

東京電力ホールディングス株式会社
福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画の
変更認可申請（3号機破損燃料用輸送容器の追加）
に係る審査について

令和2年10月1日

原子力規制委員会

1. 実施計画の変更認可申請

東京電力ホールディングス株式会社から、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 166 号。以下「原子炉等規制法」という。）第 64 条の 3 第 2 項の規定に基づき、「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」（令和 2 年 9 月 29 日付け変更認可。以下「実施計画」という。）について、令和元年 8 月 20 日付け廃炉発官 R1 第 77 号（令和 2 年 9 月 15 日付け廃炉発官 R2 第 119 号で一部補正）をもって、3 号機破損燃料用輸送容器の追加に係る実施計画の変更認可申請書（以下「変更認可申請」という。）の提出があった。

2. 変更認可申請の内容

3 号機の使用済燃料プールに貯蔵されている漏えい燃料等^{※1} 及び水素爆発によるがれき等の落下の影響によりハンドル部が変形し燃料健全性への影響が疑われる燃料（以下「破損燃料」という。）を使用済燃料共用プールへ構内輸送する必要がある。しかし、既認可の 3 号機の構内用輸送容器^{※2}（以下「既認可の輸送容器」という。）では、燃料被覆管が健全な燃料（以下「健全燃料」という。）を想定した安全評価のみを実施していたため、破損燃料を輸送できない。このため、既認可の輸送容器に対して 3 号機の破損燃料を想定した安全評価を実施し、破損燃料を構内輸送するための容器（以下「破損燃料用輸送容器」という。）として実施計画に追加する。

（1）破損燃料用輸送容器（7 体）の追加

既認可の輸送容器 3 基のうち 2 基について、燃料被覆管が破損した状態^{※3} を想定した安全評価を実施し、3 号機の破損燃料のうちハンドル部が変形していない漏えい燃料等及び変形が小さい燃料^{※4} を 7 体収納できる容器（以下「破損燃料用輸送容器（7 体）」という。）として使用する。

（2）破損燃料用輸送容器（2 体）の追加

既認可の輸送容器 3 基のうち 1 基について、既認可の輸送容器の構成部材のうちバスケットのみを新たに製作する 2 体収納のバスケットと入れ替えて、燃料被覆管が破損した状態^{※3} を想定した安全評価を実施し、3 号機の破損燃料のうちハンドル部の変形が大きい燃料を 2 体収納できる容器（以下「破損燃料用輸送容器（2 体）」という。）として使用する。

※1：震災以前から存在する漏えい燃料及びチャンネルボックスのないスペーサ部損傷燃料。

※2：平成 27 年 12 月 8 日付けで認可。健全燃料 7 体を収納して構内輸送できる。

※3：燃料上部は一部損傷しているが、燃料ペレットは燃料被覆管内に保持されている状態。

※4：ハンドル部の変形量を水中カメラで確認し、幾何学的に既認可の輸送容器で使用している使用済燃料収納缶に収納可能と判断できる燃料のこと。

3. 審査の視点

原子力規制委員会（以下「規制委員会」という。）は、変更認可申請について、使用済燃料プールから取り出した破損燃料を使用済燃料共用プールまで輸送するための容器を新たに追加するものであること、また、当該容器の構造物であるバスケットを新たに製作することから、「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」（平成24年11月7日原子力規制委員会決定。以下「措置を講ずべき事項」という。）のうち、「Ⅱ.5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理」及び「Ⅱ.14. 設計上の考慮」を満たし、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害の防止上十分であると認められるかどうか^{※5}について、審査を行った。

※5：原子炉等規制法第64条の3第3項

原子力規制委員会は、実施計画が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物若しくは原子炉による災害の防止上十分でないとき、又は特定核燃料物質の防護上十分でないとき、前二項の認可をしてはならない。

4. 審査の内容

4-1. 破損燃料用輸送容器（7体）の追加

（1）燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理

措置を講ずべき事項のうち、「Ⅱ.5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理」では、使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては、確実に臨界未満に維持し、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ことを求めている。

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（7体）は、破損燃料を評価条件とした安全評価（構造強度、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能に係る評価）を行った上で、健全燃料を輸送する既認可の輸送容器を使用するとしている。

安全評価を行うに当たっては、破損燃料は燃料上部が損傷している可能性はあるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されている状態が想定できると評価しており、既認可の輸送容器の評価条件と同一になることから、既認可の輸送容器を使用できるとしている。

更に、臨界防止機能については、以下の条件でも評価している。

- ・ 燃料条件として、保守的に燃料被覆管が破損し、燃料粒子（ペレットを含む）が使用済燃料収納缶外にまで放出されることを想定して、輸送容器内の燃料領域は燃料粒子と水が非均質に混ざった状態であり、水／ウラン比及びペレット粒径が最も臨界になりやすい状態と仮定する。
- ・ 使用済燃料収納缶及びバスケットの板厚、内のり等の製造公差とし

て、最も臨界になりやすくなる値を使用する。

- ・ 中性子吸収材として使用するボロン添加ステンレス鋼及びボロン添加アルミニウム合金の¹⁰B含有量は、製造下限値とする。
- ・ バスケット内の使用済燃料収納缶の配置は、最も臨界になりやすくなる格子間の範囲での偏心配置を仮定する。

上記の保守的な条件での未臨界性評価の結果、破損燃料用輸送容器(7体)の実効増倍率(0.94)が設計基準(0.95)を満足することを確認したとしている。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器(7体)について、既認可の輸送容器と同様に、構造強度、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能を安全評価の対象としていることを確認した。また、当該容器で輸送する破損燃料について、これまでに実施した3号機使用済燃料プールの調査、燃料へのがれき落下を模擬した試験及びがれき衝突解析の結果から、燃料上部が小さく損傷している可能性はあるものの燃料棒の配置は維持されており、燃料ペレットが燃料被覆管から放出されるような大破損は発生していないと評価したことを確認した。このことから、3号機の破損燃料における燃料ペレットの配置は健全燃料と同一であるため、破損燃料用輸送容器(7体)に対する構造強度、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能に係る安全評価は、健全燃料を前提とした既認可の輸送容器における評価と同一の条件及び結果となることから、破損燃料用輸送容器(7体)には既認可の輸送容器と同じ容器を使用できるとしていることを確認した。

また、臨界防止機能に係る評価については、臨界になった場合の影響緩和が困難であることから、保守的に燃料被覆管の大破損により燃料ペレットが放出された場合を仮定した評価が行われていること、輸送容器の未臨界性評価等に広く用いられている臨界解析コード(KENO-V.a)を用いて実効増倍率の評価が行われていることを確認した。上記評価の結果、実効増倍率が設計基準を満足していることから、臨界未満の維持に係る設計が適切に行われていることを確認した。

なお、追加する破損燃料用輸送容器(7体)の落下については、実施計画Ⅱ章2.11添付資料-1-1「燃料の落下防止、臨界防止に関する説明書」に定めた落下防止対策が講じられたクレーンを使用することを確認した。仮に3号機クレーンから落下した場合の影響評価について、落下時の密封境界の破損による核分裂生成物の大気中への放出量及び敷地境界における実効線量は、破損燃料では燃料被覆管ギャップ内の核分裂生成物が既に外部に放出され残存量が減少している可能性があるが、保守的に全ての当該核分裂生成物が燃料被覆管内に残存していると仮定した場合には、健全燃料と同一条件

となるため、既認可の輸送容器と同じ評価結果になることを確認した。

以上のことから、措置を講ずべき事項「Ⅱ.5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理」を満たしていると評価する。

4-2. 破損燃料用輸送容器（2体）の追加

（1）燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理

措置を講ずべき事項のうち、「Ⅱ.5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理」では、使用済燃料貯蔵設備からの燃料の取出しにあたっては、確実に臨界未満に維持し、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ことを求めている。

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、既認可の輸送容器の構成部材のうちバスケットのみを2体収納のバスケットに入れ替えて使用するとしており、当該容器に対して構造強度、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能に係る安全評価を新たに実施している。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、バスケット以外の構成部材は既認可の輸送容器の構成部材をそのまま使用するが、健全燃料を7体収納するバスケットが破損燃料を2体収納するバスケットに入れ替わるため、収納する燃料の破損状態、燃料の収納体数及び容器の構成（バスケット構造）が既認可の輸送容器から変わることから、構造強度、除熱機能、密封機能、遮へい機能及び臨界防止機能に係る安全評価を改めて実施したことを確認した。

（a）構造強度

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、取扱中における衝撃、熱等に耐え、かつ、容易に破損しないよう、以下のとおり設計するとしている。

- ・ 破損燃料用輸送容器（2体）の構成部材は、容器本体（胴、底板、中性子遮へい体及び外筒）、蓋、バスケット及びトラニオンとする。なお、バスケット以外の構成部材は既認可の輸送容器と同一のものをを用いる。
- ・ バスケットは燃料集合体を所定の位置に保持するための構造物である。バスケット内には、ハンドル部の変形が大きい燃料が収納可能な寸法のステンレス鋼製の使用済燃料収納缶を装填する。

また、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の構造強度について、以

下のとおり評価している。

- ・ 破損燃料の条件として、燃料上部が損傷している可能性があるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されている状態とする。
- ・ 構造強度の評価部位は、安全上重要な部位である容器本体（胴及び底板）、蓋、バスケット及び支持機能を有するトラニオンとする。ただし、燃料の収納体数は既認可の輸送容器の7体より少なく容器質量が小さいことから、容器の支持部材であるトラニオンは既認可の輸送容器の評価で包絡される。
- ・ 構造強度評価手法は、JSME S NC1-2005/2007 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）を準用する。
- ・ JSME S FA1-2007 金属キャスク構造規格（以下「金属キャスク構造規格」という。）の考え方に基づいて、破損燃料用輸送容器（2体）の取扱い及び使用済燃料共用プールまでの輸送において想定される起因事象の発生（燃料の発熱による内圧や熱による応力の発生、取扱い時及び構内輸送時並びに衝突時の加速度に起因する応力の発生等）の可能性を検討して設計事象を抽出し、各々の荷重条件で発生する応力を評価する。

構造強度評価の結果、いずれの発生応力も許容応力に対して十分に余裕があるため、破損燃料用輸送容器（2体）の構造健全性は維持されるとしている。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）で輸送する破損燃料について、これまでに実施した3号機使用済燃料プールの調査、燃料へのがれき落下を模擬した試験及びがれき衝突解析の結果から、燃料上部が小さく損傷している可能性はあるものの燃料棒の配置は維持されており、燃料ペレットが燃料被覆管から放出されるような大破損は発生していないと評価したことを確認した。

また、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の安全上重要な部位に係る構造強度評価について、当該容器の取扱い時及び使用済燃料共用プールへの輸送時に発生する可能性がある誤操作による衝突等の事象に対して、発生応力が許容応力を十分に下回るとしており、構造健全性が維持されることから、構造強度に係る設計が適切に行われることを確認した。

なお、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の落下については、実施計画Ⅱ章 2.11 添付資料-1-1「燃料の落下防止、臨界防止に関する説明書」に定めた落下防止対策が講じられたクレーンを使用することを確

認した。仮に3号機クレーンから落下した場合の影響評価について、落下時の密封境界の破損による核分裂生成物の大気中への放出量及び敷地境界における実効線量は、燃料収納体数が既認可の輸送容器より少ないことから既認可の輸送容器の評価結果に包絡されることを確認した。

(b) 除熱機能

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、当該容器を用いて輸送する使用済燃料の健全性及び当該容器の安全機能を有する構成部材の健全性を維持できるよう、以下のとおり設計としている。

- ・ 収納された使用済燃料から発生する崩壊熱は、容器内に充填した水及び空気の自然対流及び熱伝導により胴に伝える。
- ・ 胴に伝えられた熱は主として中性子遮へい体のレジン中に設けた伝熱フィンにより外筒に伝える。
- ・ 外筒に伝えられた熱は外筒から大気に放散する。

また、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の除熱機能評価について、破損燃料の条件として、燃料上部が損傷している可能性があるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されている状態とするとともに、収納する使用済燃料の最大崩壊熱量を考慮し、自然冷却により冷却されるものとして、除熱条件が厳しくなる輸送時の横姿勢での各部の温度を求め、各部材料の設計基準温度を超えないことを評価している。ただし、軸方向の評価対象部位であるリング及び蓋については、既認可の輸送容器より燃料収納体数が少なく崩壊熱量が少ないこと、また既認可の輸送容器の評価ではバスケット等の内部構造の熱伝導率を安全側に包絡する最も保守的な条件で評価していることから、既認可の輸送容器の評価で包絡されるとしている。

除熱機能評価の結果、径方向の評価対象部位である燃料、バスケット、胴及び中性子遮へい体の各部の温度は、いずれも設計基準温度を下回っており、熱的健全性は維持されるとしている。なお、燃料領域の最高温度は110℃であり、設計基準としている燃料被覆管における照射硬化回復現象及び水素化物の再配向による機械的特性の低下が生じる温度を大きく下回っており、燃料の健全性は維持されるとしている。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の除熱機能評価について、保守的に使用済燃料からの発熱量が多く、除熱が厳しくなる条件においても、各部の温度はいずれも設計基準温度を下回るとしてい

ることから、冷却・除熱に係る設計が適切に行われることを確認した。

(c) 密封機能

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、周辺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さないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とされている。密封機能の評価に当たっては、構造強度評価結果、除熱機能評価結果及び容器構造から、破損燃料用輸送容器（2体）の密封機能が維持されることを以下のとおり確認したとしている。

- ・ 構造強度評価から、破損燃料用輸送容器（2体）の密封境界を構成する胴、底板、一次蓋、二次蓋等は想定される荷重条件に対して十分強度を有しており、密封境界の構造健全性に問題はない。
- ・ 除熱機能評価から、リングの最高温度は82℃以下で設計基準温度である300℃を大きく下回ることから、密封境界の熱的健全性に問題はない。
- ・ 破損燃料用輸送容器（2体）の密封境界を構成する一次蓋、二次蓋及び各ポートカバーは、ガスケットにゴム製のリングを使用し、複数のボルトで容器本体に締め付ける構造であり、締め付けトルクの管理により密封機能を担保する。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の密封機能について、既認可の輸送容器と同様に、放射性物質の閉じ込め設計がなされるとともに、構造強度評価及び除熱機能評価から密封境界の健全性が維持されることを確認した。また、ボルトの締め付けトルクの管理により密封機能を担保するとしており、密封に係る設計及び対策が適切に行われることを確認した。

(d) 遮へい機能

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、内部に燃料を入れた場合に放射線障害を防止するため、使用済燃料の放射線を適切に遮へいするよう、以下のとおり設計としている。

- ・ 使用済燃料から発生するガンマ線及び中性子を遮へいする機能を有するものとする。
- ・ 主要なガンマ線遮へい材は、胴及び底板の低合金鋼、外筒の炭素鋼及び蓋のステンレス鋼とする。
- ・ 主要な中性子遮へい材は、容器内の水並びに胴と外筒間及び底板底部のレジンとする。

また、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の遮へい機能について、破損燃料の条件として、燃料上部が損傷している可能性があるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されている状態とするとともに、収納する使用済燃料の線源強度を考慮し、当該容器の表面及び表面から1mにおける線量当量率を評価している。

遮へい機能評価の結果、収納燃料の軸方向の燃焼度分布が最大となる高さにおける水平断面の径方向の線量当量率分布について、容器表面で最大0.85 mSv/h及び表面から1mにおいて最大0.16 mSv/hとなることを確認したとしている。

なお、容器取扱い時には追加遮へい体設置等の放射線業務従事者の被ばく低減対策を講じるとしている。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の遮へい機能評価について、原子力施設の遮へい解析に広く用いられている二次元輸送コード（DOT3.5）による線量当量率の評価が行われており、容器表面において最大でも0.85 mSv/hであるとしていること、また、容器取扱い時には追加遮へい体の設置、タングステンジャケットの着用、作業員のローテーション、作業がない作業員の待避エリアの設定等により放射線業務従事者の被ばくを可能な限り低減する措置が講じられるとすることから、遮へいに係る設計及び対策が適切に行われることを確認した。

(e) 臨界防止機能

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）について、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、以下のとおり設計としている。

- ・ 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。
- ・ バスケット外周部及び使用済燃料収納缶側面には、中性子を吸収するボロン添加アルミニウム合金板を設置する。

また、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の臨界防止機能について、以下のとおり評価している。

- ・ 燃料条件として、保守的に燃料被覆管が破損し、燃料粒子（ペレットを含む）が使用済燃料収納缶外にまで放出されることを想定して、輸送容器内の燃料領域は燃料粒子と水が非均質に混ざった状態であり、水／ウラン比及びペレット粒径が最も臨界になりやすい状態と

仮定する。

- ・ 使用済燃料収納缶及びバスケットの板厚、内のり等の製造公差として、最も臨界になりやすくなる値を使用する。
- ・ 中性子吸収材として使用するボロン添加アルミニウム合金の¹⁰B含有量は、製造下限値とする。
- ・ バスケット内の使用済燃料収納缶の配置は、最も臨界になりやすくなる格子間の範囲での偏心配置を仮定する。

上記の保守的な条件での未臨界性評価の結果、破損燃料用輸送容器（2体）の実効増倍率（0.93）が設計基準（0.95）を満足することを確認したとしている。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）の臨界防止機能に係る評価について、臨界になった場合の影響緩和が困難であることから、保守的に燃料被覆管の大破損により燃料ペレットが放出された場合を仮定した評価が行われていること、輸送容器の未臨界性評価等に広く用いられている臨界解析コード（KENO-V. a）を用いて実効増倍率の評価が行われていることを確認した。上記評価の結果、実効増倍率が設計基準を満足していることから、臨界未満の維持に係る設計が適切に行われることを確認した。

以上のことから、措置を講ずべき事項「Ⅱ.5. 燃料取出し及び取り出した燃料の適切な貯蔵・管理」を満たしていると評価する。

（2）設計上の考慮

（a）準拠規格及び基準

措置を講ずべき事項「Ⅱ. 14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準」では、安全機能を有する構築物、系統及び機器は、設計、材料の選定、製作及び検査について、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであることを求めている。

変更認可申請は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）のうち、新たに製作するバスケット（2体収納）について、設計、材料の選定、製作及び検査について適切と認められる規格及び基準によるものとするとしており、「設計・建設規格」及び「金属キャスク構造規格」に準拠している。

なお、中性子吸収材は、輸送容器や使用済燃料貯蔵ラック向けのボロン添加アルミニウム合金を使用している。

規制委員会は、追加する破損燃料用輸送容器（2体）で使用するバスケット（2体収納）について、国内の原子力施設等で一般的に使用され、適切と認められる規格、基準等によるものであることを確認した。なお、ボロン添加アルミニウム合金については、臨界未満を維持するために必要なボロン添加量が確保される設計であり、ASTM規格に基づく試験によりボロン添加量を担保するとしていることを確認した。

以上のことから、措置を講ずべき事項「Ⅱ. 14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準」を満たしていると評価する。

5. 審査の結果

変更認可申請は、措置を講ずべき事項を満たしており、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害の防止上十分であると認められる。

以 上