



資料1

核燃料輸送物設計承認申請(熊原第21-021号)の 概要について (TNF-XI型)

2022年03月03日
原子燃料工業株式会社



- 1.本申請の概要
- 2.核燃料輸送物の概要について
- 3.本申請に係る設計の主なポイントについて

1.本申請の概要



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

1. TNF-XI型輸送物の使用目的

ウラン酸化物およびウラン残渣の輸送に使用する。

2. 輸送容器の材質および構造

既に承認を受けた2件の設計(J/2006/AF-96(Rev.5) 、 J/2021/AF-96)と同じ材質、構造を有している (p4に後述) 。

3. 収納物 (核燃料物質および核燃料物質を収納する収納缶等) (p5に後述)

3.1 核燃料物質 (未照射のウラン酸化物とウラン化合物) の特徴

- ・ 未照射のウランであり、発熱量は極めて小さく、設計上の考慮が必要となるような発熱はない。
- ・ 未照射のウランであり、発生するガンマ線およ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り扱うことができる。

3.2 核燃料物質以外の主な収納物

- ・ 核燃料物質を収納する収納缶 (粉末収納缶、長尺粉末収納缶)
- ・ ブロッキングシステム (p6~8に後述)

1.本申請の概要



4. 既に承認を受けた設計と相違する点

① ブロッキングシステムの追加

内蓋と粉末収納缶の間のギャップにより、落下時に内蓋にかかる衝撃力が大きくなる可能性がある。落下時の衝撃力を低減するための措置として、内蓋と粉末収納缶の間のギャップ低減のため、ブロッキングシステムを追加した。(p6~8に後述)

② ^{99}Tc 濃度の設計

長尺粉末収納缶を用いて収納するケースについて、ウラン酸化物の ^{99}Tc 濃度制限値を $0.05\mu\text{g/gU}$ に設定した。(p9~10に後述)

③ 経年変化を考慮した安全性評価

熱、放射線、化学変化および疲労による経年変化が、輸送容器の安全機能を担う部品および収納物への影響を評価し、技術上の基準への適合性の評価を行った。(p11~17に後述)

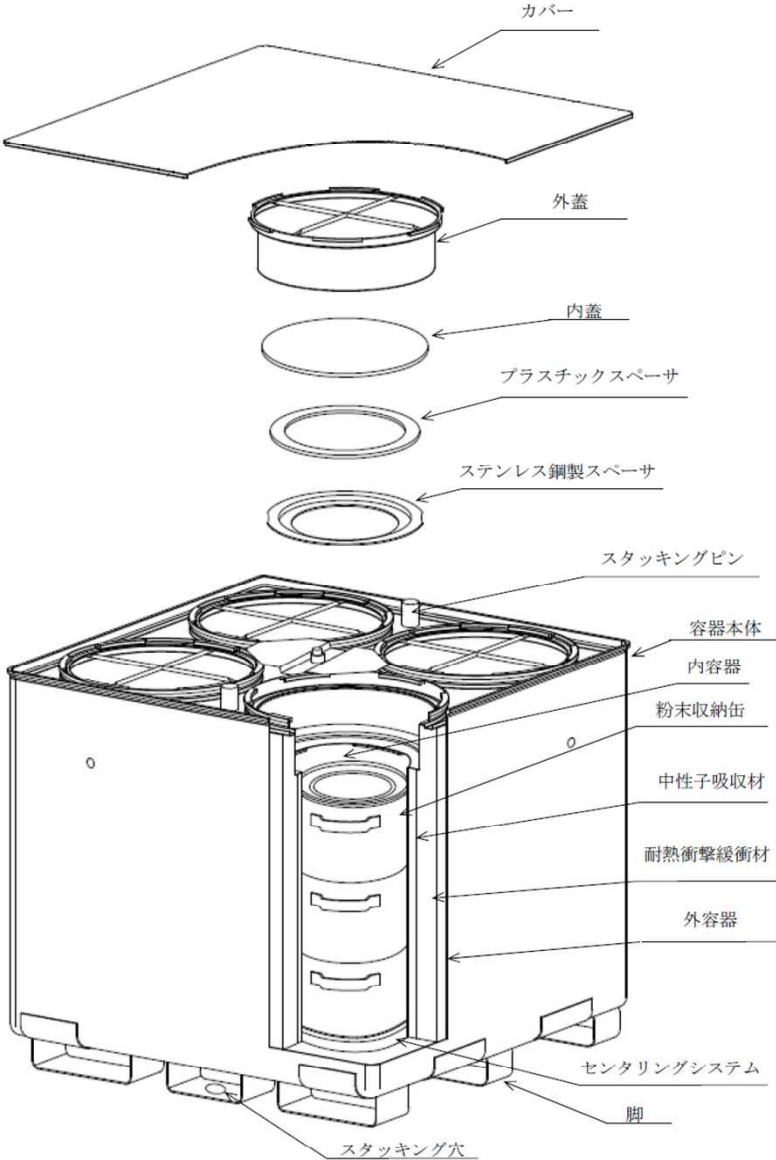
2.核燃料輸送物の概要について



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

□ TNF-XI型輸送物の主な仕様は以下の通り

輸送物の名称	TNF-XI型
外形寸法	長さ 約1.10m 幅 約1.10m 高さ 約1.04m
輸送容器の重量	660kg以下
輸送物の重量	1,050kg以下
輸送容器の主要材料	
外容器	ステンレス鋼
内容器	ステンレス鋼
耐熱衝撃緩衝材	フェノリックフォーム
中性子吸収材	ボロン入りレジン (BORAレジン)
//	ボロン入りステンレス鋼
外蓋外殻	ステンレス鋼
内蓋	ステンレス鋼
ガスケット	エチレン・プロピレンゴム
核燃料輸送物の種類	A型核分裂性輸送物



TNF-XI型輸送物の例

2.核燃料輸送物の概要について



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

□ TNF-XI型輸送物に収納する核燃料物質等について

TNF-XI型輸送物に収納する核燃料物質等の主な仕様は以下の通り

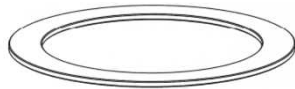
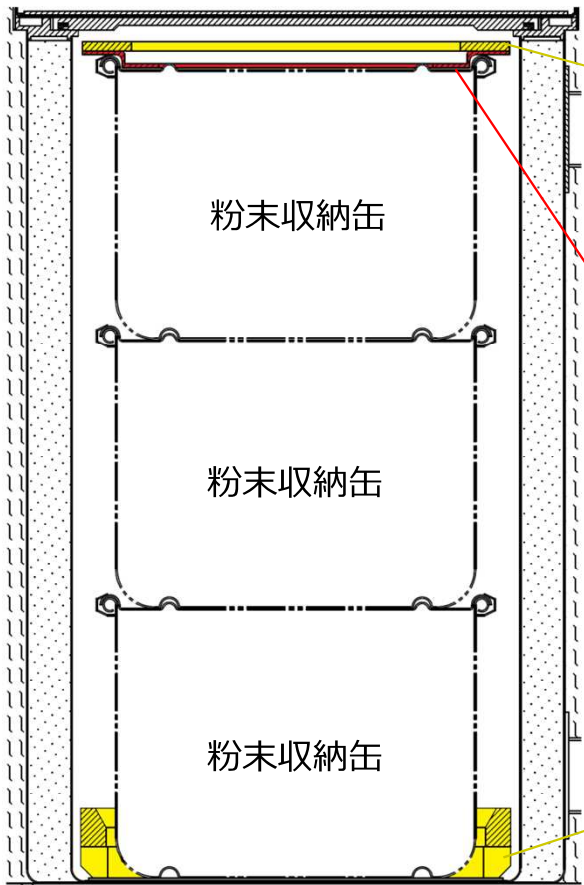
		ケース1 粉末収納缶を使用し、 ウラン酸化物を収納するケース	ケース2 長尺粉末収納缶を使用し、 ウラン酸化物を収納するケース	ケース3 粉末収納缶を使用し、 ウラン残渣を収納するケース	
種類		ウラン酸化物	ウラン酸化物	ウラン残渣 (ウラン酸化物、ウラン化合物を含む 金属酸化物、各種物品)	
性状		固体 (粉末、焼結体又はスクラップ)	固体 (粉末、焼結体又はスクラップ)	固体	
濃縮度		5.0%以下	5.0%以下	20%以下	
ウラン重量		ウラン酸化物重量：284kg以下	ウラン酸化物重量：10kg以下	ウラン重量：20kg以下(濃縮度5%以下) 2kg以下(濃縮度20%以下)	
燃焼度、冷却日数		該当しない(未照射ウラン)			
発熱量		設計上考慮が必要な発熱はない			
その他条件	収納缶	種類	粉末収納缶(内容器あたり3缶)	長尺粉末収納缶(内容器あたり1缶、高さは粉末収納缶3缶分)	粉末収納缶(内容器あたり3缶)
		材料	ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼、ボロン入りステンレス鋼
	ブッキングシステム	有り	無し	有り	
	⁹⁹ Tc濃度	0.01μg/gU	0.05μg/gU	0.01μg/gU	

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【1/12】



3.1 ブロッキングシステムの追加について

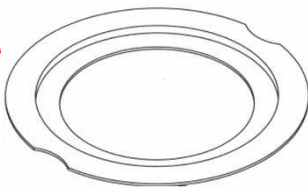
- ・落下時の衝撃力を低減するための処置として、内蓋と粉末収納缶の間のギャップ低減のため、ブロッキングシステムを追加した。
- ・ブロッキングシステムは収納物として扱う。
- ・ブロッキングシステムは繰返し使用する。



プラスチックスペーサ

材質：プラスチック

ステンレス鋼製スペーサと内蓋の間のギャップ量は、粉末収納缶および内容器の製造公差によるばらつきがある。そのため、ギャップ量を小さくできるように、ギャップ量に合わせてプラスチックスペーサの枚数を調整する（0～3個）。

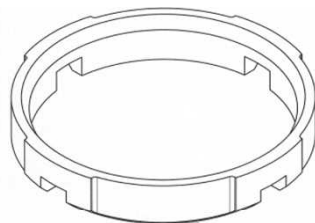


ステンレス鋼製スペーサ

材質：ステンレス鋼

内容器あたり1個設置

内蓋と粉末収納缶の間のギャップを低減



センタリングシステム

材質：プラスチック

内容器あたり1個設置

内容器内の粉末収納缶の偏心を防ぎ、ステンレス鋼製スペーサと内容器の干渉を防止

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【2/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.1 ブロッキングシステムの追加について

- ・9m落下におけるブロッキングシステムの健全性について

ブロッキングシステムを収納した状態で9m落下した場合において、ブロッキングシステムが破損しないことに関する評価をおこなった。

- ・評価対象：

落下時において内容器内の収納物（核燃料物質、粉末収納缶、ブロッキングシステム）の全重量が負荷される構成部品（スペーサ）のうち、強度の低いプラスチックスペーサを評価の対象とした。

- ・評価条件：

評価条件	設定値	設定根拠
落下姿勢	輸送容器上面を下向きにして落下	収納物の全重量がプラスチックスペーサに負荷される姿勢を選定
収納物重量（内容器あたり）	100kg	ケース1, 3の収納物の最大重量を元に保守的に設定
収納物の衝撃加速度	530G	過去、承認を受けるときに実施した実物大の試験用容器を用いた落下試験の結果を元に設定
荷重を受ける面積	1.9×10 ⁴ mm ²	プラスチックスペーサが荷重を受ける面積を元に保守的に設定

- ・評価結果：

プラスチックスペーサに加わる圧縮応力([収納物重量]×[衝撃加速度]×[重力加速度(9.81)] ÷[荷重を受ける面積])は28MPa以下である。

- ・結論

プラスチックスペーサに使用する材料の圧縮強さは100MPa以上*であるため、プラスチックスペーサが破損することはない。

*プラスチック読本,プラスチック・エージ, 2019

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【3/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.1 ブロッキングシステムの追加について

・以下に示すように、ブロッキングシステム追加によって輸送物に悪影響を与えることはない。

影響が予想される項目	内容
重量増加への対応	・ブロッキングシステムの重量（最大16kg）を考慮し、ウラン酸化物ならびにウラン残渣の最大収納量を減らすことで、輸送物の最大重量は既に承認を受けた設計と同一とする。
運搬中に予想される温度範囲での熱的安定性	・プラスチック製スペーサおよびセンタリングシステムには、運搬中に予想される温度の範囲（-40℃～52℃）において熱的に安定な材料として、使用可能温度が-40℃～100℃であるプラスチック（ポリオキシメチレン）を採用している。
熱膨張による影響	・センタリングシステムは、熱膨張を考慮しても内容器および粉末収納缶と干渉しない設計としている。 ・プラスチックスペーサは、内蓋とステンレス鋼製スペーサのギャップ量に応じて枚数を調整するため、熱膨張を考慮しても内蓋と接触することはない設計としている。
輸送物周りの線量当量率への影響	・ブロッキングシステムは核燃料物質より外側に配置されるため線量を下げる効果がある。 ・核燃料物質から発生する中性子源強度は小さく、ブロッキングシステムからの二次放射線の影響は無視できる。
未臨界性への影響	・臨界評価については、本輸送物の内容器内が水に満たされた状態で臨界に達しないことを確認している。プラスチック製のブロッキングシステムは、水素の原子個数密度が水の85%程度であるため、中性子の反射効果および減速効果が水より低くなり、内容器内にブロッキングシステムを配置した場合の臨界評価の結果は内容器内に水に満たされた状態に係る結果に包絡される。このことから、ブロッキングシステムに配置した輸送物が臨界に達することはない。
経年変化の影響	・使用期間中の温度、放射線、化学変化及び疲労による経年変化の影響は受けない（p17に後述）。 ・使用前に外観を確認し、有害な傷、割れおよび形状に異常がないことを確認する。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【4/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.2 ケース2の⁹⁹Tc濃度制限値について

- ・ケース2の⁹⁹Tc濃度制限値を0.05μg/gUに設定
- ・安全解析上のポイント

遮蔽評価

- ・ケース2の⁹⁹Tc濃度制限値をケース1, 3より高い0.05μg/gUに設定しているが、下表に示すとおり、核燃料物質の量はケース1が最も多くなる。よって線源強度はケース1が最も強い。
- ・ケース1を遮蔽評価における代表ケースとして評価を行った結果、本核燃料輸送物について、通常時および一般の試験条件下に置いたときの表面および表面から1mの位置における最大線量当量率は基準を満足することを確認した。

	基本仕様			核燃料物質の量			
	²³⁵ U濃縮度 (%)	⁹⁹ Tc濃度 (μg/g U)	U酸化物、 又はU収納量 (kg)	全U量 (kg)	²³⁵ U (kg)	²³⁵ U以外のU同位体 (kg)	⁹⁹ Tc (kg)
ケース1	5.0以下	0.01以下	284以下	250*	12.5	237.5	2.5×10⁻⁶
ケース2	5.0以下	0.05 以下	10以下	8.8*	0.44	8.36	4.4×10 ⁻⁷
ケース3	5.0以下	0.01以下	20以下	20	1	19	2×10 ⁻⁷
	20.0以下	0.04以下	2以下	2	0.4	1.6	8×10 ⁻⁸
最大値				ケース1	ケース1	ケース1	ケース1

*全U (ウラン) 量はウラン酸化物の最大重量を0.88倍 (= 238 (ウランの分子量) / 270 (UO₂の分子量)) したものである。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【5/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.2 ケース2の ^{99}Tc 濃度制限値について

・安全解析上のポイント

臨界評価

本申請においては、ケース1, ケース2およびケース3の全ケースで臨界評価を行っている。

^{235}U 以外のU同位体および ^{99}Tc は、 ^{238}U より中性子吸収断面積が大きいいため、全ケースの臨界評価において、保守的に ^{235}U 以外のU同位体および ^{99}Tc はすべて ^{238}U であるとして解析を行っている。

したがって、既に承認を受けた設計と同様に、本核燃料輸送物について、規則で定める5つの条件において、臨界に至らないことを確認した。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【6/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮

・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)の反映を行うため、使用期間中に想定される使用状況及びそれに伴う経年変化の評価を行い、その結果を別紙1(安全解析書)における(口)章-F「核燃料輸送物の経年変化の考慮」に記載した。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【7/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮

- ・経年変化は約40年の使用期間を想定
- ・年間で運搬する期間を保守的に365日と仮定
- ・経年変化の要因として、容器保管中・使用中における温度変化、収納物から発生する放射線、腐食等の化学変化及び繰り返し応力が生じることによる疲労を考慮
- ・これら4点の要因について、輸送容器の安全機能を担う部品および収納物のうち繰り返し使用する構成物に関する以下の5つの主要材料を対象に評価した。

主要材料	使用箇所
ステンレス鋼	構造部材、粉末収納缶、長尺粉末収納缶、ステンレス鋼製スペーサ
フェリックフォーム	耐熱衝撃吸収材
BORALレジン	中性子吸収材
ボロン入りステンレス鋼	中性子吸収材、粉末収納缶
ポリオキシメチレン	プラスチックスペーサ、センタリングシステム

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【8/12】



3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮(ステンレス鋼)

主要材料	経年変化要因	経年変化の評価
ステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるステンレス鋼の温度範囲(-40~72℃)では、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	放射線	使用期間における中性子の累積照射量 (7×10^{10} n/cm ²) は、材料強度に影響を与えると考えられる中性子照射量(10^{16} n/cm ²)と比較して十分に小さく、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	化学変化	ステンレス鋼は表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。輸送容器外面、収納缶およびステンレス鋼製スペーサの腐食については、発送前検査及び定期自主検査による確認が可能であり、確認された場合には補修または交換する。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	疲労	構造部材について、使用期間中に想定される最大応力から求めた許容繰返し回数 (10 ⁷ 回以上) と比較すると、使用期間中に想定される応力の繰返し回数 (14600回) は十分小さい。また、収納缶およびステンレス鋼製スペーサには、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じない。そのため、疲労による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【9/12】



3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮(フェリックフォーム)

主要材料	経年変化要因	経年変化の評価
フェリックフォーム	熱	使用期間中に想定されるフェリックフォームの温度範囲(-40～72℃)は、熱重量分析で確認された顕著な重量変化が生じる温度(90℃)と比較し十分に低い。また、輸送容器構造材に密閉されているため、熱による経年変化を促進させる外気・水分との接触がない。よって熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	放射線	使用期間における中性子の累積照射量 (7×10^{10} n/cm ²) 及びガンマ線の累積照射量 (5×10^1 Gy) は、材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量(10^{14} n/cm ²)及びガンマ線照射量(10^4 Gy)と比較して十分に小さいことから、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	化学変化	フェリックフォームは、ステンレス鋼製の外容器外面と内容器外壁の間に密閉されており、外気との接触はなく、加水分解や紫外線による分解は発生しない。よって化学変化による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	疲労	フェリックフォームの使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【10/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮(BORALレジン)

主要材料	経年変化要因	経年変化の評価
BORALレジン	熱	使用期間中に想定されるBORALレジンの温度範囲 (-40℃～50℃) は、熱重量分析で確認された顕著な重量変化が生じる温度(150℃)と比較し十分に低い。また、輸送容器構造材に密閉されているため、熱による経年変化を促進させる外気・水分との接触がない。よって熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	放射線	使用期間における中性子の累積照射量 (7×10^{10} n/cm ²) 及びガンマ線の累積照射量 (6×10^1 Gy) は、材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 (10^{14} n/cm ²) 及びガンマ線照射量 (10^4 Gy) と比較し十分に小さい。また中性子照射による ¹⁰ Bの減損率は 10^{-10} 未満であり、中性子吸収性能への影響はない。よって、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	化学変化	BORALレジン、ステンレス鋼製の内容器外壁と内容器内壁の間に密閉されており、外気との接触はなく、加水分解や紫外線による分解は発生しない。よって化学変化による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	疲労	BORALレジンの使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【11/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮(ボロン入りステンレス鋼)

主要材料	経年変化要因	経年変化の評価
ボロン入りステンレス鋼	熱	使用期間中に想定されるボロン入りステンレス鋼の温度範囲(-40～72℃)では、組織変化、クリープ、割れ等の経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	放射線	使用期間における中性子の累積照射量 (7×10^{10} n/cm ²) は、材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量(10^{16} n/cm ²)と比較して十分に小さい。また、中性子照射による ¹⁰ Bの減損率は 10^{-9} 未満であり、中性子吸収性能への影響はない。よって、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	化学変化	ボロン入りステンレス鋼は表面に不動態膜を形成することから腐食は発生しにくい。また、当材料は外蓋の内部、内容物の底面および粉末収納缶に使用され、輸送中日光や雨に直接さらされることはないため、腐食等による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	疲労	ボロン入りステンレス鋼の使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。

3.本申請に係る設計の主なポイントについて 【12/12】



Nuclear Fuel Industries, Ltd.

3.3 核燃料輸送物の経年変化の考慮(ポリオキシメチレン)

主要材料	経年変化要因	経年変化の評価
ポリオキシメチレン	熱	使用期間中に想定されるポリオキシメチレンの温度範囲 (-40℃～52℃) は、使用可能温度 (-40℃～100℃) の範囲内であり、熱分解等は発生しない。よって熱による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	放射線	使用期間における中性子の累積照射量 ($7 \times 10^{10} \text{n/cm}^2$) 及びガンマ線の累積照射量 ($7 \times 10^1 \text{Gy}$) は、材料強度に影響を与えるとされる中性子照射量 (10^{13}n/cm^2) 及びガンマ線照射量 (10^3Gy) と比較し十分に小さい。よって、放射線照射による経年変化の影響は受けない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	化学変化	ポリオキシメチレンは内容物の内部に使用され、日光や雨に直接さらされることはないため、加水分解や紫外線による分解は発生しない。また、ブロッキングシステムは発送前検査による確認が可能であり、有害な傷、割れ等の異常が確認された場合は交換する。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。
	疲労	ポリオキシメチレンの使用箇所には、内外圧力差や取扱いに起因する応力は生じないため、疲労による経年変化を考慮する必要はない。以上のことから輸送物が規則に定める技術基準に適合していることへの影響はない。