

核燃料輸送物設計承認申請の概要について (48Y-JDTC型)

2022年10月11日



日本原燃株式会社

目次



1. 48Y-JDTC型核燃料輸送物の概要 P.1～2
2. 外運搬規則への適合性 P.3～11

1. 48Y-JDTC型核燃料輸送物の概要

(1) 使用の目的

本輸送物は、加工施設(ウラン濃縮工場)における低濃縮ウランの製造に天然六ふっ化ウランを供するため、海外から国内へ運搬することを目的とするものである。

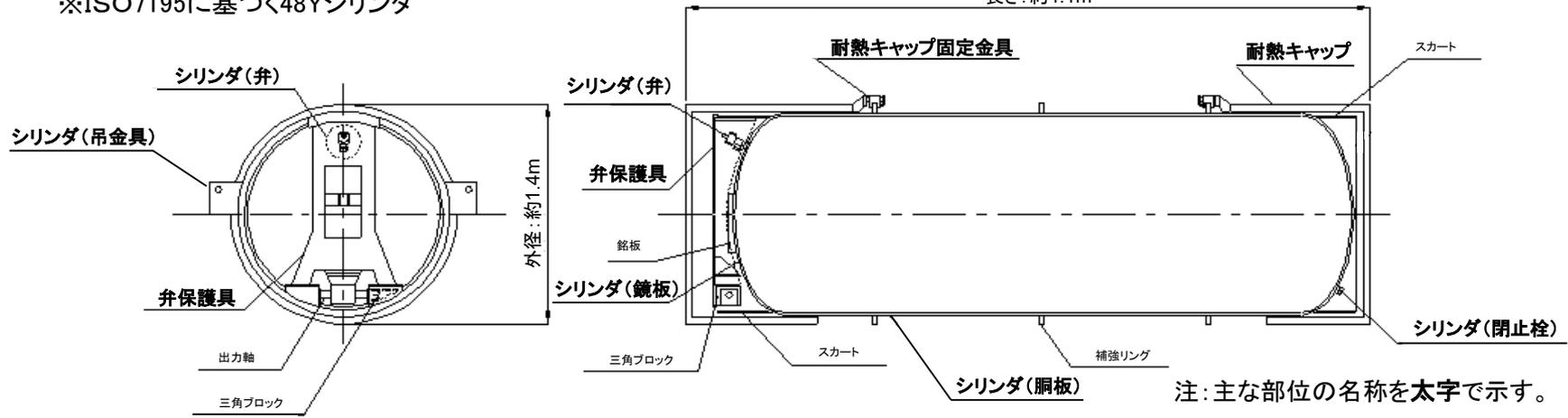
(2) 本輸送物の主な仕様

| | |
|-----------|--|
| 輸送物の型名 | 48Y-JDTC型 |
| 輸送物の種類 | IP-1型六ふっ化ウラン輸送物 |
| 輸送物の総重量 | 15,640 kg以下 |
| 輸送容器の外形寸法 | 外径 約1.4 m、長さ 約4.1 m |
| 輸送容器の総重量 | 3,140 kg以下 |
| 輸送容器の主な材質 | <ul style="list-style-type: none"> ・シリンダ※ : 炭素鋼、アルミニウム青銅、モネル(ニッケル銅合金) ・弁保護具 : 炭素鋼、合金鋼、鋳鋼品 ・耐熱キャップ : ステンレス鋼、セラミックファイバー ・耐熱キャップ固定金具 : ステンレス鋼、炭素鋼 |

参考: 同一の材質・構造を有する輸送容器について既に承認を得た設計がある。【J/2002/H(U)-96 (Rev.3)】

※ISO7195に基づく48Yシリンダ

長さ: 約4.1m



注: 主な部位の名称を太字で示す。

1. 48Y-JDTC型核燃料輸送物の概要



(3) 収納物の主な仕様

| | |
|------|---|
| 種類 | 天然六ふっ化ウラン※ |
| 重量 | 最小 8,800 kg 最大 12,500 kg |
| 放射能量 | ウラン-234: 1.08×10^{11} Bq以下 ウラン-235: 4.81×10^9 Bq以下 ウラン-238: 1.05×10^{11} Bq以下 総量: 4.31×10^{11} Bq以下 (12,500 kg-UF ₆ 以下) |
| 性状 | 固体(塊状と粉末の混合体) |
| 濃縮度 | 0.72 wt%以下 |

※核燃料物質(天然六ふっ化ウラン)の特徴

未照射のウランであり、発熱量は極めて小さく、設計上特別な除熱を必要とする発熱はない。また、発生するガンマ線及び中性子の線量は十分に小さく、特別な遮蔽を設けなくても取扱うことができる。

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

『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規則』及び『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』の改正内容(令和3年1月1日施行分まで)については、使用期間中に想定される経年変化の影響を評価し、技術上の基準に適合していることを確認するうえで、その考慮の必要性及び必要な場合に考慮すべき事項について抽出した。

(1) 使用予定期間

使用予定期間は製造後40年※を想定。輸送物の使用回数について、シリンダは運搬の都度新規に製作するため1回。また、弁保護具、耐熱キャップ及び耐熱キャップ固定金具(以下、「弁保護具等」という。)は、40回以下(年1回以下)を想定。なお、本輸送物の運搬期間は4ヵ月以内の予定である。

※ シリンダは製造後2年以内に加工施設(ウラン濃縮工場)へ搬入するが、運搬後に貯蔵されることも加味し、経年変化の考慮に当たっては保守的に弁保護具等と同様に製造後40年と設定する。

(2) 使用予定期間中に想定される使用状況

| 状態 | 収納物 | 使用状況 |
|-----|-----|---|
| 運搬前 | 有 | シリンダへ天然六ふっ化ウランを充填後、輸送物の組立作業を実施し、発送前検査を行う。 |
| 運搬時 | 有 | <ul style="list-style-type: none"> 輸送物は、運搬車両及び船舶により運搬する。 運搬中に想定される衝撃、振動に対し耐えうるように車両等に固縛し、運搬する。 |
| 運搬後 | 有 | <ul style="list-style-type: none"> 加工施設(ウラン濃縮工場)に搬入し、シリンダから弁保護具等を取外す。(取外した弁保護具等は、次回輸送までの間、コンテナへ収納して保管する。) 搬入したシリンダは、設工認に基づく使用前事業者検査を行うとともに、以降、輸送には使用しないため、容器承認を廃止し、加工施設の貯蔵設備として保安規定により管理する。 |

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

(3) 考慮すべき経年変化の要因

- ①熱
- ②放射線
- ③化学
- ④疲労

(4) 対象材料

以下に示す輸送容器の材質7種を対象に評価した。

| 材質 | シリンダ | | | | 弁保護具 | 耐熱 キャップ | 耐熱 キャップ 固定金具 | |
|----------------|------------|-----|----|----|------|------------|--------------------|----------|
| | 胴板・ 鏡板※ | 吊金具 | 弁※ | | | | | 閉止栓 ※ |
| | | | 胴部 | 軸部 | | | | |
| 1 炭素鋼 | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | |
| 2 アルミニウム青銅 | | | ○ | | ○ | | | |
| 3 モネル(ニッケル銅合金) | | | | ○ | | | | |
| 4 ステンレス鋼 | | | | | | ○ | ○ | |
| 5 合金鋼 | | | | | ○ | | | |
| 6 鋳鋼品 | | | | | ○ | | | |
| 7 セラミックファイバー | | | | | | ○ | | |

※: 六ふっ化ウランと接触する部位

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

①熱、②放射線

熱については、高温環境下における組織変化による材料強度低下、クリープによる変形、加熱収縮による影響が想定されるが、運搬中に予想される輸送容器温度は65℃以下であり、想定される事象が現れる温度を下回る。

放射線については、中性子照射による組織変化に伴う材料強度低下、結晶構造の変化による影響が想定されるが、使用予定期間中における中性子の累積照射量は 10^{14} n/cm²オーダーであり、想定される事象が現れる照射量を下回る。

よって、使用予定期間中における熱及び放射線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。

| 材質 | ① 熱 | | ② 放射線 |
|--------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| | 材料強度に影響を与える温度 | クリープの影響を受ける温度 | 材料強度に影響を与える中性子照射量 |
| 炭素鋼 | 371℃ | 300℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |
| アルミニウム青銅 | 232℃ | 150℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |
| モネル(ニッケル銅合金) | 425℃ | 250℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |
| ステンレス鋼 | 425℃ | 260℃ | 10^{17} n/cm ² オーダー |
| 合金鋼 | 371℃ | 300℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |
| 鋳鋼品 | 375℃ | 300℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |

| 材質 | ① 熱 | ② 放射線 |
|------------|---------------------|----------------------------------|
| | 加熱収縮の原因となる結晶が析出する温度 | 結晶構造に影響を与える中性子照射量 |
| セラミックファイバー | 950～1000℃ | 10^{16} n/cm ² オーダー |

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

③化学

化学については、腐食等の化学的反応による影響が想定されるが、以下のことから、使用予定期間中における化学的反応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。

| 材質 | 化学的反応による経年変化の評価 | |
|------------------|--|---|
| | 六ふっ化ウランとの接触部位 | 外気等との接触部位 |
| 炭素鋼 | 六ふっ化ウランと接触するシリンダ内面の腐食率は 1.5×10^{-3} mm/年であることから、使用予定期間中の腐食量は最大0.06mmと推定され、接触部の厚さ(シリンダ本体の板厚16mm)に比べ腐食量は十分に小さい。 | 外気と接触する外面には塗装又はユニクロメッキ処理による防食を施している。 |
| アルミニウム青銅 | 六ふっ化ウランと接触する弁胴部の内面及び閉止栓の腐食率は 1.0×10^{-2} mm/年未満であることから、使用予定期間中の腐食量は最大0.4mmと推定され、接触部の厚さ(弁胴部3.5mm、閉止栓8.5mm)に比べ腐食量は十分に小さい。 | 空気中において保護被膜作用による耐食性がある。 |
| モネル (ニッケル銅合金) | 六ふっ化ウランと接触する弁軸部の腐食率は 3.3×10^{-3} mm/年であることから、使用予定期間中の腐食量は最大0.132mmと推定され、接触部の厚さ(弁軸部の厚さ4.5mm)に比べ腐食量は十分に小さい。 | |
| ステンレス鋼 | | 輸送中は輸送機材内に収納されており、海塩粒雰囲気とならず、応力腐食割れが進展する可能性はない。 |
| 合金鋼 鋳鋼品 | シリンダの外側に取付ける部材の材料であり、六ふっ化ウランとの接触はない。 | 外気と接触する外面には、防錆・潤滑剤の塗布又は塗装による防食を施している。 |
| セラミックファイバー | | ステンレス鋼に密封されており、外気との接触は無い。 |

2. 外運搬規則への適合性 (核燃料輸送物の経年変化の考慮について)

④疲労

疲労については、輸送容器の材質7種のうち、運搬中の内圧変化による繰返し荷重及び輸送物の取扱いによる繰返し荷重が生じ得るシリンダの材質である炭素鋼について、疲労による経年変化の影響を考慮し、評価した。

| 材質 | 疲労による経年変化の評価 | |
|---------|---|--|
| | 運搬中の内圧変化による繰返し荷重 | 輸送物の取扱いによる繰返し荷重 |
| 炭素鋼 | <p>シリンダの内外圧力差により生じる応力は、以下の評価結果より、ASME規格の疲労解析不要の条件(使用材料の規定最小引張強さ: 552 N/mm²以下及び合計繰返し回数: 1000回以下)を満たしていることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用材料の規定最小引張強さが415 N/mm²であること。 ・輸送期間中に毎日、圧力の変動が生じるとして保守的に評価した合計繰返し回数が250回であること。 <p>以上より、合計繰返し回数を保守的に設定し、疲労による経年変化を評価している。</p> | <p>シリンダの吊金具は、現実的な吊上げ回数(4回)に対し保守的に余裕率10を見込んだ吊上げ回数(40回)を想定し、ASME規格における炭素鋼の設計疲労線図の許容繰返し回数(2.4 × 10⁵回)を下回っていることを確認した。</p> <p>以上より、吊上げ回数を保守的に設定し、疲労による経年変化を評価している。</p> |
| 上記以外の材質 | 運搬中の内圧変化による繰返し荷重を受けないことではない。 | 輸送物の取扱いによる繰返し荷重を受けないことではない。 |

2. 外運搬規則への適合性 (第8条、第12条への適合について)

前頁までの経年変化の考慮を踏まえ、本輸送物に適用される「第8条 IP-1型輸送物に係る技術上の基準」及び「第12条 六ふっ化ウラン輸送物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した。

【第8条 IP-1型輸送物に係る技術上の基準】

| 規則 | 技術基準に適合していることの説明 |
|---|---|
| 第8条(第4条第1号) ○容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。 | ○本輸送物が容易に取り扱うことができると及び吊上装置が静荷重の5倍に耐えること、また、経年変化の考慮として吊上装置の疲労評価を行い、疲労強度が十分であり、安全に取り扱うことができることを確認。 |
| 第8条(第4条第2号) ○運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、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及び内圧の変化、振動等について経年変化を考慮した上で評価し、輸送物にき裂、破損等の生じるおそれがないことを確認。 ① 温度の変化 予想される輸送容器の最高温度(65°C)は、各材料の最高使用温度以下であること、最低温度(-40°C)は、各材料の脆性遷移温度以上であることを確認。 ② 内圧の変化 予想される内圧の変化を踏まえ、構造強度の評価を行い、許容外圧、内圧の基準値を十分に下回ることを確認。また、経年変化の考慮として、ASME規格に基づく疲労解析の必要性の評価を行い、疲労破壊のおそれがないことを確認。 ③ 振動 本輸送物の固有振動数は57.7Hz以上であり、運搬中の振動により輸送物に作用する励振力の振動領域(大部分が10Hz以下)に対して、十分に離れており、応答増幅のおそれがないことを確認。 ④ その他 固縛装置が、運搬中に発生する加速度に耐えることを確認。 |

2. 外運搬規則への適合性 (第8条、第12条への適合について)

【第8条 IP-1型輸送物に係る技術上の基準】

| 規則 | 技術基準に適合していることの説明 | | | | | | |
|---|---|----|------|---------------|-------------|---------------------|----------|
| 第8条(第5条第7号、第8号) ○表面における最大線量当量率が2 mSv/hを超えないこと。 ○表面から1メートル離れた位置における最大線量当量率が100 μSv/hを超えないこと。 | ○遮蔽解析により最大線量当量率が規則の値を超えないことを確認。 ・ 解析においては、天然六ふっ化ウランが最大充填時かつ最大放射能強度となる放射平衡時を想定し、保守的にシリンダ胴板及び鏡板のみを遮蔽体としてモデル化。 <table border="1" data-bbox="821 539 1738 692"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>解析結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>表面における最大線量当量率</td> <td>0.118 mSv/h</td> </tr> <tr> <td>1 m離れた位置における最大線量当量率</td> <td>33 μSv/h</td> </tr> </tbody> </table> | 項目 | 解析結果 | 表面における最大線量当量率 | 0.118 mSv/h | 1 m離れた位置における最大線量当量率 | 33 μSv/h |
| 項目 | 解析結果 | | | | | | |
| 表面における最大線量当量率 | 0.118 mSv/h | | | | | | |
| 1 m離れた位置における最大線量当量率 | 33 μSv/h | | | | | | |

【第12条 六ふっ化ウランに係る核燃料輸送物の技術上の基準】

| 規則 | 技術基準に適合していることの説明 |
|--|---|
| 第12条第1項第1号 ○当該六ふっ化ウランの容積は、封入又は取出しの時に予想される最高温度において、容器の内容積の95 %を超えないこと。 | ○ISO規格に基づき、最大充填量を12,500 kgとしているため、最高温度121 °Cにおいて、六ふっ化ウランの容積が、容器の内容積の95 %を超えることはない。 ・ なお、発送の都度、収納物検査を行い、最大充填量を超えていないことを確認。 |
| 第12条第1項第2号 ○通常の運搬状態において、当該六ふっ化ウランが固体状であり、かつ、容器の内部が負圧となるような措置が講じられていること。 | ○六ふっ化ウランは密封状態で取扱うため、内部の圧力は六ふっ化ウランの蒸気圧と同等となり、通常の運搬状態においては負圧かつ固体状となる。 ・ 通常の運搬状態時の圧力は、0.001~0.088MPa (abs)で負圧であり、三重点の圧力(0.152MPa(abs))を下回るため、固体状である。また、発送の都度、収納物検査を行い、内圧について確認。 |

2. 外運搬規則への適合性 (第8条、第12条への適合について)



【第12条 六ふっ化ウランに係る核燃料輸送物の技術上の基準】

| 規則 | 技術基準に適合していることの説明 |
|--|---|
| <p>第12条第2項第1号 ○原子力規制委員会の定める六ふっ化ウラン輸送物に係る耐圧試験の条件の下に置くこととした場合に、放射性物質の漏えいがなく、かつ、受け入れられない応力が発生しないこと。</p> | <p>○シリンダは規則に定める耐圧試験の条件で放射性物質の漏えいがなく、かつ、受け入れられない応力が発生しない設計とし、製造時に同条件で耐圧試験を行い、漏えいのないことを確認。</p> <ul style="list-style-type: none">• 製造時に以下の耐圧試験を実施。<ol style="list-style-type: none">(1) 2.76 MPa以上の水圧を加える。(2) 運搬中に想定される圧力の最大値(設計圧力1.38 MPa)の2倍の圧力を加えた後、当該圧力の1.5倍まで降圧する。(3) 弁を取付けた後、0.69 MPaの気圧を加える。 |
| <p>第12条第2項第2号 ○原子力規制委員会の定める六ふっ化ウラン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、放射性物質の漏えいがなく、かつ、弁に損傷のないこと。</p> | <p>○一般の試験条件における自由落下について、以下の条件に置いて評価し、放射性物質の漏えいがなく、弁、閉止栓の損傷もないことを確認。</p> <ul style="list-style-type: none">• 落下高さを0.6 m、輸送物重量を15,640 kgとし、落下時に輸送物が最大損傷を受けるよう、垂直、水平、コーナー及び傾斜の各姿勢で、弁、閉止栓及びシリンダの構造健全性を評価。 |

2. 外運搬規則への適合性 (第8条、第12条への適合について)



【第12条 六ふっ化ウランに係る核燃料輸送物の技術上の基準】

| 規則 | 技術基準に適合していることの説明 |
|--|---|
| <p>第12条第2項第3号 ○原子力規制委員会の定める六ふっ化ウラン輸送物に係る特別の試験条件の下に置くこととした場合に、密封装置に破損がないこと。</p> | <p>○特別の試験条件における熱的試験について、以下の条件に置いて評価し、密封装置の破損がないことを確認(収納物の体積膨張により、シリンダに液圧が生じ、破裂に至るおそれがないことを含む)。</p> <ol style="list-style-type: none">① 火災前の条件として、外部雰囲気38℃の環境に置いた上で告示に定められた放射熱を12時間毎に与え、本輸送物の各部温度が定常に達するまで解析を実施。② 上記を初期状態とし、告示に定められた条件下で800℃の熱放射環境に30分間さらされるとして評価。③ 加熱停止後、外部雰囲気38℃の環境に置いた上で告示に定められた放射熱を付加し、自然冷却の状態で、シリンダ外表面温度が下がるまで評価。 |