

NFK-MPC-2005018

TNF-XI 型輸送物  
安全解析書に関するコメント回答（1）

2020 年 06 月 09 日

原子燃料工業株式会社

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

①ケース 2 に於いて、ウラン酸化物粉末等を入れるものとして「袋及び瓶」との記載がありますが、たとえば袋に入れた物を瓶詰め(あるいはその逆)するのでしょうか? 「及び」の記載は正しいですか?

ウラン粉末の収納体系は下記のケースを想定しております。

- ・袋のみを使用
- ・瓶のみを使用
- ・袋と瓶の両方を使用

「袋及び瓶」と記載しますと、上記 3 番目のケースのみを想定していると読めてしまうことから、「袋、瓶」と表現を見直したいと思います。

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

②イ章の中で「当該輸送容器」の形状は「立方体」とありますが、正しいですか？

幅、奥行（約  mm）と高さ（約  mm）はわずかに異なり、正確には立方体ではありません。ただ、イ章で述べているのは、あくまで外観上の特徴を説明したものであり、立方体と表現しても問題ないものと考えております。

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

③原型試験のなかで「予備落下試験(原型容器 1, 2)と落下試験(原型容器 3, 4)及び追加(同 5)」というのが現れますが、どういう位置づけで記載されているのでしょうか？技術基準に対する適合性説明ということから、これらがすべて必要なのでしょうか？(少なくとも、「予備」試験と「本」試験でやっていることが同じに見えますが) 考え方をご教示ください。

ご指摘の通り、予備試験、本試験および追加試験で実施された各試験のスペックは、いずれも技術基準に則した内容になっております。以下に予備試験、本試験、追加試験の位置づけを纏めます。

#### 予備試験

- ・ 9m 落下試験などの各試験を複数回実施し ((ロ) A 付属 1-4 ページ参照)、その結果から本試験の落下試験方向の決定。
- ・ 試験結果(原型容器 2 の底面変形量) から、臨界解析の解析条件の決定。
- ・ 原型容器 1,2 の設計の妥当性確認及び原型容器 3,4 の設計変更内容の検討 ((ロ) A 付属 2-1 ページ参照)。

#### 本試験

- ・ 試験結果から、遮蔽および臨界解析の解析条件の決定。
- ・ 原型容器 1,2 からの設計変更内容の妥当性確認
- ・ 原型容器 5 の設計変更内容の検討 ((ロ) A 付属 4-1 ページ参照)

#### 追加試験

- ・ 原型容器 3,4 からの設計変更内容の妥当性確認  
(耐火試験は実施せず)

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

④試験（含む耐火試験）結果から（遮蔽）、臨界解析にどのように反映されているかを体系的にご教示ください。試験結果をどのように考慮して、（熱、遮蔽、臨界の）モデル化をしたのか、それぞれの所に説明はありますが非常にわかりにくい。

次ページに整理致しました。

**予備試験** (□)A 付属資料1、(□)B 付属資料1 参照

- ・原型容器1,2に対し、各試験をそれぞれ複数回実施 (□)A 付属資料1の1.3項参照
  - 本試験の落下試験方向の決定 (□)A 付属資料1の1.6項参照
  - 底面方向における1.2m落下および9m落下時の累積変形量: 平均□mm
  - 試験後の密封性保持を確認

## ↓ 設計変更 (□)A 付属資料2参照

※底面方向の落下試験の挙動に変更なし

**本試験** (□)A 付属資料3、(□)B 付属資料3 参照

- ・原型容器3(臨界解析に影響を及ぼす試験)
  - 側面方向における1.2m落下および9m落下時の累積変形量: 最大□mm (□)A 付属資料3の3.5項参照
  - ターゲット落下時の割れ寸法: 約□mm (□)A 付属資料3の3.5項参照
  - 耐火試験後の炭化層厚さ: 側面平均□mm、外蓋の上部は全面炭化 (□)B 付属資料3の3.5項参照
  - 試験後の密封性保持を確認
- ・原型容器4(密封境界に熱的に厳しい試験)
  - 耐火試験時のガスケット温度(□°C)、BORALEジン温度(□°C)の測定 (□)B 付属資料3の3.5項参照
  - 内容器の1つに試験後のガスケットに隙間が発生

## ↓ 設計変更 (□)A 付属資料4の4.2項参照

※側面方向の落下試験の挙動に変更なし

**追加試験** (□)A 付属資料4 参照 ※耐火試験は実施せず

- ・原型容器5に対する落下試験
  - フランジ部の設計変更により、落下後の割れは生じず
  - 試験後の密封性保持を確認

**熱解析**

- ・耐火試験結果(ガスケット温度(□°C)、BORALEジン温度(□°C))に太陽熱放射の影響を考慮 (□)B5.3参照
  - ガスケット温度は□°C。火炎条件下における密封性保持を確認
  - BORALEジン温度は□°C。臨界解析においてもBORALEジンの劣化を考慮しない。

**遮蔽解析**

- ・一般の試験条件の解析モデルは、輸送容器外殻が縦、横、高さそれぞれの方向に□mm ずつ縮んだモデルを採用 (□)D3.1.2参照
  - 通常輸送時及び一般の試験条件下における輸送物表面と輸送物表面から1mの点における最大線量当量率は、いずれも基準値を満足
  - 通常輸送時と一般の試験条件下における輸送物表面での線量当量率の増加割合は約□%であり、わずかである。

**臨界解析**

- ・損傷輸送物は以下のモデルを採用 (□)E1.3.1(4)参照
  - 側面寸法を□mm減少
  - ターゲット落下時の損傷範囲として、内容器外表面までの直径□mmを水及び炭化層で置換
  - 底面落下による変形として、底面のフォーム厚みを□mm減少
  - フォームの表面□mmを炭化。外蓋の上部のフォームを炭化。
- 実行増倍率の最大値は0.95未満であり、臨界安全上問題ない。

文字色で試験結果と解析評価条件の対応を示している

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

⑤熱解析で、一般の試験条件における雰囲気放射率  の根拠について教えてください。併せて容器表面の  についても、ご教えてください。

一般の試験条件における雰囲気放射率は 1.0 に設定されることが多いですが、本解析では耐火試験における火炎放射率の  と同じ値を使用しております。

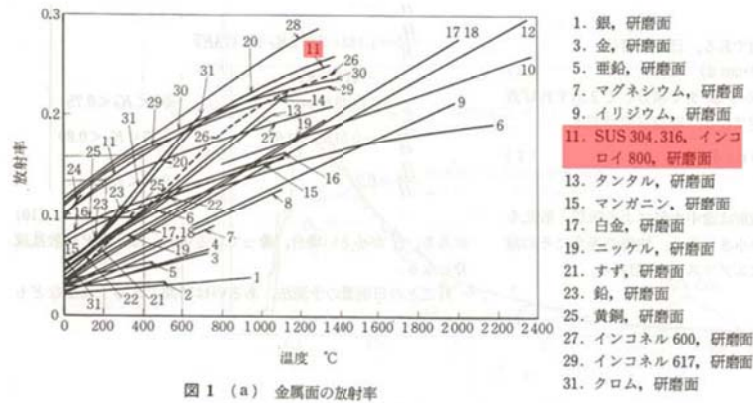
雰囲気放射率は輻射熱伝達に影響する因子である。輻射熱伝達率( $hr$ )は以下の式<sup>1</sup>で表され、雰囲気放射率が小さい方が容器表面から空気中への輻射熱伝達率が小さくなるため保守的な評価となっております。

$$hr = \frac{\sigma[\varepsilon_2 T_s^4 - \varepsilon_1 T_0^4]}{T_s - T_0}$$

ここで

- $\sigma$  : ステファン・ボルツマン係数
- $\varepsilon_1$  : 輸送容器表面の放射率
- $\varepsilon_2$  : 雰囲気放射率
- $T_0$  : 環境温度 (K)
- $T_s$  : 輸送容器表面温度 (K)

容器表面の  は、ステンレス鋼の放射率について下記の文献データ<sup>2</sup>を包絡する値に設定しております。



<sup>1</sup>伝熱工学資料, 日本機械学会, 改訂第 3 版  
<sup>2</sup>伝熱工学資料, 日本機械学会, 改訂第 4 版



TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

⑥特別の試験条件の最高温度について、試験結果を一般の試験条件の解析結果で補正することで求められていますが、それでよい妥当性をご教示ください。試験前後で輸送容器表面の状態が変化し、太陽熱の吸収が多くなると思われますが。

一般の試験条件の解析において、(ロ)B-第 8 表に記載したように、容器外表面上面に  $\square$  W/m<sup>2</sup>、側面に  $\square$  W/m<sup>2</sup> の入熱の熱流束を与えております。これは、技術基準に定められた太陽熱量と  $\square$  します。そのため、耐火試験前後に関わらず保守的な評価条件となっています。

なお、(ロ)B-第 2 表に太陽熱吸収率の記載がありますが、一般的な値を記載したものであり評価には使用しておりません。



TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

⑦規則 11 条 2 ニは核分裂性輸送物に係る一般の試験条件おいた輸送物を輸送制限個数の 5 倍、ホは特別の試験条件に置いた輸送物を輸送制限個数の 2 倍置くこととした場合となっていますが、ここで前者に対しては [ ]、後者については [ ] としたとあります。個数はよいとして、段数をこのようにしたことが実効増倍率が高い結果が得られることをご教示ください。

体系からの中性子の漏れをできるだけ小さくする体系（表面積が小さい体系）として立方体体系となるような段数を設定しております。

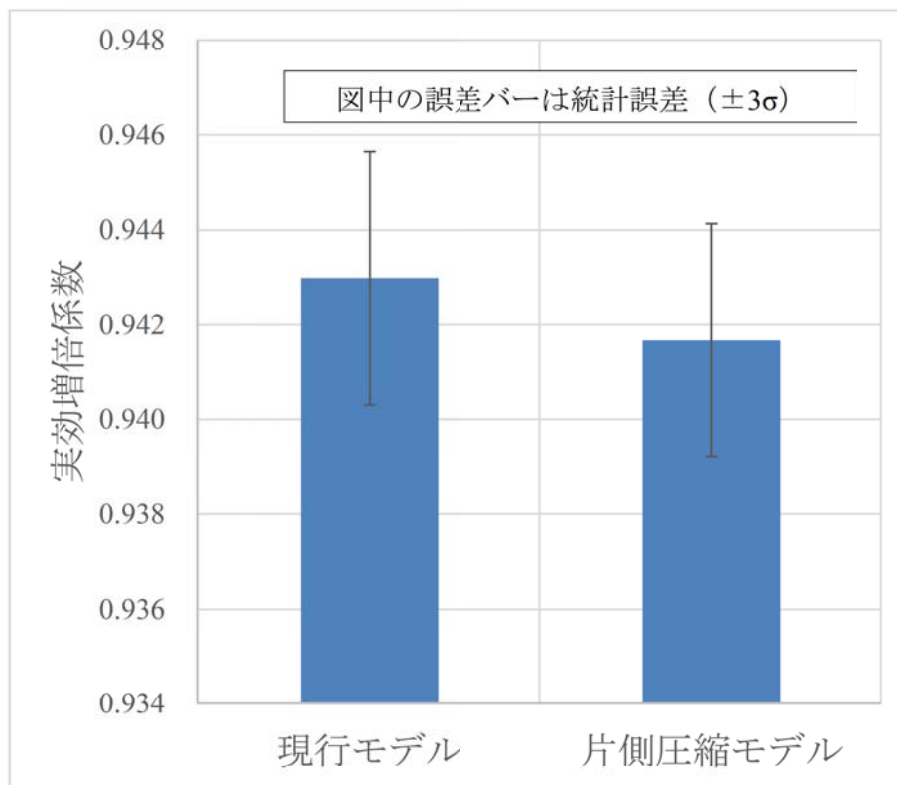
- ・一般の試験条件に置いた輸送物の場合は [ ] 個を超える立方体体系となる積み方として、[ ] を設定しております。
- ・特別の試験条件に置いた輸送物の場合は [ ] 個を超える立方体体系となる積み方として、[ ] を設定しております。

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
 NFK-MPC-2005018  
 2020年06月09日  
 原子燃料工業株式会社

⑧臨界解析の特別の試験条件のモデル化で、変形について全体を変形量分縮めたモデル化がされていますが、元の健全なモデルから変形分がなくなったモデル化としていない理由をご教示ください。

定性的には、現行モデルと比較し、ご質問のモデル（以後、「片側圧縮モデル」と称させていただきます。）は、圧縮側の中性子の相互作用が強まる効果と非圧縮側の中性子の相互作用が弱まる効果が打ち消し合うことにより、実効増倍係数に対して有意な差異は生じないと考えられるため、現行モデルとしております。

なお、補足としまして、輸送容器中に濃縮度  $\square\%$ 、内容器当たり  $\square\text{kg}$  の  $\text{UO}_2$  粉末が装荷されている場合の現行モデルと片側圧縮モデルの実効増倍係数を比較した結果を以下に示しますが、両者に有意な差異は生じないことを確認しております。



現行モデルと片側圧縮モデルの実効増倍係数の比較

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
 NFK-MPC-2005018  
 2020 年 06 月 09 日  
 原子燃料工業株式会社

⑨安全解析書の本文中に耐火試験により、フェノリックフォームの炭化が生じ、モデル図に示されていますが、当該部分はどうのようにモデル化されているのかご教示ください(原子数密度は健全なフォーム材と相違すると思われませんが。)

炭化したフェノリックフォームは、健全なフェノリックフォームから H と O が消失したとしてモデル化しております。具体的には下表のとおりです。

材質		核種	原子個数密度(atoms/barn-cm)	
			健全な場合	炭化した場合
フェノリック フォーム	NU150	H		
		C		
		O		
	NU200	H		
		C		
		O		

また、炭化したフェノリックフォームのモデル化を明確化するために、「(ロ)E-第3表 計算に使用した各物質の原子個数密度」中に炭化したフェノリックフォームの原子個数密度も記載いたします。

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

⑩ケース 2 (今回申請分) で収納物ほどの内容容器に収納されているのでしょうか? 特定のアドレスであればそこに収納することが最も厳しい条件となりうることをご教示ください。内容容器の中のポジションもセンターでよいことを定量的に説明ください。

収納物が収納されている内容容器に関するご質問

申請書記載のケース 2 の評価結果における収納物は「(ロ)E-第 4 図 [2/3] 損傷輸送物の形状モデル(全体・上部)」中の「損傷部」に最も近い内容容器に収納したモデルを採用しております。これは以下の理由によるものです。

- ・定性的には、損傷部があることにより、隣接する輸送容器と中性子の相互作用が増すため、評価上、収納物は損傷部に最も近い内容容器に収納したモデルを採用しております。
- ・また、本評価においては、どの内容容器に収納物を収納したとしても、実効増倍係数の差異は統計誤差に埋もれる程度であり、有意な差異はないことを確認しましたので、現行の「損傷部」に最も近い内容容器に収納したモデルを採用しております。

燃料領域の内容容器中の位置の根拠に関するご質問

ケース 2 において、内容容器中の燃料領域をセンターとしている理由（燃料領域を偏心させたモデルを採用していない理由）は以下のとおりです。

- ・一般に燃料領域を偏心させる理由は、隣接する燃料領域との中性子の相互作用を促進するためです。
- ・しかし、ケース 2 では、燃料領域を偏心させた場合、以下の理由により実効増倍係数は低下します。
- ・燃料領域を偏心させた場合、燃料領域間の距離が縮まり、中性子の相互作用は強くなりますが、それ以上に、燃料領域が BORA レジンに近づき中性子吸収効果が強くなる影響の方が強くなるため、実効増倍係数は低下します。

TNF-XI 型輸送物 安全解析書に関するコメント回答  
NFK-MPC-2005018  
2020 年 06 月 09 日  
原子燃料工業株式会社

①IAEA 安全輸送規則 1996 年度版は TS-R-1 です。(口) A 付属 1-15 頁)

補正申請にて訂正いたします。