

国立大学法人京都大学に係る核燃料輸送物設計承認申請 (型) についての審査結果

原規規発第 2112099 号
令和 3 年 12 月 9 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、国立大学法人京都大学（以下「申請者」という。）の核燃料輸送物設計承認申請書（令和 3 年 5 月 31 日付け 21 京大施環化第 41 号をもって申請、令和 3 年 11 月 15 日付け 21 京大施環化第 89 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、本申請は、輸送容器の設計及び核燃料輸送物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、第 21 条第 2 項の規定の適用を受けるため、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、本申請に係る輸送容器（以下「輸送容器」という。）の設計及び本申請に係る核燃料輸送物（以下「輸送物」という。）の安全性に関する事項の承認を求めるものであり、その概要は以下のとおり。

(1) 核燃料輸送物の名称： 型

(2) 輸送容器の概要

輸送容器は、円筒形状であり、運搬時及び取扱い時ともに縦置き姿勢で保持され

る。また、密封装置である内容器（内容器本体、蓋及びOリング）、内容器を覆い緩衝機能及び断熱機能を有する外容器及び外容器蓋、並びに内容器に収納され、収納する核燃料物質等を保持するバスケットで構成される。

(3) 核燃料輸送物の種類：BU型輸送物及び核分裂性物質に係る核燃料輸送物

(4) 収納する核燃料物質等（以下「収納物」という。）

○京都大学研究炉（KUR）用未照射低濃縮ウラン燃料

○

○

なお、上記3種類の収納物は1種類ごと運搬され、混載されることはない。

3. 審査の方針

輸送物に係る輸送容器の設計及び収納物を輸送容器に収納した場合の安全性に関して、輸送物はBU型輸送物及び核分裂性物質に係る核燃料輸送物であることから、輸送物の経年変化を考慮した上で、第7条に定めるBU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。また、輸送容器に係る品質管理の方法を定め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（輸送物の経年変化の考慮）

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、それぞれ第7条及び第11条に規定する技術上の基準に適合していることを求めている。

申請者は、輸送物の経年変化を考慮するため、輸送容器の使用予定年数を ■■■■■ とし、1年間で運搬に使用する予定回数を最大で3回、1回の運搬に要する期間を ■■■■■ と想定している。

1回の運搬に要する期間では、収納物について技術上の基準に影響するような経年変化はないことから、輸送容器構成部品に使用する材料に関する経年変化の影響について、以下のとおり評価したとしている。なお、1回の運搬ごとに交換される ■■■■■ のOリングについては、評価の対象としていないとしている。

・輸送容器の構成部品に使用する材料（ステンレス鋼、■■■■■、■■■■■ ■■■■■ 等）については、輸送物が1年間に ■■■■■稼働し ■■■■■使用される

として、放出される全中性子が 1cm^2 の面積に集中して輸送容器の構成部品に照射されるとの保守的な仮定をした場合でも、中性子照射量は [] オーダーであり、機械的特性に影響を与えるおそれがあるとされる 10^{16}n/cm^2 オーダーの照射量を下回ることから中性子照射による影響はない。

- 運搬中に想定される輸送容器構成部品の温度は最大でも [] であることから、金属材料については、材料規格等で構造強度基準が定められる範囲であること、[] については強度への影響が生じるとされる温度は [] 以上であること及び [] については熱分解や炭化が予想される温度は [] 以上であることから熱による影響はない。
- 輸送容器の構成部品に使用する材料のうち、空気に触れる部分は不動態膜を表面に形成するステンレス鋼であり腐食は進行し難く、また、外観検査等でその状態を確認し、必要に応じて補修を行う。また、[] 及び [] は、いずれもステンレス鋼に覆われた密閉空間にあり吸湿及び吸湿による腐食の生じるおそれはないことから、化学変化による影響はない。
- 輸送物は取扱い中の負荷及び運搬中の内圧変化を使用予定期間中繰り返して受けることが想定され、これらの負荷荷重に対する許容繰り返し回数を求めた結果、許容繰り返し回数は想定される通算の使用回数を十分に上回ることから繰り返し荷重による影響はない。

規制庁は、申請者が、輸送物の使用予定年数及び想定する使用状況において、輸送物の経年変化の評価対象は輸送容器のみであるとした上で、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、輸送容器に経年変化による影響はないとしていることを確認した。

4-2 第7条各号及び第11条第3号の適合性について

(1) 第7条第1号、第4号及び第11条第3号

① 容易かつ安全な輸送物の取扱い

第7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を求めている。

申請者は、取扱い中において、輸送物の吊上げ、吊り下ろし等が容易に行えるよう輸送容器の外容器に吊り金物（以下「アイプレート」という。）を設ける設計としている。アイプレートは、輸送容器の重量、収納物の最大重量及び取扱い時の荷重を考慮し、必要な強度を有する設計としている。

規制庁は、申請者が輸送物を容易に、かつ、安全に取扱うことができるよう輸送容器の外容器にアイプレートを設ける設計とし、アイプレートは取扱い時に予

想される荷重に対して必要な強度を有する設計としていることを確認したことから、第7条第1号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

② 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7条第1号は、輸送物は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のないこと、構成部品は、 -40°C から 70°C まで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（運搬中に予想される温度の範囲が特定できる場合は、この限りでない。）及び周囲の圧力を 60kPa とした場合に、放射性物質の漏えいがないことを求めている。また、第7条第4号及び第11条第3号は、 -40°C から 38°C まで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を求めている。

申請者は、輸送物について以下のとおり、運搬中に予想される輸送物の周囲の温度及び内圧の変化並びに振動等に対して耐性を有するとしている。

温度の変化に対する耐性については、運搬中に予想される輸送物の周囲の温度の範囲を -40°C から 38°C に設定した上で、収納物の崩壊熱量を踏まえ、輸送容器各部及び収納物の温度を評価した結果、想定される温度範囲において輸送容器の構成部品（ステンレス鋼、XXXXXXXXXX等）に必要とされる材料強度に影響はないとしている。また、運搬中に想定される温度変化に対する構成部品に係る熱応力、変形等に対して構造健全性が確保されるとしている。

内圧の変化に対する耐性については、上記の温度の変化に対する耐性の評価結果を踏まえ、輸送物の密封境界となる内容物の内圧の変化を評価した結果、内圧の変化による荷重に対して内容物及び内容物蓋の構造健全性が確保されるとしている。また、輸送物の周囲の圧力を 60kPa とした場合において、内容物の最大内圧との差圧を評価した結果、差圧による荷重に対して内容物及び内容物蓋の構造健全性が確保され、密封性を損なうことはないとしている。

振動等に対する耐性については、輸送物は運搬中において、車両等に固定することとしており、輸送物の最大重量及び運搬中に発生が予想される加速度を考慮した荷重に対して、輸送物の構造健全性は確保されるとしている。また、振動により生じる励振力による荷重は、励振力の持つ振動数域と輸送物の固有振動数の差が大きいことから輸送物の応答増幅を考慮しても、輸送物の構造健全性は確保されるとしている。

規制庁は、申請者が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ついて、保守的な条件を設定し評価した結果、輸送物の構造健全性が確保されると

していること等を確認したことから、第7条第1号、同条第4号及び第11条第3号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

③ 輸送容器構成部品の材料相互及び収納物との危険な物理的作用又は化学反応

第7条第1号は、材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じるおそれのないことを求めている。

申請者は、輸送容器の構成部品には化学的に安定したステンレス鋼、 及び 等を使用し、材料相互及び材料と収納物との接触による亀裂、破損等がなく、腐食等の発生がない設計としている。また、Oリングに用いる や断熱材に用いる は金属と接触しても化学反応の生じるおそれはないとしている。

規制庁は、申請者が輸送容器の構成部品には化学的に安定した材料を使用し、材料相互の間及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応が生じるおそれはない設計としていることを確認したことから、第7条第1号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

④ 弁の誤操作防止措置

第7条第1号は、弁が誤って操作されないような措置が講じられていることを求めている。

申請者は、輸送容器には弁を設けない設計としている。

規制庁は、申請者が輸送容器に弁を設けない設計としており、第7条第1号に定める弁の誤操作防止措置を要しないことを確認した。

⑤ 最大線量当量率

第7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を超えないことを求めている。

申請者は、最大線量当量率の評価において、未照射低濃縮ウラン燃料については収納物の最大ウラン量を超える 、 については が内容器に収納されているとした上で、 については最大燃焼度及び最短冷却日数を踏まえ、外容器及び外容器蓋を無視し、内容器外表面を輸送容器表面（以下、単に「表面」という。）と見なす等の保守的な条件を設定し評価した結果、表面の最大線量当量率は 、表面から1m離れた位置における最大線量当量率は であるとしている。

規制庁は、申請者が最大線量当量率の評価について、保守的な条件を設定し評価した結果、表面の最大線量当量率は 2mSv/h を超えないとしていること及び表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率は 100 μ Sv/h を超えないとしていることを確認したことから、第 7 条第 1 号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

⑥ その他の措置

第 7 条第 1 号は、表面の放射性物質の密度が告示第 9 条に示す密度（以下「表面密度限度」という。）を超えないこと、核燃料物質等の使用等に必要な書類その他の物品（核燃料輸送物の安全性を損なうおそれのないものに限る。）以外のものが収納されていないこと及び表面に不要な突起物はなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること、輸送物は外接する直方体の各辺が 10cm 以上であること及びみだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールの貼付け等の措置が講じられていることを求めている。

申請者は、輸送物の発送前に以下の a) から c) を確認するとしている。また、輸送容器について、以下の d) から f) のとおりの設計であるとしている。

- a) 表面の放射性物質の密度を測定し、表面密度限度を超えないこと。
- b) 容器内には収納物以外の物品が収納されていないこと。
- c) ■■■■■ を外容器に取付けた後に■■■■■すること。
- d) 表面には取扱い時に使用されるアイプレート以外の突起物を設けない。
- e) 外容器の表面等は平滑としている。
- f) 輸送容器の外径、全長とも 10cm 以上としている。

規制庁は、申請者が発送前に表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えていないこと、収納物以外のものが収納されていないこと、封印の設置等について確認するとしていること、また、輸送物は表面の汚染の除去が容易なように輸送容器を設計していること等を確認したことから、第 7 条第 1 号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

⑦ 強化浸漬試験（200m 浸漬試験）

第 7 条第 1 号は、 A_2 値の 10 万倍を超える量の放射能を有する核燃料物質等が収納されている核燃料輸送物にあっては、深さ 200m の水中に 1 時間浸漬させることとした場合に密封装置の破損のないことを求めている。

申請者は、収納物の放射能の量は██████████であるとし、これがすべて A_2 値が最小である ^{234}U (A_2 値は $6 \times 10^{-3}\text{TBq}$) と仮定しても A_2 値の 10 万倍を大きく下回るとしている。

規制庁は、申請者が収納物の放射能の量は A_2 値の 10 万倍を超えないとしていることを確認したことから、第 7 条第 1 号に定める強化浸漬試験を要しないことを確認した。

(2) 第 7 条第 2 号及び第 3 号

第 7 条第 2 号は、輸送物について、告示第 1 4 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以下の a) から d) に掲げる要件に適合することを求めている。また、第 7 条第 3 号は、輸送物について、告示第 1 6 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以下の e) 及び f) に掲げる要件に適合することを求めている。

- a) 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。
- b) 放射性物質の 1 時間当たりの漏えい量が A_2 値の 100 万分の 1 を超えないこと。
- c) 日陰における表面の温度について、輸送中人が容易に近づくことができる表面において 85°C を超えないこと。
- d) 表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと。
- e) 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。
- f) 放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量が A_2 値を超えないこと。

① 最大線量当量率（上記の a) 及び e)）

申請者は、一般の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価結果に基づき外容器の変形を踏まえ、内容器外表面を表面と見なして最大線量当量率の評価を行った結果、通常時から著しい増加はなく██████████であるとしている。また、特別の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価に基づき、輸送物の損傷を踏まえ、内容器外表面を表面と見なして表面から 1m 離れた位置における最大線量当量率の評価を行った結果、██████████であるとしている。

規制庁は、申請者が輸送物の最大線量当量率について、一般の試験条件の下に置いた輸送物の変形を考慮して評価した結果、表面において通常時から著しい増加はなく 2mSv/h を超えないとしていること、また、特別の試験条件の下に置いた輸送物の損傷を考慮して評価した結果、表面から 1m 離れた位置において 10mSv/h を超えないとしていることを確認したことから、第 7 条第 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。

② 放射性物質の漏えい量（上記の b) 及び f)

申請者は、一般の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価の結果から密封装置の健全性及び収納物の構造健全性は確保されるとしている。したがって、放射性物質の 1 時間当たりの漏えい量評価においては、発送前に実施する気密漏えい検査の合格基準に相当する漏えいがあると仮定した上で、収納物の表面に付着したウラン同位体を漏えいする放射性物質として、全量容器の内部に分散している条件の下で評価した結果、1 時間当たりの漏えい量の最大値はウラン同位体が [REDACTED] であり、基準値である A_2 値の 100 万分の 1（ウラン同位体は 6×10^{-9} TBq）を超えないとしている。

また、特別の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価の結果から密封装置の健全性及び収納物の構造健全性は確保されるとしている。一般の試験条件と同様に、放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量評価においては、発送前に実施する気密漏えい検査の合格基準に相当する漏えいがあると仮定した上で、収納物の表面に付着したウラン同位体が全量容器の内部に分散している条件の下で評価した結果、1 週間当たりの漏えい量の最大値はウラン同位体が [REDACTED] であり、基準値である A_2 値（ウラン同位体は 6×10^{-3} TBq）を超えないとしている。

規制庁は、申請者が一般の試験条件の下に置いた輸送物の放射性物質の漏えい量について、放射性物質の 1 時間当たりの漏えい量が A_2 値の 100 万分の 1 を超えないとしていること及び特別の試験条件の下に置いた輸送物の放射性物質の漏えい量について、放射性物質の 1 週間当たりの漏えい量が A_2 値を超えないとしていることを確認したことから、第 7 条第 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。

③ 輸送物の表面温度（上記の c）

申請者は、輸送物を専用積載で運搬するとしている。また、収納物の崩壊熱量を踏まえ、一般の試験条件の下に置いた輸送物を周囲の温度 38℃の日陰に置くこととした場合に、輸送中人が容易に近づくことができる部分の表面の温度は 38℃で一様であるとしている。

規制庁は、申請者が一般の試験条件の下に置いた輸送物の表面温度について、輸送中人が容易に近づくことのできる表面の温度は、85℃を超えないとしていることを確認したことから、第 7 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。

④ 表面密度限度（上記の d）

申請者は、一般の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価の結果から輸送容器の密封性は確保されるとしている。また、発送前の点検においては、表面の放射性物質の密度を測定し、表面密度限度を超えないことを発送前に確認するとしている。

規制庁は、申請者が一般の試験条件の下に置いた輸送物の表面密度について、輸送容器の密封性が確保されること及び発送前の点検で表面密度限度を超えないことを確認するとしていることを確認したことから、第 7 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。

（3）第 7 条第 5 号及び第 6 号

第 7 条第 5 号は、輸送物はフィルタ又は機械冷却装置を用いなくとも内部の気体のろ過又は核燃料輸送物の冷却が行われる構造であることを、同条第 6 号は、最高使用圧力（運搬中に予想される最高温度及び日光の直射の条件の下で、排気及び冷却を行わない場合の密封装置内の圧力）が 700kPa（ゲージ圧力）を超えないことを求めている。

申請者は、輸送物は機械冷却装置等を用いず、自然冷却方式を採用しているとしている。また、運搬中に予想される内圧及び周囲の圧力の変化を考慮しても、密封装置である内容器の内圧と周囲の圧力の差圧は XXXXXXXXXX を下回り最高使用圧力は 700kPa（ゲージ圧力）を超えないとしている。

規制庁は、申請者が輸送物の冷却に機械冷却装置を用いないとしていること、また、最高使用圧力は 700kPa（ゲージ圧力）を超えないとしていることを確認したことから、第 7 条第 5 号及び第 6 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1号及び第2号の適合性について

(1) 第11条第1号

第11条第1号は、核分裂性輸送物について、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くこととした場合に容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと及び外接する直方体の各辺が10cm以上であることを求めている。

申請者は、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件において、輸送物に対して最大の破損を及ぼすよう落下の方法等の条件を設定し、解析的評価を実施した結果、輸送容器に生じる変形は外容器に限られ、一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じることはなく、また、輸送物に外接する直方体の各辺は10cm以上であるとしている。

規制庁は、申請者が核分裂性輸送物に係る一般の試験条件の下に置いた輸送物について、容器の構造部に一辺が10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じるような変形は生じないとしていること及び輸送物に外接する直方体の各辺が10cm以上であるとしていることを確認したことから、第11条第1号に定める技術上の基準に適合していると判断する。

(2) 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
- ・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、規則で要求する上記の条件を全て包含し、臨界評価上厳しい結果を与えるよう収納物を未照射燃料とし、完全反射条件とすること等を条件として評価を行った結果、中性子実効増倍率の最大値は■■■■■■■■■■であり、1未満であることから臨界に達しないとしている。

規制庁は、申請者が第11条第2号に掲げる要件を包含した保守的な条件で解析した結果、中性子実効増倍率が1未満であり、臨界に達しないとしていることを確認したことから、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。

4-4 輸送容器に係る品質管理の方法について

申請者は、輸送容器に係る品質管理の方法として、品質マネジメントシステムによって以下のとおり設計、製造に係る調達及び取扱い・保守を行うとしている。なお、品質マネジメントシステムの要求事項は品質マネジメント計画書として文書化したとしている。

- ・設計、製造に係る調達及び検査に係る業務に従事する者に対する教育・訓練について、力量のある要員に従事させるための力量の明確化、要員に対する教育・訓練、その有効性評価及びこれらの記録の維持等を実施するとしている。
- ・設計管理について、設計要求事項の明確化、設計者等への要求事項の周知、設計の結果における要求事項の反映確認、新設計等の検証、設計変更の手順及び設計委託を行う場合における委託先の力量評価等を実施するとしている。
- ・輸送容器の製造に係る調達について、容器製造者の能力評価、容器製造者への要求事項の明確化、輸送容器の検査及び品質監査等による検証を実施するとしている。
- ・取扱い・保守について、発送前検査、定期自主検査及び輸送容器の保管等に関する実施要領を策定し実施するとしている。
- ・測定、分析及び改善について、上記の活動に関する内部監査、不適合管理並びに是正措置及び予防措置について手順書に定めて実施するとしている。

規制庁は、申請者における輸送物に係る設計、製造に係る調達及び取扱い・保守に関し、業務に従事する要員の教育訓練等を含めた力量管理を実施すること、設計管理について設計要求の明確化及び設計のレビュー等を実施すること、製造に係る調達について容器製造者への要求事項の明確化、製造に係る検査、検証を実施すること及び取扱い・保守について、それぞれ要領を策定して実施すること並びにこれらの活動に関する内部監査等を実施するとしていることを確認した。