

NFT-14P 型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計承認申請に係るコメントへの回答について

本資料は NFT-14P 型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計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回答を記載する。

表 1 NFT-14P 型核燃料輸送物の核燃料輸送物設計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	(口) 章 F	ふっ素ゴムの累積照射量が評価期間 1 年で $2.0 \times 10^4 \text{Gy}$ という値は、他部材の 60 年評価と比較しても直感的に大きい印象がある。また、ふっ素ゴムの基準値が $6 \times 10^4 \text{Gy}$ (機械的特性の変化に伴う密封性能への影響) と設定されており、評価値と差が小さく安全マージンが小さいように見える。累積照射線量の数値を再確認の上で、この評価の保守性について説明すること。	p. 4 に回答を示す。	—
2	(口) 章 F	材料に影響を与える温度としてクリープによる変形がない温度が記載されているが、これら温度の出典や考え方について説明すること。 また、銅は評価値 (160℃) が基準値 (170℃) に対して余裕がない。保守性をどのように考えているのか説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・クリープによる変形を生じる材料温度は、一般に純金属の場合は融点の 1/3 付近となり、実用鋼では種々の因子により強化されているため、融点の 1/3 まではクリープによる変形は生じないと言われており¹⁾、当該知見に基づきクリープによる変形を考慮する必要のない範囲を設定している。その旨を説明するよう、(口)-第 F. 2 表の熱的劣化に関する記載を見直す。 1) 田中良平, “耐熱鋼のクリープ特性の評価について”, 圧力技術, 第 16 巻, 第 2 号, p. 87-95, (1978) なお、各材料の融点の出典は以下のとおり。 ○ステンレス鋼及びボロン入りステンレス鋼 ステンレス協会編, “ステンレス鋼便覧(第 3 版)”, 日刊工業新聞社, p. 1428, (1995) ○炭素鋼及び合金鋼 (社) 日本金属学会編, “金属便覧(改訂 6 版)”, 丸善株式会社, p. 475, (2000) ○銅 (社) 日本機械学会, “伝熱工学資料(改訂第 4 版)”, p. 314, (1986) ・銅は伝熱フィンに使用されている。一般の試験条件における熱解析において、伝熱フィンの温度は、輸送容器に収納された燃料より発生する崩壊熱を軸方向に断熱とした輪切り半ピッチモデルを用いており、評価は大きな保守性を有している。 	要

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
3	(口)章D	<p>レジン減損量について、他社は減損評価式で得た減損量を切り上げた値を用いて遮蔽評価を実施している。対して、NFT-14P 型では減損評価式で得た減損量そのままの値を用いて遮蔽評価を実施している。</p> <p>この評価の保守性について説明すること。</p>	<p>実際の中性子遮蔽材充填空間は密封系^{注1)}であるが、評価上は保守的に閉鎖系^{注2)}とみなしレジン減損量を算出している。また、レジンは輸送容器の半径方向に温度分布があるが、レジン減損量の評価においては、レジン全体が一般の試験条件の最高温度(158℃)になると仮定した条件で評価を行っている。さらに、NFT-14P 型は輸送容器であるため、実際には使用予定年数の連続熱暴露は起こりえないが、最大発熱量の燃料が60年間装荷されているものとして、60年間の連続熱暴露として評価を行っている。</p> <p>以上より、レジン減損量評価は大きな保守性を有している。</p> <p>注1) レジンから放出された水蒸気等のガス成分が系内で飽和し、レジンの分解反応が平衡に達する体系</p> <p>注2) 試験圧力は大気圧相当で、発生した水蒸気等のガス成分は放出されるものの、外部からの酸素の供給を制限した体系であり、レジンの分解反応が平衡とならない体系²⁾</p> <p>2) (財)原子力発電技術機構, “平成14年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(金属キャスク貯蔵技術確証試験)報告書(1/2)”, (2003)</p>	—
4	(口)章F	<p>以下の記載があるが、「軽水炉の運転中の一次冷却水温度に対して十分に低いため」では説明が十分ではないように思う。文献5)の内容も含め、十分な説明を行うこと。</p> <p>【現行の記載】</p> <p>本輸送物では、輸送容器内部は内水平均温度が180℃未満であり、軽水炉の運転中の一次冷却水温度に対して十分に低いため、腐食の影響はない⁵⁾。</p>	<p>説明の拡充を図るため、(口)-第F.2表のステンレス鋼の化学的劣化に関する記載を以下のとおり見直す。</p> <p>【記載の見直し案】</p> <p>本輸送物では、一般の試験条件下において輸送容器内部は内水平均温度が180℃未満、内筒内圧1.39MPaGであり、運転中の加圧水型原子炉の一次冷却水の環境条件(電気出力1100MWe級の例:温度約325℃、圧力15.4MPaG程度)に比べて十分に低い。加圧水型原子炉の運転上でステンレス鋼の腐食が問題とならないことが運転実績より確認されていることから、加圧水型原子炉の一次冷却水より環境条件が厳しくない本輸送物において、ステンレス鋼の腐食の影響はない⁵⁾。</p>	要
5	(口)章B	<p>評価上の仮定として以下の記載がある。</p> <p>【現行の記載】</p> <p>一般の試験条件下では、緩衝体に変形していないとする方が収納物及び緩衝体の最高温度を高く評価できる。したがって、緩衝体には変形がないものとし、38℃の環境に1週間放置したものとして一般の試験条件下の熱解析を行う。</p> <p>緩衝体の変形を考慮しないことが、収納物の最高温度を高く評価する上で適切な設定であることは理解できる。一方で、緩衝体表面について、法令上要求されている表面温度85℃以下であることを確認する上では緩衝体の変形を考慮する方が、熱源との距離が短くなるので保守的な評価となるのではないか。</p> <p>緩衝体の変形を考慮しない評価が、緩衝体表面の温度が85℃に達しないことを十分に評価できていることへの考え方(緩衝体の変形を考慮しない仮定の妥当性)について説明すること。</p>	<p>p.5及びp.6に回答を示す。</p>	—
6	(口)章A	<p>トランニオンの応力評価に使用する負荷係数3の根拠について説明すること。</p>	<p>負荷係数の根拠は、米国NRCの10CFR71「Packaging and Transportation of Radioactive Material」である。当該NRC文章の§71.45 Lifting and tie-down standards for all packagesに基づき、負荷係数3としている。</p>	—

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント	回答	修正の 要否
7	(口) 章 A	NFT-14P 型のレジンカバーの形状は八角形である。一方で、応力計算モデルは R-Z モデルであり円筒形として評価されている。実形状と異なる評価モデルで、レジンカバーを評価していることの方について説明すること。	NFT 型輸送容器のレジンカバーは、通常時及び一般の試験条件時において中性子遮蔽材であるレジンを保持することを目的とする部材である。過去の試験結果 ³⁾ から、レジンカバーのレジン保持機能は維持され、輸送容器の安全性には影響がないことが確認されているため、解析モデル上は、単純に円筒形状でモデル化している。 なお、類似設計の核燃料輸送物の落下解析において、解析モデル上、レジンカバーを円筒として単純化していたことから、本申請においても、その解析手法を踏襲した。 3) 	—
8	(口) 章 A	NFT-14P 型の 9m 水平落下ではトラニオンが接地することによる衝撃力が生じる。一方で、9m 水平落下評価の荷重条件では、トラニオンからの荷重が示されていない。この妥当性について説明すること。	トラニオンの接地事象に対して、以下のとおり落下評価を行っており、輸送容器の安全性には影響がない。 ・ 9m 水平落下時において、トラニオンの接地による衝撃力は瞬間的かつ局所的に発生するものの、トラニオンがせん断破壊した後はトラニオン部からの荷重は発生しない。 ・ 上記の事象を考慮し、9m 水平落下時の構造解析では、蓋及び本体へ作用する荷重が最も大きくなるようにフィン及び緩衝体からの荷重が最大となる状態(最大変形状態)を想定し、保守的な評価となるようにトラニオン接地時の加速度を静的に与えている。 ・ NFT-14P 型輸送容器の実規模モデルを用いた 9m 水平落下試験((口) 章 A. 10. 6)において、トラニオンが接地して変形し、瞬間的かつ局所的にトラニオンからの荷重が作用しても NFT-14P 型輸送容器の構造健全性が維持されることが確認されている。 また、上述の荷重条件及び境界条件に基づき実施した解析評価値が、落下試験の結果として得られた値を上回ることが確認されていることから、9m 水平落下時の解析で考慮している荷重条件及び境界条件は妥当である。	—
9	(口) 章 A	・ 17×17 燃料による本試験の結果と、14×14 燃料及び 15×15 燃料の構造上の違いを考慮しても同様に破損がないことをどのように関連付けしているのか。17×17 型の試験体の代表性について説明すること。 ・ A 型及び B 型の違いをどのように考慮した試験体であるのか、その理由について説明すること。 ・ 燃料集合体のグリッド間隔が下部より上部の間隔が長いことを踏まえた上で、臨界評価で下部側の 1 スパン拡大を考慮していることの妥当性について説明すること。	p. 7 及び p. 8 に回答を示す。	—
10	(口) 章 A	別型式をベースとした落下試験体を用いた試験をもって、フランジの剛性比や荷重比率を用いて NFT-14P 型の実証として妥当としているが、衝撃吸収する放熱フィンの長さの違いや本体胴部の構造上の違い(一体か多層)を考慮しても、この考え方が妥当であることについて補足説明すること。	p. 9 から p. 11 に回答を示す。	要

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント
1	(ロ)章 F	ふっ素ゴムの累積照射量が評価期間1年で $2.0 \times 10^4 \text{Gy}$ という値は、他部材の60年評価と比較しても直感的に大きい印象がある。また、ふっ素ゴムの基準値が $6 \times 10^4 \text{Gy}$ (機械的特性の変化に伴う密封性能への影響)と設定されており、評価値と差が小さく安全マージンが小さいように見える。 累積照射線の数値を再確認の上で、この評価の保守性について説明すること。

(回答)

ふっ素ゴムの放射線照射による劣化の評価では、蓋部Oリング、水位調整用加圧バルブOリング、ベント・水位調整バルブOリング及びベントバルブOリングを対象とし、最も累積照射量が高いベント・水位調整バルブOリングの評価結果を安全解析書へ記載している。

評価したふっ素ゴムの累積照射量の数値に間違いはないことを再確認した。また、ふっ素ゴムの累積照射量の評価には以下の保守性を有しており、ふっ素ゴムの健全性に問題はない。

<評価の保守性>

- ・累積照射量の評価期間は、保守側に1年間の連続照射を考慮している。
- ・ふっ素ゴムの累積照射量の最大値とした評価点は、ベント・水位調整バルブのふっ素ゴムが設置されている位置を含む範囲の中で最大値となる位置であり、実際のふっ素ゴムの設置位置に対して保守的な累積照射量となっている。(図1参照)

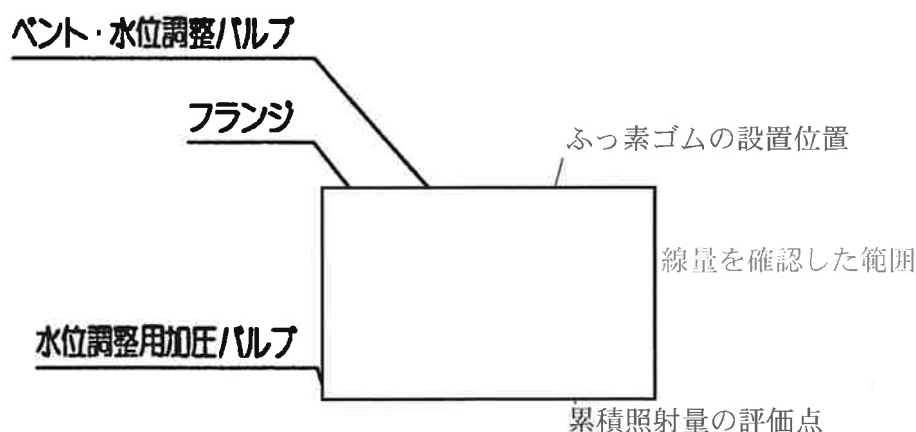


図1 ベント・水位調整バルブの累積照射量の評価範囲とふっ素ゴムの設置位置

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント
5	(口) 章 B	<p>評価上の仮定として以下の記載がある。</p> <p>【現行の記載】</p> <p>一般の試験条件下では、緩衝体に変形していないとする方が収納物及び緩衝体の最高温度を高く評価できる。したがって、緩衝体には変形がないものとし、38℃の環境に1週間放置したものとして一般の試験条件下の熱解析を行う。</p> <p>緩衝体の変形を考慮しないことが、収納物の最高温度を高く評価する上で適切な設定であることは理解できる。一方で、緩衝体表面について、法令上要求されている表面温度85℃以下であることを確認する上では緩衝体の変形を考慮する方が、熱源との距離が短くなるので保守的な評価となるのではないか。</p> <p>緩衝体の変形を考慮しない評価が、緩衝体表面の温度が85℃に達しないことを十分に評価できていることの方(緩衝体の変形を考慮しない仮定の妥当性)について説明すること。</p>

(回答)

緩衝体表面の最高温度76℃((口)-第B.23表参照)は、図2に示すように、下部緩衝体の近接防止金網近傍を評価点としている。

当該部の温度評価に際しては、緩衝体の変形を考慮した場合には最高温度評価点と環境温度(38℃)との境界が近くなることから、緩衝体の変形を考慮しない場合に比べて評価点の温度は低くなるのが考えられる。

よって、人が容易に近づくことができる表面のうち緩衝体表面の最高温度が85℃を超えないことの確認に際しては、緩衝体の変形を考慮しない場合の方が保守的であり、妥当な評価となる。

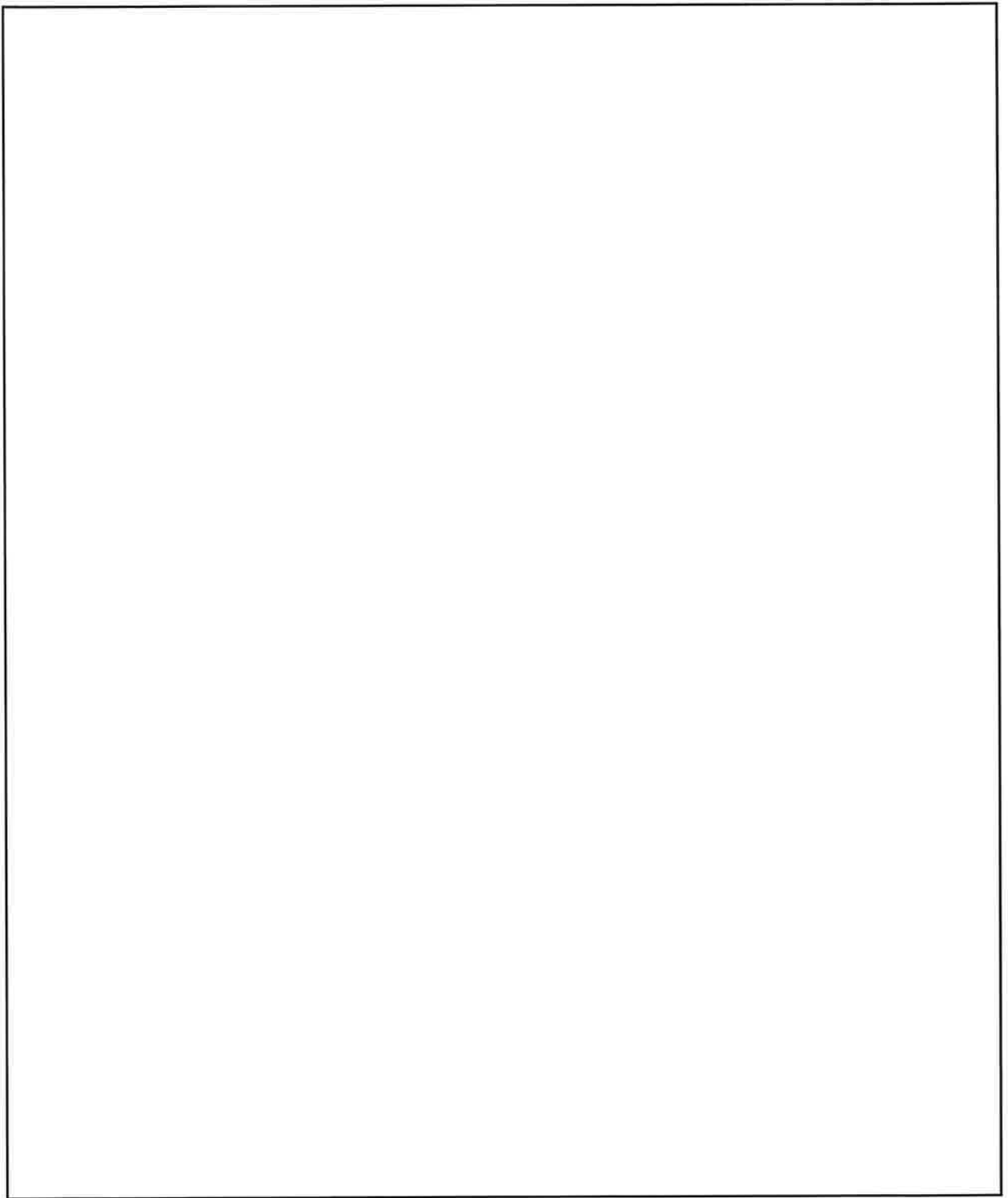


図2 通常時(太陽熱放射：なし)における全体モデル温度分布
(口)-第B.6図に情報を追加)

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント
9	(ロ) 章 A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 17×17 燃料による本試験の結果と、14×14 燃料及び 15×15 燃料の構造上の違いを考慮しても同様に破損がないことをどのように関連付けしているのか。17×17 型の試験体の代表性について説明すること。 ・ A 型及び B 型の違いをどのように考慮した試験体であるのか、その理由について説明すること。 ・ 燃料集合体のグリッド間隔が下部より上部の間隔が長いことを踏まえた上で、臨界評価で下部側の 1 スパン拡大を考慮していることの妥当性について説明すること。

(回答)

実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験における 17×17 燃料の試験体の代表性は以下のとおりである。

- ・ (ロ) 章 A. 10. 4 に示す実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 頭部垂直落下及び 9m 底部垂直落下試験の結果より、臨界評価に影響する燃料集合体幅の拡大は、最大で約 2mm 程度と僅かであり、垂直落下時には燃料被覆管の曲げによる変形ではなく、圧縮変形が主体であると考えられる。
- ・ また、(ロ) 章 A での燃料被覆管の強度評価結果では、17×17 燃料に比べて 14×14 燃料及び 15×15 燃料に発生する応力 (落下衝撃による圧縮応力及び内圧による各方向応力を合成した応力強さ) の方が大きいですが、これは 14×14 燃料及び 15×15 燃料は内圧による発生応力が 17×17 燃料より大きいためである。
- ・ 落下衝撃に対して燃料被覆管の変形に影響する圧縮による発生応力を大きくする観点から、燃料被覆管の断面積が他の燃料タイプより小さい 17×17 燃料を代表型式として、燃料被覆管の健全性を確認するための落下試験を実施することは妥当である。
- ・ なお、(ロ) 章 A. 10. 4 に示すように 9m 水平落下では模擬燃料集合体幅は縮小する結果となっており、臨界評価の観点では、14×14 燃料、15×15 燃料又は 17×17 燃料のいずれを代表としても問題ない。

A 型及び B 型燃料の違いによる影響については、以下のとおり確認できており、燃料健全性を確認している。

- ・ (ロ) 章 A. 10. 4 に示す実機大スケール模擬燃料集合体を用いた 9m 落下試験に先立ち、実機大スケール落下試験として、上・下部スツールを装荷しない条件での A 型及び B 型燃料 (17×17 型) の 9m 底部垂直落下を実施している。試験の結果、A 型の模擬燃料集合体の方が B 型よりも変形量が多いことを確認できたことから、9m 底部垂直落下に対しては、上・下部スツールを装荷した条件による A 型燃料の健全性を確認した。
- ・ 9m 頭部垂直落下に対しては、上・下部スツールを装荷した条件による A 型及び B 型燃料の健全性を確認した。

- ・9m 水平落下に対しては、燃料集合体と上・下部スツールの間での荷重伝達は軽微であることから上・下部スツールを装荷しない条件の9m 底部垂直落下における17×17 燃料を代表とする考え方を踏まえ、A 型燃料(17×17 型)の健全性を確認した。

また、臨界評価で下部側の1 スパン拡大を考慮していることの妥当性は以下のとおりである。

- ・実機大スケール模擬燃料集合体を用いた落下試験の結果、拡大変形範囲は落下方向最下部の1 スパンであった。
- ・頭部垂直落下時の燃料集合体の最上部のグリッド間には、燃料棒のプレナム部(UO₂ペレットのない領域)の領域が含まれていることから、グリッド間にプレナム部がない底部垂直落下の下部側に対して、1 スパン拡大を考慮した臨界評価を行うことは妥当である。(図3 参照)

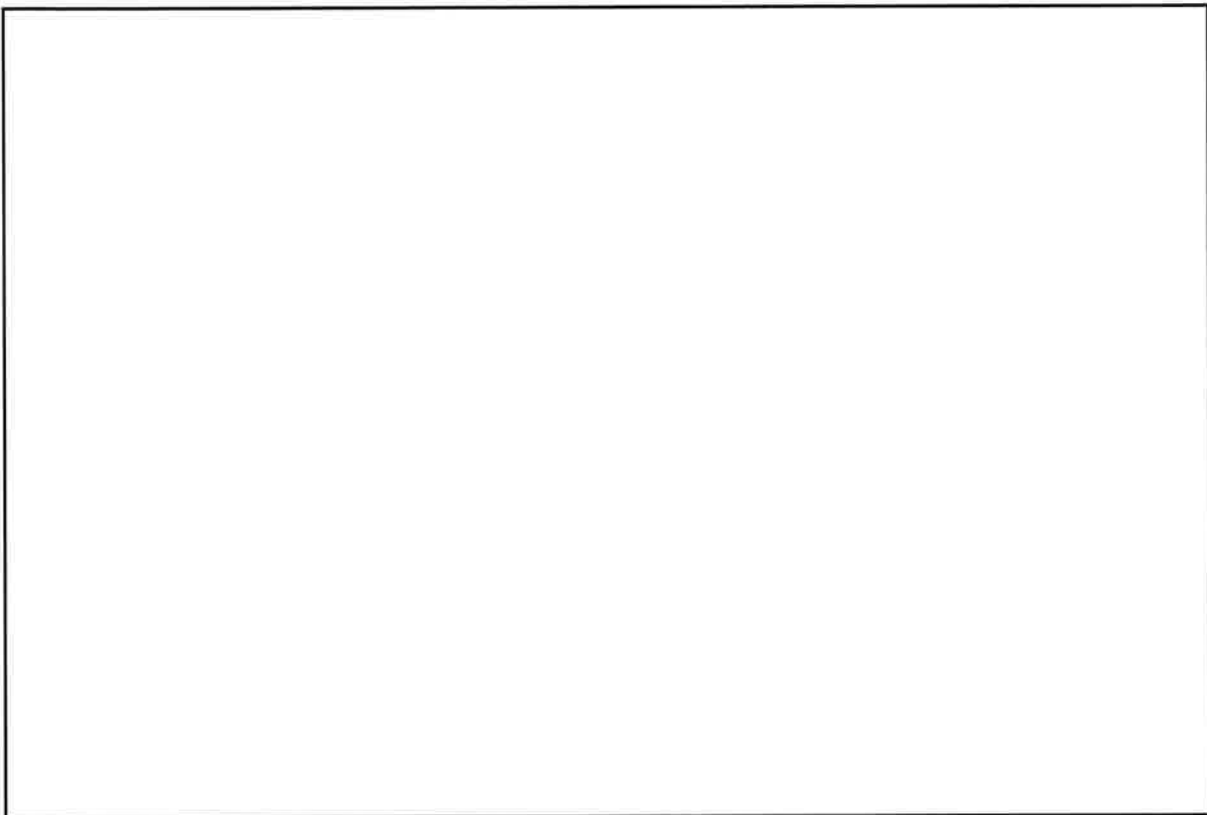


図3 燃料集合体のグリッドと燃料棒の位置

No.	該当箇所	ヒアリングでのコメント
10	(口) 章 A	別型式をベースとした落下試験体を用いた試験をもって、フランジの剛性比や荷重比率を用いて NFT-14P 型の実証として妥当としているが、衝撃吸収する放熱フィンの長さの違いや本体胴部の構造上の違い(一体か多層)を考慮しても、この考え方が妥当であることについて補足説明すること。

(回答)

(口) 章 A. 10. 7 の傾斜落下試験に適用した落下試験体は、NFT-14P 型との構造の違いを踏まえて以下のように考えることができる(図 4 参照)。この説明及び考え方を反映するため、(口) 章 A. 10. 7 の記載を見直すこととする。

・ 図 4 赤枠箇所

緩衝体に入力された荷重が輸送容器の蓋部又は底部に伝達される構造であることは、落下試験体と NFT-14P 型で同様である。また、密封境界を構成する蓋・フランジ部の構造は、リング状のフランジに蓋が嵌合する構造であり、落下試験体と NFT-14P 型で同様である。そのため、水平落下を含め傾斜落下時の緩衝体からの荷重は、フランジを通して、蓋の嵌合部から蓋に伝達することとなり、NFT-14P 型と落下試験体の荷重の伝達経路も同じであることから、落下試験体の結果を NFT-14P 型へ適用することができる。

・ 図 4 緑枠箇所

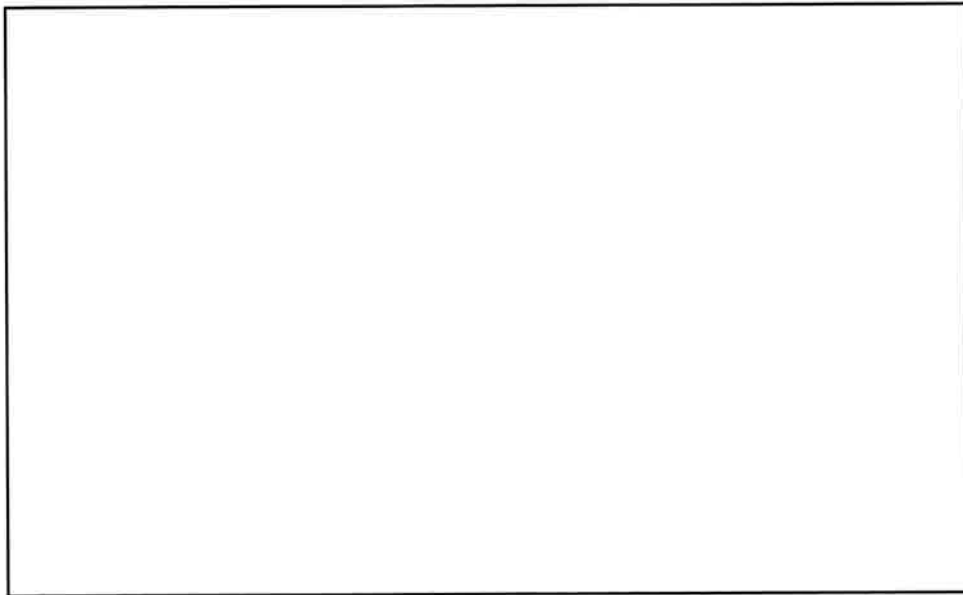
落下試験体の胴中央部は一体構造である一方で、NFT-14P 型の胴中央部は図 4 に示すように三層構造となっている。この三層構造は、内側から内筒、鉛(ガンマ線遮蔽体)及び中間筒で構成され、内筒及び中間筒が構造部材である。

三層構造である NFT-14P 型は、一体構造である落下試験体に比べて断面剛性(断面二次モーメント)及び断面積が□程度小さいものの、胴部の三層構造部が十分な強度を有していることを(口) 章 A にて確認できており(表 2 参照)、落下時の挙動は一体構造である落下試験体と差異がなく同等の結果が得られる。

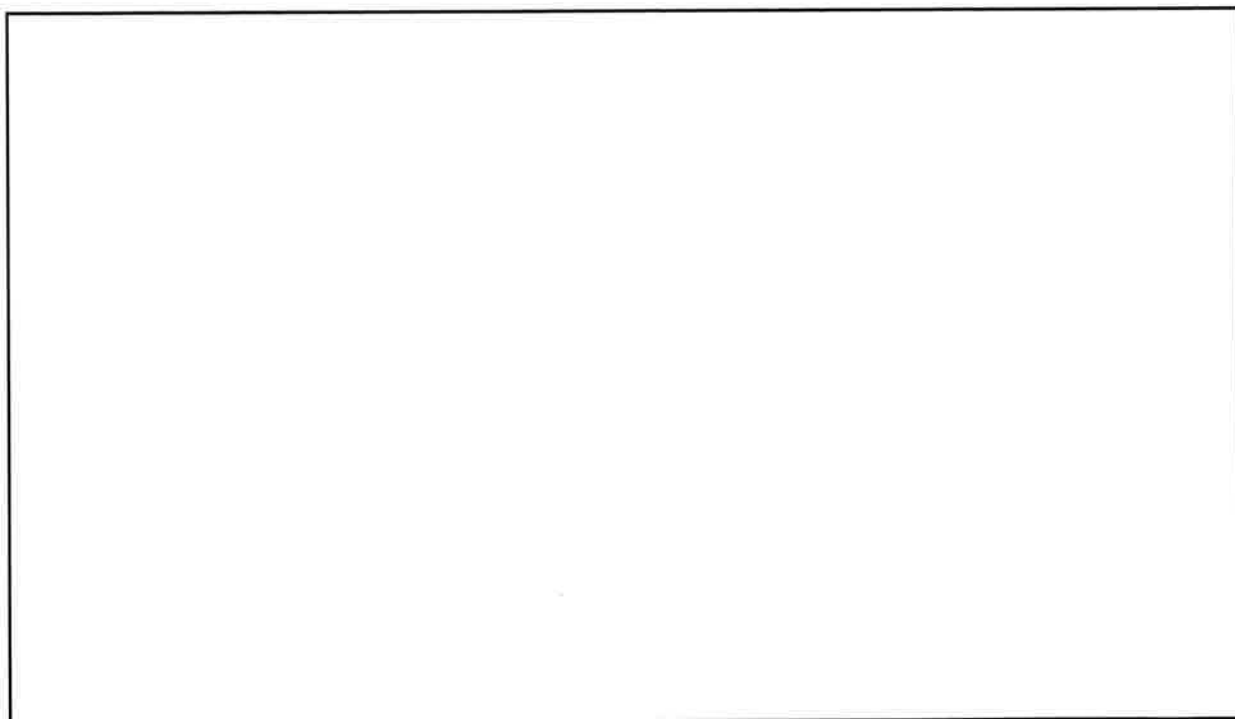
・ 図 4 青枠箇所

放熱フィンの高さは落下試験体と NFT-14P 型で異なるが、放熱フィンに入力された荷重が、放熱フィンを座屈変形させながら荷重を本体(胴部)へ伝達する構造であることは、落下試験体と NFT-14P 型で同じである。また、上述のとおり放熱フィンから荷重が伝えられた本体(胴部)の挙動は、落下試験体と NFT-14P 型では差異がなく、十分な強度を有していることから、放熱フィンの高さの違いは結果に影響しない。

以上のことから、傾斜落下試験に適用した落下試験体は、構造の違いを考慮しても NFT-14P 型の実証試験の試験体として妥当である。



(落下試験体 (1/2.5 スケール))



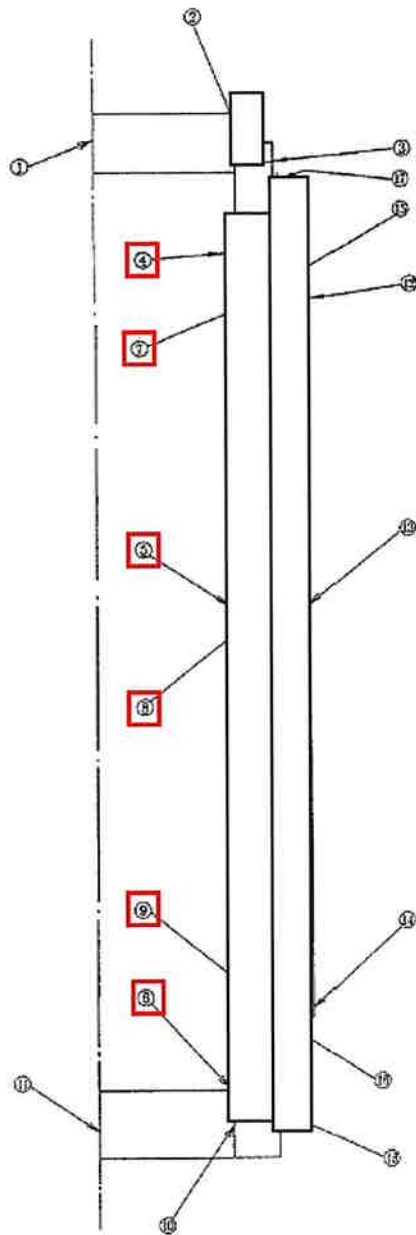
(NFT-14P 型輸送容器)

図 4 落下試験体と NFT-14P 型輸送容器の構造

表 2 9m 水平落下時における内筒及び中間筒の強度評価結果 (ABAQUS コードによる評価)

((□)-第 A. 26 表、(□)-第 A. 48 図より抜粋)

部位	断面	応力強さ (MPa)	解析基準値 (MPa)	余裕率 MS (-)
内筒	④	108		
	⑤	138		
	⑥	73.6		
中間筒	⑦	94.5		
	⑧	149		
	⑨	81.1		



評価断面	部 位
①	蓋 中央 部
②	蓋 端 部
③	フ ラ ン ジ
④	内 筒 上 部
⑤	内 筒 中 央 部
⑥	内 筒 下 部
⑦	中 間 筒 上 部
⑧	中 間 筒 中 央 部
⑨	中 間 筒 下 部
⑩	底 板 端 部
⑪	底 板 中 央 部
⑫	外 筒 上 部
⑬	外 筒 中 央 部
⑭	外 筒 下 部
⑮	上 部 仕 切 板
⑯	下 部 仕 切 板
⑰	上 部 レジ ン カ ハ ー
⑱	下 部 レジ ン カ ハ ー