

四国電力株式会社に係る核燃料輸送物設計変更承認申請 (MSF-32P型) についての審査結果

原規規発第 22061411 号
令和 4 年 6 月 14 日
原子力規制庁

1. 審査の結果

原子力規制委員会原子力規制庁（以下「規制庁」という。）は、四国電力株式会社（以下「申請者」という。）の核燃料輸送物設計変更承認申請書（令和 3 年 12 月 22 日付け原子力発第 21328 号をもって申請、令和 4 年 5 月 20 日付け原子力発第 22090 号をもって一部補正。以下「本申請」という。）が、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「法」という。）第 59 条第 1 項の技術上の基準として定める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（昭和 53 年総理府令第 57 号。以下「規則」という。）に適合しているものであるかどうかについて審査した。

審査の結果、本申請に係る輸送容器（以下「輸送容器」という。）の設計及び核燃料輸送物（以下「輸送物」という。）の安全性に関する事項について、法第 59 条第 1 項の技術上の基準に適合しているものと認められる。

具体的な審査の内容等については以下のとおり。なお、本審査結果においては、法令の規定等や本申請の内容について、必要に応じ、文章の要約、言い換え等を行っている。

本審査結果で用いる条番号は、断りのない限り規則のものである。

2. 申請の概要

本申請は、法第 59 条第 3 項の容器承認に先立ち、既に令和 2 年 11 月 30 日付け原規規発第 2011303 号をもって規則第 21 条第 2 項の規定の適用を受け、核燃料輸送物設計承認書が交付された設計（以下「既に承認書が交付された設計」という。）に関し、令和 3 年 1 月 1 日施行の規則改正を踏まえ、輸送容器の使用予定期間を 60 年とし、同期間中に 10 回の運搬に使用されるとした上で、輸送物の経年変化を考慮したものであることについて、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技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成 2 年科学技術庁告示第 5 号。以下「告示」という。）第 41 条第 1 項の規定に基づき、承認を求めるものである。輸送物の

概要等は以下のとおり。なお、輸送容器及び収納する核燃料物質等（以下「収納物」という。）については、既に承認書が交付された設計から変更はない。

(1) 対象核燃料輸送物の概要

① 名称：MSF-32P型

② 輸送容器

輸送容器は、円筒形状であり運搬中はよこ置き姿勢、取扱い中はよこ置き又はたて置き姿勢で保持される。また、核燃料物質等を収納し、密封境界を形成する輸送容器本体（容器本体、一次蓋、二次蓋、三次蓋、金属ガスケット及びOリング）、容器本体内部に収納され、燃料集合体の未臨界性を維持した上でこれを保持するためのバスケット並びに輸送時に容器本体の上部及び下部に装着され、衝撃を吸収する機能を有する緩衝体で構成される。

③ 収納物

○ 加圧水型軽水炉の使用済燃料集合体（以下「使用済燃料」という。）

14×14 燃料 最大 32 体

・中央部に収納される 16 体：

最高燃焼度：■■■■ MWd/t、平均燃焼度：■■■■ MWd/t 以下、

冷却期間：■■■■ 日以上

・外周部に収納される 16 体：

最高燃焼度：■■■■ MWd/t、平均燃焼度：■■■■ MWd/t 以下、

冷却期間：■■■■ 日以上

(2) 核燃料輸送物の種類：BM型輸送物及び核分裂性物質に係る核燃料輸送物

(3) 核燃料輸送物設計承認番号：J/2032/B(M)F-96

3. 審査の方針

本申請の内容が、既に承認書が交付された設計に輸送物の経年変化を考慮したものであることから、本審査では、輸送容器の構成部品及び収納物に使用する材料の機械的特性、組織、組成及び性状に係る使用予定期間中における経年変化について確認し、その経年変化を踏まえて第6条に定めるBM型輸送物に係る技術上の基準及び第11条に定める核分裂性物質に係る核燃料輸送物の技術上の基準に適合していることを確認することとした。

4. 審査の内容

4-1 第3条第3項及び第11条

第3条第3項及び第11条は、輸送物はその経年変化を考慮した上で、技術上の

基準に適合していることを求めている。

本節では、輸送物の使用予定期間中に想定される経年変化による影響が評価されていること及び技術上の基準に適合していることの確認において、その影響を考慮する事項が抽出されていることについての確認内容を記載する。その上で、4-2節及び4-3節で技術上の基準に適合していることについての確認内容を記載する。

申請者は、輸送物の使用予定期間中における経年変化の要因を放射線照射、熱、化学変化及び繰り返し荷重であるとし、輸送容器の構成部品及び収納物については、使用予定期間である60年の間に、放射線照射、熱及び化学変化の影響を受ける環境にあるとして、さらに10回の運搬の間の繰り返し荷重を含め、以下のとおり経年変化の影響を評価したとしている。なお、輸送容器の密封装置である三次蓋用のエチレンプロピレングム製Oリングについては、1回の運搬ごとに交換されるため評価の対象としないとしている。

○ 放射線照射による経年変化の影響

輸送容器に使用する炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金、ニッケルクロムモリブデン鋼、銅、アルミニウム/ニッケル基合金及び木材並びに収納物である燃料集合体の燃料被覆管（以下「燃料被覆管」という。）に使用するジルカロイについては、使用予定期間中に受ける中性子照射量は最大で 10^{15}n/cm^2 のオーダーであり、機械的特性に影響を与える中性子照射量を下回る。また、中性子遮蔽材に使用する樹脂（以下「レジン」という。）については、使用予定期間中に受ける中性子照射量は最大で 10^{14}n/cm^2 のオーダーであり、著しい質量減損が生じるおそれのある中性子照射量を下回る。

以上のことから、輸送物に使用する材料は、使用予定期間中における中性子照射による経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。

○ 熱による経年変化の影響

- 輸送容器本体に使用する炭素鋼、ステンレス鋼、ニッケルクロムモリブデン鋼及び銅については、使用予定期間中に想定される最高温度は解析的評価から約 150°C であり、クリープ等による強度変化が生じる温度を下回る。また、燃料被覆管に使用するジルカロイについては、使用予定期間中に想定される最高温度及び周方向発生応力は解析的評価からそれぞれ約 210°C 及び約 100MPa であり、水素化物再配向等の機械的特性が変化する温度及び応力を下回る。

これらのことから、輸送容器本体に使用する金属材料及び燃料被覆管に使用

するジルカロイは、使用予定期間中における熱による経年変化の影響について、技術上の基準に適合していることを確認する上で考慮する必要はない。

- ・緩衝材に使用する木材については、運搬中に予想される最高温度は保守的な解析的評価から 100℃を超えることが予想されるが、これまでの使用済燃料輸送時における輸送物の温度測定実績に基づき、緩衝材の温度は解析的評価から最大でも約 70℃であること及び使用済燃料輸送に使用した輸送容器の緩衝材に使用した木材の圧潰強度試験結果は製造時の強度との差異がないことから、これまでの実績に基づく温度範囲で使用するのであれば熱による影響が生じるおそれはないと考えられる。

なお、当該評価は、木材の熱による経年変化に係る知見が少ないことから、これまでの輸送実績に基づくものであることを踏まえ、運搬の都度、緩衝材の温度が実績に基づく温度の範囲内であることを確認した上で使用する。

- ・中性子遮蔽材に使用するレジンについては、使用予定期間中に想定される最高温度は解析的評価から約 140℃であり、使用予定期間を通して同温度環境下で使用した場合には水分の放出により質量減損が生じ、その量は約 2%と想定される。この質量減損については、既に承認書が交付された設計において、第 6 条第 1 号、第 2 号及び第 3 号に定める最大線量当量率に係る技術上の基準に対する適合性を評価する上で、遮蔽解析の条件として、レジンの質量減損の量を保守的に 2.5%としており、使用予定期間中に想定される最高温度を踏まえた質量減損の想定を包含している。
- ・容器本体内部に収納されるバスケットに使用するアルミニウム合金については、使用予定期間中に想定される最高温度は解析的評価から約 190℃であり、使用予定期間を通して同温度環境下で使用した場合に熱時効により強度低下が生じることが想定される。この強度低下については、既に承認書が交付された設計において、輸送物を一般の試験条件及び特別の試験条件の下に置くこととした場合にもバスケットが構造健全性を維持することを確認する上で、最高温度である貯蔵開始時の温度が 60 年間継続することによるアルミニウム合金の強度低下を考慮しており、使用予定期間中に想定されるバスケットの強度低下を考慮してもバスケットが構造健全性を維持し、バスケット格子内のり等の寸法が変化しないことを確認している。
- ・金属ガスケットに使用するアルミニウム／ニッケル基合金については、使用予定期間中に想定される最高温度は解析的評価から約 110℃であり、使用予定期間を通して同温度環境下で使用した場合にはリラクゼーションが生じ、このリラクゼーションに起因して、落下等により金属ガスケットを配置したシール部

の密封性能が低下するため、容器本体内部へ水が浸入し、その量は約2リットルと想定される。この容器本体内部への水の浸入については、既に承認書が交付された設計において、第11条第2号に定める輸送物が臨界に達しないことに係る技術上の基準に対する適合性を評価する上で、臨界解析の条件として、容器本体内部に存在する水の量を保守的に5リットルとしており、密封性能の低下による水の浸入の想定を包含している。

○ 化学変化による経年変化の影響

輸送容器の構成部品及び収納物は、以下のことから、使用予定期間中における腐食の発生等、化学変化による経年変化の影響について、技術上の基準に適合している事を確認する上で考慮する必要はない。

- ・容器本体のうち大気に触れる外部部分に使用するステンレス鋼については、不動態被膜を表面に形成し腐食しにくく、また、炭素鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼については、塗装等の防錆措置を施し、必要に応じ補修すること。
- ・容器本体のうち内部（以下「胴内」という。）及び一次蓋と二次蓋の間の空間部で使用する炭素鋼、ステンレス鋼、アルミニウム／ニッケル基合金及びニッケルクロムモリブデン鋼並びに胴内に収納されるバスケット及び燃料被覆管にそれぞれ使用するアルミニウム合金及びジルカロイについては、ヘリウムガスで周辺の不活性雰囲気維持される構造になっていること。
- ・中性子遮蔽材に使用するレジン、伝熱フィンに使用する銅及び緩衝材に使用する木材については、酸素が連続的に供給される環境にないこと。

○ 繰り返し荷重による経年変化の影響

ステンレス鋼を使用している輸送容器のトラニオンについては、使用予定期間中に取扱いによる負荷を繰り返し受ける。また、炭素鋼、ステンレス鋼及びニッケルクロムモリブデン鋼を使用している容器本体、一次蓋、二次蓋及び三次蓋については、運搬中に内圧変化を繰り返し受ける。この繰り返し荷重による影響については、既に承認書が交付された設計において、輸送物が取扱い中及び運搬中に予想される疲労に対して亀裂、破損の生じるおそれのないことを評価する条件として、輸送物の取扱い中に想定されるトラニオンに負荷される荷重並びに運搬中に想定される容器本体、一次蓋、二次蓋及び三次蓋に負荷される荷重それぞれについて、繰り返し回数を保守的に設定しており、10回の運搬の間の取扱い中及び運搬中において想定される繰り返し回数を包含している。

規制庁は、申請者が輸送物の使用予定期間及び想定する使用状況において、輸送

物の経年変化による影響の評価対象を輸送容器及び収納物とした上で、経年変化の要因である放射線照射、熱、化学変化及び繰り返し荷重による影響を評価した結果、中性子遮蔽材に使用するレジンの質量が減損することに関して、遮蔽解析の条件として、レジンの質量減損の量を2.5%としていることを確認した。バスケットに使用するアルミニウム合金の強度低下に関して、輸送物を一般及び特別の試験条件の下に置くこととした場合に、強度低下を考慮してもバスケットの構造健全性が維持され、バスケット格子内のり等の寸法が変化しないとしていることを確認した。金属ガスケットに使用するアルミニウム/ニッケル基合金のリラクゼーションに起因して落下等により金属ガスケットを配置したシール部の密封性能が低下することに関して、臨界解析の条件として、容器本体内部に存在する水の量を5リットルとしていることを確認した。輸送物の繰り返し荷重による影響を評価するための輸送物の取扱い中にトラニオンに想定される荷重の繰り返し回数並びに輸送物の運搬中に容器本体、一次蓋、二次蓋及び三次蓋に想定される荷重の繰り返し回数に関して、10回の運搬の間の繰り返し回数を包含した回数で設定していることを確認した。

4-2 第6条第1号から第4号及び第11条第3号

(1) 運搬中に予想される温度及び内圧の変化並びに振動等に対する輸送物の耐性

第6条第1号は、輸送物は容易に、かつ、安全に取扱うことができること、運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと、同条第4号は、運搬中に予想される最も低い温度から38℃までの周囲の温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと、第11条第3号は、-40℃から38℃までの周囲の温度の範囲において、亀裂、破損等の生じるおそれがないこと（ただし、運搬中に予想される最も低い温度が特定できる場合は、この限りでない。）を求めている。

申請者は、既に承認書が交付された設計で実施した疲労評価において、上記4-1節のとおり、取扱い中にトラニオンに負荷される荷重並びに運搬中に容器本体、一次蓋、二次蓋及び三次蓋に負荷される荷重の繰り返し回数について想定を包含する回数としても、輸送物は安全に取扱うことができ、亀裂、破損の生じるおそれはないことを確認したとしている。

規制庁は、申請者が取扱い中や運搬中にトラニオンや容器本体等に負荷される荷重の繰り返し回数について、想定を包含する回数としても、輸送物は安全に取扱う

ことができ、亀裂、破損の生じるおそれはないことを確認したとしていることから、第6条第1号、同条第4号及び第11条第3号の技術上の基準に適合していると判断する。

(2) 最大線量当量率

第6条第1号は、表面における最大線量当量率が2mSv/hを超えないこと及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が100 μ Sv/hを超えないこと、同条第2号は、輸送物について、告示第14条に定める一般の試験条件の下に置くこととした場合に表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、2mSv/hを超えないこと並びに同条第3号は、輸送物について、告示第16条に定める特別の試験条件の下に置くこととした場合に表面から1m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないことを求めている。

申請者は、既に承認書が交付された設計において実施した線量当量率の評価において、上記4-1節のとおりレジンの質量減損の想定を包含しており、表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が基準値を超えないことを確認したとしている。

規制庁は、申請者が中性子遮蔽材の質量減損も考慮して、表面及び表面から1m離れた位置における最大線量当量率が基準値を超えないことを確認したとしていることから、第6条第1号、第2号及び第3号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

4-3 第11条第2号

第11条第2号は、核燃料輸送物は以下のいずれの場合にも臨界に達しないことを求めている。

- ・告示第25条に定める孤立系の条件の下に置くこととした場合
- ・告示第24条に定める核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこととした場合
- ・告示第26条に定める核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを孤立系の条件の下に置くこととした場合
- ・核分裂性輸送物と同一のものであって核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いたものを、告示第27条に定める配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率（原子核分裂の連鎖反応において、

核分裂により放出された1個の中性子ごとに、次の核分裂によって放出される中性子の数をいう。以下同じ。)になるような状態で、核分裂性輸送物の輸送制限個数(1箇所(集合積載した核分裂性輸送物が、他のどの核分裂性輸送物とも6m以上離れている状態をいう。)に集合積載する核分裂性輸送物の個数の限度として定められる数をいう。以下同じ。)の5倍に相当する個数積載することとした場合

- ・核分裂性輸送物と同一のものであって核分裂性輸送物に係る特別の試験条件の下に置いたものを、配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子増倍率になるような状態で、輸送制限個数の2倍に相当する個数積載することとした場合

申請者は、上記4-1節のとおりバスケットの強度低下を考慮してもバスケット格子内のり等の寸法が変化しないことを確認した上で、既に承認書が交付された設計において実施した臨界評価において、密封性能の低下による水の浸入の想定を包含しており、臨界に達しないことを確認したとしている。

規制庁は、申請者がバスケットの格子内のり等の寸法が変化しないことを確認した上で、密封性能の低下による水の浸入も考慮して、臨界に達しないことを確認したとしていることから、第11条第2号に定める技術上の基準に適合していると判断する。