

HDP-69BCH型/TK-69CHS型/TK-52CHS型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、HDP-69BCH型/TK-69CHS型/TK-52CHS型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 HDP-69BCH型/TK-69CHS型/TK-52CHS型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
	型式	該当章			
1	共通	本文	・申請書表紙：項目名として、住所・氏名を記載すること。 ・3. 変更内容において、別紙2として追加した輸送容器に係る品質管理の方法に関する説明書が(ハ)章で記載していた品質マネジメントの基本方針と本質的な差異がなければ、その旨を記載すること。	左記のとおり記載を見直す。	要
2	共通	別記	臨界安全評価における浸水の領域に関する事項において、防水機構を有する部位の水密性に留意した品質管理を実施することが記載されている箇所を示すこと。	防水機構を有する部位の水密性に留意した品質管理については、(ロ)章E.7.1に記載している。 別記の記載について以下のように見直す。 なお、防水機構を有する部位の水密性に留意した品質管理を <u>申請書に係る別紙1のとおり実施する。</u>	要
3	共通	別記	第2表において収納条件として収納体数、収納位置、収納物重量を記載しているが、収納条件は表全体と考えられるため、表現を見直すこと。		
4	共通	(ロ)章A	疲労評価における許容繰返し回数について、設計疲労線図により示すこと。	別添参照	要
5	共通	(ロ)章A	三次蓋の使用回数について保守性を示すこと。	別添参照	要
6	共通	(ロ)章A	トラニオン接続部の評価について、圧縮(支圧)の荷重によりネジ山が潰れないことを示すこと。	別添参照	否
7	HDP-69BCH (また以降は 共通)	(ロ)章A	a. 1/2.5スケールモデルの評価について、実施目的、傾斜角度の設定根拠等について補足すること。また、一次衝撃と二次衝撃のエネルギー吸収比率を求めた上で二次衝撃において緩衝体の圧壊に伴う衝撃力が密封境界部に作用するとして評価を行ったうえで、加速度で評価することの妥当性を示すこと。	別添参照	要

No.	該当箇所		ヒアリングでのコメント	回答	修正の要否
	型式	該当章			
	共通	(ロ)章 A	b. 傾斜落下における構造健全性の説明において、①水平落下における評価を設計加速度に基づき実施していること。②水平落下の評価については (CRUSH 解析結果/落下試験結果) × (設計加速度/CRUSH 解析結果) の裕度を持っていることから、傾斜落下における加速度の増分を考慮しても問題ないとのロジックと理解したが、評価するとすれば、評価の一貫性の観点で傾斜落下においても設計加速度を定めた上で評価する必要があるのではないか。(そもそも設計において試験結果をそのまま使用しないのは、保守性の確保よりも試験における不確定性を考慮したものではないのか?)		
8	共通	(ロ)章 A	内部収納物の加速度増倍率について、JNES の試験の範囲内であることを示すこと。(それぞれの型式の加速度増倍<JNES 試験で得られた増倍であることを示すこと)	別添参照	要
9	共通	(ロ)章 A	200m 浸漬試験において、三次蓋を対象として評価を行うこと。また、外圧受ける厚肉円筒の座屈を求めるグラフをどのように読み込み評価を行ったかをグラフ上に示すこと。		
10	HDP-69BCH	(ロ)章 B	熱解析における伝熱フィンのモデル化と製作の方法が整合していることについて説明すること。		
11	TK-69CHS TK-52CHS	(ロ)章 B	伝熱フィンの構造及び熱解析におけるモデル化と製作の方法が整合していることについて説明すること。	別添参照	要
12	共通	(ロ)章 D	遮蔽解析における伝熱フィンのモデル化について説明すること。		
13	共通	(ロ)章 D	遮蔽ライブラリについて JENDL3.3 を使用しても技術上の基準に適合することを示すこと。	別添参照	要
14	共通	(ロ)章 F	経年変化の必要性について、(ロ)章 A~E までの評価条件としての考慮の必要性の有無について明確にすること。		
15	HDP-69BCH TK-69CHS	(ロ)章 F	(ロ)-第 F.1 表において、燃料被覆管温度はライナなし燃料についても記載すること。	左記のとおり記載を見直す。	要
16	共通	(ロ)章 F	燃料被覆管の周方向応力の算定結果について、運転中に生じる酸化被膜に起因する減肉が考慮されているか確認すること。		
17	共通	(ロ)章 F	水抜きのためのドレンパイプ、パッキンに関する説明を追記すること。		
18	共通	(ロ)章 F	緩衝体木材の経年変化について、最高温度と参考事例の温度との比較では説明が成立しないので、適切な記載とすること。		
19	TK-69CHS TK-52CHS	(ロ)章 F	中性子遮蔽材の密度の減損率の設定の考え方について申請者として一貫した説明すること。	別添参照	否

No.	該当箇所		ヒアリングでのコメント	回答	修正の要否
	型式	該当章			
20	共通	(ハ)章	ロ章FのOリングの交換頻度を踏まえた記載になっていない。整合した記載にすること。		
21	共通	(ハ)章	発送前検査の合格基準について、具体的な基準値を記載すること。		
22	共通	(ハ)章	収納物検査について、貯蔵期間中に使用済燃料の健全性が維持されていること具体的な合格基準を記載すること。		
23	共通	(ロ)章F	経年変化の考慮の前提条件となる貯蔵中の状態、制限条件等を記載すること。		

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
4	共通	(ロ)章A	疲労評価における許容繰返し回数について、設計疲労線図により示すこと。

(回答)

「(ロ)章 A. 5. 1. 4 許容応力との比較」において、三次蓋及び三次蓋ボルトの許容繰返し回数の算出過程を追記する。補正案は代表して HDP-69BCH 型により示す。

「(ロ)章 A. 5. 1. 4 許容応力との比較」

次に、疲労強度について評価する。評価は、密封境界を構成する部材で発生応力が比較的高く、複数容器間で共用するため使用計画回数が最も多い三次蓋及び三次蓋ボルトを代表として行う。

(1)三次蓋

繰返しピーク応力強さ S_a (MPa)は次式で求める。

$$S_a = \frac{1}{2} \cdot S \cdot K_t \cdot \frac{E_o}{E_t}$$

ここで、

S_a : 繰返しピーク応力強さ (MPa)

S : 応力強さ (MPa)

K_t : 疲労強度減少係数又は応力集中係数 (-)

E_o : 設計疲労線図の基本縦弾性係数 (MPa)

E_t : 材料の使用温度における縦弾性係数 (MPa)

一般の試験条件下において発生する最大応力強さは、(ロ)-第A. 15表より、89MPaである。この値を保守的に疲労評価における応力強さ(S)とし、繰返しピーク応力強さ(S_a)及び許容繰返し回数(N_a)を評価した結果を表4-1に示す。

表4-1 三次蓋の繰返しピーク応力強さの計算結果

項目	記号	数値	単位
応力強さ	S	89	MPa
疲労強度減少係数又は応力集中係数	K_f	-	-
設計疲労線図の基本縦弾性係数	E_o	2.07×10^5	MPa
材料の使用温度における縦弾性係数	E_t	1.98×10^5	MPa
繰返しピーク応力強さ	S_a	47	MPa
許容繰返し回数	N_a	1.0×10^6 注1)	回

注1) 許容繰返し回数算出における設計疲労線図を図4-1に示す。

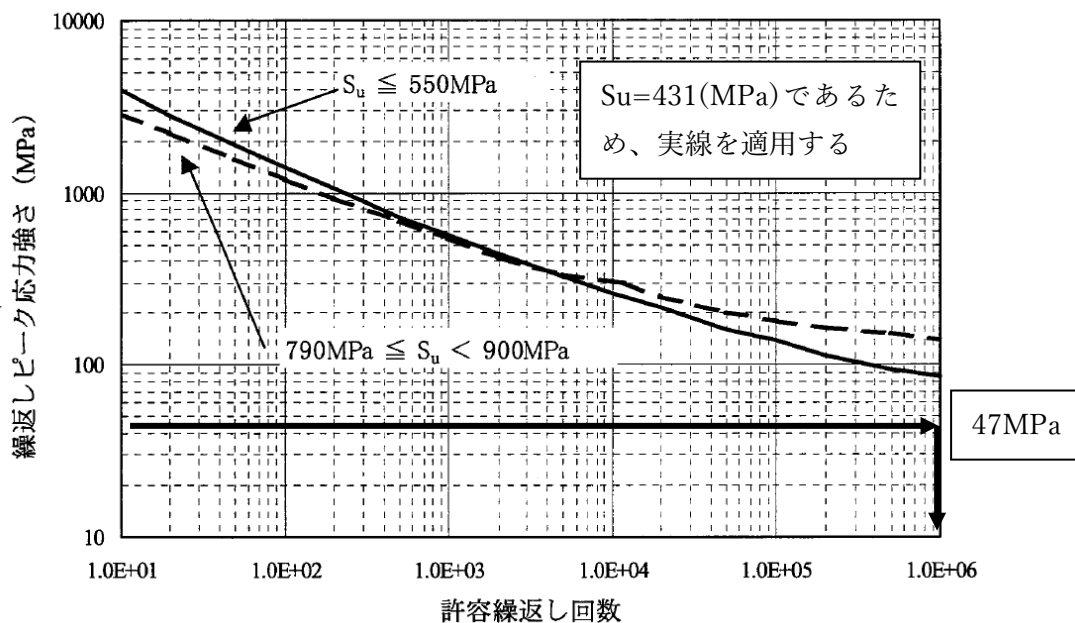


図4-1 設計疲労線図¹⁾による三次蓋の許容繰返し回数の算出

(2) 三次蓋ボルト

繰返しピーク応力強さ S_a (MPa)は上記(1)の式で求める。

一般の試験条件下において発生する最大応力強さは、(ロ)-第A.16表より、503MPaである。この値を保守的に疲労評価における応力強さ(S)とし、繰返しピーク応力強さ(S_a)及び許容繰返し回数(N_a)を評価した結果を、表4-2に示す。

表4-2 三次蓋ボルトの繰返しピーク応力強さの計算結果

項目	記号	数値	単位
応力強さ	S	503	MPa
疲労強度減少係数又は応力集中係数	K_t	4 ^{注1)}	-
設計疲労線図の基本縦弾性係数	E_o	2.07×10^5	MPa
材料の使用温度における縦弾性係数	E_t	1.87×10^5	MPa
繰返しピーク応力強さ	S_a	1114	MPa
許容繰返し回数	N_a	391 ^{注2)}	回

注1) 金属キャスク構造規格¹⁾におけるねじ部の疲労強度減少係数

注2) 設計疲労線図¹⁾の許容繰返し回数(デジタル値)を補完して算出

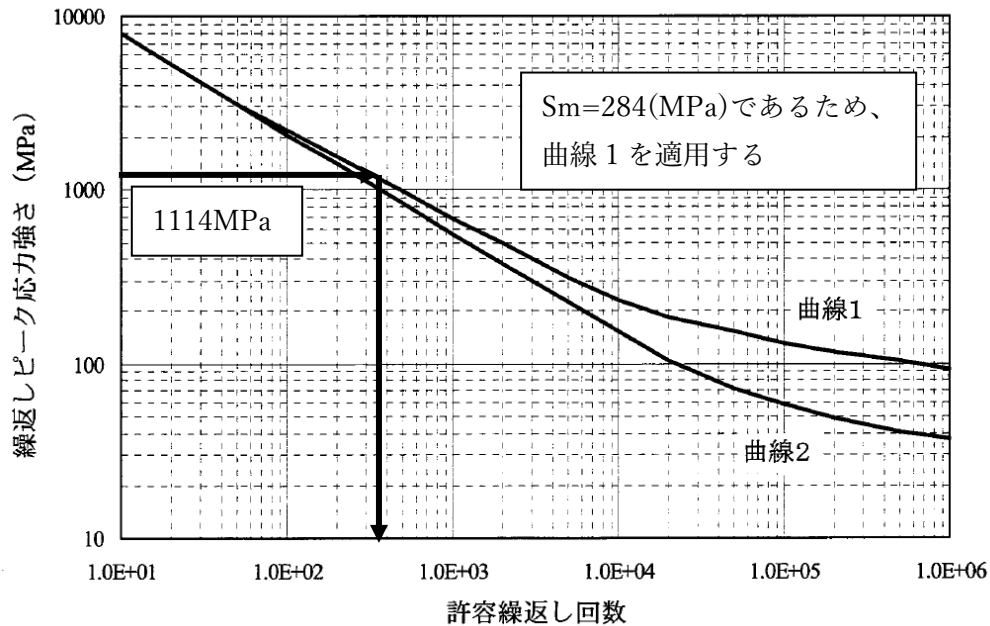


図4-2 設計疲労線図¹⁾による三次蓋ボルトの許容繰返し回数の算出

参考文献

- 1) (一社)日本機械学会(2007年), 『使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格 (2007年版) (JSME S FA1-2007)』

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
5	共通	(ロ)章A	三次蓋の使用回数について保守性を示すこと。

(回答)

三次蓋及び三次蓋ボルトについては、以下の運用を想定して使用回数を想定している。

①原子炉建屋から使用済燃料乾式貯蔵施設への運搬時 1回/1運搬

②使用済燃料乾式貯蔵施設から再処理工場への運搬時 1回/1運搬

ここで、①、②については1基あたり10回の繰り返し使用（長期貯蔵をする場合は1回の使用となるのに対し、保守的に10回）を想定している。また、三次蓋および三次蓋ボルトについては、使用済燃料乾式貯蔵施設の運用開始後当面の間は1セットを調達し輸送容器10基での共用を想定している。

以上より、使用回数は(①+②)×10×10=200回としている。

コメントを踏まえ、保守的な使用回数であることを明確化するため、以下のように記載を見直す。

「(ロ)章 A.5.1.4 許容応力との比較」

一方で使用期間中に想定される三次蓋及び三次蓋ボルトの使用計画回数は200回（構内輸送時使用回数10回^注、再処理工場への輸送時使用回数10回^注、輸送容器10基での共用を想定し保守的に設定。）であり、許容繰返し回数を十分下回っていることから、三次蓋及び三次蓋ボルトの疲労強度は充分である。

注) 長期貯蔵が目的の容器であるが、再処理工場への運搬を1基あたり10回実施することを想定し、保守的に設定した使用回数。

(網掛け部を補正について追加)

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
6	共通	(ロ)章A	トラニオン接続部の評価について、圧縮（支圧）の荷重によりネジ山が潰れないことを示すこと。

(回答)

輸送容器トラニオン接続部の強度評価において、トラニオンが有する機能の健全性を評価する観点から、ねじのせん断応力を評価することの妥当性、及び圧縮（支圧）応力の評価が不要であることについて示す。なお、トラニオンの接続方法は HDP-69BCH 型、TK-69CHS 型、TK-52CHS 型で共通である。

1. トラニオンの機能について

本核燃料輸送物の輸送にかかる運用において、トラニオンを介して輸送容器を吊り上げる場合、または輸送用架台に輸送容器を設置する場合に、トラニオンを使用する。この際に、トラニオン自体は安全機能を有していないものの、上記の運用においてトラニオンの健全性が維持され、輸送容器が吊り作業中に落下する事象や、輸送架台から転倒する事象を防止しなければならない。従って、トラニオン接続部のねじ部には、トラニオンが輸送容器から外れないことが求められる。

2. トラニオンねじ部に発生する応力について

輸送容器のトラニオンは、トラニオン本体をおねじ、容器側をめねじとして、トラニオンを締め付けることで容器に取り付けられている。図 6-1 に、トラニオンが取り付けられた状態で、トラニオンに荷重が作用した場合にねじ部に発生する応力と、その応力が発生する範囲について、概要図を示す。トラニオンに荷重が作用すると、図 6-1 に示すように、ねじ部には、荷重に対する反力として支圧応力^{注)}が発生することに加え、荷重による回転モーメントに対する反力としてせん断応力が発生する。この場合、支圧応力は、荷重と平行な方向に発生し、せん断応力は、荷重と垂直に、ねじ山を切断する方向に発生する。トラニオンがねじによって固定されていることを踏まえると、これらの応力によってねじ山が変形しない限り、トラニオンが容器から外れることはない。

せん断応力は、図 6-1 に示すように、荷重による回転モーメントの反力としてねじ山を切断する方向に作用することから、ねじ部の全面に発生する。従ってせん断応力によってねじ部が変形した場合は、トラニオンが容器から外れる可能性がある。一方、支圧応力は、荷重が作用する方向の片側半分が発生するため、反対側の半分及び側面には支圧応力は発生しない。従って、この範囲のねじ部は、支圧応力により変形することなく、支圧応力によってトラニオンが容器から外れることはない。

以上より、トラニオン接続部の強度評価には、トラニオンが容器から外れることがないことを示すため、ねじ部に発生するせん断応力を評価することとしている。

注) 面の一部に圧縮側の応力が発生するため、支圧応力と考える。

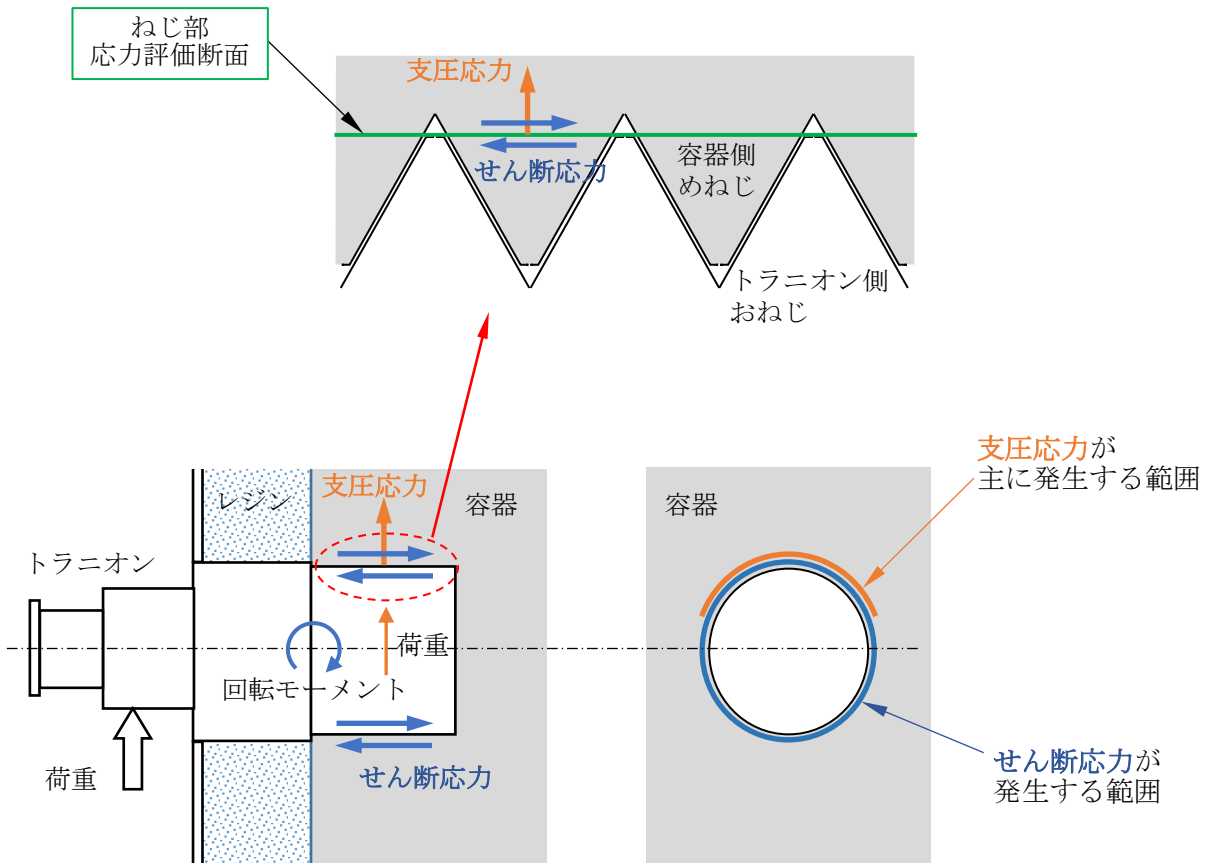


図 6-1 トラニオンに荷重が作用した場合にねじ部に発生する応力と発生範囲の概要

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
7	HDP-69BCH 型 (また以降は共通)	(ロ)章 A	a. 1/2.5 スケールモデルの評価について、実施目的、傾斜角度の設定根拠等について補足すること。また、一次衝撃と二次衝撃のエネルギー吸収比率を求めた上で二次衝撃において緩衝体の圧壊に伴う衝撃力が密封境界部に作用するとした評価を行ったうえで、加速度で評価することの妥当性を示すこと。

(回答)

日立 GE ニュークリア・エナジーでは、輸送容器の水平落下時に対する傾斜落下時の衝撃加速度の増倍率（以降、加速度増倍率と言う。）を確認することを目的とし、HDP-69B 型輸送容器の 1/2.5 スケールモデルを用いた落下試験（以降、「スケールモデル落下試験」と言う。）を実施した。スケールモデル落下試験で衝撃加速度を測定することを目的としたのは、輸送容器の構造健全性に直接影響するパラメータが、緩衝体が吸収するエネルギーではなく、緩衝体がエネルギーを吸収した結果として緩衝体から輸送容器に作用する荷重（加速度）であり、構造強度の評価においても荷重（加速度）を直接の入力条件としていることによる。

コメントを踏まえ、(ロ)章 A. 10.2 「1/2.5 スケールモデル落下試験」に以下の内容を追記する。

傾斜落下時の密封部付近に生じる二次衝突の加速度を水平落下時の衝撃加速度と比較することで、本輸送容器における水平落下時に対する傾斜落下時の加速度比(増倍率)を確認することを目的とする。

傾斜落下時の傾斜角度については、核燃料輸送物モデルの解析例¹⁾において傾斜角度が 5° ～10° の範囲の場合に、二次衝撃時の衝撃加速度が最大になることが示されている。これを踏まえ、スケールモデルに対して、上記解析例の傾斜角度 5° ～10° の範囲を包絡する 0° ～20° の範囲において、傾斜角度をパラメータとした動解析を試験前に実施し、傾斜角度による衝撃加速度への影響を確認した。本動解析の結果を基に、衝撃加速度が厳しくなる試験条件として傾斜角度 5° を選定した。

コメントを踏まえ、(ロ)章 A. 10.2 「1/2.5 スケールモデル落下試験」に、以下の内容を追記する。

9m の高さから試験体底部が下側となるよう床面に対して 5° 傾斜させ、床面との衝突時に底部側が一次衝突、頭部側が二次衝突となるように落下させる。ここで、事前解析により傾斜角度の衝撃加速度への影響を確認し、本事前解析の結果を基に、落下試験での傾斜角度を選定した。

設計承認申請書の(ロ)章 A.6 では、垂直落下および水平落下時の衝撃加速度については、CRUSH コード²⁾を用いた緩衝体のエネルギー吸収の解析を行い、最大衝撃加速度を評価している。垂直落下及び水平落下の場合は、緩衝体の最大変形時に輸送容器の運動が停止するため、輸送容器の落下エネルギーと緩衝体の吸収エネルギーが等しくなる時点での衝撃加速度を算出することで最大衝撃加速度が評価できることから、CRUSH コードを適用しているものである。一方、傾斜落下は、緩衝体の圧壊、輸送容器の併進運動に加えて、輸送容器の回転運動にもエネルギーが分配されることから、衝突時のエネルギーの分配が明確にならない限り、CRUSH コードによる解析結果から適切に加速度を算出することは難しい。仮に、衝突時のエネルギー分配を何らかの方法で設定した場合でも、緩衝体が圧壊する過程で輸送容器の傾斜角度も変化することから、圧壊方向の緩衝材の配置条件も刻々と変化するが、CRUSH コード解析では緩衝材の配置条件が一定であることが前提であるため、この観点での補正も必要となる。以上のことから、傾斜落下時の衝撃加速度の評価に CRUSH コードを適用することは可能であるものの、上記の補正を実施した上で適切な評価値を算出することは困難と考える。

なお、輸送容器を剛体棒とモデル化した場合の評価を示す論文³⁾において傾斜角度と二次衝撃時の速度の関係を示しているが、本論文は運動量のみで構成される剛体衝突モデルであり、緩衝体のエネルギー吸収など非線形な要素は跳ね返り係数 k に集約され、直接考慮されていない。従って、本論文の運動方程式を実際の傾斜落下事象に適用するためには、緩衝体の圧壊状態 (k の傾斜角度への依存性や、輸送容器の回転によって緩衝体が圧壊する方向が刻々と変化することを含む) や床面との摩擦などについて、適切に補正する必要がある。以上のことから、傾斜落下時の衝撃加速度の評価に本論文³⁾ に基づくエネルギー関係式を適用することは困難と考える。

設計承認申請書ではこれを踏まえ、スケールモデル落下試験にて直接傾斜落下時の衝撃加速度(荷重)を測定し、その結果から輸送容器の健全性を確認している。

参考文献

- 1) T. Sasaki, Y. Kanae, T. Shirakura, (1989), "The Effect of Secondary Impact on a Spent Fuel Shipping Cask Subjected to Slant-Angle Drop Tests", The 9th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials, PATRAM 1989, June 11-16, Washington, DC, USA.
- 2) 幾島, 浅田(1991年), 「放射性物質輸送容器の衝突解析用簡易計算コードの開発, (I)緩衝体付き輸送容器衝突計算コード CRUSH」, 『日本原子力学会誌』, Vol. 33 No. 4.
- 3) T. Quercetti, V. Ballheimer, G. Wieser, "Analytical, Numerical and Experimental Investigations on the Impact Behaviour of Packagings for the Transport of Radioactive Material under Slap Down Conditions".

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
8	共通	(ロ)章 A	内部収納物の加速度増倍率について、JNES の試験の範囲内であることを記載すること。

(回答)

代表して HDP-69BCH 型により回答を示す。

HDP-69BCH 型の内部収納物の加速度割増係数として、2003 年に原子力安全基盤機構 (JNES) にて実施された金属キャスク貯蔵技術確証試験の報告書¹⁾ (以降、「JNES 報告書」と言う。)に基づき垂直落下時 2.6 及び水平落下時 1.2 と設定している。HDP-69BCH 型の 1/2.5 スケールモデルを用いた落下試験 (以降、「スケールモデル落下試験」と言う。)結果を参照して、それぞれの加速度割増係数の妥当性について示す。(ロ)章 A.10 「付属書類」を、以下のような内容を追記する等で見直す。

設計承認申請書の(ロ)章 A.10.3 において、落下時に内部収納物が輸送容器に衝突する場合のバスケットへの影響について評価している。ここで、JNES 報告書¹⁾に基づき加速度割増係数を設定することの妥当性について、以下に示す。

1. 垂直落下時の加速度割増係数 2.6 の妥当性について

図 8-1 に頭部垂直落下時の内部収納物の遅れ衝突及び加速度割増のメカニズムを示す。図 8-1 の④の時のスケール落下試験結果の分析を行い、遅延落下による内部収納物の加速度割増係数を確認する。

遅延落下による加速度割増係数は、JNES 報告書と同様に、胴と内部収納物の加速度比として求める。図 8-2 に 1/2.5 スケールモデルの頭部垂直落下試験における胴各部で測定された加速度時刻歴を示す。図に示すように、胴各部における加速度は同様な傾向を見せる。加速度割増係数の算出に用いる胴の加速度は、JNES 報告書の手法と同様に、最大加速度である とする。

図 8-3 に 1/2.5 スケールモデルの頭部垂直落下試験における模擬燃料と胴で測定された加速度時刻歴を示す。図に示すように、模擬燃料に生じた最大加速度は測定点によって異なるものの、傾向としては胴の加速度が増加するタイミング (床面への衝突) より少し遅れた時点で、ほぼ同時に加速度のピークを示す。このことから、内部収納物の遅延落下が生じたことが分かる。輸送容器の内部収納物は、燃料とバスケットであるが、

落下試験においても上記のバスケットの構造は忠実に模擬されており、バスケットに対しても、保守的に模擬燃料の測定加速度で評価した加速度割増係数を適用することとする。

図 8-3 に示す模擬燃料の加速度測定結果は、外周位置（180° 側）に配置した模擬燃料の頭側と底側の測定結果である。頭部垂直落下時には、内部収納物の衝突によって一次蓋がたわむため（図 8-1 の④参照）、

この値は、JNES

報告書の加速度割増係数 2.6 に包絡される結果であり、垂直落下時の加速度割増係数として 2.6 を用いることは妥当である。

2. 水平落下時の加速度割増係数 1.2 の妥当性について

水平落下時の遅延落下による加速度割増係数は、JNES 報告書と同様に、胴と内部収納物の加速度比として求める。図 8-4 に 1/2.5 スケールモデルの水平落下試験における胴の各部で測定された加速度時刻歴を示す。図に示すように、胴各部における加速度は同様な傾向を見せる。加速度割増係数の算出に用いる胴の加速度は、JNES 報告書の手法と同様に、最大加速度である

図 8-5 に 1/2.5 スケールモデルの水平落下試験における模擬燃料と胴の各部で測定された加速度時刻歴を示す。図に示すように、模擬燃料に生じた最大加速度は測定点によって異なるものの、傾向としては胴体の加速度が増加するタイミング（床面への衝突）より少し遅れた時点で加速度のピークを示す。このことから、内部収納物の遅延落下が生じたことが分かる。輸送容器の内部収納物は、燃料とバスケットであるが、

落下試験に

においても上記の内部収納物の構造は忠実に模擬されており、バスケットに対しても、保守的に模擬燃料の測定加速度で評価した加速度割増係数を適用することとする。

図 8-5 に示す模擬燃料の加速度測定結果は、外周位置（180° 側）に配置した模擬燃料の頭側と底側の測定結果である。模擬燃料の頭側と底側の衝突タイミングを比較するとずれがあり、回転を伴う反跳の繰り返しが発生していることが類推できる。なお、JNES 試験において加速度割増係数の算出に用いた内部収納物の加速度は、バスケットと燃料集合体を一体化した内部収納物の測定結果である。従って、バスケットの加速度を類推するに当たって模擬燃料の

図 8-6 に、1/2.5 スケールモデルの水平落下試験における、模擬燃料の

の時刻歴を示す

この値は、JNES 報告書の加速度割増係数 1.2 に包絡される結果であり、更に、本評価ではより高い衝突加速度が生じると考えられる模擬燃料の加速度を適用して保守側に加速度割増係数を評価していることを踏まえ、水平落下時の加速度割増係数として 1.2 を用いることは妥当である。

3. 参考文献

- 1) (独)原子力安全基盤機構(2004 年), 『平成 15 年度 金属キャスク貯蔵技術確証試験報告書 最終報告』。

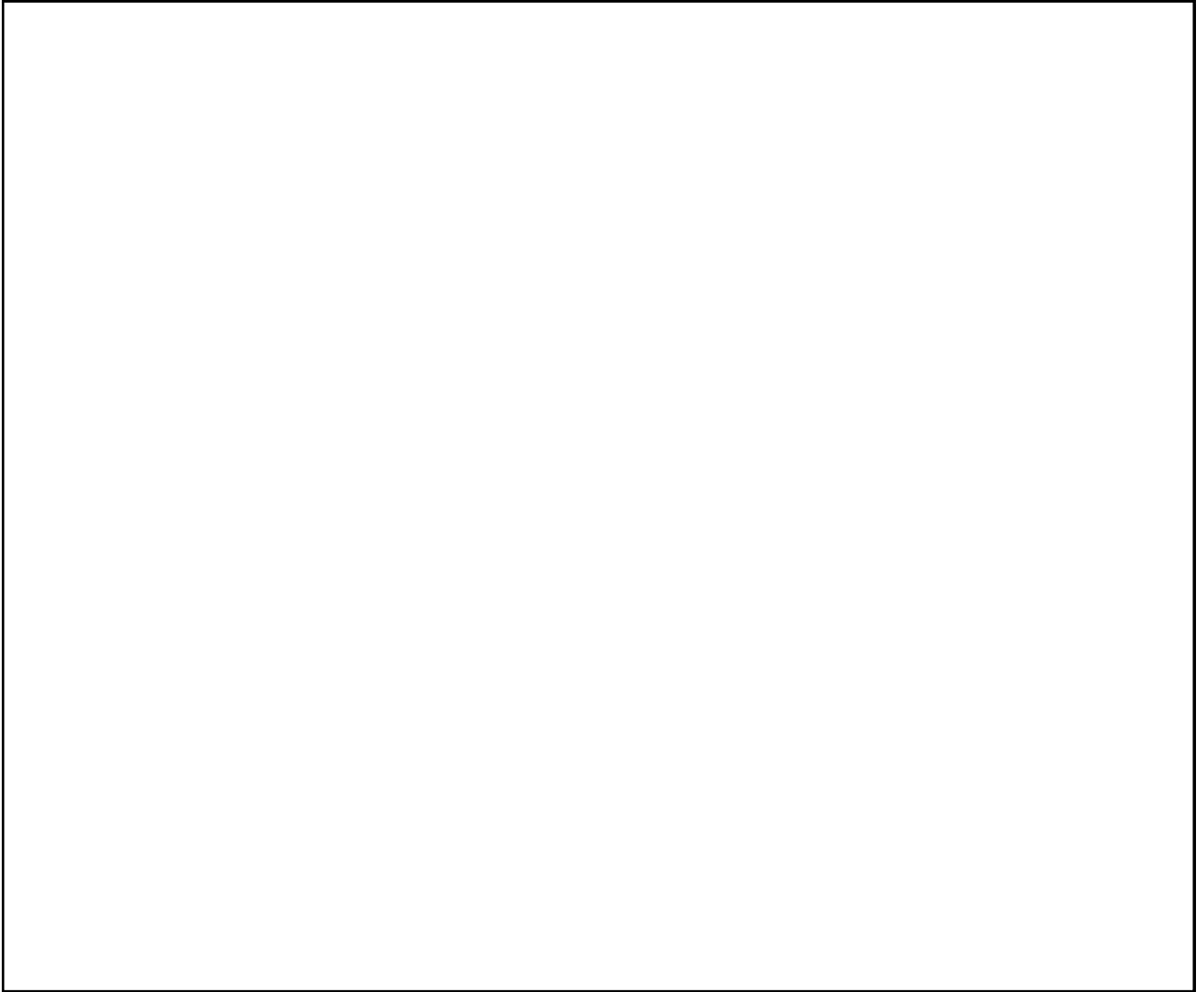


図 8-1 頭部垂直落下時の内部収納物の遅れ衝突及び加速度割増のメカニズム

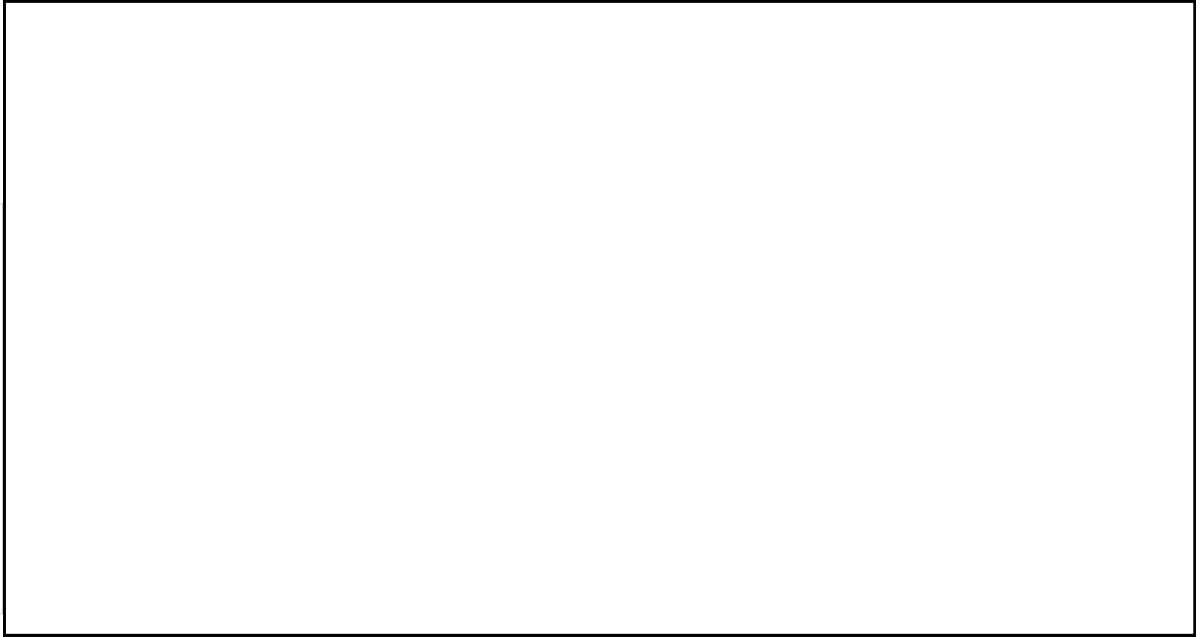


図 8-2 頭部垂直落下試験における胴各部の加速度測定点と測定結果



図 8-3 頭部垂直落下試験における模擬燃料と胴上部の加速度測定点と測定結果

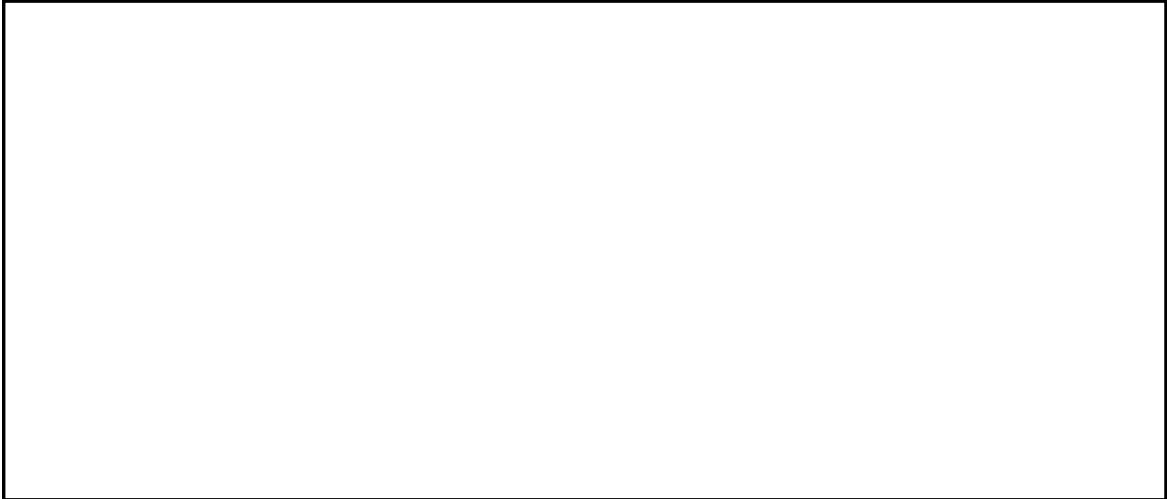


図 8-4 水平落下試験における胴各部の加速度測定点と測定結果

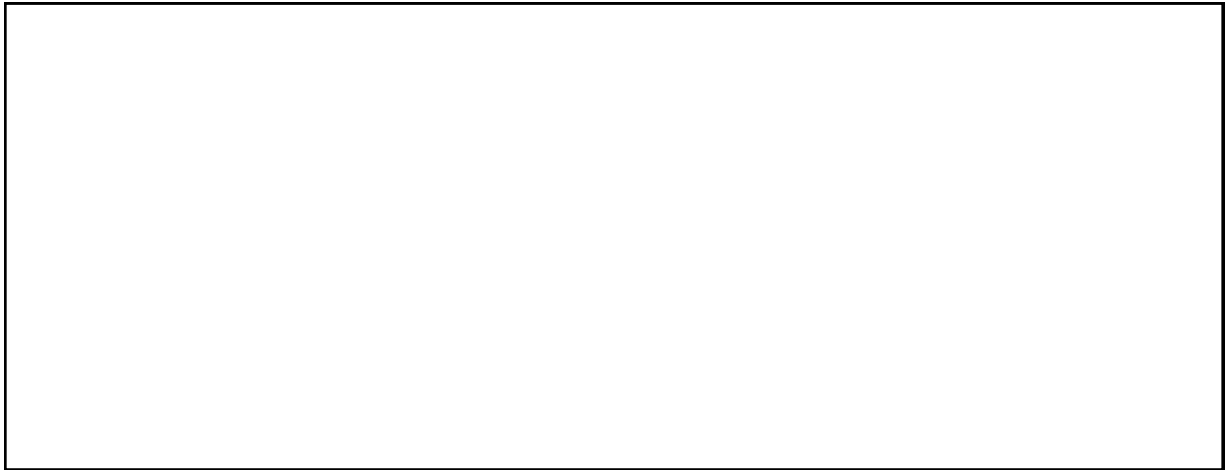


図 8-5 水平落下試験における模擬燃料と胴上部の加速度測定点と測定結果



図 8-6 水平落下試験における模擬燃料の [] と胴上部の加速度測定点の時刻歴

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
11	TK-69CHS 型 TK-52CHS 型	(ロ)章B	伝熱フィンの構造及び熱解析におけるモデル化と製作の方法が整合していることについて説明すること。

(回答)

TK-69CHS 型及び TK-52CHS 型の外筒、伝熱フィン及び胴部中性子遮蔽材は、以下の手順により組み立てる。

- ① 外筒を [] する。
- ② 外筒の [] 伝熱フィン 1 枚 (1 列分) を [] し、 [] [] 胴部中性子遮蔽材を組み込む。
- ③ ②を必要な回数 [] 繰り返す。
- ④ 外筒 [] を、胴の外面に [] [] する。(図 11-1 参照)

この結果、伝熱フィンは、図 11-2 に示すように、外筒の内面に [] され、胴の外面に [] [] する構造となっている。

熱解析では、この伝熱フィン構造は「輪切りモデル」にて考慮されており、伝熱フィンと外筒及び胴との接続状態については、表 11-1 に示すとおり保守的になるように設定している。

コメントを踏まえ、この熱解析における伝熱フィン周りの設定について、以下の内容を追記する。

「(ロ)章 B. 4. 1. 1 一般の試験条件 2. 解析条件」

・輪切りモデルにおいて、伝熱フィンと外筒については、伝熱フィンの [] のみで接続していると設定し、伝熱フィンと胴については、これらの [] において [] を考慮している。

なお、製造時に、これらの接続状態が確保されていることについては、製造時の伝熱検査において [] [] 所定の温度 [] を超えないことで確認できる。

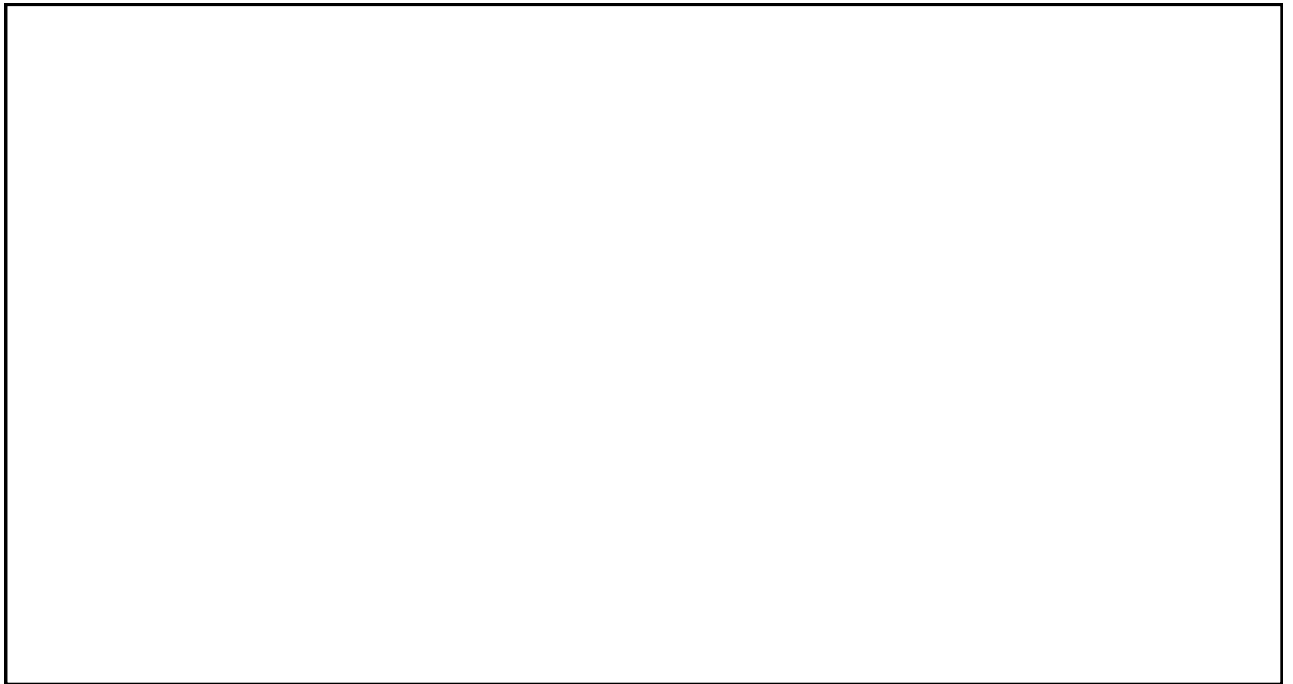


図 11-1 伝熱フィンと外筒の組立て



図 11-2 伝熱フィン周りの構造（概念図）

表 11-1 輪切りモデルにおける伝熱フィンとの接続状態

伝熱フィンとの接続部	熱解析（輪切りモデル）における設定
外筒（内面）－伝熱フィン	<input type="checkbox"/> のみで接続していると設 <input type="checkbox"/> は、保守的に断熱と仮定)
伝熱フィン－胴（外面）	胴と伝熱フィンとの <input type="checkbox"/> として、保守的に <input type="checkbox"/> による熱伝導を考慮

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
13	共通	(ロ)章D	遮蔽ライブラリについて、JENDL3.3を使用しても技術上の基準に適合することを示すこと。

(回答)

2016年10月31日の安全解析等に関するコメント3に対する回答(SFH-SAR-205-R05「4. 輸送物表面の評価に対する影響」)において、MCNPコードの解析結果を、DOT3.5コードの解析結果と比較した結果について説明を行った。DOT3.5コードによる解析における遮蔽ライブラリはDLC-23/CASKのデータ、MCNPコードによる解析における遮蔽ライブラリは、中性子についてJENDL3.3、ガンマ線についてMCPLIB02を用いている。

解析結果の比較は、通常輸送時の線量当量率評価結果((ロ)-第D.10表)のうち、トランニオン部の表面における線量当量率に対して実施している。なお、トランニオン部の表面における全線量当量率は、他の評価点に比べて高い値であり、更に、中性子線量率が全線量当量率に対して占める割合が高いため、遮蔽ライブラリが中性子線量率に及ぼす影響は大きいことが予想される。

コメント3に対する回答の添付表1.2の結果について、解析コードの違いはあるものの、TK-69CHS型における遮蔽解析結果は保守的に評価されており、かつ、遮蔽ライブラリJENDL3.3を使用しても技術上の基準に適合する。

上記を踏まえ、(ロ)章D.4を以下のように補正し、(ロ)章D.6.3を別紙1、(ロ)章D.6.4を別紙2のとおり補正する。

なお、TK-52CHS型のトランニオン部の構造は、TK-69CHS型のトランニオン部と同一であるため、補正案は代表してTK-69CHS型により示す。

「(ロ)章D.4 1. 基本手法」

<p>遮蔽計算はガンマ線、中性子ともにDOT3.5コードを用いて行った。</p> <p>断面積ライブラリは、DLC-23/CASKのデータ³⁾を使用した。</p> <p>線束から線量当量率への変換係数はICRP Pub1.74⁵⁾の1cm線量当量率変換係数に基づくDLC-23/CASKライブラリの中性子22群、ガンマ線18群構造に対する値を用いた。</p> <p>なお、断面積ライブラリは、JENDL3.3を使用しても技術上の基準に適合することを(ロ)章D.6.3に示す。</p>

(網掛け部を補正について追加)

D. 6. 3 断面積ライブラリについて

(ロ)章 D. 4 に示した DOT3. 5 コードと断面積ライブラリ DLC-23/CASK を使用したトランニオン部の解析(以下「DLC-23/CASK を使用した解析」という。)について、断面積ライブラリ JENDL3. 3 を使用しても技術上の基準に適合することを、MCNP コードと断面積ライブラリ JENDL3. 3 を使用したトランニオン部の解析(以下「JENDL3. 3 を使用した解析」という。)との比較を行い確認した。

1. JENDL3. 3 を使用した解析における解析条件

(1) 解析モデル

解析モデルを(ロ)-第 D. 付 2 図に示す。解析モデルのモデル化は、基本的には DLC-23/CASK を使用した解析に用いられた DOT3. 5 コードの解析モデルと同じ((ロ)-第 D. 2 図(a)及び(b))としているが、以下の点が異なる。

- ・トランニオンを、三次元形状としてそのままモデル化
- ・トランニオン周囲の外筒部(内部の中性子遮蔽材を含む)を、三次元形状としてそのままモデル化
- ・三次蓋をモデル化しない(トランニオン部の表面線量当量率には影響しない)

(2) 原子個数密度

材料の原子個数密度は、(ロ)-第 D. 8 表と同じものを用いた。

(3) 評価点



評価点(検出器)は、(ロ)-第 D. 付 2 図に示したとおり、上・下部トランニオン部周囲の外筒表面近傍(輸送物の中央寄り)に の面検出器を設定した。この検出器のサイズは、人が容易に近づくことができる輸送物表面として手のひらの幅を想定した 10cm 以下の狭あい部は除外されること⁶⁾を考慮すると妥当なサイズであると考えられる。

なお、線量当量率変換係数は、ICRP Pub. 74 の 1cm 線量当量率への変換係数⁵⁾を用いた。

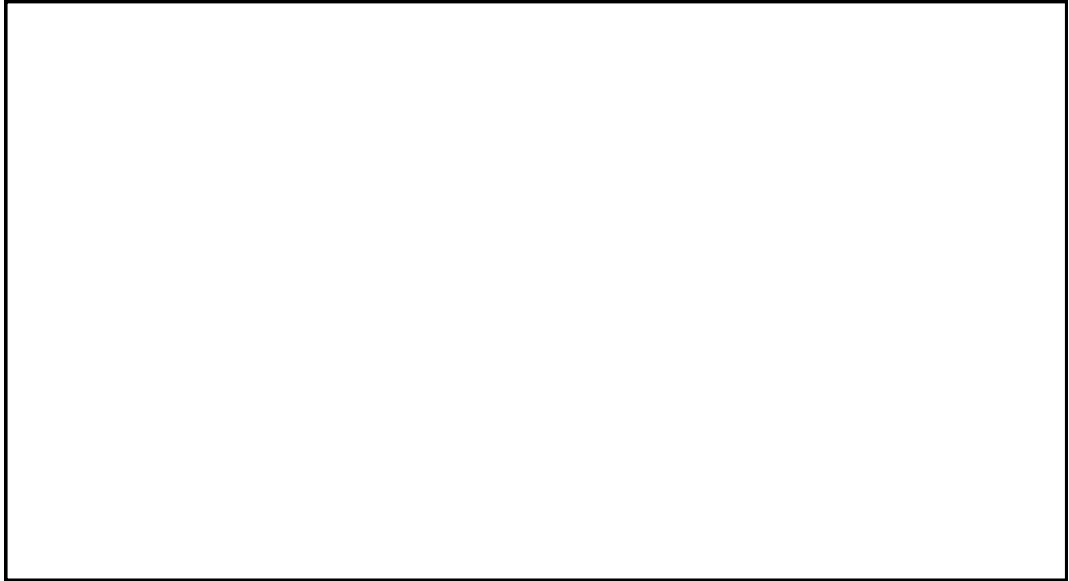
(4) 線源強度及びエネルギースペクトル

- ・燃料有効部ガンマ線の線源強度及びエネルギースペクトルは、(ロ)-第 D. 3 表と同じものを用いた。
- ・燃料集合体構造材放射化ガンマ線の線源強度及びエネルギースペクトルは、(ロ)-第 D. 4 表と同じものを用いた。
- ・中性子源強度は(ロ)-第 D. 5 表と同じとし、エネルギースペクトルは MCNP コードに内蔵されている、²³⁹Pu の核分裂スペクトルを用いた。

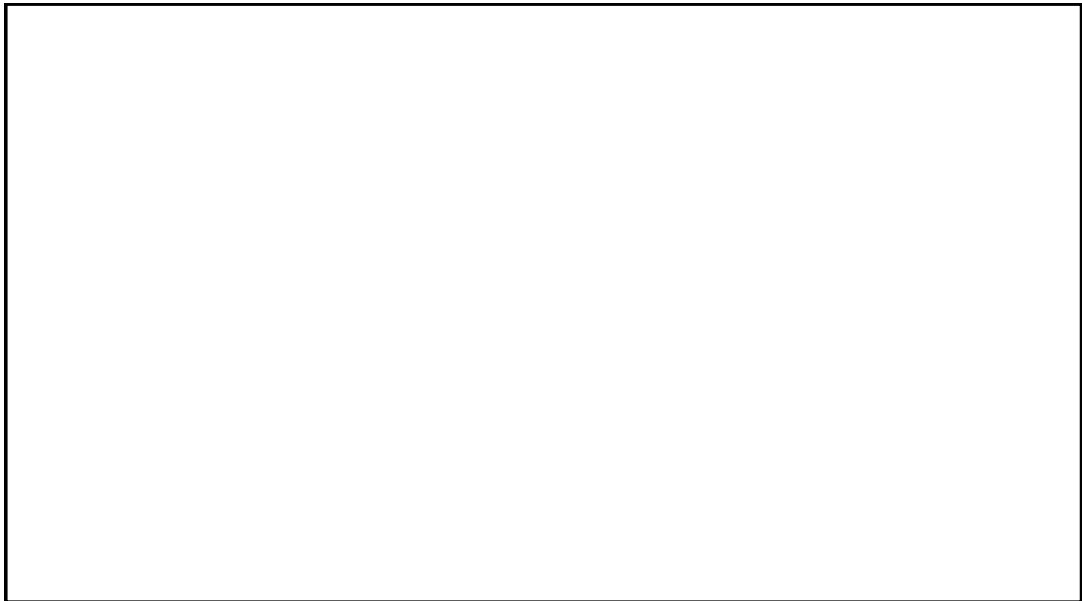
2. JENDL3.3を使用した解析結果と DLC-23/CASK を使用した解析結果との比較

JENDL3.3を使用した解析では、前項(3)に記したとおり、の面検出器を設定している。JENDL3.3を使用した解析結果をベンチマークとした比較を行うため、上・下部トラニオン部の表面線量当量率について、DLC-23/CASKを使用した解析結果を、トラニオン部モデルのR方向にの範囲（(ロ)-第D.付3図参照）で平均化した値と比較した。比較結果を(ロ)-第D.付1表に示す。

比較結果から、上・下部トラニオン部のいずれについても、線量当量率の合計において、DLC-23/CASKを使用した解析結果は、JENDL3.3を使用した解析結果と同等であり、断面積ライブラリ JENDL3.3 を使用しても技術上の基準に適合することを確認した。

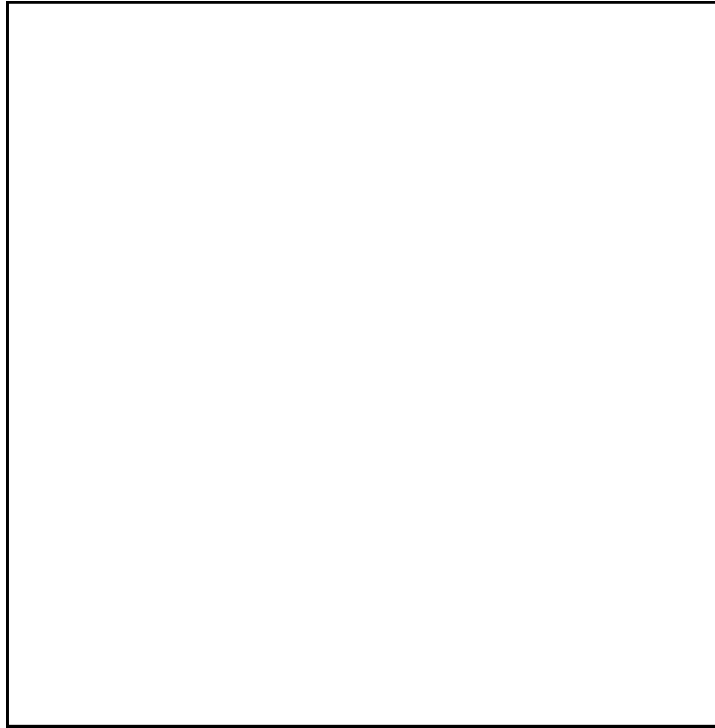


(a) 上部トラニオン部
(吊上専用トラニオン断面)



(b) 下部トラニオン部
(吊上・固縛兼用トラニオン断面)

(ロ)-第 D. 付 2 図 JENDL3.3 を使用した解析の解析モデル



(単位：cm)

(ロ)-第D.付3図 DOT3.5 コードによる表面線量当量率の平均値の評価範囲
(MCNP コードの面検出器 に相当する評価範囲)

(ロ)-第D.付1表 JENDL3.3を使用した解析とDLC-23/CASKを使用した解析とのト
ラニオン部の表面線量当量率の比較

(a) 上部トランニオン部

	MCNP・JENDL3.3(①)		DOT3.5・DLC-23/CASK 平均値 ^{注)} (②)	
	評価結果 (μ Sv/h)	FSD (%)	評価結果 (μ Sv/h)	比率 (②/①)
燃料有効部ガンマ線				
構造材放射化ガンマ線				
二次ガンマ線				
中性子				
合 計	270.2	—	279.8	1.04

注) MCNP コードで設定した面検出器に相当する評価範囲における平均値

(b) 下部トランニオン部

	MCNP・JENDL3.3(①)		DOT3.5・DLC-23/CASK 平均値 ^{注)} (②)	
	評価結果 (μ Sv/h)	FSD (%)	評価結果 (μ Sv/h)	比率 (②/①)
燃料有効部ガンマ線				
構造材放射化ガンマ線				
二次ガンマ線				
中性子				
合 計	406.4	—	548.3	1.3

注) MCNP コードで設定した面検出器に相当する評価範囲における平均値

D. 6. 4 参考文献

- 1) A. G. Croff (1980), “ORIGEN-2 A Revised and Updated Version of the Oak Ridge Isotope Generation and Depletion Code”, ORNL-5621.
- 2) ORNL-RSIC (1976), “DOT3.5-Two Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code”, CCC-276.
- 3) ORNL-RSIC (1973), “CASK-40 Group Coupled Neutrons and Gamma-ray Cross-section Data”, DLC-23.
- 4) BNL (1973), “Neutron Cross Sections”, BNL-325 3rd Edition.
- 5) ICRP (1996), “Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation”, Publication74.
- 6) (一社)日本原子力学会 (2013年), 『使用済燃料・混合酸化物燃料新燃料・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(AESJ-SC-F006:2013)』。

No.	当該箇所		コメント
	型式	該当章	
19	TK-69CHS 型 TK-52CHS 型	(ロ)章F	中性子遮蔽材の密度の減損率の設定の考え方について申請者として一貫した説明すること。

(回答)

TK-69CHS 型及びTK-52CHS 型の中性子遮蔽材部には、レジン () が充填されている。このレジンは、熱による経年変化として、高温環境下ではレジンからの発生ガスの放出に伴う圧力上昇と密度減損が考えられる。

このうち、レジンの密度減損については、劣化パラメータを用いた密度減損率を算定し、ここから、遮蔽解析ではこれを丸めた密度減損を考慮して評価している。

ここで、TK-69CHS 型及びTK-52CHS 型のそれぞれについて、劣化パラメータを用いて算出された密度減損率と、遮蔽解析で考慮した密度減損を、表 19 に示す。

遮蔽解析で考慮した密度減損の設定においては、劣化パラメータを用いて算出された密度減損率を丸めているが、輸送容器の遮蔽材料として () の採用実績が少ないことから、十分な安全裕度が確保できる設定として、型式によらず一律に 0% としている。

なお、遮蔽解析モデルや密度減損以外の解析条件における保守性は、他の申請と同等である。

表 19 レジンの密度減損

	TK-69CHS 型	TK-52CHS 型
劣化パラメータを用いた 密度減損率 ^{注)}		
遮蔽解析で考慮した 密度減損		

注) 95%の信頼度を考慮した場合の値を示す。