

【補足説明資料】

6号機燃料取り出しに伴う構内用輸送容器収納燃料(9×9燃料)の追加

TEPCO

2023年5月

東京電力ホールディングス株式会社

6号機燃料取り出し 今後の予定

- 当初の2023年度末頃完了目途を、2025年度上期頃完了目途に見直し。
→共用プールでの乾式キャスク作業の工程遅れにより、+約12ヶ月。
- 輸送回数は計68回から変更なし。
- 認可は、2023年12月頃までを希望。6号機漏えい燃料取り出しは2025年度初めを予定しているが、工程期間短縮に取り組むことで前倒しを図る。

<見直し後の工程>

	2022年度				2023年度				2024年度				2025年度				
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
実施計画 変更申請		▼変更申請			▼補正申請(予定)								2025年度上期完了予定				
6号機燃料 取り出し		■						■	■				■				← 12B 2回/全68回 予定
	燃料取出 8月開始	22B 2回/全68回 完了						22B 20回/全68回 予定	22B 25回/全68回 予定				22B 19回/全68回 予定				
共用P	乾式キャスク仕立て【6号向け全22基】												6基/全22基および後続号機用6基 予定				
	1基/全22基 完了	2基/全22基 完了			13基/全22基 予定												

6号機漏えい燃料取り出しに用いる構内用輸送容器の安全機能の評価 (除熱、遮へい、臨界防止評価)

1. はじめに

6号機原子炉建屋から取り出した使用済燃料は、核燃料輸送物設計承認書（以下 SAR）で認可を得ている構内用輸送容器 NFT-22B 型及び 12B 型を使用して、共用プールに輸送する。

6号機に1体ある漏えい燃料については構内用輸送容器 NFT-12B 型を使用して輸送する計画である。通常、漏えい燃料輸送時は燃料収納缶に漏えい燃料（集合体）を収納する運用を前提としており、収納するためにチャンネルボックス（以下 CB）を取り外す必要がある。SAR でも燃料収納缶を使用する前提で評価がされている。しかし、現在 6号機原子炉建屋のチャンネル着脱機が使用できない状況であるため、燃料収納缶を使用せずに 6号機漏えい燃料を輸送する計画である。

燃料収納缶を使用しない場合の安全評価については、過去に構内用輸送容器 NFT-12B 型での 4号機漏えい燃料輸送の評価がされている。今回の 6号機漏えい燃料輸送にあたっては、過去の 4号機の評価が 6号機にも適用可能か確認することによって、6号機漏えい燃料を燃料収納缶を使用せずに輸送することが可能であることを確認する。

4号機使用済燃料取り出し時の評価については、福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画_II 特定原子力施設の設計、設備_2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付資料 2-1-3 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書(4号機)に記載されている。

2. 除熱評価

2.1. 4号機漏えい燃料輸送の除熱評価の考え方

4号機漏えい燃料輸送の除熱評価については以下の実施計画II 2.11_添付 2-1-3 に記載されている。4号機漏えい燃料は2体ありそれぞれに1本ずつ漏えい燃料棒が存在する。2本の漏えい燃料棒が破損して燃料棒内全てのペレットが輸送容器内に放出される事象を仮定している。燃料棒の破損の位置は定められていない。放出ペレットの発熱量は設計発熱量の0.1%未満であり、構内用輸送容器の構成部材及び燃料の健全性に影響はないとしている。

(抜粋) 福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画_Ⅱ特定原子力施設の設計, 設備_2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付 2-1-3 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書 (4号機)

4.2.2. 漏えい・変形燃料混載時

構内用輸送容器に収納する漏えい・変形燃料の燃料仕様は既存評価に用いている燃料仕様に包絡されており, 既存評価に比べて使用済燃料の崩壊熱量は十分低いものとなっている。このため, 評価結果は前項の健全燃料輸送時の評価に包絡される。

なお, 万が一輸送容器の取り扱い中に漏えい燃料棒が破損し, 漏えい燃料棒からペレットが放出されたとしても, 放出ペレットの発熱量は設計発熱量の 0.1%未満であり, 構内用輸送容器の構成部材及び燃料の健全性に影響はない。

また, 既存評価の解析モデルには燃料収納スペースをモデル化しているが, 燃料収納スペースがない場合でも上記と同様に崩壊熱量は十分低いものとなっていることから, 構内用輸送容器の構成部材及び燃料の健全性に影響はない。

2.2. 4号機の除熱評価の6号機への適用

4号機漏えい燃料と6号機漏えい燃料の仕様を比較し(表1)

- ① 4号機漏えい燃料では漏えい燃料棒2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本であること、
 - ② 4号機漏えい燃料(集合体)2体いずれと比較しても6号機漏えい燃料は冷却期間が長く平均燃焼度が小さいこと
- から、6号機漏えい燃料棒1本分の崩壊熱量は4号機漏えい燃料棒2本分の崩壊熱量より小さくなる。

したがって、6号機漏えい燃料輸送にて4号機と同様の事象を仮定した場合に構内用輸送容器及び燃料の健全性に影響がないと考えることができるため、4号機の除熱評価を6号機の除熱評価に適用可能である。

表1 4号機漏えい燃料及び6号機漏えい燃料の燃料仕様の比較

	4号機漏えい燃料① (F4UN4)	4号機漏えい燃料② (F4UN22)	6号機漏えい燃料 (F6SN55)
燃料タイプ	9×9 B型	9×9 B型	9×9 B型
漏えい燃料棒数	1本	1本	1本
平均燃焼度	33,212 MWd/t	22,883 MWd/t	1,974 MWd/t
冷却期間	2348 日 ^{※1}	2891 日 ^{※2}	7504 日 ^{※3}
ペレット 最高濃縮度	4.9 wt%		4.9 wt%

※1 炉停止日 2008年3月28日から2014年9月1日までの日数

※2 炉停止日 2006年10月2日から2014年9月1日までの日数

※3 炉停止日 2001年5月16日から2021年12月1日までの日数

3. 遮へい評価

3.1. 4号機漏えい燃料輸送の遮へい評価の考え方

4号機漏えい燃料輸送の遮へい評価については以下の実施計画Ⅱ2.11_添付 2-1-3に記載されている。4号機漏えい燃料は2体ありそれぞれに1本ずつ漏えい燃料棒が存在する。2本の漏えい燃料棒が破損して燃料棒内全てのペレットが輸送容器内に放出される事象を仮定している。燃料棒の破損の位置は定められていない。放出ペレットが容器内の任意の位置に存在するものとして構内用輸送容器表面及び表面から1mの線量当量率を求め、最大線量当量率が設計基準値未満であるため、構内用輸送容器は設計基準値を満足するとしている。

3.2. 4号機漏えい燃料輸送の遮へい評価の6号機への適用

4号機漏えい燃料と6号機漏えい燃料の仕様を比較し(表1)

- ① 4号機漏えい燃料では漏えい燃料棒2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本であること、
- ② 4号機漏えい燃料(集合体)2体いずれと比較しても6号機漏えい燃料は冷却期間が長く平均燃焼度が小さいこと

から、6号機漏えい燃料棒1本分の線源強度は4号機漏えい燃料棒2本分の線源強度より小さくなる。

したがって、6号機漏えい燃料輸送にて4号機と同様の事象を仮定した場合に構内用輸送容器は設計基準値を満足していると考えられるため、4号機の遮へい評価を6号機の遮へい評価に適用可能である。

(抜粋) 福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画_II 特定原子力施設の設計, 設備_2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付 2-1-3 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書 (4号機)

4.4.2. 漏えい・変形燃料混載時

(1) 基本的な考え方

漏えい・変形燃料混載時の遮へい機能の評価においては、構外用輸送容器としての安全評価(漏えい燃料収納時)に用いられている評価手法を用い、構内用輸送容器表面及び表面から1mにおける線量当量率が設計基準を超えないことを評価する。

なお、構内輸送では燃料収納缶を用いずに運用することから、再評価を実施する。ただし、燃料収納缶がない解析モデルである事以外は既存評価と同じとし、既存評価書の内容を引用する。

(2) 設計基準

設計基準は健全燃料と同様であり、表-12に示すとおりである。

(3) 評価条件

漏えい燃料2体については、漏えい燃料の冷却期間、平均燃焼度により放射能強度を求め、評価を行う。

なお、変形燃料については冷却期間、平均燃焼度は既存評価の条件に包絡されるため、本評価では変形燃料は安全側に健全燃料として扱うこととする。

(4) 評価方法

漏えい燃料については、安全側に漏えい燃料棒の破損を仮定し、漏えい燃料棒2本分のペレットが容器内の任意の位置に存在するものとして線量当量率を求める。

遮へい計算は、ガンマ線、中性子共に ANISN コードを用いて燃料棒2本分のペレットに対する線量当量率を求め、安全側に健全燃料(変形燃料含む)のみ収納時の線量当量率に加算して、構内用輸送容器表面及び表面から1mの線量当量率を求める。

解析モデルは一次元球モデルとし、健全燃料の解析モデルにおける遮へい解析結果が厳しい位置に存在すると仮定する。

なお、ライブラリは、健全燃料と同様に DLC-23/CASK データを用い、線量当量率への変換は ICRP Publ. 74 に従う。

(5) 評価結果

漏えい・変形燃料混載時の評価結果を表-14に示す。なお、評価結果は頭部軸方向、頭部径方向、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を示している。

本表に示すとおり、漏えい・変形燃料混載時においても構内用輸送容器は設計基準値を満足している。

なお、線量当量率評価位置については、健全燃料収納時と同様であり、図-7に示すとおりである。

表-14 最大線量当量率の計算結果(漏えい・変形燃料混載時)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

	頭部		側部	底部		
	軸方向	径方向		軸方向	径方向	
評価点	①	③	⑤	⑦	⑨	
表面	計算結果	1010.0	607.7	238.3	237.2	986.6
	設計基準値	2000				
評価点	②	④	⑥	⑧	⑩	
表面から 1 m	計算結果	40.7	47.7	79.8	35.4	60.8
	設計基準値	100				

4. 臨界防止評価

4.1. 4号機漏えい燃料輸送の臨界防止評価の考え方

4号機漏えい燃料輸送の臨界防止評価については以下の実施計画Ⅱ2.11_添付2-1-3に記載されている。2本の漏えい燃料棒が破損して燃料棒内全てのペレットが容器内に放出される事象を仮定している。燃料棒の破損の位置は定められていない。ペレットと水は水/ウラン比及びペレット粒径が最適な状態とし、構内用輸送容器の実効増倍率は設計基準を満足するとしている。

4.2. 4号機漏えい燃料輸送の臨界評価の6号機への適用

4号機漏えい燃料と6号機漏えい燃料の仕様を比較し(表1)、4号機漏えい燃料では漏えい燃料棒2本であるのに対して6号機漏えい燃料棒は1本であることから、容器内に放出されるペレットの量は6号機の場合の方が4号機の場合より少なくなる。

したがって、6号機漏えい燃料輸送にて4号機と同様の事象を仮定した場合に構内用輸送容器の実効増倍率は設計基準を満足すると考えることができるため、4号機の臨界防止評価を6号機の臨界防止評価に適用可能である。

(抜粋) 福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画_II 特定原子力施設の設計, 設備_2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備_添付 2-1-3 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書 (4 号機)

4.5.2. 漏えい・変形燃料混載時

4.5.2.1. 健全燃料及び漏えい燃料輸送時

(1) 基本的な考え方

臨界防止にあたっては, 想定されるいかなる場合にも燃料が臨界に達することを防止するため以下のとおり設計する。

- a. 燃料を収納するバスケットは格子構造として, 燃料を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。
- b. バスケットの主要材料には, 中性子を吸収するボロン入りステンレス鋼を使用する。

なお, 臨界防止機能の評価においては, 構内用輸送容器に収納する健全燃料及び漏えい燃料の初期濃縮度は既存評価に用いている初期濃縮度 (約 4.2wt%) に包絡されるため, 健全燃料及び漏えい燃料は既存評価に用いている燃料と同じ仕様として評価する。さらに, 安全側に漏えい燃料棒の破損を仮定し, 漏えい燃料棒 2 本分のペレットが構内用輸送容器内に放出されるものとして, 既存評価の条件に追加する。

(2) 設計基準

想定されるいかなる場合も実効増倍率が 0.95 以下であること。

(3) 評価条件

評価の内容として, ペレットの放出を考慮する以外は健全燃料輸送時と同様とする。

放出されたペレットはペレットと水が混ざった状態とし, 燃料領域以外の水領域に存在するものと仮定する。また, ペレットと水は水/ウラン比及びペレット粒径が最適な状態とする。

(4) 評価方法

構内用輸送容器の実効増倍率は, 燃料及びペレットのウラン-235 の濃縮度は未照射のままの減損していない値をとる安全側の仮定で, 構内用輸送容器の実形状をモデル化し, KENO-V.a コードを使用して求める。

(5) 評価結果

評価結果を表-16 に示す。本表に示すとおり, 構内用輸送容器の実効増倍率は設計基準を満足している。

表-16 評価結果

評価対象	実効増倍率	設計基準
構内用輸送容器	0.903 ^{*1}	0.95

*1 モンテカルロ計算の統計誤差 (3 σ) を考慮した値