスクの外側は、無限個の乾式キャスクが接触して配列しているものと仮定し、境界条件として完全反射体を設定する。
- ・ 使用済燃料は、乾式キャスクの中心寄りに配置された状態とする。
- ・ その他、乾式貯蔵キャスクについては、評価に用いているバスケット板厚等は製造公差を考慮した最小値を用い、ボロン 10 含有量は製造下限値に余裕をみた値とする。輸送貯蔵兼用キャスク B については、チャンネルボックスを考慮し、バスケットの格子幅公差を安全側に考慮するとともに、中性子遮へい材は無いものとし、バスケットのボロン含有量は最小値を用いる。

これらの条件は、既往評価と同じであり、解析に用いたコード（KENO-IV、KENO-V. a）は、国内外で輸送キャスクの臨界解析等で実績を有するものであることを確認した。

臨界解析の結果、実効増倍率は、計算コードの誤差を考慮すると乾式貯蔵キャスクについては 0.83、輸送貯蔵兼用キャスク B については 0.88 であり、いずれも旧原子力安全委員会の「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」で示された設計上の基準値である 0.95 以下を満足していることを確認した。

(5) 乾式キャスク仮保管設備の構造強度及び耐震性

キャスク仮保管設備は、乾式キャスク、キャスク支持架台、コンクリートモジュール、クレーン及びコンクリート基礎から構成され、それぞれの設備ごとに構造強度及び耐震性を東京電力は評価している。このうち乾式貯蔵キャスクは既往評価で耐震 As クラスの設備としての耐震性を確認していることから、基準地震動 Ss と既往評価における基準地震動 S2 との比を既往評価に乗じて発生応力を算定（応答倍率法）し、基準地震動 Ss に対する耐震安全性評価を実施している。評価の結果、発生応力が許容される基準値を下回ることから、耐震性が確保されることを確認した。

輸送貯蔵兼用キャスク B 及びキャスク支持架台については、基準地震動 Ss による耐震安全性評価を実施し、評価の結果、輸送貯蔵兼用キャスク B 及びキャスク支持架台の発生応力が許容される基準値を下回ることから、耐震性が確保されることを確認した。また、この評価方法については、JSME 使用済燃料貯蔵規格「金属キャスク構造規格」、JSME 発電用原子力設備規格「設計・建設規格」等に基づいていることを確認した。

コンクリートモジュール、クレーン及びコンクリート基礎については、基準地震動 Ss による耐震安全性評価が実施されている。その結果、コンクリートモジュール及びコンクリート基礎の発生応力が許容される基準値を下回ることから、耐震性が確保されることを確認した。これらの評価方法は、建築基準法・同施行令、(社)土木学会の規格等に準拠するとともに、信頼性のある解析モデルや解析プログラム (Super-FLUSH/2D、NASTRAN 及び ABAQUS) を用いていることを確認した。

(6) 管理・運用

乾式キャスク仮保管設備には、乾式キャスクの一次蓋、二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置 (キャスク毎に圧力センサ 2 個) と乾式キャスク表面の温度を監視することにより除熱機能を監視する表面温度監視装置 (キャスク毎に温度センサ 1 個) を設置するとしている。

蓋間圧力が設定値まで低下した場合や、表面温度が設定値まで上昇した場合には、それぞれ免震重要棟にて警報や指示値が確認できるとしている。

乾式キャスクの運搬については、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第 13 条 (工場又は事業所においておこなわれる運搬) に基づいて実施することとしている。運搬物表面の線量当量率等については、周辺環境の影響により精緻に測定できないことから、測定された線量の評価等に基づき管理を行うとしている。

放射線量の監視については、使用済燃料を収納した乾式貯蔵キャスクからの放射線の漏えいを早期に検知するため、エリア放射線モニタを配列毎に設置し、警報設定値はバックグラウンドを考慮して設定するとしていることを確認した。また、モニタリングポスト及び定期的な巡視点検時の測定による監視を行うとしていることを確認した。放射線の監視については、定期的な巡視点検に加え、地震発生時においても適宜巡視点検を行うとしていることを確認した。

これらのことから、キャスク仮保管設備について、異常を検知できるとともに、乾式キャスク運搬時の安全管理がなされること等を確認した。

(7) 異常時の評価

使用済燃料共用プールの燃料取扱設備は震災前と同等に復旧する予定であり、使用済燃料共用プールから乾式キャスクを搬出する手順等についても従来と同等であり、異常時の評価は既往の評価に包絡されるとしている。

乾式キャスク仮保管設備での異常事象としては、支持架台が装着された状態で乾式貯蔵キャスクを吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因で、最大吊り下げ速度 (1.5m/min) で支持架台が基礎コンクリートに異常着床する事象が抽出されており、当該異常事象の抽出に当たっては、乾式貯蔵キャスクの取扱いに係る作業手順等を基に機器の仕様、状態を踏まえ適切になされていることを確認した。異常着床によりキャスクに生じる衝撃加速度は、工事計画で評価された運搬時の評価加速度 (3G)

より小さな値(2.75G)となることから、乾式貯蔵キャスクの安全機能は維持されることを確認した。

輸送貯蔵兼用キャスクについては、同様に、キャスクがクレーンの最大吊り下げ速度(1.5m /min)のまま搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に衝突する事象が抽出されており、輸送貯蔵兼用キャスクに生じる最大の衝撃加速度は横姿勢での支持架台への衝突時の2.88Gであり、評価加速度(3G)より小さな値であることを確認した。

これらのことから、キャスク仮保管設備は、異常時においても必要な機能が維持される設計であることを確認した。

5.まとめ

(今後全体のまとめを記載)

以 上