

JMHL-78Y15T型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請に係るコメントへの回答について

本資料は、JMHL-78Y15T型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請に関するヒアリングにて受けたコメント及びその回答をまとめたものである。
以下、表1にヒアリングにて受けたコメント及びその回答を記載する。

表1 JMHL-78Y15T型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計変更承認申請のヒアリングにて受けたコメント及び回答一覧

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
1	(ロ)章A ・ (ロ)章F	経年変化にかかる検討の結果、(ロ)章Fで記載されている考慮内容についてその 具体を(ロ)章Aにて説明すること。(経年変化を踏まえ技術上の基準に対する適合性 評価を行う上で考慮の要否と要とした場合の概略が記載 F.3 項に述べられているの は良い。	考慮内容の具体(計算)を(ロ)章A(A.4.4項、A.5.7項)に追記する。 [REDACTED] 添付1 参照	要
2	(ロ)章A ・ (ロ)章B	密封内容物、密封容器及び格納容器の内圧について、規則第6条第1号の技術上 の基準に運搬中に予想される温度、内圧の変化及び振動等に対し、亀裂破損のないこ とを求めていることから、安全解析書において以下のとおり追記すること。 ①温度の変化について、運搬中予想される温度の範囲を-20℃から38℃としているこ とから、当該の温度の範囲を考慮した熱膨張等の影響について。(A.5.1項) ②温度の変化に伴う内圧の上昇について。(B.4.4項) ③振動について、記載は共振しないこと、緩みのないこと等となっているが、技術上 の基準は亀裂・破損の生じるおそれのないことを求めていることから、固有振動数と 運搬中に予想される入力振動より応答増倍を明らかにした上で、運搬中に予想され る加速度に増倍を考慮した場合にも輸送物の構造健全性が確保されること。(A.4.7 項)	①A.5.1項に熱膨張等の影響に対し、亀裂破損のないことを追記する。 [REDACTED] ② B.4.4項に内圧の変化に対し、亀裂破損のないことを追記する。 [REDACTED] ③ A.4.7項に振動の影響に対し、亀裂破損のないことを追記する。 [REDACTED] 添付2 参照	要
3	(ロ)章A	9m落下評価において構成部品の強度評価基準を旧告示501号等に示されていた材 料強度を一律25%増しとしており、根拠としてORNLの試験レポートが挙げられてい るが、当該のレポートにどのような事が記載され、本輸送物においても適用可能で ることについて説明のこと。	ORNLの試験レポートにて、圧縮応力及び引張応力に係る静的及び動的な応力の関 係性について示されている(Fig.27)。本図にて、動的応力については、 $\sigma_D=4.33 \times 10^5 \text{ } \epsilon + 60000$ 、静的応力については、 $\sigma_S=3.95 \times 10^5 \text{ } \epsilon + 44000$ と示されている。 この定数の関係より((60000-44000)/60000=0.266)、9m落下評価において構成部 品の強度評価基準を25%増しにしているものと考え。 なお、25%増しをしない場合において一部部材にて評価基準を満足できない場合が ある。それら部材については破断しても、密封は担保できることからその旨を申請書 に追記する。	要
4	(ロ)章A	落下時の収納物の評価として支持構造材の評価をもって健全であるとしているこ との正当性について説明のこと	収納物は、試料スペーサにより密封容器内で保持されている。また、[REDACTED] を試料スペーサや収納物の緩衝材として用いている。よって、支持構造材が健全であ ればその収納物も健全であると考え。	要

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
			その旨を申請書に追記する。	
5	(ロ)章B	■■■■■及び■■■■■について前者は最高使用温度■■■■■℃、短期■■■■■℃、後者は■■■■■℃となっているが、これらの根拠について説明のこと。特に前者については、これまで機構が申請、承認を受けた型式と比べ高いこと、また後者についてはいくつかのOリングメーカーのカタログでは最高使用可能温度が■■■■■℃程度としているものもあることから、記載が正しいことについて説明のこと。	B.4.6、B.5.6に示すとおり、Oリングに達する温度が■■■■■℃を超えることから、Oリングの最高使用温度を■■■■■℃（短期■■■■■℃）及び■■■■■℃の記載となっている。 また、高機能ゴム材質のOリングは、使用温度■■■■■℃を超えるものがあるので、当該輸送容器では、最高使用温度を満足させるOリングを使用する。 その旨を申請書に追記する。	要
6	(ロ)章B	(ロ)-第B.14表の「通常時」「一般」について規則条項に則り、記載の適正化を図ること。	(ロ)-第B.14表において、以下のとおり記載の適正化を図る、 ・通常時 → 一般の試験条件（日陰） ・一般 → 一般の試験条件（運搬時最高温度条件）	要
7	(ロ)章B	熱解析モデル：一般及び特別な試験条件において緩衝体の変形を考慮しない方が保守側となるとしていることについてその妥当性について説明のこと。	自由落下試験により緩衝体に変形が生じる。熱解析では、緩衝体に変形し薄くなった場合、緩衝体による放熱抵抗が小さくなり輸送物の温度が低く評価されるため、緩衝体の変形を無視する方が安全側の評価となる。 その旨を申請書に追記する。	要
8	(ロ)章B	熱解析における参考文献において、当該輸送物に関係があるとは思えない文献（中性子遮蔽材）があるので必要な適正化を図ること。	他解析についても、関係のない文献の有無について確認し、適正化を図る。	要
9	各章	今回の申請で、今後輸送する予定のない収納物（F4、F6、F8、F11、F13、F17～F20）を削除したとしても、技術上の基準適合性に関する説明は対象を削除することで変更がないと理解したがその理解で正しいか。すなわち輸送の予定のある収納物の放射線量、線源強度等を求めた上で最も厳しい収納物を解析対象とした、またチャンピオンとなる収納物は予定のない収納物にはないとしたということでの理解は正しいか。	ご理解のとおり、チャンピオンとなる収納物は、予定のない収納物にはない。 ただし、A.6.1.1 垂直落下 2. 底部垂直落下 (8) 試料容器 (A) にて、収納物をF8→F10へと変更しています。評価に必要な試料容器 (A) の重量Wを変更していないため問題無いと考える。	否
10	(ロ)章C	密封について、収納物の健全性は維持されることとして検討が成されているが、支持構造材の健全性を説明することで当該の前提を密封解析で用いることの正当性について説明のこと。	No.4と同様の回答 収納物は、試料スペーサにより密封容器内で保持されている。また、■■■■■を試料スペーサや収納物の緩衝材として用いている。よって、支持構造材が健全であればその収納物も健全であると考える。 その旨を申請書に追記する。	要
11	(ハ)章	密封内容物、密封容器及び格納容器を密封境界としているが、それぞれの気密漏えい試験の方法（手順）を具体的に説明のこと。	回答 添付3 参照 密封内容物 ・セル内でマニプレータを用いた遠隔操作により、密封内容物へカプラを接続する。セル操作室で発送前検査装置により、容器内を 1.07×10^{-4} MPa以下まで真空引きし、30分放置した後、漏えい率が 1.0×10^{-4} std \cdot cm 3 /sを超えないことを確認する。 密封容器 ・サービスエリア（管理区域内）にて、カプラを密封容器へ接続し、圧縮空気又は窒素ガスで0.16MPaGまで加圧し、30分放置した後、漏えい率が 6.94×10^{-3} std \cdot cm 3 /sを超えないことを確認する。 格納容器	要

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
			<ul style="list-style-type: none"> ・サービスイリア（管理区域内）にて、カプラを格納容器へ接続し、圧縮空気又は窒素ガスで0.16MPaGまで加圧し、30分放置した後、漏えい率が6.5std・cm³/sを超えないことを確認する。 上記を申請書に追記する。 	
12	(ロ)章C	気密漏えい試験における合格基準に基づく、一般および特別の試験条件のガス漏えい率算定式に係り一般の試験条件における動粘性係数を最高温度条件の値を用いているが、温度高→動粘性係数低となるため、保守性の確保が可能なのか？	<p>(ロ) -第 B.3 表に示すとおり、温度高→動粘性係数が高くなります。</p> <p>動粘性係数が低い方が、保守性が高くなります（動粘性係数が高い＝伝わりにくい）。</p> <p>動粘性係数と粘性係数の関係は、動粘性係数×密度＝粘性係数</p> <p>上記のとおり、式 C-3 において、最高使用温度における空気の絶対粘性係数は分母にきていますので、温度が低い方が絶対粘性係数が下がり、保守性が高くなります。</p> <p>一方、本評価は燃料装荷状態での評価であり、一般試験条件の状態として行っている。</p>	否
13	(ロ)章C	密封解析において、ソースタームについて、収納物に起因する核種の他、セル内のガス核種、ダスト核種、密封容器、格納容器表面の表面付着による Co-60 を対象としているがこれらの設定根拠について説明のこと。	<p>以下のとおり算出している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・核分裂生成ガス (FPの量×FPガス漏えい率) / 密封容器内の空気容積 ・セル内ガス状核種の汚染濃度 試料内の個別のガス状核種の量 / 試料内のガス状核種の総量 × セル内検出限界 ・セル内ダスト状核種の汚染濃度 試料内の個別の固体状核種の量 / 試料内の固体状核種の総量 × セル内検出限界 ・Co-60による表面汚染密度は、セル内スミヤを採取し実測により求めています。 表面汚染密度 / (3.7E+10×60) × (密封容器表面 / 密封容器内の空気容積) <p>上記を申請書に追記する。</p>	要
14	(ロ)章C	密封解析 C-5 式、C-6 式 ((ロ) -C-24 ページ) の物理的意味を説明のこと。(何故、この式で放射能漏えい量となるのか理解出来ない) ガス中の総濃度 (g/cc) × (対象核種の量 (g) / 全核種の量 (g)) × 対象核種の比放射能 × 体積漏えい量 = 核種の漏えい量となるが、それぞれの式が同じ意味を持つことを説明のこと。	<p>C-5 式及び C-6 式と以下は同じ意味をもつ。</p> <p>ガス中の総濃度 (g/cc) × (対象核種の量 (g) / 全核種の量 (g)) × 対象核種の比放射能 × 体積漏えい量 = 核種の漏えい量</p> <p>C-5 式にて対応箇所を示す。</p> $L_p = (C \times 10^{-6}) \times A_{si} \times (A_{pi} / A_{si}) / (\sum A_{pi} / A_{si}) \times L_x \dots (C-5)$ <ul style="list-style-type: none"> ・ L_p : 核種の漏えい量 ・ $(A_{pi} / A_{si}) / (\sum A_{pi} / A_{si})$: 対象核種の量 / 全核種の量 ・ A_{si} : 対象核種の比放射能 ・ L_x : 体積漏えい量 	否
15	(ロ)章E	臨界解析において、いずれの収納物も最小臨界量を下回る U235 量 Pu であることは理解するもの実効増倍率を算定する上で、収納物のモデル化について水の内部浸入程度の説明となっている。構造解析では収納物支持構造材の健全性評価が成されているが、その健全性のみを説明することで臨界解析の収納物のモデル化が適切であることについて説明のこと。また、核分裂性物質の量のみ (形状が無い) を比較	<p>前提として、いただいたコメントにもあるとおり、本容器に収納する核燃料物質はいずれも臨界質量を十分下まわっており輸送物が単独に存在する場合には未臨界に保たれる。</p> <p>輸送中、孤立系、核分裂性輸送物に係る一般の試験条件下及び特別の試験条件下の孤立系及び配列系に対して共通して適用できるモデルとし、解析モデルの境界条件と</p>	否

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
		して1収納物を代表としていることの正当性について説明のこと。	して完全反射を採用することにより、孤立系及び配列系の別に関係なく無限個の配列を想定したモデルとなっている。 収納物のモデルについては、水の無い状態で核分裂性物質及び形状を変化させるよりも、水を輸送容器内部に侵入させた方が安全側と考える。	
16	(ロ)章G	(ロ)章Gの適合性説明においても、上記の確認事項を踏まえ該当する部分について適正化を行うこと。	上記コメント反映したものを、(ロ)章Gへ追記し、適正化を図る。	要
17	(ロ)章F	巻上装置について、(ロ)章Fで安全評価に影響ない旨、使用前に確認(保守)することなど記載し、経年変化の考慮を必要としないことを説明すること。	「F.2 安全解析における経年変化の考慮の必要性の評価」にて、安全評価に影響ないことの説明を追記する。 [REDACTED] 例 巻上装置は、密封容器を格納容器に装荷するための装置であり、密封境界を担保しているものではない。また、使用前に確認(保守)を行うため、経年変化について考慮しない。	要

※グレーハッチングは、
追記部分を示す。

添付1-1

A.4.4 吊上装置

本項では、吊上装置として格納容器の吊上用トラニオンと支持用トラニオンの強度解析を行う。

各トラニオンはステンレス鋼製であり、一般の試験条件下における解析温度は
■℃である。

1. 吊上用トラニオン

吊上用トラニオンの解析モデル図を(ロ)－第A.5図に示す。

輸送物の吊上重量W (kg) は (イ) 章Cの5項より

$$W = 1.57 \times 10^4 \text{ kg}$$

吊上時の負荷係数を3とすると、トラニオン1個にかかる荷重P (N) は、

$$\begin{aligned} P &= 3 \cdot W \cdot g / 2 \\ &= 3 \times 1.57 \times 10^4 \times 9.807 / 2 \\ &= 2.31 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

(1) 曲げ応力: σ_b (MPa)

$$\sigma_b = \frac{MC}{I}$$

ただし、M : モーメント (N・mm)

C : 中立軸からの距離 (mm)

I : 断面2次モーメント (mm⁴)

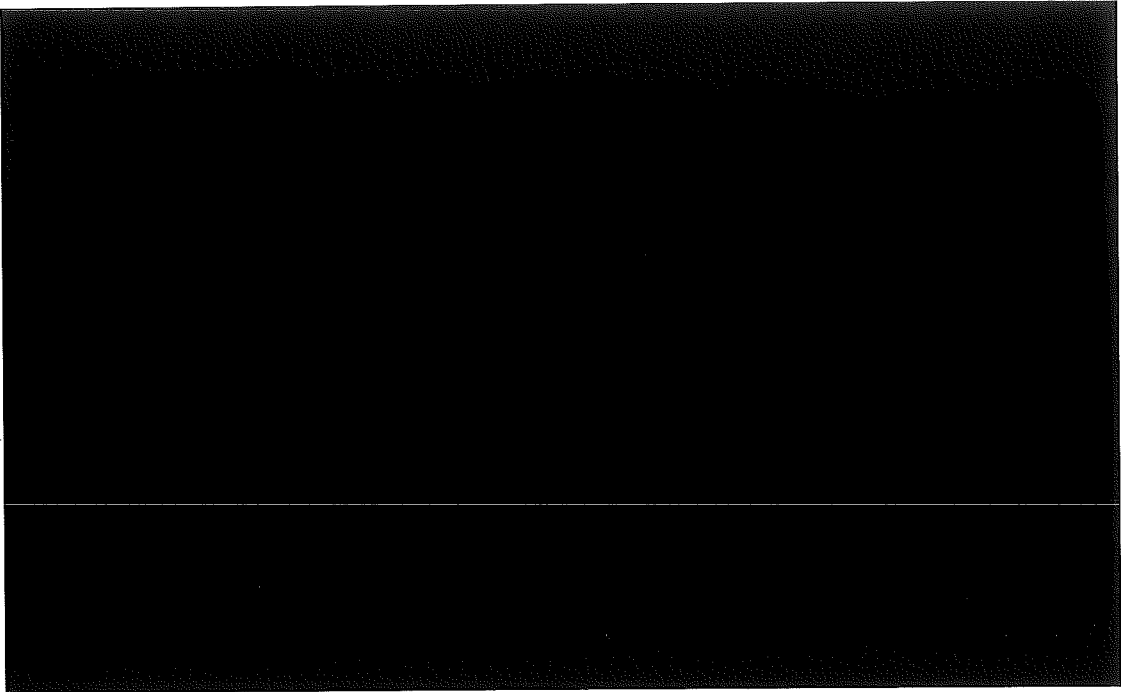
ここで、 $M = P \chi$

P : 荷重 (N)

χ : モーメントのアームの長さ (mm)

$$I = \pi d^4 / 64$$

d : トラニオン外径 (mm)



(ロ) - 第A.5図 吊上用トラニオン解析モデル図

ここで、 $P = 2.31 \times 10^5 \text{ N}$

$$x = \text{■} \text{ mm}$$

$$M = 2.31 \times 10^5 \times \text{■} = \text{■} \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$C = \text{■} \text{ mm}$$

$$d = \text{■} \text{ mm}$$

$$I = \pi \cdot (\text{■})^4 / 64 = \text{■} \text{ mm}^4$$

したがって、

$$\sigma_b = \frac{\text{■}}{\text{■}}$$

$$= \text{■} \text{ MPa}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{■} \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_y / \sigma_b - 1$$

$$= \text{■} - 1$$

$$= \text{■}$$

(2) せん断応力： τ (MPa)

$$\tau = \frac{P}{A}$$

ただし、 P ：荷重 (N)

A ：トラニオンの断面積 (mm^2)

ここで、 $A = \pi \cdot d^2/4$

d ：トラニオンの外径 (mm)

$$P = 2.31 \times 10^5 \text{ N}$$

$$d = \blacksquare \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot (\blacksquare)^2/4 = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2.31 \times 10^5}{\blacksquare} \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料のせん断応力に対する基準値 σ_{sy} (MPa) は、

$$\sigma_{sy} = 0.6 \sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{sy} / \tau - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

(3) 応力強さ： σ (MPa)

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2}$$

ここで、

$$\sigma_b = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\tau = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\blacksquare^2 + 4 \times \blacksquare^2} \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

2. 支持用トラニオン

支持用トラニオンの解析モデル図を(ロ)－第A.6図に示す。

支持用トラニオンは取扱時の輸送物を支える状態で荷重を受ける。支持重量 W (kg)

は(イ)章Cの5項より、

$$W = 1.57 \times 10^4 \text{ kg}$$

支持時の負荷係数を3とすると、トラニオン1個にかかる荷重 P (N)は、

$$\begin{aligned} P &= 3 \cdot W \cdot g / 2 \\ &= 3 \times 1.57 \times 10^4 \times 9.807 / 2 \\ &= 2.31 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

(1) 曲げ応力: σ_b (MPa)

吊上用トラニオンと同様の式で計算する。

すなわち、

$$P = 2.31 \times 10^5 \text{ N}$$

$$x = \blacksquare \text{ mm}$$

$$M = 2.31 \times 10^5 \times \blacksquare = \blacksquare \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$C = \blacksquare \text{ mm}$$

$$d = \blacksquare \text{ mm}$$

$$I = \blacksquare \text{ mm}^4$$

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \frac{\blacksquare}{\blacksquare} \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_y / \sigma_b - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

(2) せん断応力: τ (MPa)

吊上用トラニオンと同様の式で計算する。

すなわち、

$$P = 2.31 \times 10^5 \text{ N}$$

$$d = \blacksquare \text{ mm}$$

$$A = \blacksquare \text{ mm}^2$$

したがって、

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2.31 \times 10^5}{\blacksquare} \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

材料のせん断応力に対する基準値 σ_{sy} (MPa) は、

$$\sigma_{sy} = 0.6 \sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned} MS &= \sigma_{sy} / \tau - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare \end{aligned}$$

(3) 応力強さ: σ (MPa)

吊上用トラニオンと同様の式で計算する。

すなわち、

$$\sigma_b = \blacksquare \text{ MPa}$$

$$\tau = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、

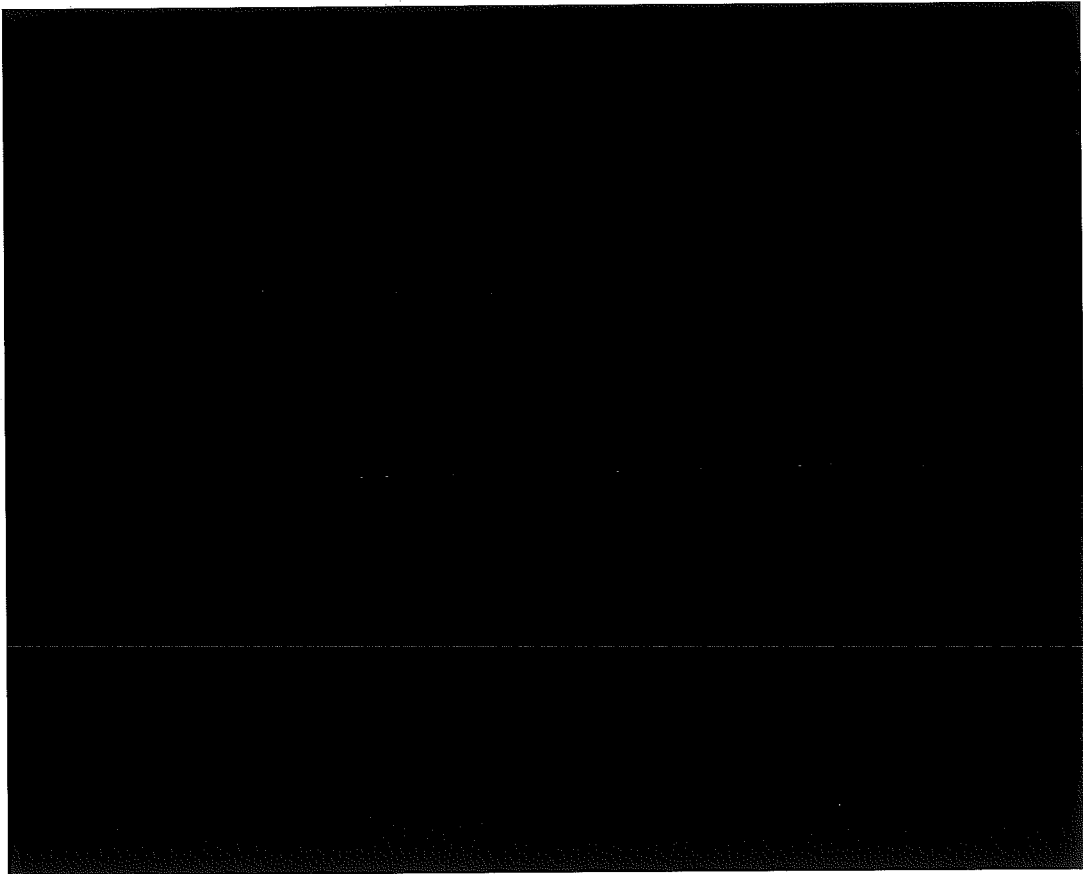
$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\blacksquare^2 + 4 \times \blacksquare^2} \\ &= \blacksquare \text{ MPa}\end{aligned}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \blacksquare \text{ MPa}$$

したがって、余裕率は、

$$\begin{aligned}MS &= \sigma_y / \sigma - 1 \\ &= \blacksquare - 1 \\ &= \blacksquare\end{aligned}$$



(ロ) - 第A. 6図 支持用トラニオン解析モデル

3. 吊上装置（ステンレス鋼）の疲労

吊上装置（吊上用トラニオン及び支持用トラニオン）は、1年で40回取り扱うものとし、使用期間中の想定吊上予定回数は2400回（輸送容器使用期間60年×吊上回数40回/年）となる。上記に示すとおり、吊上用トラニオンに発生する応力強さは■■■■ MPaであり、繰返ピーク応力はその1/2の■■■■ MPaとする。また、支持用トラニオンに発生する応力強さは■■■■ MPaであり、繰返ピーク応力はその1/2の■■■■ MPaとする。SUS304の応力疲労曲線図（S/N線図）²²⁾より、使用回数10000回（保守的な想定）の疲労限度は、■■■■ MPaとなり、繰返しピーク応力を包含している。また、使用回数10000回は、想定される使用回数（2400回）を包含している。以上を踏まえ繰返回数を保守的に設定し、疲労を評価し、疲労破壊が生じないことを確認している。

したがって、輸送容器外板は、 \blacksquare mm以上あれば貫通することはない。本輸送容器外面で最も板厚の薄い部材は緩衝体外板であり \blacksquare mmなので貫通試験に対して輸送容器の健全性が損なわれることはない。

A. 5.6 角又は縁落下

本輸送物は、ステンレス鋼製の円筒形で重量は17 トンであり、角又は縁落下は該当しない。

A. 5.7 結果の要約及びその評価

1. 解析結果の要約

一般の試験条件下における輸送物に対する評価結果の要約を(ロ)－第A. 9表に示す。表に示すように、自由落下試験により緩衝体に永久変形が生じるが、各試験条件下において輸送物各部分は(ロ)章A. 1. 2に定めた基準を満足し構造上の健全性が損なわれることはない。

2. 密封装置（密封容器及び格納容器（ステンレス鋼））の疲労

密封装置（密封容器及び格納容器）は、1年で3回運搬するものとし、使用期間中の現実的な想定繰返回数は180回（輸送容器使用期間60年×運搬回数3回/年）となるが、保守的に200回の応力発生を考慮する。(ロ)－第A. 9表に示すとおり、密封装置に発生する最大応力は底部密封カバーボルトの \blacksquare MPa である。輸送ごとにこの応力が荷重として負荷されるものとする。SUS \blacksquare の応力疲労曲線図（S/N線図）²²⁾より、使用回数10000回（保守的な想定）の疲労限度は、 \blacksquare MPaとなる。そのため、使用回数10000回は、想定される使用回数（200回）を包含している。

以上を踏まえ、繰返回数を保守的に設定し、疲労を評価し、疲労破壊が生じないことを確認している。

(5) A.10.5 参考文献

- 1) [REDACTED]
- 2) “機械工学便覧、材料力学”改訂第6版、日本機械学会編
- 3) L. B. Shappert, J. H. Evans, “Analysis of the Srp 25-Ton Target Tube Cask”, ORNL-TM-3531 (Jan. 1972)
- 4) Timoshenko “Strength of Materials” Part II. 3rd Edition, D. VON Nostrand CO, New York, 1958
- 5) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (昭和55年通産省告示第501号)
- 6) 日本機械学会、“使用済核燃料輸送容器の構造解析プログラムの開発・整備に関する調査報告書(Ⅲ)”, 1985
- 7) JIS G 4303 “ステンレス鋼棒”(1991)
- 8) 日刊工業新聞社 “ステンレス鋼便覧”
- 9) JIS B 8243、“圧力容器の構造”(1981)
- 10) ASME Sec. III Div 1 APPENDICES
- 11) 三菱ゴム株式会社 “ゴムの常識”
- 12) 産業技術センター、“複合材料技術集成”
- 13) 日本ピラー工業㈱、“技術資料 ガasketの選定”(昭和59年)
- 14) 日本鉛亜鉛需要研究会(1975)。“鉛ハンドブック”
- 15) “木材工業ハンドブック(改訂3版)”, 農林水産省林業試験場監修、木材工業ハンドブック編集委員会編集、(昭和57年)
- 16) 欠番
- 17) 試験研究用原子炉施設に関する構造等の技術基準 (平成2年6月1日 科学技術庁原子力安全局内規)
- 18) Battelle Lab., “Structural Alloy Handbook”, Vol. 2, June (1981)
- 19) “IAEA安全基準シリーズ No. ST-1 放射性物質安全輸送規則1996年版解説”、(財)原子力安全技術センター
- 20) 日本機械学会 “発電用原子力設備規格材料規格(2013年追補)”
- 21) 日本原子力学会標準、“使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器の安全設計及び検査基準:2013”
- 22) [REDACTED]

※グレーハッチングは、
追記部分を示す。

添付 2-1

A.5.1.1 熱膨張

本項では輸送容器各部の温度差並びに熱膨張により生ずる応力について検討する。

密封容器は薄肉の中空円筒であり、温度差がつきにくい構造であるから、熱膨張差による変形や応力は無視する。

格納容器は厚肉の中空円筒であり、熱応力の生じやすい構造である。したがって、本項では格納容器の熱応力について検討する。温度差は安全側に \blacksquare °C とした。

厚肉円筒の熱応力は次式で求められる。

$$\sigma_{T_o} = \frac{E \alpha \Delta T}{1 - \nu} \left(\frac{1}{2 \ln(b/a)} - \frac{a^2}{b^2 - a^2} \right)$$

$$\sigma_{T_i} = \frac{E \alpha \Delta T}{1 - \nu} \left(\frac{1}{2 \ln(b/a)} - \frac{b^2}{b^2 - a^2} \right)$$

ただし、 σ_{T_o} : 外面での熱応力 (MPa)

σ_{T_i} : 内面での熱応力 (MPa)

E : 縦弾性係数 (MPa)

α : 線膨張係数 (K⁻¹)

ΔT : 内外面温度差 (K)

ν : ポアソン比

a : 内半径 (mm)

b : 外半径 (mm)

ここで、 $E = \blacksquare$ MPa

$\alpha = \blacksquare$ K⁻¹

$\Delta T = \blacksquare$ °C

$\nu = \blacksquare$

a = \blacksquare mm

b = \blacksquare mm

したがって、

$$\begin{aligned} \sigma_{T_o} &= \blacksquare \\ &= \blacksquare \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{Ti} =$$

$$= \text{MPa}$$

材料の降伏応力 σ_y (MPa) は、

$$\sigma_y = \text{MPa} (\text{ }^\circ\text{C}, \text{ステンレス鋼})$$

したがって、余裕率は、

$$MS = \sigma_y / \sigma_{Ti} - 1$$

$$= \text{ } - 1$$

$$= \text{ }$$

よって、輸送容器各部に亀裂、破損等は生じず健全である。

温度変化 $\text{ }^\circ\text{C}$ による検討を行ったが、運搬中に予想される周囲の温度変化 58°C (-20°C から 38°C) を考慮した場合の応力強さは、

$$\sigma =$$

$$= \text{MPa}$$

(ロ) 第A.2表より、ステンレス鋼 (常温) の降伏応力を MPa とする。

余裕率は、 $MS =$

$$=$$

となる。したがって、輸送容器各部に亀裂、破損等は生じず健全である。

B.4.4 最大内圧 (1) 密封容器の圧力 以下を追記する。

密封容器の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化

密封容器の運搬中に予想される周囲の温度変化 (-20°Cから38°C) を考慮した場合の内圧は次のとおりとなる。

-20°Cの環境で燃料を収納し、38°Cの日陰 (屋内) の環境下で調圧 (大気圧: P₁) を行う。この時の輸送容器内の温度 (T₁) は、(ロ) 第B.14表の日陰の温度のうち、収納物 (■°C) から周囲の温度変化58°C (-20°Cから38°C) を引いた■°Cとなる。

その後、太陽輻射熱を受けた時における内部空気の最高温度 (T₂) が■°Cとなる。

$$(P_1 \cdot V_1) / T_1 = (P_2 \cdot V_2) / T_2$$

$$P_2 = (P_1 \cdot V_1 \cdot T_2) / (V_2 \cdot T_1)$$

P₁ : 運搬中の内圧 (大気圧) = 0.1013 (MPa abs)

V₁ : 運搬中の内部空気容器 (m³)

T₁ : 輸送容器内の温度 : ■+273=■(K)

P₂ : 太陽輻射を受けた時の最大内圧 (MPa abs)

V₂ : 太陽輻射を受けた時の内部空気容積 (m³)

T₂ : 太陽輻射を受けた時の温度 : ■+273=■(K)

上式に各々を代入し、V₁=V₂とすると、最大内圧P₂は次のようになる。

$$P_2 = (P_1 \cdot T_2) / T_1$$

$$= (0.1013 \times \text{■}) / \text{■}$$

$$= \text{■} \text{ (MPa abs)}$$

密封容器の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化は、■ MPa absの最高圧力内に包含される。

B.4.4 最大内圧 (2) 格納容器の圧力 以下を追記する。

格納容器の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化

格納容器本体の運搬中に予想される周囲の温度変化 (-20°Cから38°C) を考慮した場合の内圧は次のとおりとなる。

-20°Cの環境で燃料を収納し、38°Cの日陰(屋内)の環境下で調圧(大気圧: P_1)を行う。この時の輸送容器内の温度(T_1)は、(ロ)―第B.14表の日陰の温度のうち、密封容器温度(■°C)と格納容器内面(44°C)の平均温度■°Cと周囲の温度変化58°C(-20°Cから38°C)を引いた■°Cとなる。

その後、太陽輻射熱を受けた時における内部空気の最高温度(T_2)は、密封容器温度(■°C)と格納容器内面(■°C)の平均温度■°Cとなる。

$$(P_1 \cdot V_1) / T_1 = (P_2 \cdot V_2) / T_2$$

$$P_2 = (P_1 \cdot V_1 \cdot T_2) / (V_2 \cdot T_1)$$

P_1 : 運搬中の内圧(大気圧) = 0.1013 (MPa abs)

V_1 : 運搬中の内部空気容器 (m^3)

T_1 : 輸送容器内の温度: ■+273=■ (K)

P_2 : 太陽輻射を受けた時の最大内圧 (MPa abs)

V_2 : 太陽輻射を受けた時の内部空気容積 (m^3)

T_2 : 太陽輻射を受けた時の温度: ■+273=■ (K)

上式に各々を代入し、 $V_1 = V_2$ とすると、最大内圧 P_2 は次のようになる。

$$P_2 = (P_1 \cdot T_2) / T_1$$

$$= (0.1013 \times \text{■}) / \text{■}$$

$$= \text{■} \text{ (MPa abs)}$$

格納容器本体の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化は、(ロ)―第B.15表に示す格納容器本体の圧力(■ MPa abs)に包含される。

B.6.2 3. 2最大内圧 以下を追記する。

密封内容器の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化

密封内容器の運搬中に予想される周囲の温度変化（-20℃から38℃）を考慮した場合の内圧は次のとおりとなる。

-20℃の環境で燃料を収納し、38℃の日陰（屋内）の環境下で調圧（大気圧： P_1 ）を行う。この時の輸送容器内の温度（ T_1 ）は、(ロ)―第B.23表の日陰の温度のうち、収納物（ \blacksquare ℃）から周囲の温度変化58℃（-20℃から38℃）を引いた \blacksquare ℃となる。

その後、太陽輻射熱を受けた時における内部空気の最高温度（ T_2 ）が \blacksquare ℃となる。

$$(P_1 \cdot V_1) / T_1 = (P_2 \cdot V_2) / T_2$$

$$P_2 = (P_1 \cdot V_1 \cdot T_2) / (V_2 \cdot T_1)$$

P_1 ：運搬中の内圧（大気圧）=0.1013 (MPa abs)

V_1 ：運搬中の内部空気容器 (m^3)

T_1 ：輸送容器内の温度： \blacksquare +273= \blacksquare (K)

P_2 ：太陽輻射を受けた時の最大内圧 (MPa abs)

V_2 ：太陽輻射を受けた時の内部空気容積 (m^3)

T_2 ：太陽輻射を受けた時の温度： \blacksquare +273= \blacksquare (K)

上式に各々を代入し、 $V_1=V_2$ とすると、最大内圧 P_2 は次のようになる。

$$P_2 = (P_1 \cdot T_2) / T_1$$

$$= (0.1013 \times \blacksquare) / \blacksquare$$

$$= \blacksquare \text{ (MPa abs)}$$

密封内容器の運搬中に予想される周囲の温度変化を考慮した内圧の変化は、 \blacksquare MPa absの最高圧力内に包含される。

A.4.6 圧力

本輸送容器の密封内容器、密封容器及び格納容器の内圧は、最大内圧の項（（ロ）章B.4.4、（ロ）章B.6.2の4.2）で求めたように、一般の試験条件下において絶対圧力として、それぞれ最大 [redacted] MPa, [redacted] MPa, [redacted] MPaの圧力が生ずる。一方これらの容器に対する耐圧強度計算は、（ロ）章A.5.1.3「応力計算」の項で示されているように、安全側に外気圧を0 kPaとして行われており、健全性が確認されている。

したがって、外気圧が100 kPaから60 kPaまで減少したとしても、差圧は40 kPaであり本輸送容器の健全性が損なわれることはない。

A.4.7 振動

本輸送物の固有振動数を求める。解析モデルを（ロ）-第A.9図に示す。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}}$$

ただし、 λ : 振動数係数

ℓ : 長さ (cm)

E : 縦弾性係数 (MPa)

I : 断面二次モーメント (cm⁴)

γ : 単位体積の重さ (N/cm³)

A : 断面積 (cm²)

g : 加速度 (cm/s²)

ここで、 $\lambda = \pi$ (両端支持の一次固有振動に対する定数)

$$\ell = [redacted] \text{ cm}$$

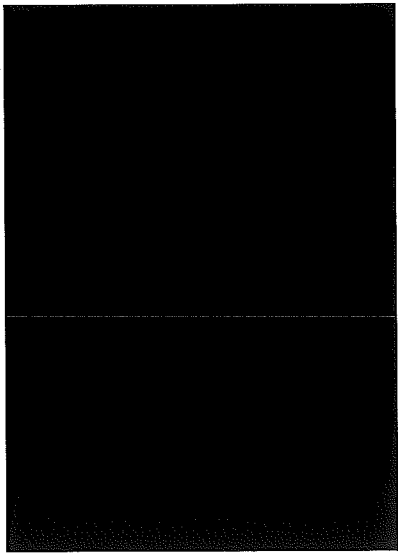
$$E = [redacted] \text{ N/cm}^2 \text{ ([redacted] } ^\circ\text{C、ステンレス鋼)}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times ([redacted]) = [redacted] \text{ cm}^4$$

$$\gamma = [redacted] \text{ N/cm}^3$$

$$A = [redacted] \text{ cm}^2$$

$$g = 980.7 \text{ cm/s}^2$$



(ロ)-第A.9図
振動解析モデル

したがって、

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi \times \blacksquare} \times \sqrt{\blacksquare \times 980.7}$$

$$= \blacksquare \text{ Hz}$$

輸送物の輸送中に受ける振動域は大部分0から10 Hzの範囲であり、上記の固有振動数は十分大きく共振を生ずることはなく、各締付ボルト等も、輸送中ゆるむことはない。

本輸送物の固縛装置は、(ロ)章A.4.5で示したように、2 g (垂直下方向については3 g) の加速度が加わっても健全性を保つ。また、特別の試験条件「落下試験 I (9 m落下)」において負荷される加速度に比べ、実際の輸送中に発生する振動による加速度は十分小さく輸送物が亀裂、破損することはない。

なお、収納物は、密封容器内に試料スペーサ、あるいは試料容器により保持されているので振動による移動等はおこらない。

以上の結果より、通常の輸送における輸送物の要件に対する評価結果の要約を(ロ)一第A.6表に示す。

気密漏えい検査方法

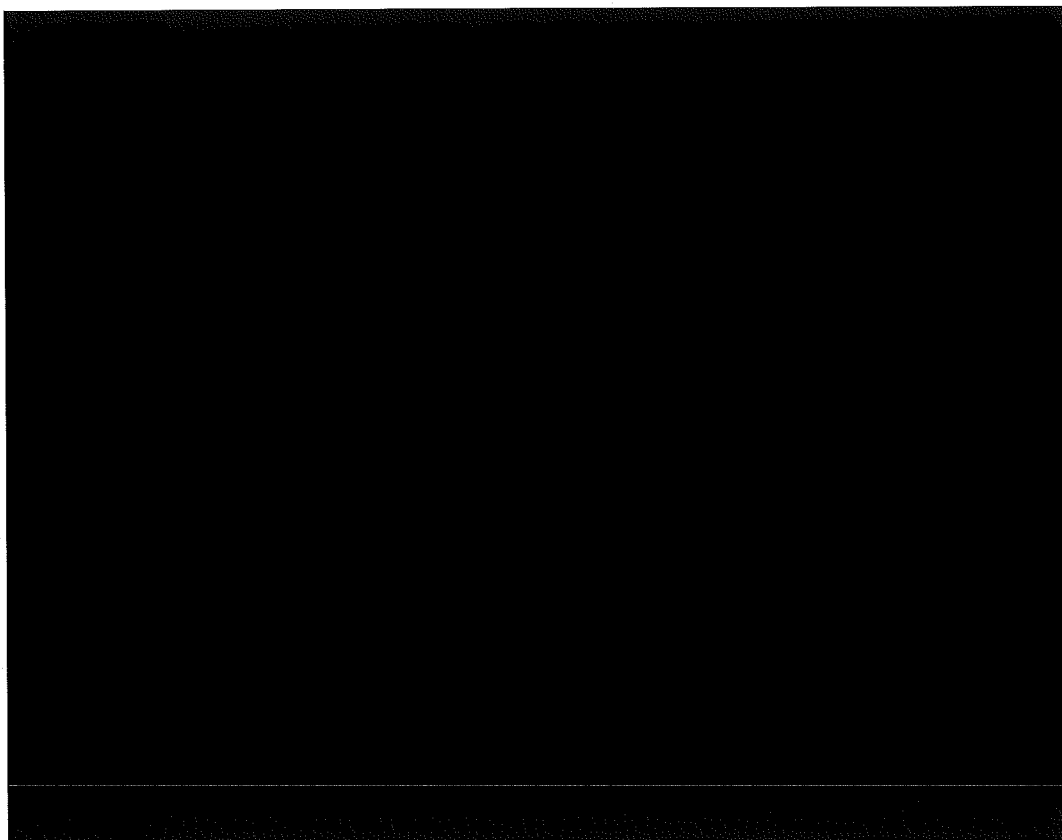
格納容器、密封容器及び密封内容器の気密漏えい検査方法を以下に示す。

1) 格納容器

- ・ 空気漏洩えい試験装置を用いて、加圧法により漏えい検査を行う。
- ・ 空気漏えい試験装置に格納容器蓋シール部の漏えい試験用カップラと既設圧縮空気配管のカップラを接続する。
- ・ 圧縮空気にて、試験圧力 (0.16MPa) 以上まで加圧した後、系内を 30 分以上密封放置し系内の圧力低下率を計測する。
- ・ 下記の漏えい率算出方法により、格納容器蓋シール部の漏えい率が判定基準である $6.5 \text{ std} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$ を超えないことを確認する。
- ・ 漏えい率は、(ロ) 章 C. 3. 1. 1 の 3. 格納容器の式を用い算出する。

2) 密封容器

- ・ 空気漏えい試験装置を用いて、加圧法により漏えい検査を行う。
- ・ 空気漏えい試験装置に対象容器蓋シール部の漏えい試験用カップラ及び既設圧縮空気配管のカップラを接続する。
- ・ 圧縮空気にて、試験圧力 (0.160MPa) 以上まで加圧した後、系内を 30 分以上密封放置し系内の圧力低下率を計測する。
- ・ 下記の漏えい率算出方法により、容器蓋シール部の漏えい率が判定基準である 6.94×10^{-3} std·cm³/s を超えないことを確認する。
- ・ 漏えい率は、(ロ) 章 C.3.1.1 の 2. 密封容器の式を用い算出する。



3) 密封内容器

- ・ 空気漏えい試験装置を用いて、真空法により漏えい検査を行う。
- ・ 密封内容器をコンクリートセル内へ搬入する。
- ・ セル内に設置されている閉止フランジを漏えい検査用カプラ付フランジと取替える。また、密封内容器のキャップを取外し、カプラと漏えい検査用フランジを接続する。
- ・ 操作室のコンクリートNo.1セル前に空気漏えい試験装置を設置し、真空配管及び電源等を接続する。
- ・ 空気漏えい試験装置の各電源の「投入」、真空ポンプ「起動」、バルブの「開」操作を行い、装置内が真空になることを確認する。
- ・ 密封内容器附属バルブを「開」操作を行い、空気漏えい試験装置にて系内圧力を 1.07×10^{-4} MPa 確認後、系内を 30 分以上密閉放置し系内の圧力上昇率を計測する。
- ・ 下記の漏えい率算出方法により、容器蓋シール部の漏えい率が判定基準である 1.0×10^{-4} std·cm³/s を超えないことを確認する。
- ・ 漏えい率は、(ロ)章C.3.1.1の2. 密封内容器の式を用い算出する。

