

【補足説明資料】  
破損燃料用輸送容器に係る実施計画Ⅱ章の変更について

2020年9月15日

**TEPCO**

---

東京電力ホールディングス株式会社

# 今回の変更申請範囲



■ 燃料の分類と実施計画の対応は以下のとおり。

状態	燃料の状態	実施計画		
		2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備		2.12 使用済燃料共用プール設備 (添付資料-9、10)
		燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書 (添付資料-1-3)	破損燃料用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書 (添付資料-2-2)	
健全燃料	被覆管は健全	既認可の範囲	既認可の範囲※ 1	既認可の範囲 (通常ラック)
スペーサ部損傷燃料 (CB有り)	スペーサに損傷あるが燃料被覆管は健全			
スペーサずれ燃料 (CB有り)				
スペーサ部損傷燃料 (CB無し)	CB未装着のため、ガレキの影響で被覆管に影響を与える可能性を懸念	既認可の範囲	今回の変更申請範囲 (破損燃料用輸送容器 (7体))	既認可の範囲 (49体ラック)
漏えい燃料	SHIPPING検査により漏えいを確認済			
ハンドル部の変形が認められる燃料※ 3	小	記載を追加し、別途申請予定※ 2	今回の変更申請範囲 (破損燃料用輸送容器 (2体))	既認可の範囲 (25体ラック)
	大			

※ 1 : 添付資料-2-1「構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書」として認可済み

※ 2 : 添付資料-1-3「6.2. 3号機における燃料の取り扱い」を見直して対応することを検討中

※ 3 : 燃料ハンドルが変形したスペーサ部損傷燃料や漏えい燃料も含む (現在確認されていないが、今後発見される可能性あり)  
 ハンドル部の変形量を水中カメラで確認し、幾何学的に使用済燃料収納缶 (小) に収納可能な燃料を「小」、収納できない燃料を「大」として取り扱う。なお、判定しにくい燃料の場合は「大」とする。

※ : 上記以外の燃料が確認された場合は状況に応じて適切に対応する

- 3号機構内用輸送容器を破損燃料の輸送に用いるための審査の進捗を踏まえ、下記の通り補正を行う。

- 主な補正箇所及び補正理由

### II. 特定原子力施設の設計

#### 2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備

- ・ 本文

- 破損燃料用輸送容器（2体）の追加に伴う基本仕様の記載変更

- ・ 添付資料-2-1-2

- 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（3号機）

- バスケット個数の記載追加
  - 構造強度評価荷重条件等の記載の適正化

- ・ 添付資料-2-2-1

- 破損燃料用輸送容器（7体）に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（3号機）

- 概要及び安全評価の基本方針の記載変更

- ・ 添付資料-2-2-2

- 破損燃料用輸送容器（2体）に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（3号機）

- 概要及び安全評価の基本方針の記載変更
  - 構造強度評価荷重条件等の記載の適正化
  - 破損燃料用輸送容器（2体）に係る確認事項の記載追加

- ・ 添付資料-2-3-2

- 構内輸送時の措置に関する説明書（3号機）

- 1F規則改正に伴う記載変更

- ・ 別冊7 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明

- 破損燃料用輸送容器（7体）の安全機能及び構造強度に関しての補足書の新規記載
  - 破損燃料用輸送容器（2体）の安全機能及び構造強度に関しての補足書の新規記載

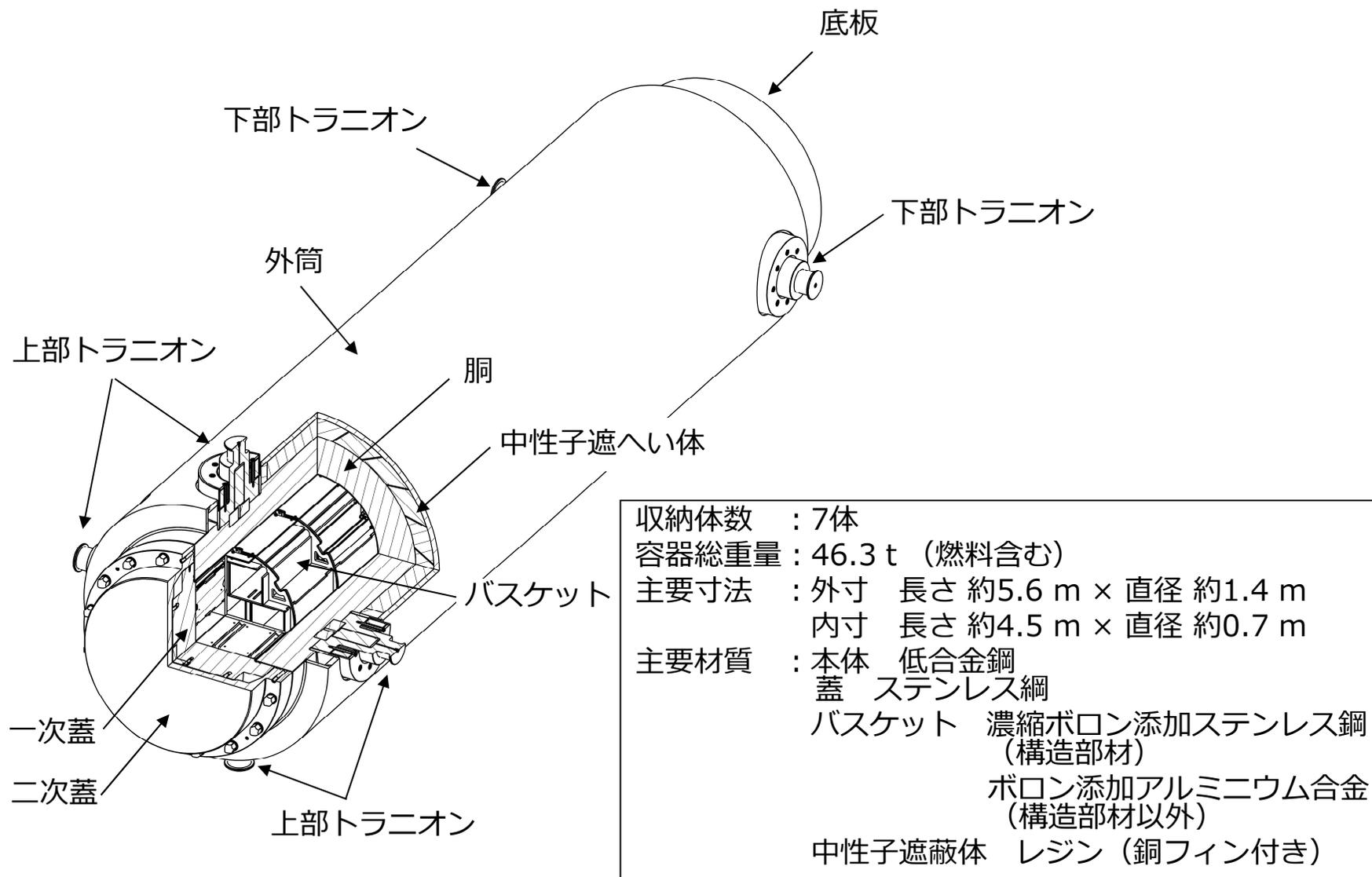
## 既認可輸送容器（7体収納）の設計経緯

- 3号機原子炉建屋の荷重条件から定格荷重50tのクレーンを設置。
- 既存容器では重量50tを超えるため、新たに輸送容器を設計。
- 3号機SFP燃料はガレキ落下により破損している可能性があったため、安全機能及び構造強度の設計条件に以下の条件を追加し、破損燃料も輸送できる容器として設計に反映。
  - 放射性物質の拡散を抑制
    - ⇒ ・ 収納缶及び収納缶が入るバスケットを設計し、破損燃料を収納缶に入れた輸送とする。
    - ・ 破損形態に応じて2種類の収納缶を設計・製造
      - ⇒ 収納缶（小）：既存容器のバスケット格子内のりやプールラック内のりから内寸を設定
      - 収納缶（大）：次スライドにて説明
- 収納体数は4体、7体、12体の3ケースを検討。

収納体数	4体	7体	12体
遮へい性能	@1m : 0.2 mSv/h	@1m : 0.3~0.4mSv/h	4体、7体よりも劣る
臨界性能	未臨界を確保	未臨界を確保	破損燃料を考慮すると成立しない
輸送回数	142回	81回	48回

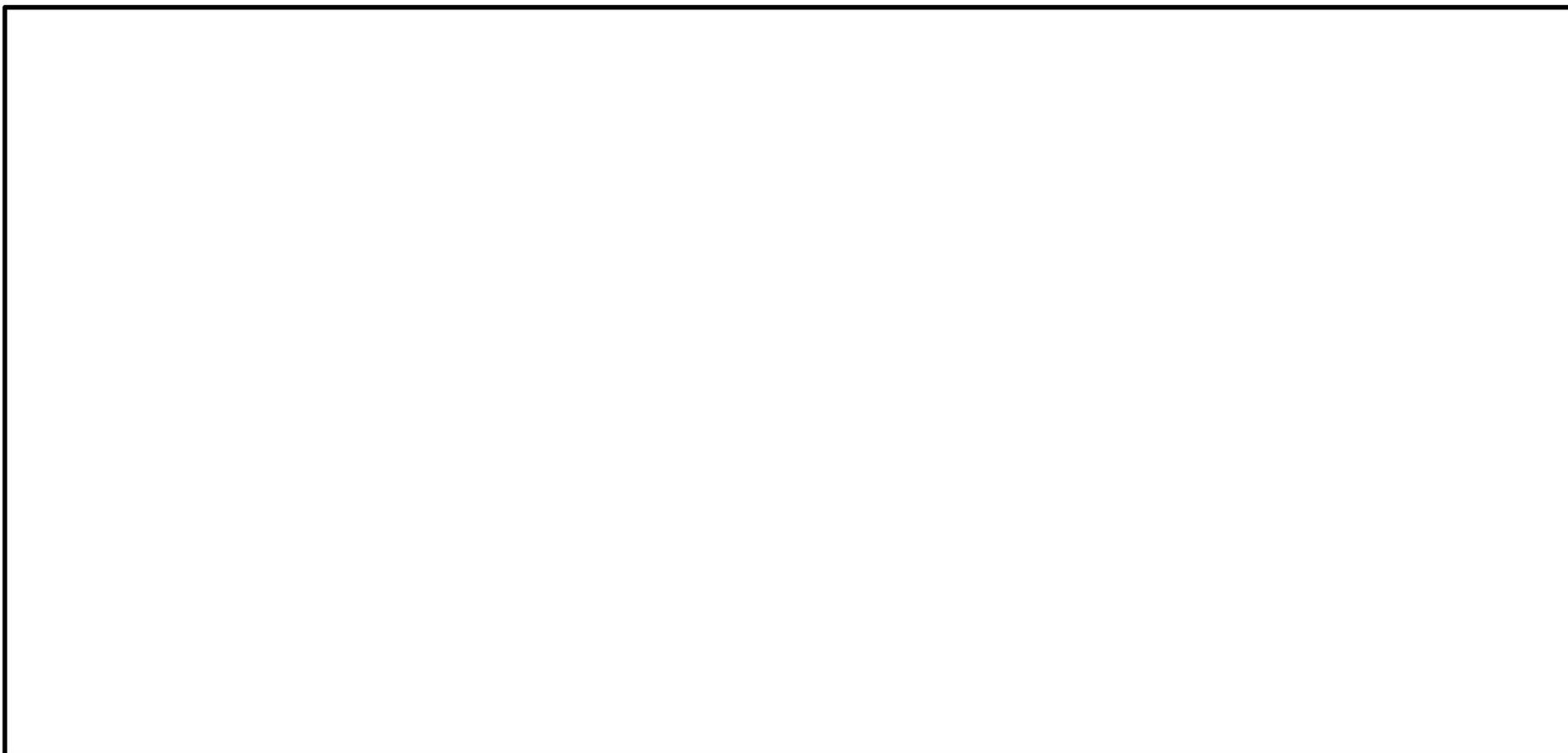
- 12体収納は、破損燃料まで考慮すると未臨界を確保できないため廃案。
- 作業環境の雰囲気線量が高いことから、極力輸送回数を減らして作業員の総被ばく線量を低減させるため、輸送回数の少ない7体収納を採用。

# 輸送容器（7体収納）の概要



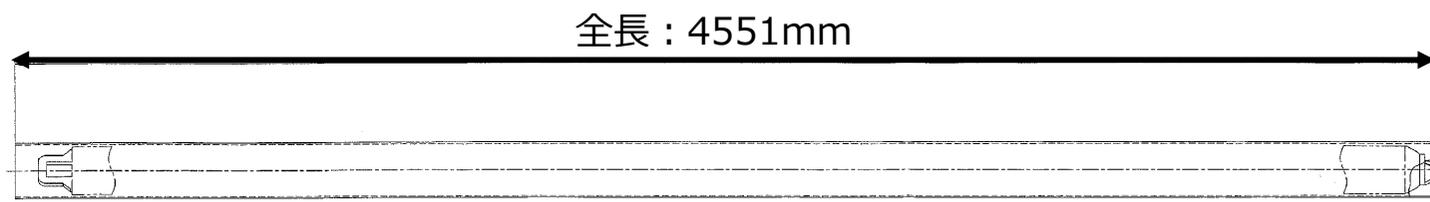
## 輸送容器（7体収納）のバスケット構造

- バスケットは容器内において燃料集合体を所定の位置に保持して未臨界を確保するための構造物であり、ボロン添加ステンレス鋼（B-SUS）の枠板、SUS304の格子支持板、バスケット外周にボロン添加アルミニウム（B-Al）合金板で構成されている。
- 枠板同士が嵌め合う構造となっており、枠板で燃料集合体を直接支持する。
- ボロン添加アルミニウム合金板は、両端を格子支持板にボルトで固定する構造であり、構造強度部材としての機能は有していない。

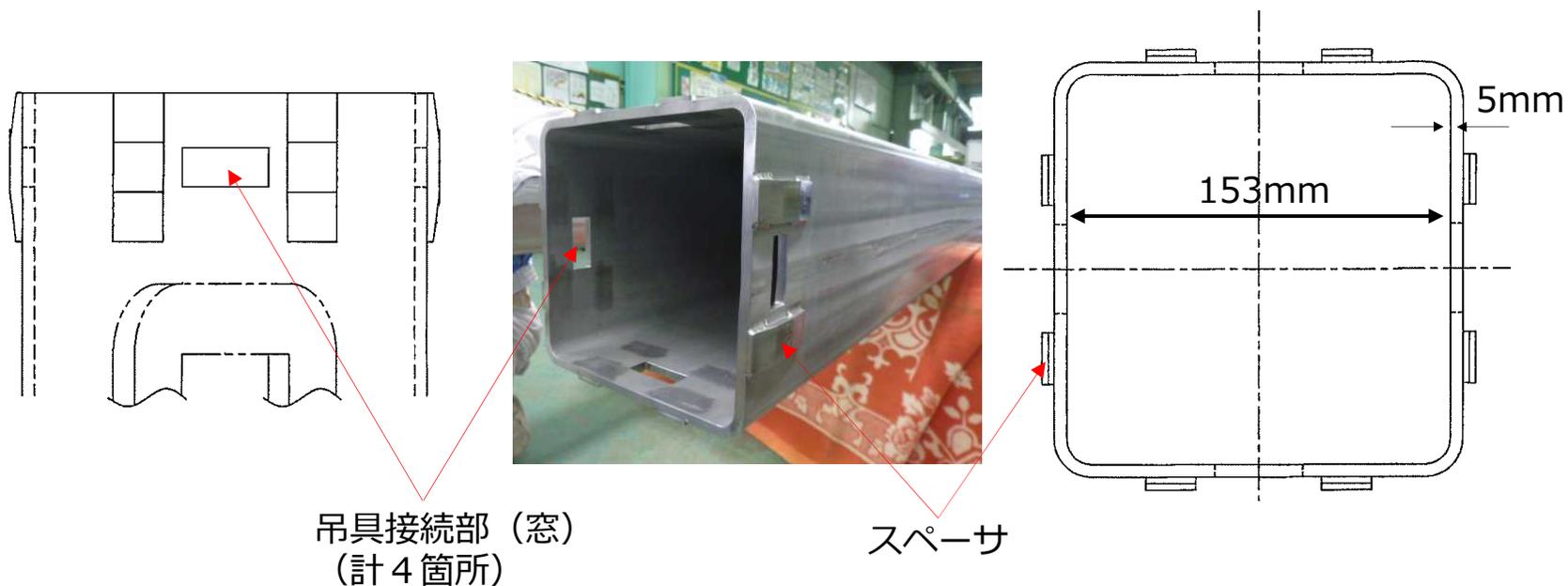


## 使用済燃料収納缶（小）の構造

- 使用済燃料収納缶（小）は、ステンレス鋼製の角缶構造である。上部には吊具を取り付けるための接続部（窓）を設け、接続部に吊具を取り付けできる構造としている。



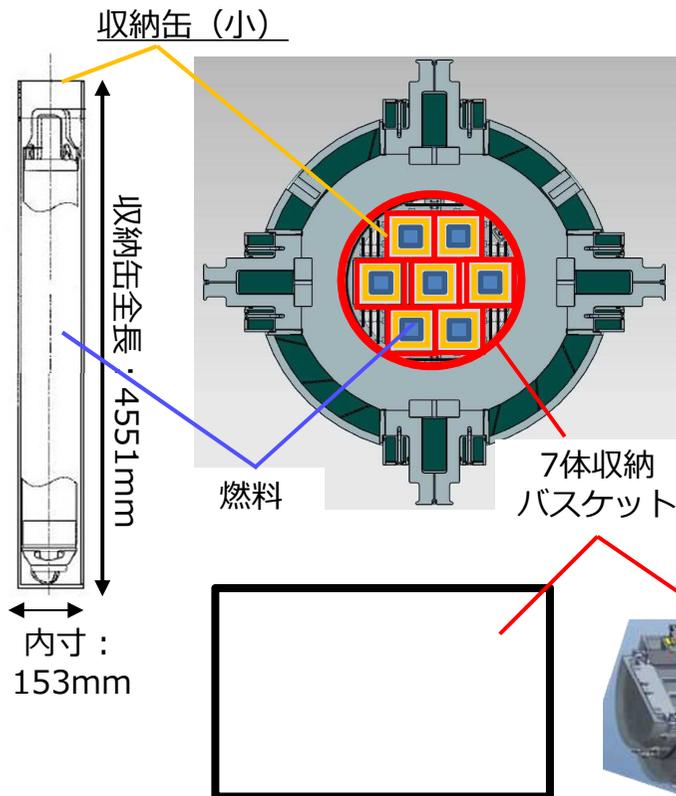
収納缶全体



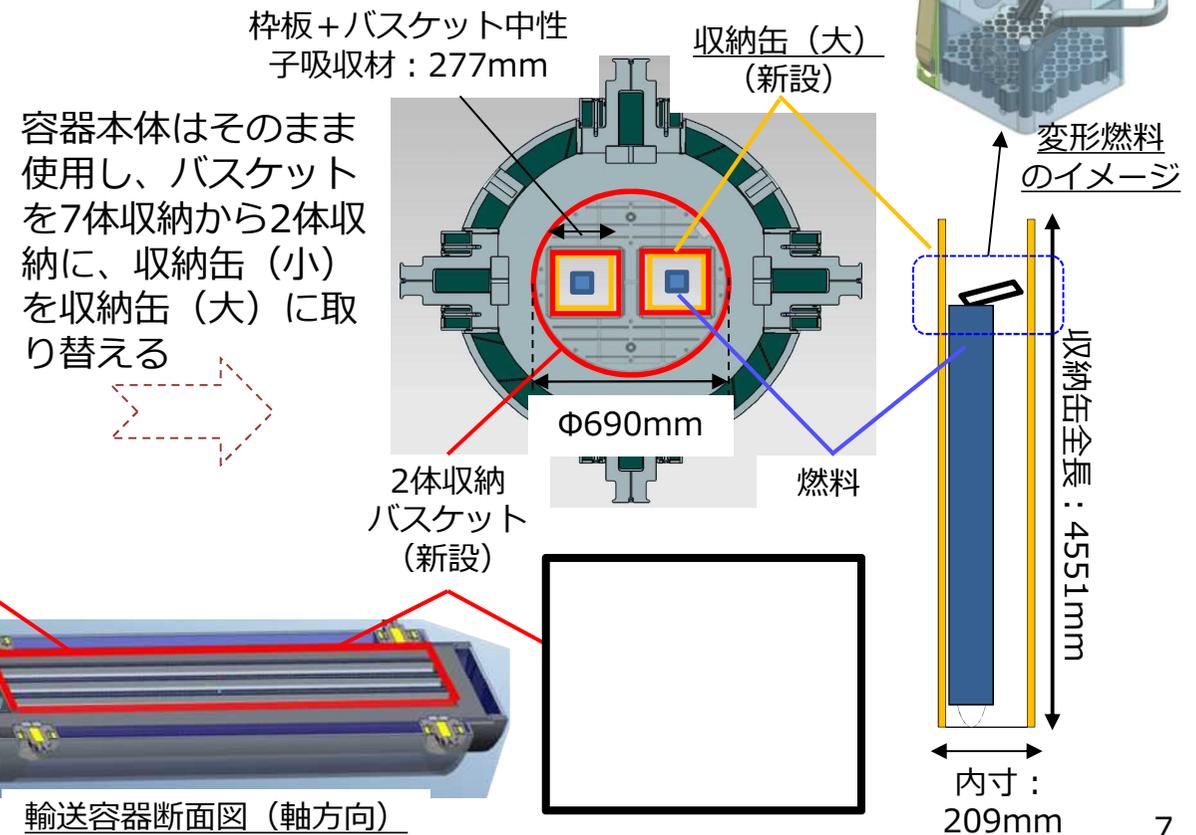
## 輸送容器（2体収納）の設計検討

- 3号機SFP内調査により、ハンドル部が変形した燃料を確認。  
⇒ハンドル変形の大きい燃料は収納缶（小）にハンドルが干渉する可能性があるため、収納可能な大きいサイズの収納缶（大）及び収納缶（大）に対応したバスケットを新規設計。
- 最大重量のガレキ下部から発見されたハンドル変形燃料が約60度の曲がり度で、現在確認されているものでは最大の変形量であるが、今後のガレキ撤去でより変形の大きい燃料が見つかる可能性があるため、保守的にハンドルが水平に傾倒した状態（下図）でも収納可能な内寸を設定。
- 収納缶（大）に対応したバスケットは未臨界が確実に確保され、幾何学的に最大収納となる2体を設定。

### 輸送容器（7体収納）



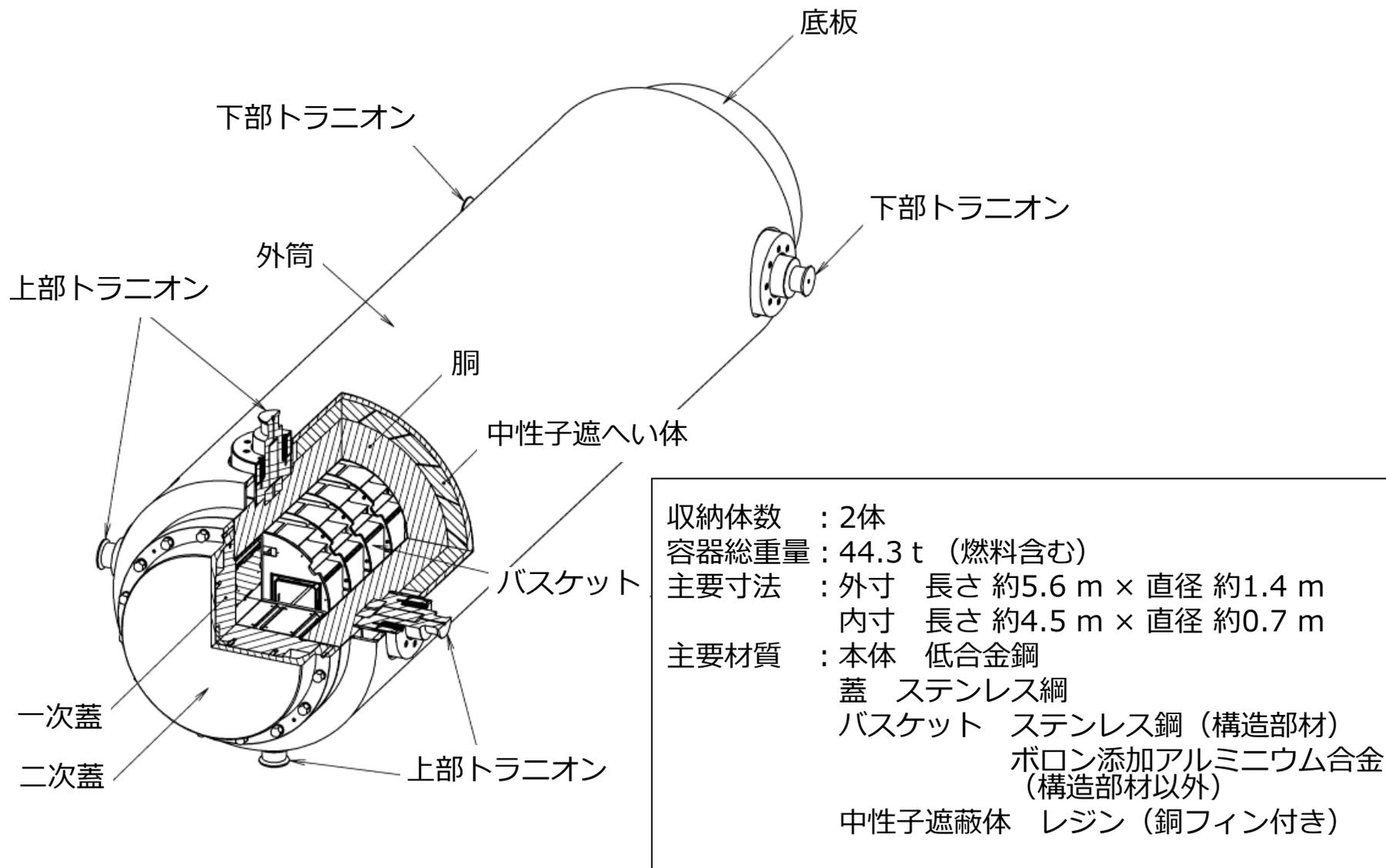
### 輸送容器（2体収納）



輸送容器断面図（軸方向）

☐：黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

# 輸送容器（2体収納）の概要



## 輸送容器（2体収納）のバスケット構造

- 2体収納バスケットは、ステンレス鋼（SUS）の枠板、SUS304の格子支持板、バスケット外周にボロン添加アルミニウム（B-Al）合金板で構成されている。
- 枠板で燃料集合体を直接支持する。
- ボロン添加アルミニウム合金板は、両端を中性子吸収材支持板に嵌め合って固定する構造であり、構造強度部材としての機能は有していない。中性子吸収材支持板は格子支持板にボルトで固定する構造である。
- スペースは、格子支持板を所定の位置に保持する役割であり、バスケットの構造強度部材の機能を有している。



## 使用済燃料収納缶（大）の構造

- 使用済燃料収納缶（大）は、ステンレス鋼製の角缶構造であり、側面には中性子吸収材のボロン添加アルミニウム（B-Al）合金を取り付けた構造である。上部には吊具を取り付けるための接続部（窓）を設け、接続部に吊具を取り付けできる構造としている。



## 輸送容器（7体収納）の安全評価追加項目

### ➤ 破損燃料の構内輸送における既認可からの変更点

主な燃料取出しのステップ		設備	既認可からの変更点
SFP～共用 プール輸送	構内輸送	輸送容器（7体収納） 運搬車両	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸送容器は変更なし</li> <li>輸送対象燃料に漏えい燃料、スパーサ部損傷燃料（CB無し）、ハンドル部の変形の小さい燃料を追加</li> </ul>

### ➤ 新評価の実施有無

評価項目	既認可の評価方針	変更に伴う新評価実施有無
構造強度	輸送容器の取扱手順から設計事象を抽出し、その荷重条件で発生する応力を評価する。	震災以前から存在する漏えい燃料等は、燃料被覆管の軽微な損傷または損傷の可能性があるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されると想定する。また、ハンドル部が変形した燃料についても落下がれきにより燃料上部が損傷している可能性があるが、ペレットは燃料被覆管内に保持されると想定する。このことから、設計事象の荷重条件が既存評価と同等であると言えるため、 <b>新評価は不要</b> 。
容器内水の放射線分解による水素ガス発生量評価	密閉した槽内での容器内水の放射線分解により発生する水素ガスの水中濃度はある飽和値に達し、水素ガス濃度は照射線量率の平方根に比例するとして、水素ガス濃度を評価する。	照射線量率の算出において、燃料被覆管による減衰を考慮していないため燃料被覆管の状態（破損の有無や破損の程度）によらず、線源条件も変わらないため <b>新評価は不要</b> （既認可と同様の評価結果）。
除熱機能	収納する燃料から発生する最大崩壊熱量で容器各部及び燃料の温度を評価する。	構造強度と同様にペレットは燃料被覆管内に保持されると想定する。このことから、評価条件が既存評価と同等であると言えるため、 <b>新評価は不要</b> （既認可と同様の評価結果）。
密封機能	構造強度及び除熱機能の評価結果から、設計事象において、容器密封部の健全性が維持されることを評価する。	構造強度及び除熱機能の評価結果が既存評価と同等であり、容器構造も同一であるため、 <b>新評価は不要</b> （既認可と同様の評価結果）。

## 輸送容器（7体収納）の安全評価追加項目

### ➤ 新評価の実施有無

評価項目	既認可の評価方針	変更に伴う新評価実施有無
遮へい機能	収納する燃料から発生する線源強度で容器表面及び表面から1mの線量当量率を評価する。	構造強度と同様にペレットは燃料被覆管内に保持されると想定する。このことから、評価条件が既存評価と同等であると言えるため、 <b>新評価は不要</b> （既認可と同様の評価結果）。
臨界防止機能	収納する燃料の濃縮度等の条件を保守的に設定して実効増倍率を評価する。	構造強度と同様にペレットは燃料被覆管内に保持されると想定※するが、万一臨界に至った場合の影響緩和が困難であることから、保守的に燃料棒の形状が維持されていないと仮定し、ペレットが被覆管から放出される燃料条件で <b>評価を実施</b> する。 ※：ペレットは燃料被覆管内に保持されると想定した場合、評価条件が既存評価と同等である。
輸送容器の落下時の線量評価	輸送容器取扱い中に、何らかの原因で輸送容器が落下し、収納する燃料が破損することで放射性物質が環境に放出されるとして放出量及び線量を評価する。	構造強度と同様に燃料被覆管や燃料上部が損傷している可能性があるが、保守的に輸送容器の落下前には燃料棒のギャップ内核分裂生成物の放出はなく、落下時に初めて放出されるとする。また、輸送容器の落下により、さらに保守的に容器内の燃料が全数破損し、破損した燃料棒のギャップ内核分裂生成物の全量が容器内に放出されると仮定しても既存評価と同条件であることから、 <b>新評価は不要</b> （既認可と同様の評価結果）。

# 輸送容器（2体収納）の安全評価項目



## ➤ 破損燃料の構内輸送における既認可からの変更点

主な燃料取出しのステップ		設備	既認可からの変更点
SFP～共用 プール輸送	構内輸送	輸送容器（2体収納） 運搬車両	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2体収納バスケット及び使用済燃料収納缶（大）に取り替える</li> <li>・ハンドル部の変形の大きい燃料を輸送する</li> </ul>

## ➤ 新評価の実施有無

評価項目	既認可の評価方針	変更に伴う新評価実施有無
構造強度	輸送容器の取扱手順から設計事象を抽出し、その荷重条件で発生する応力を評価する。	破損燃料輸送における輸送容器取扱手順に変更はないが、取扱手順から抽出された設計事象における荷重条件（収納体数・バスケット構造）が変わるため <b>評価を実施</b> する。
容器内水の放射線分解による水素ガス発生量評価	密閉した槽内での容器内水の放射線分解により発生する水素ガスの水中濃度はある飽和値に達し、水素ガス濃度は照射線量率の平方根に比例するとして、水素ガス濃度を評価する。	収納する燃料体数が7体から2体に減り、照射線量率も小さくなるため7体容器の発生量評価に包絡される（ <b>新評価は不要</b> ）。
除熱機能	収納する燃料から発生する最大崩壊熱量で容器各部及び燃料の温度を評価する。	収納する燃料体数が7体から2体に減るため発生する最大崩壊熱量は小さくなるが、容器の構成（バスケット構造）が変わるため <b>評価を実施</b> する。
密封機能	構造強度及び除熱機能の評価結果から、設計事象において、容器密封部の健全性が維持されることを評価する。	構造強度及び除熱機能の評価を新たに実施し、これらの評価結果から本機能についても <b>評価を実施</b> する。
遮へい機能	収納する燃料から発生する線源強度で容器表面及び表面から1mの線量当量率を評価する。	収納する燃料体数が7体から2体に減るため発生する線源強度は小さくなるが、容器の構成（バスケット構造）が変わるため <b>評価を実施</b> する。
臨界防止機能	収納する燃料の濃縮度等の条件を保守的に設定して実効増倍率を評価する。	収納する燃料条件や容器の構成（バスケット構造）が変わるため <b>評価を実施</b> する。
輸送容器の落下時の線量評価	輸送容器取扱い中に、何らかの原因で輸送容器が落下し、収納する燃料が破損することで放射性物質が環境に放出されるとして放出量及び線量を評価する。	収納する燃料体数が7体から2体に減り、核分裂生成物の放出量も減るため7体容器の線量評価に包絡される（ <b>新評価は不要</b> ）。

## 安全評価における既認可からの変更点

- 構造強度
  - 荷重条件（容器質量、バスケット構造）が変わるため、2体収納の評価を実施
  - 2体収納のトラニオンの応力評価は、容器質量が小さくなるため7体収納の結果に包絡される
- 除熱機能
  - 収納体数が2体に減り崩壊熱量は小さくなるがバスケット構造が変わるため、2体収納の評価を実施
  - 軸対称断面モデルを用いて評価されるOリング及び蓋は崩壊熱量に比例するため、2体収納は7体収納の結果に包絡される

評価項目		既認可（7体収納）	既認可（7体収納）との主な変更点	
			破損燃料用輸送容器（7体収納）	破損燃料用輸送容器（2体収納）
構造強度	評価対象	容器本体、蓋、バスケット、 <b>トラニオン</b>	同左	容器本体、蓋、バスケット
	評価条件	<b>7体収納</b> の容器質量（燃料、収納缶等の収納物を含む）及び内部構造	同左	<b>2体収納</b> の容器質量（燃料、収納缶等の収納物を含む）及び内部構造
	評価方法	評価対象ごとに荷重条件から応力計算	同左	同左
	新評価実施有無	－	<b>不要</b>	<b>要</b>
除熱機能	評価対象	中性子遮へい材、 <b>Oリング</b> 、胴、 <b>蓋</b> 、バスケット、燃料被覆管	同左	中性子遮へい材、胴、バスケット、燃料被覆管
	評価条件	<b>7体収納</b> の崩壊熱量及び内部構造	同左	<b>2体収納</b> の崩壊熱量及び内部構造
	評価方法	輪切り断面モデル及び <b>軸対称断面モデル</b> を用いた評価	同左	輪切り断面モデルを用いた評価
	新評価実施有無	－	<b>不要</b>	<b>要</b>

# 安全評価における既認可からの変更点



- 密封機能
  - 構造強度及び除熱評価結果並びに容器構造から密封機能の維持を確認するが、新たに構造強度及び除熱評価を実施したため、2体収納の評価を実施
- 遮へい機能
  - 収納体数が2体に減り線源強度は小さくなるがバスケット構造が変わるため、2体収納の評価を実施
  - 7体収納と軸方向の燃焼度分布が同一（線源強度の分布が同様）のため、燃焼度分布が最大（線源強度最大）となる高さの線源強度を評価し、2体収納が7体収納の結果に包絡されることを確認する

評価項目		既認可（7体収納）	既認可（7体収納）との変更点	
			破損燃料用輸送容器（7体収納）	破損燃料用輸送容器（2体収納）
密封機能	評価対象	一次蓋及び二次蓋で構成する密封境界	同左	同左
	評価条件	構造強度（7体収納）及び除熱機能（7体収納）と同様	同左	構造強度（2体収納）及び除熱機能（2体収納）と同様
	評価方法	構造強度（7体収納）及び除熱（7体収納）評価結果並びに容器構造から密封機能の維持を確認	同左	構造強度（2体収納）及び除熱（2体収納）評価結果並びに容器構造から密封機能の維持を確認
	新評価実施有無	—	不要	要
遮へい機能	評価対象	容器上部、上部中性子遮へい体欠損部、容器側面、下部中性子遮へい体欠損部、容器下部、上部トラニオン、下部トラニオン	同左	容器側面
	評価条件	7体収納の線源強度及び内部構造	同左	2体収納の線源強度及び内部構造
	評価方法	径方向の評価モデル及び軸方向の評価モデルを用いた評価	同左	径方向の評価モデルを用いた評価
	新評価実施有無	—	不要	要

## 安全評価における既認可からの変更点

- 臨界防止機能
  - 想定されるいかなる場合にも未臨界を確保しなければならないため、保守的に燃料被覆管が破損し、ペレットが収納缶外まで放出されることを仮定して評価を実施
- 輸送容器の落下時の線量評価
  - 収納体数が2体に減り核分裂生成物の放出量は小さくなるため、2体収納は7体収納の結果に包絡される

評価項目		既認可（7体収納）	既認可（7体収納）からの変更点	
			破損燃料用輸送容器（7体収納）	破損燃料用輸送容器（2体収納）
臨界防止機能	評価条件	7体収納バスケット、収納缶（小）、燃料条件（燃料形状を維持したまま収納缶内で燃料棒が広がる）	7体収納バスケット、収納缶（小）、燃料条件（燃料破損を仮定し、燃料粒子が収納缶外へ漏えい・堆積する）	2体収納バスケット、収納缶（大）、燃料条件（燃料破損を仮定し、燃料粒子が収納缶外へ漏えい・堆積する）
	評価方法	燃料条件、製造公差、境界条件など最も保守的に設定して評価	同左	同左
	新評価実施有無	－	要	要
輸送容器の落下時の線量評価	評価条件	収納した7体すべてが破損	同左	収納した2体すべてが破損
	評価方法	大気中への核分裂生成物の放出量から線量当量率を評価	同左	同左
	新評価実施有無	－	不要	不要

# 構外用輸送容器の使用前検査確認項目に対する実施要否



検査項目		確認内容	検査対象	輸送容器（2体収納） における実施要否
材料検査		設計どおりの材料であることを確認する。	容器、バスケット、 放射線遮へい材	要
構造 検査	寸法検査	設計どおりの寸法であることを確認する。	容器、バスケット、 放射線遮へい材	要
	外観検査	健全性に影響を及ぼす表面のかき傷、クラック、変形等の有害な欠陥がないことを確認する。		
強度・ 漏えい 検査	耐圧検査	機器等が検査圧力に耐え、変形等の異常がないことを確認する。	容器	<p style="text-align: center;">否</p> <p style="text-align: center;">（使用前検査済み。バスケットのみの変更で、輸送容器の耐圧部は7体収納時と同様）</p>
	漏えい検査	耐圧検査終了後、耐圧部からの漏えいの有無を確認する。		

# 構外用輸送容器の使用前検査確認項目に対する実施要否



検査項目		確認内容	検査対象	輸送容器（2体収納） における実施要否
機能 検査	伝熱検査	輸送容器内部に燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、定常状態における温度を確認する。	容器、バスケット	否 <u>（発熱量の大きい7体収納時に使用前検査済み。詳細についてはP20～22を参照）</u>
	気密漏えい検査	シール部が設計どおりの密封機能を有することを漏えい率を計測して確認する。	容器	否 <u>（社内検査済み。バスケットのみの変更で、輸送容器密封境界は7体収納時と同様）</u>
	未臨界検査	バスケットの材料及び主要寸法が、臨界評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	バスケット	要
	吊上荷重検査	トラニオンに荷重を負荷し、トラニオンの外観に異常のないことを確認する。	トラニオン	否 <u>（社内検査済み。7体収納時と同様のトラニオンで、負荷荷重も7体収納時よりも小さい）</u>
	模擬燃料集合体挿入検査	模擬燃料集合体をバスケットに挿入、取出しを行い、支障がないことを確認する。	バスケット	否 <u>（社内検査にて確認）</u>
	外観・据付検査	機能、性能に影響を及ぼす表面のかき傷、クラック、変形等の有害な欠陥がないこと、機器の据付位置及び据付状態を確認する。	容器	要

## 輸送容器（2体収納）の使用前検査確認項目



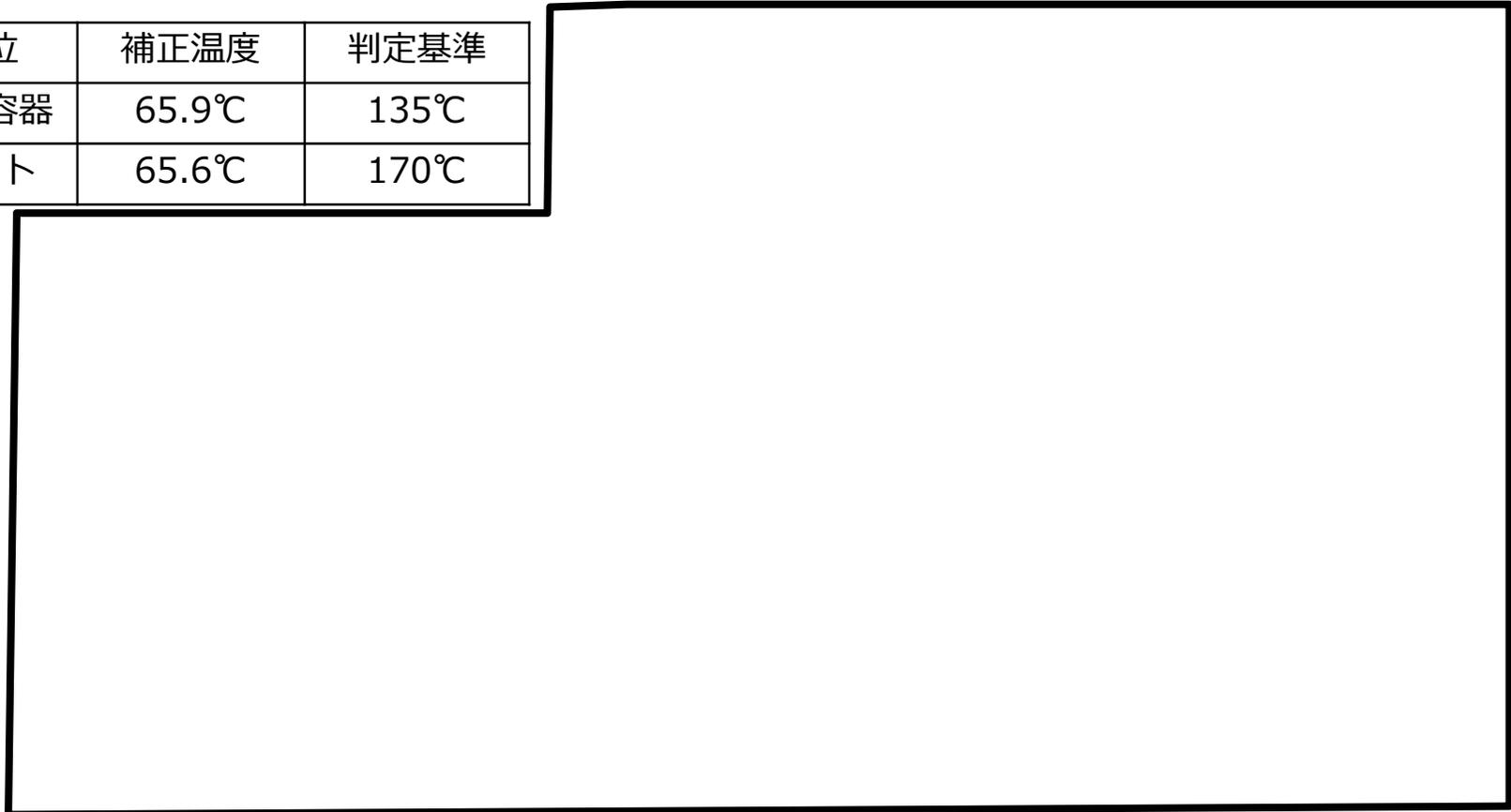
確認事項	確認項目		確認内容	検査対象	確認要否
構造強度	材料確認		実施計画に記載されている主な材料について確認する。	容器、バスケット、放射線遮へい材	<u>バスケットのみ検査対象</u> ※1
構造強度 遮へい機能	構造確認	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	容器、バスケット、放射線遮へい材	<u>バスケットのみ検査対象</u> ※1
		外観確認	各部の外観を確認する。		
密封機能	機能確認	取合確認	密封境界を構成する蓋等が容器と取合い密封境界の構成に問題が無いことを確認する。	容器	2体収納バスケットに変わり、バスケットと一次蓋との取合確認が必要なため <u>検査対象</u>
臨界防止機能	機能確認	材料確認 寸法確認 外観確認	バスケットの材料及び主要寸法が、実施計画評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。	バスケット	2体収納バスケットは新規設備となるため <u>検査対象</u>

※1：容器及び放射線遮へい材は7体収納と変わらないため検査不要

## 輸送容器（7体収納）の除熱機能検査

- 検査手順
  - 容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、定常状態における容器各部の温度を立会により確認する。
- 判定基準
  - 環境温度を38℃として補正した容器各部の温度が最高使用温度を超えないこと。
- 検査結果
  - 判定基準に対して十分裕度がある。

計測部位	補正温度	判定基準
キャスク容器	65.9℃	135℃
バスケット	65.6℃	170℃



 : 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

# 輸送容器（2体収納）の除熱機能検査の必要性について

- 7体収納と2体収納の伝熱経路の比較
  - 容器は同一の輸送容器を使うことから、胴より外側の伝熱経路は同一である。
  - 胴内部の主要な伝熱パスは、水とステンレス鋼であり、輸送容器(7体収納)と同じである。

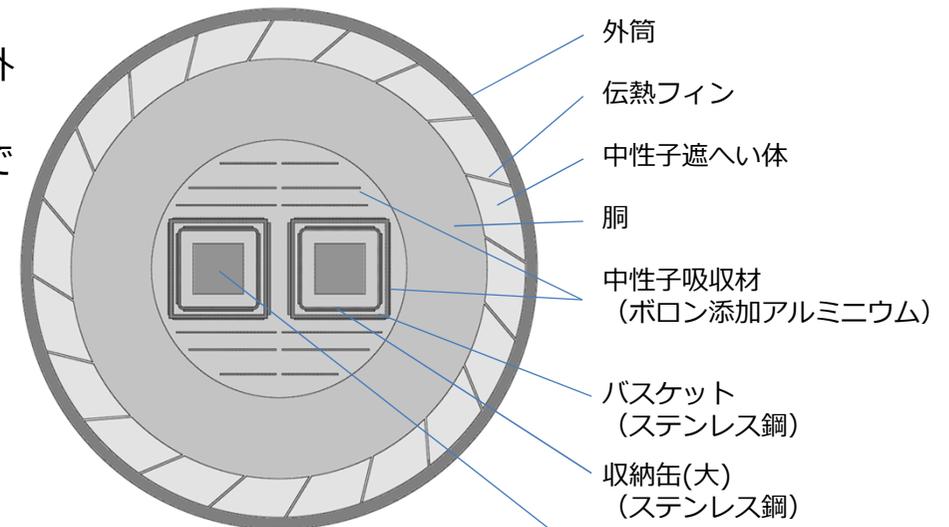
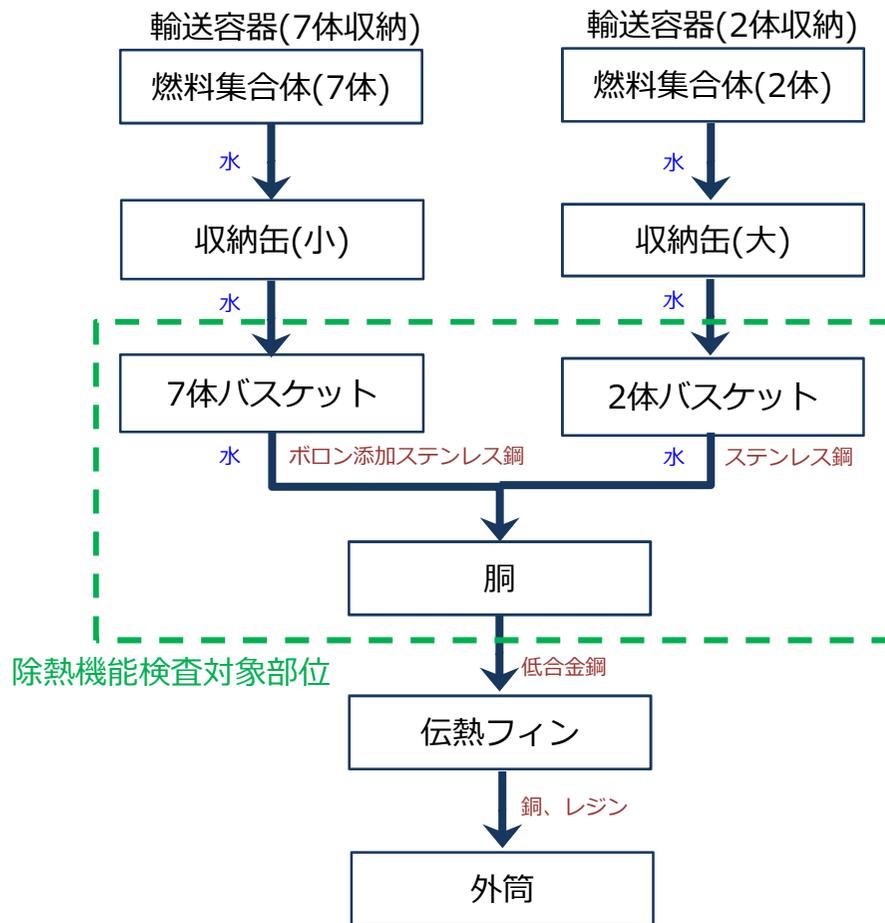


図 輸送容器(2体収納)断面

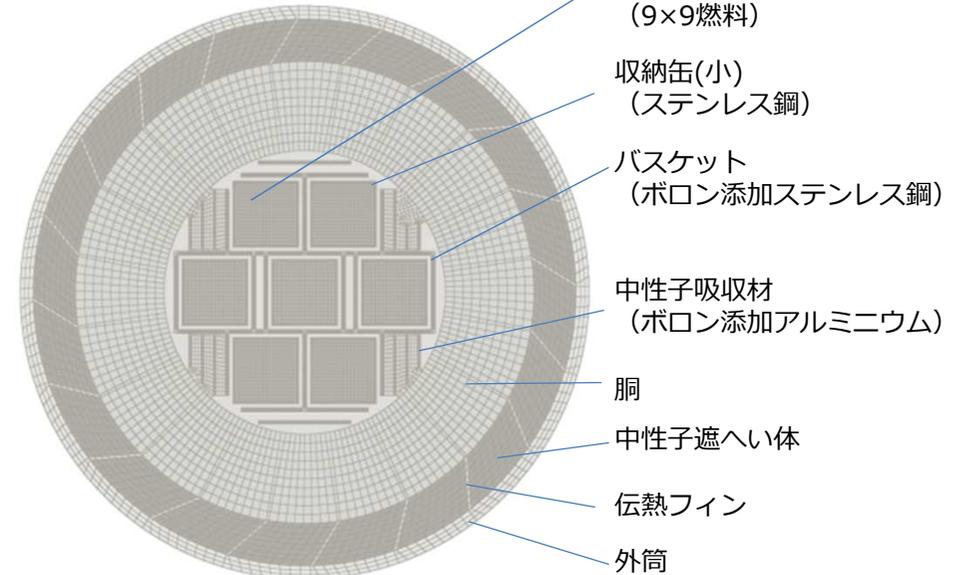


図 輸送容器(7体収納)断面

## 輸送容器（2体収納）の除熱機能検査の必要性について

### ■ 7体収納と2体収納の規定発熱量の比較

- 規定発熱量は以下のとおり7体収納時のほうが2体収納時より大きい。

		7体収納	2体収納
燃料条件	燃料タイプ	9×9燃料	9×9燃料
	燃焼度[MWd/t]	52,000	52,000
	冷却期間[日]	1,716	3,207
規定発熱量[kW]		<b>3.91</b>	<b>0.76</b>

### ■ 7体収納と2体収納の除熱評価の比較

- 同様の評価手法・解析コードを用いて評価された除熱評価は、以下のとおり2体収納は7体収納に包絡される。

評価部位	7体収納[℃]	2体収納[℃]
中性子遮へい材	96	72
胴	100	71
バスケット	152	89
燃料被覆管	169	110

### ■ まとめ

- 7体収納と2体収納で伝熱パスは同一であり、発熱量は2体収納時のほうが小さいため7体収納時より低い温度が測定されると想定される。
- また、7体収納と同様の評価手法・解析コードを用いて評価された除熱評価においても、2体収納は7体収納に包絡されることを確認している。
- 以上より、2体収納時の除熱機能検査は不要と考える。

	コメント
①	本申請における破損燃料の定義を整理し、説明すること。 ・輸送容器に入れる破損燃料の状態を実施計画に記載すること。 ・ハンドル部の変形が大きい燃料棒の健全性（燃料形状を維持していると考えられる根拠）について説明すること。
②	密封を担保する締付けトルクの管理はきちんとされているのか。どのように確認しているのか。
③	除熱評価、密封評価の上限温度（設計温度）について、根拠（設定の考え方）を説明すること。 ・除熱評価の中性子遮へい材の基準温度について、何を担保しているのか説明すること。 ・密封評価のOリングの基準温度について、何を担保しているのか説明すること。 ・除熱評価の燃料被覆管設計基準として、「照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度」及び「水素化物の再配向による被覆管の機械的特性の低下が生じない温度」の2種類の温度が挙げられているが、設計基準温度の200℃（8×8燃料）及び300℃（9×9燃料等）はどちらの温度に関係するのか。何を担保しているのか説明すること。
④	破損燃料に対する安全評価について、健全燃料の評価との違い（がないこと及びその理由）を説明すること。 ・安全評価条件において、破損燃料の評価にも関わらず、健全燃料を用いて評価しているのか、考え方を説明すること。
⑤	落下防止及び落下時の影響緩和措置に係る安全評価について説明すること。 ・落下防止対策：クレーン主巻フックを保持するワイヤーロープや吊具の二重化等 ・落下時の影響緩和措置：燃料を装填した輸送容器を地上階へ吊り降ろす際に緩衝体を載せたトレーラーを事前に地上階に配置する等
⑥	ボロン添加ステンレス鋼及びアルミニウム合金のB-10含有量の「製造下限値」がどういう値か説明すること。
⑦	遮蔽評価における「容器取扱い時には追加遮蔽体設置等の放射線業務従事者の被ばく低減対策を講じる」について、具体的に説明すること。
⑧	未臨界性評価のみ燃料被覆管の大破損による燃料ペレットの放出・粉砕を想定している理由（臨界になった場合の影響緩和が困難であること）を説明すること。
⑨	破損燃料用輸送容器の中性子吸収材について説明すること。

# 破損燃料用輸送容器に係るコメント回答 ①



本申請における破損燃料の定義を整理し、説明すること。

- 輸送容器に入れる破損燃料の状態を実施計画に記載すること。
- ハンドル部の変形が大きい燃料棒の健全性（燃料形状を維持していると考えられる根拠）について説明すること。

## ■ 破損燃料の定義

放射性物質閉じ込め機能が失われる被覆管の貫通欠陥が発生した燃料（疑いのある燃料も含む）と定義。なお、3号機の破損燃料は落下がれきによる影響で燃料上部が損傷している可能性があるものの、使用済燃料プールからの燃料取り出しや共用プールへの燃料輸送を考慮してもペレットは被覆管内に保持されているものと想定。

## ■ 3号機SFP燃料の分類

今回の変更申請で輸送対象とする燃料

分類		燃料の状態	体数（全566体） ※6/26時点	
健全燃料※1		被覆管は健全	548体※2	
破損燃料	漏えい燃料	震災以前から存在し、 SHIPPING 検査により漏えいを確認済	1体	
	漏えいの疑いのある燃料	スペーサ部損傷燃料（CB無し）	CB未装着のため、ガレキの影響で被覆管に影響を与える可能性を懸念	1体
		ハンドル部の変形が認められる燃料（変形大・小）	これまでのSFP調査およびガレキ撤去後に確認されたハンドルが変形した燃料	16体※3
	特別な取り扱いが必要な燃料		被覆管にき裂が発生し、き裂からペレットが散逸する可能性がある燃料	0体

※1：被覆管は健全のためスペーサ部損傷燃料（CB有り）及びスペーサずれ燃料（CB有り）も含む

※2：燃料健全性確認治具未使用燃料も含む

※3：燃料健全性確認治具の判定結果によっては増加する可能性あり

### ■ ハンドル部の変形が大きい燃料棒の健全性

がれき落下衝撃試験及びがれき衝突解析から、燃料棒に塑性変形は発生するものの、ペレットの脱落が起こるような破損は発生しない。

#### ➤ がれき落下衝撃試験

ハンドルは大きく変形し燃料棒は湾曲しているが破損は発生していない。（添付資料1-3に記載済み）

#### ➤ がれき衝突解析

保守的にハンドルが90°近くまで変形するような衝突条件であっても、燃料棒の上部端栓部にのみ塑性歪が発生し、被覆管部、下部端栓部に塑性歪は見られないため燃料棒は破損していない。現在確認されている最も変形が大きい燃料でも約60°であるため、ハンドル変形燃料は解析で確認した変形の範囲内と考える。

また、CB変形燃料についても上部端栓部は破損している可能性はあるものの、被覆管部に破損はない。（5/14 面談資料（3号機ハンドル変形燃料の吊上げについて）参照）

## 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書

### 5.落下がれきによる影響

福島第一1, 3, 4号機は原子炉建屋爆発に伴うがれきの落下を経験している。これまでに3号機, 4号機のSFP内の調査を実施しており, 3号機SFPではハンドル部の変形が認められる燃料集合体の一部確認されている。

#### 5.1.がれき落下衝撃試験

##### 5.1.1.試験概要

3号機SFP内には数多くのがれきが確認されており燃料集合体へのがれき衝撃の影響を確認するためにがれき衝突を模擬したがれき落下衝撃試験として9×9燃料(A型)を用いたハンドル部衝撃試験を行った。

##### 5.1.2.試験条件

がれき落下衝撃試験の試験条件を以下に示す。

試験体型式	: 9×9燃料(A型)
衝撃位置	: ハンドル部
落下高さ	: 5m
落下体重量	: 約100kg

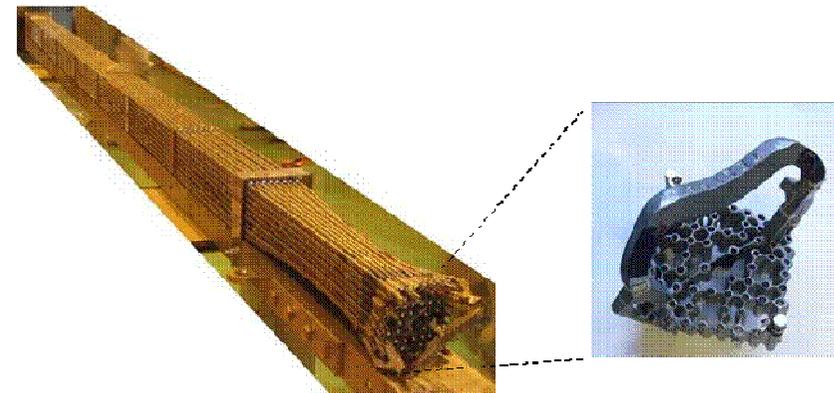


図5-1 がれき落下衝撃試験の結果

##### 5.1.3.試験結果

衝突後の燃料集合体を図5-1に示す。試験の結果、ハンドルは大きく変形し燃料棒は湾曲したものの、吊り上げ性能、燃料被覆管の密封性は確保されることを確認した。また、各測定データから、落下体がUTPに衝突し、その衝撃荷重が膨張スプリングを介して全ての燃料棒に伝達すること、燃料被覆管が塑性変形するような大きな荷重が付加された場合にはUTPが塑性変形した後に燃料被覆管が塑性変形することを確認した。

したがって、燃料被覆管への影響程度はUTPの変形程度から把握することが出来る。

## II-1 ガレキ衝突解析 ～解析目的, 解析条件～

### <解析の目的>

- 燃料ハンドル部へのガレキ衝突を模擬した解析を行い、ハンドル変形燃料の吊上げに寄与する燃料棒への影響を確認する。

### <解析条件>

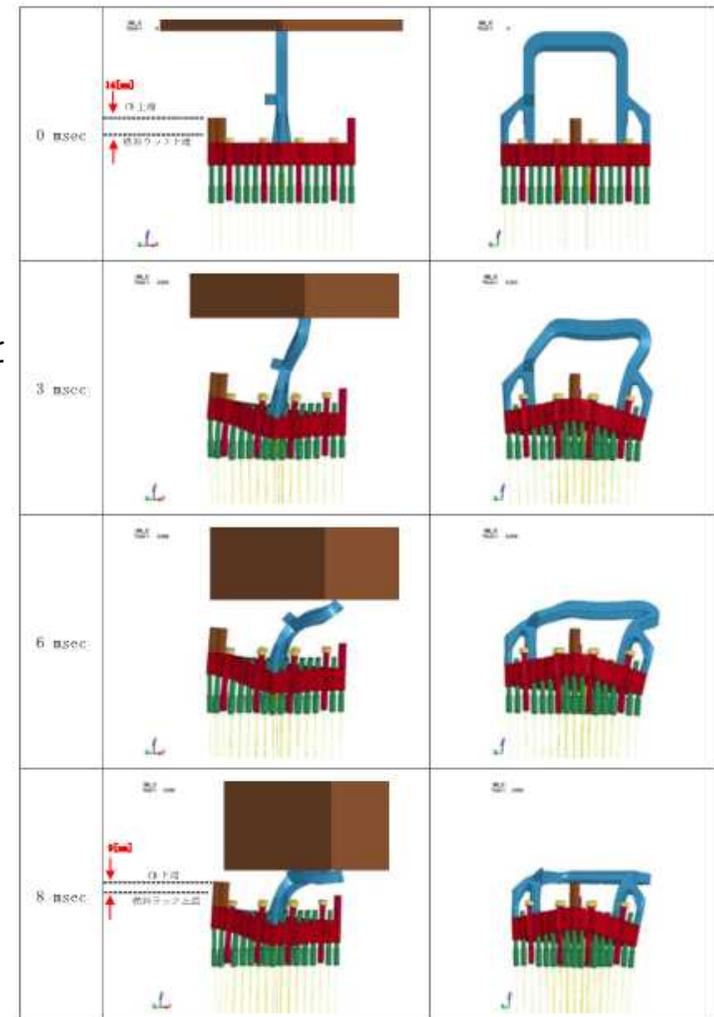
(評価手順・条件)

- ・ 3号ハンドル変形燃料はCF側又は反CF側にハンドルが変形しており、ガレキが斜めに衝突したと考えられる。
- ・ そのため、斜め衝突のケース（斜め45°）で衝突解析を行い、保守的にハンドルが90°近くまで変形するよう重量・速度条件を調整したうえで、燃料棒の塑性歪分布の傾向を確認する。  
(念のため、斜め衝突以外の評価条件においても塑性歪分布の傾向を確認する。)

	ガレキ重量	ガレキ衝突速度	ガレキの衝突角度	燃料型式
条件①	1 ton	21 m/s	斜め45°	9x9燃料 (A型)
条件②	1 ton	21 m/s	垂直	9x9燃料 (A型)
条件③	4.5 ton	12 m/s	垂直	9x9燃料 (A型)
条件④	1 ton	21 m/s	垂直	8x8BJ燃料

(解析コード)

- ・ LS-DYNA (3次元非線形衝撃応答解析コード)



ガレキ衝突時の時刻歴解析結果 (条件①)

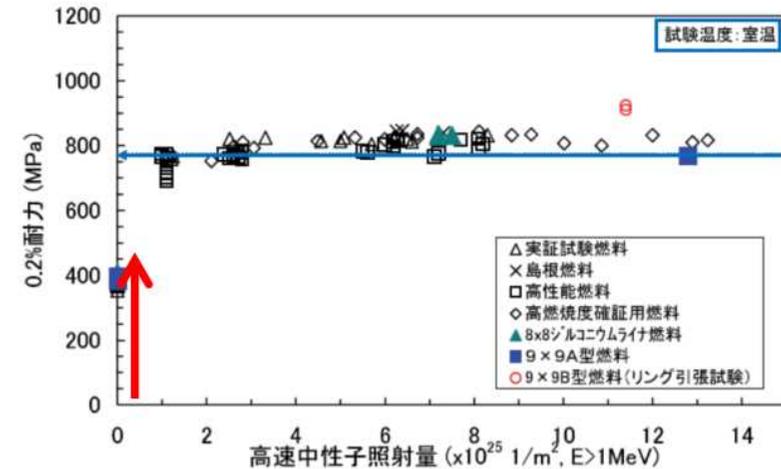
## II-1 ガレキ衝突解析 ～解析条件～

<解析条件 (続き)>  
(物性値)

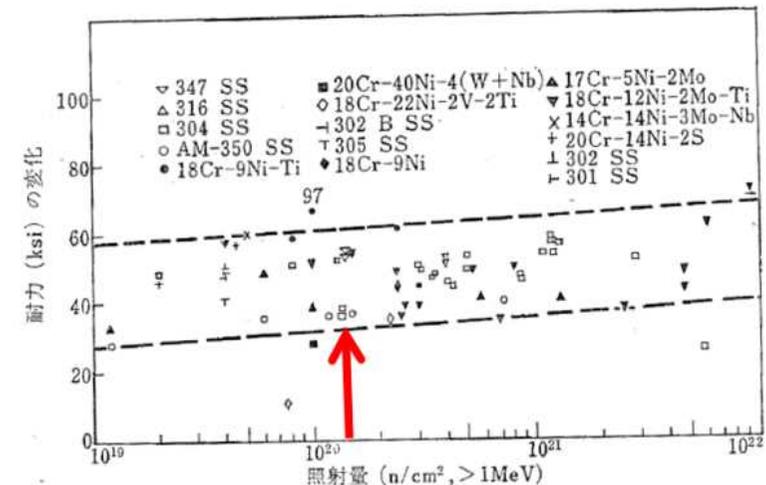
- 燃料集合体を構成する部材の大部分にジルカロイまたはステンレスが使用されており、いずれも中性子照射により強度が増大する。
- 原子炉内における5サイクル分の中性子照射量を評価した結果、燃料棒の上部端栓 (ジルカロイ) は  $0.2E+25n/m^2$ , 上部タイプレート (ステンレス) は  $1.3E+20n/cm^2$  ( $0.1E+25n/m^2$ ) となり、いずれも未照射材に近い照射量であることを確認した。
- 未照射材は照射材と比較して降伏応力は低く、また、より大きな歪み量で破断に至る。
- 今回、ガレキ衝突解析では、ガレキ重量・衝突速度を解析ケース毎に固定した評価のため同じ衝突エネルギーであれば未照射材の降伏応力を用いた方がより歪み量が多くなる。そのため、上部端栓と上部タイプレートは保守的に未照射材の降伏応力で評価した。
- 一方、破断歪は照射材の方がより少ない歪み量で破断に至るため照射材の物性値 (破断歪) で評価した。

燃料集合体の各部材の基本物性モデル

部材	基本物性モデル
上部タイプレート	ステンレス(未照射材)
上部端栓	ジルカロイ(未照射材)
被覆管	ジルカロイ(照射材)
下部端栓	ジルカロイ(照射材)
下部タイプレート	ステンレス(照射材)
チャンネルボックス	ジルカロイ(照射材)



ジルカロイ強度の照射量依存性



ステンレス強度の照射量依存性

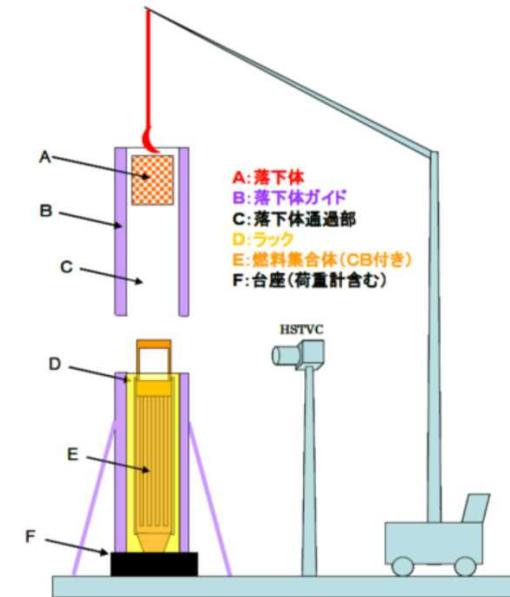
## II-1 ガレキ衝突解析 ～試験結果の再現性～

### ＜ガレキ落下衝撃試験＞

- ラック内に貯蔵された燃料へのガレキ落下影響を解析評価するために、模擬燃料体を用いたガレキ落下試験を下記条件で実施した。  
(燃料型式：9x9燃料（A型），落下体質量：約100kg，落下高さ：5m)
- 試験の結果，下記写真に示す通り燃料ハンドルが大きく変形し，燃料集合体の第8スパンの燃料棒にたわみが発生したものの，ヘリウムリーク試験により被覆管には破損が無いことを確認した。

### ＜再現解析結果＞

- LS-DYNAを用いた解析では，燃料集合体の各部材を下記要素タイプにモデル化したうえでガレキ落下試験と同じ条件で再現解析を行った。
- その結果，試験結果と燃料ハンドル，燃料集合体上部（第8スパン）の燃料棒のたわみ等，変形傾向はほぼ一致していることを確認した。



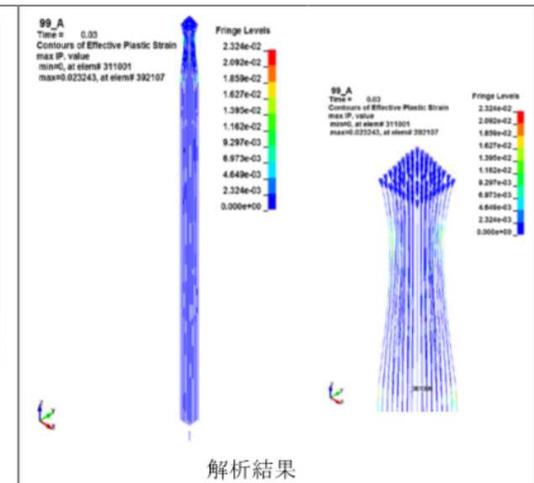
がれき落下試験イメージ図

燃料集合体の各部材の要素タイプ

対象部位	要素タイプ
上部タイプレート (ハンドル、ネットワーク、ファスナボ スト、コーナーポスト)	ソリッド要素
上部タイプレート (上記以外)	シェル要素
上部端栓	ソリッド要素
通常燃料棒	はり要素
部分長燃料	はり要素
ウォータロッド	はり要素
LTP (ネットワーク)	ソリッド要素
LTP (ネットワーク以外)	シェル要素
チャンネルボックス	シェル要素



試験結果



解析結果

ガレキ落下試験結果と解析の比較

## II-1 ガレキ衝突解析 ～解析結果～

- ガレキ衝突解析の結果、いずれの条件においても燃料棒の上部端栓部にのみ塑性歪が発生し、被覆管部、下部端栓部に塑性歪は見られなかった。
- CF側と反CF側の結合燃料棒（上部端栓部）4本の塑性歪はいずれも2.8% \*1未満であることから、実力的には吊上げ時に荷重を負担できるものとする。この場合、中性子照射による結合燃料棒の伸びのバラツキを考慮したとしても、少なくとも3点以上での吊上げのため、結合燃料棒全体では3ton以上負荷できる\*2ものとする。
- 但し、II-2に示す吊上げ解析では、保守的により塑性歪の小さい反CF側の結合燃料棒のみが吊上げ時の荷重を負担することを前提条件に評価を実施した。

CF側  
(単位%)

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.9	1.2	1.7	1.5	1.6	1.4	1.6	1.7	1.9
2	1.4		1.3	1.2		1.5	1.7		1.9
3	2.0	1.6	1.3	1.1	1.2	1.3	1.7	1.7	1.4
4	3.2	1.9	1.4	0.9		WR 1.1	1.7	1.8	1.8
5	3.2		1.8				1.5		1.3
6	4.2	4.2	2.3	WR 1.9		1.5	1.4	1.0	0.8
7	4.5	4.7	4.6	3.6	2.2	1.6	1.3	0.7	0.3
8	5.3		4.6	4.4		1.7	1.0		0.4
9	5.5	4.9	3.9	4.4	3.4	1.5	0.5	0.5	0.3

反CF側

CF側  
(単位%)

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.5	1.8	2.6	3.5	4.0	4.7	5.0	5.6	5.7
2	1.8		1.8	2.1		4.5	5.5		5.1
3	2.5	1.8	1.8	1.8	2.4	2.6	4.7	4.8	13.9
4	3.4	2.1	1.8	1.3		WR 2.9	3.9	4.4	4.9
5	4.0		2.4				2.5		3.7
6	4.3	4.5	2.5	WR 2.9		1.9	1.7	1.6	1.4
7	4.9	5.3	4.7	3.9	2.5	1.7	1.4	0.9	0.3
8	5.6		4.8	4.4		1.6	0.9		0.3
9	5.6	5.2	14.2	4.8	3.7	1.4	0.3	0.3	0.1

反CF側

CF側  
(単位%)

位置	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	1.7	1.3	2.1	2.8	3.6	4.1	4.0	4.7	5.2
2	1.3		1.3	1.4		4.3	4.5		4.4
3	2.1	1.3	1.3	1.1	1.6	1.8	4.4	4.0	13.5
4	2.8	1.4	1.2	0.8		WR 1.9	3.2	3.9	4.0
5	3.5		1.5				1.6		2.8
6	3.9	4.1	1.8	WR 1.9		1.1	1.0	0.9	0.8
7	3.8	4.3	4.2	3.1	1.6	1.0	0.8	0.5	0.2
8	4.7		4.0	3.7		0.9	0.5		0.3
9	5.2	4.3	14.5	3.9	2.7	0.8	0.3	0.3	0.2

反CF側

CF側  
(単位%)

位置	A	B	C	D	E	F	G	H
1	0.1	0.2	0.1	0.7	1.3	3.4	4.4	6.9
2	0.2	1.2	0.3	0.7	1.0	1.9	1.7	2.1
3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	2.1	0.5	2.5
4	0.7	0.9	0.4	0.1	2.8	0.2	3.7	0.1
5	1.7	1.5	0.6	3.3	0.0	0.1	0.2	1.6
6	4.1	2.6	2.1	0.1	0.1	0.2	0.2	1.0
7	5.5	2.2	1.3	3.8	1.7	0.2	0.3	0.2
8	9.9	4.0	4.4	1.5	2.9	0.3	0.2	0.2

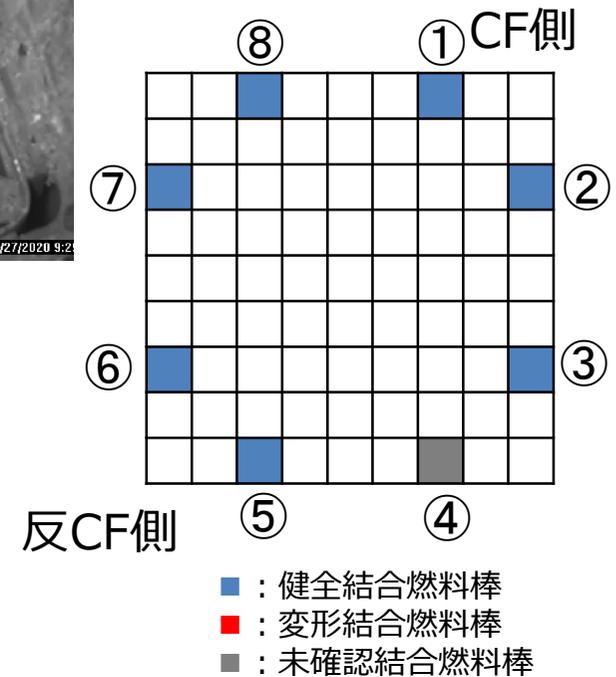
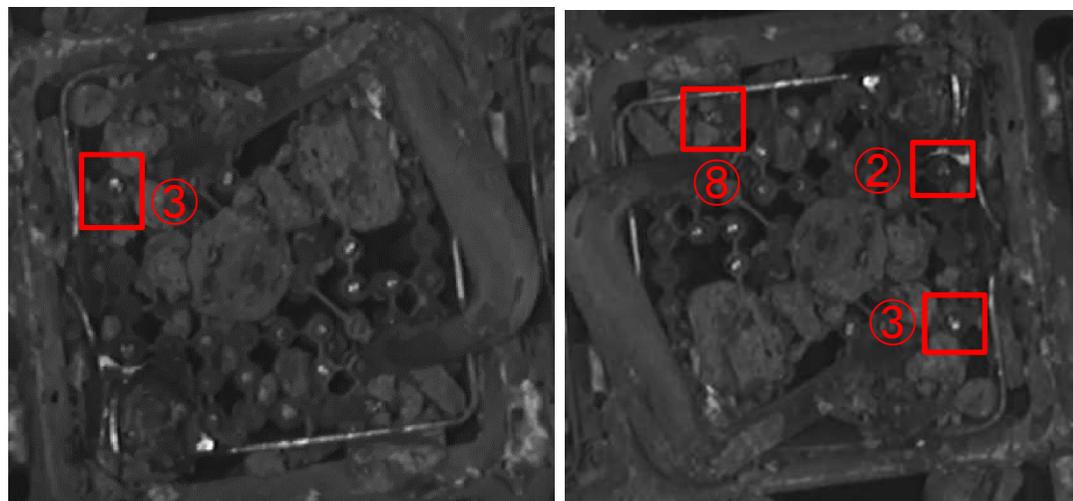
反CF側

上部端栓の塑性歪分布 (条件①) 上部端栓の塑性歪分布 (条件②) 上部端栓の塑性歪分布 (条件③) 上部端栓の塑性歪分布 (条件④)  
 (1ton, 21m/s, 斜め45°, 9x9A) (1ton, 21m/s, 垂直, 9x9A) (4.5ton, 12m/s, 垂直, 9x9A) (1ton, 21m/s, 垂直, 8x8BJ)  
 ■ : 結合燃料棒 ■ : 結合燃料棒 ■ : 結合燃料棒 ■ : 結合燃料棒

\*1 これまでに実施された燃料被覆管（未照射材，照射材）の軸方向の引張り試験に係る知見のうち破断に至った塑性歪の最小値。そのため、この値に達した場合でも必ずしも破断するわけではない。  
 \*2 結合燃料棒の垂直方向の引張強度は未照射材，照射材ともに1本あたり1ton以上。

## II-1 実機ハンドル変形燃料の結合燃料棒について

- 3号機SFP内のハンドル変形燃料のうち、最も変形が大きな燃料（約60度、p2の写真⑪が該当）のITVによる結合燃料棒（上部端栓）の様子は下記のとおり。
- 画像で確認できた結合燃料棒はいずれも有意な変形は無く吊上げ上問題ないと考える。
- その他のハンドル変形燃料についても同様に画像で確認できた範囲では結合燃料棒にいずれも有意な変形は無かった。（但し、CB変形燃料除く）



## II-1 CB変形燃料のガレキ衝突の影響について

- CB変形燃料はハンドルだけでなく、CF・CFポストがハンドル側に傾倒<sup>\*1</sup>するように変形しており、CFポスト近傍の標準燃料棒、結合燃料棒は、上部タイプレートを介して曲げ応力が発生している可能性がある。そのため、CFポスト近傍の燃料棒に発生する塑性歪の有無を有限要素法コードANSYSを用いて評価した。（\*1 ITV画像からCFポストの傾倒角度は約27°と推定。）

＜評価条件＞

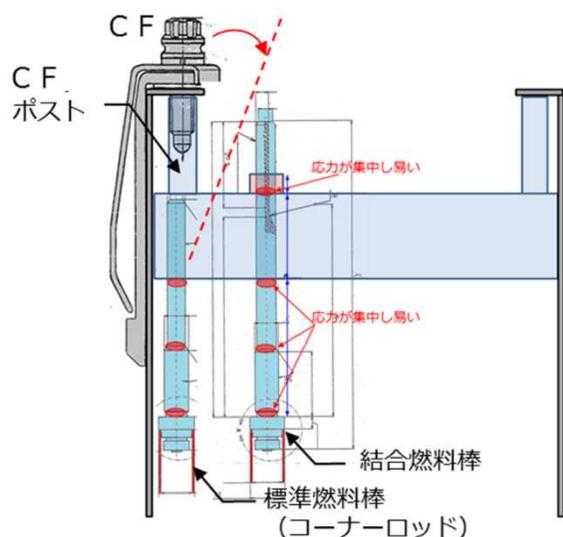
CFポスト傾倒角度：30°，評価温度：70℃<sup>\*2</sup>，物性値：ジルカロイ（未照射材）

<sup>\*2</sup> 震災後の3号機SFP内温度の最高値（評価値）

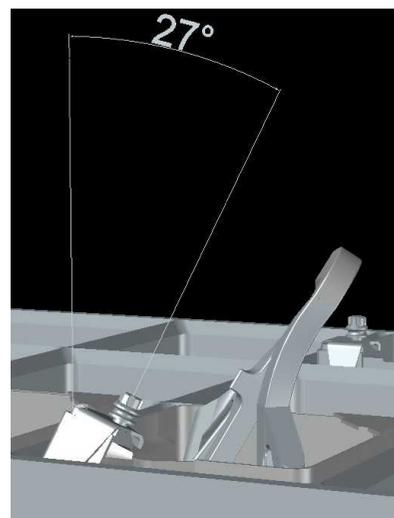
＜評価モデル＞

- ・ 燃料棒（第7スペーサより上側），UTP（燃料棒との嵌合部），CBのモデルを作成。（なお，UTPとの嵌合部は，保守的に燃料棒（上部端栓）との間隙を考慮しない形状とした。）

- 評価の結果，CFポスト近傍の標準燃料棒，結合燃料棒は，いずれも上部端栓部については細径部において歪が大きくなり，曲げ角度30°では塑性歪2.8%を超過した。一方，被覆管部においては歪は発生しなかった。したがって，いずれも上部端栓部は破損している可能性はあるものの，被覆管部に破損はないため，燃料棒からのFPガスのリークやペレット脱落リスクは無いと考える。



CB変形燃料のCF傾倒イメージ



ITV画像を基に作成した3D-CAD図

## 【参考】 ハンドル変形燃料の吊り上げ試験について

### ■ 試験内容

- ✓ 2020年5月21-22日, 3号機FHM掴み具で把持可能なハンドル変形燃料10体の吊り上げ試験を実施した。
- ✓ 10体中,7体のハンドル変形燃料は問題なく吊り上げ可能であることを確認した。

### ■ 7体について予定した高さである約10cmまで吊り上げられることを確認

- ✓ 7体中3体については試験前より約20~70mm高い位置で着座。通常の重量荷重で再吊り上げ可能であることを確認済み。今回の吊り上げによりガレキが燃料の下部に混入したと推定。想定事象でリスクが無いいため燃料取り出しまで現状維持。

### ■ 3体が制限荷重(700kg)内で吊上がらないことを確認

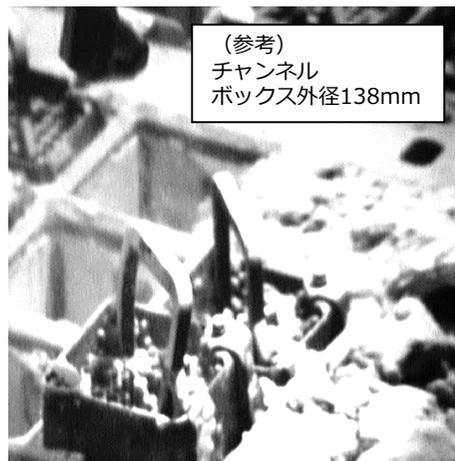
- ✓ チャンネルボックス変形による燃料ラックとの干渉または,ガレキによるかじり・固着していると推定。
- ✓ 当該燃料の対応方法については,今後検討。

### ■ 干渉物のため,今回は1体が試験できず

- ✓ ハンドル変形燃料1体について,吊り上げ前に配管との干渉が確認されたため,吊り上げ試験を中止。
- ✓ 当該燃料の把持方法および試験時期については,今後検討。



吊り上げ試験の状況 (No.15)



高い位置で着座した燃料(No.6)



マストと配管の干渉により吊ることができない燃料 (No.14)



マストとの干渉の状況(No.14)

# 【参考】 3号機SFP内燃料のハンドル状況の確認について

- 5月28日時点でハンドル変形を確認した燃料は16体。このうち既存FHM掴み具で把持角度を超過している可能性のあるハンドル変形燃料は4体（区分C分）。2020年12月頃に吊り上げ試験を実施予定。
- ④⑪は、吊り上げ試験の際に数度程度、ハンドル角度が元の位置側に戻ったが、模擬ハンドルによる引張り試験も実施しており、変形により強度上に問題は生じないことを確認済み。

ハンドル変形燃料取扱い区分

輸送容器

3号機使用済燃料プール内西側拡大図

- : ガレキ撤去完了
- : 燃料ハンドル目視確認完了
- : ハンドル変形を確認【16体】
- : 燃料取出済
- : 燃料が入っていないラック
- : 燃料交換機、コンクリートハッチが落下したエリア

N o.	型式	ITVによる推定曲がり角度	変形方向	取扱い区分※1
①	STEP2	約10°	反CF側	A or B
②	9×9A	約10°	反CF側	A
③	9×9A	約40°	CF側	C
④	9×9A	約40°※2	反CF側	B
⑤	9×9A	<10°	CF側	A
⑥	9×9A	約10°	CF側	A
⑦	9×9A	約10°	反CF側	A
⑧	9×9A	約20°	反CF側	A or B
⑨	9×9A	約40°	CF側	C
⑩	9×9A	約10°	反CF側	A or B
⑪	9×9A	約60°※2	反CF側	B
⑫	9×9A	約60°	CF側	C
⑬	9×9A	約40°	CF側	C
⑭	9×9A	約20°	CF側	B
⑮	STEP2	<10°	反CF側	A
⑯	9×9A	<10°	-	A

※取扱い区分	A	B	C
収納缶	小	大	
掴み具	既存		大変形用

※1：ハンドルが北東側に倒れている場合は、チャンネルファスナが掴み具と干渉するため、把持可能な角度が小さい。

※2：吊り上げ試験時に、ハンドルが数度程度曲げ戻ったことを確認している。

密封を担保する締め付けトルクの管理はきちんとなされているのか。どのように確認しているのか。

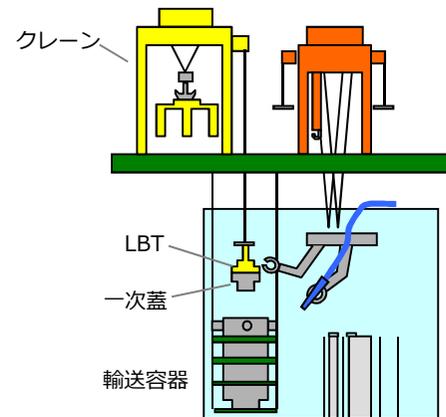
輸送容器の密封は、一次蓋をボルトで容器本体に締め付ける構造であり、締め付けトルクの管理により密封機能を担保している。以下のように、締め付けトルクは使用済燃料プール内の移送容器蓋締め装置(LBT)で締め付けを行い、さらに輸送容器取扱ボックスに吊り下ろした後、に有人でのトルク確認を行っている。

**(使用済燃料プールでの一次蓋取付け作業)**

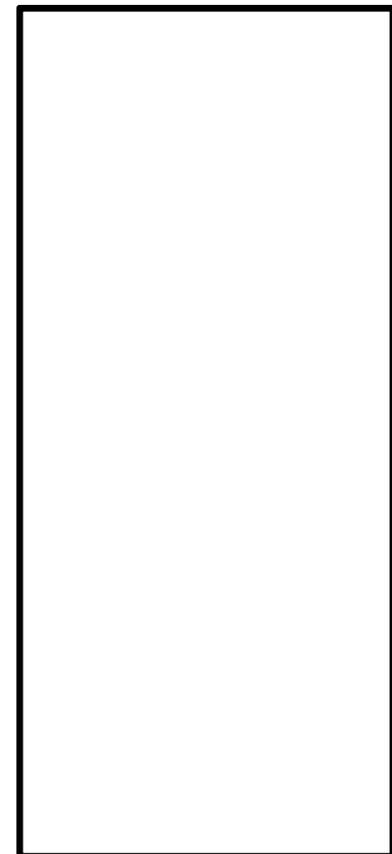
- 移送容器蓋締め装置(LBT)をクレーン補巻に装着し、遠隔にて一次蓋を取付け後にLBTを使用しボルトを締め付ける。その際、ボルトの回転数をカメラで確認し、ボルトの締め付け状態を確認している。
- ボルトは、LBTで設定した規定トルクで締め付ける。
- 一次蓋取付け後、LBTを外し、輸送容器に垂直吊り具を取付け、輸送容器を建屋1階の輸送容器取扱ボックスに移動する。

**(輸送容器取扱ボックスでのトルク確認)**

- 輸送容器から垂直吊り具を取外す。
- 一次蓋締め付ボルトが、規定トルク値で締め付けられていることを全数をトルクレンチにて確認する。
- 二次蓋を取り付ける。



輸送容器 蓋締め作業



移送容器蓋締め装置 35

移送容器蓋締付装置は、燃料取扱設備の定期点検にあわせて点検しており、締付けトルク値の校正を行っている。

これまでの点検実績を下記に示す。

- ・ 2018年7月：移送容器蓋締付装置の据付時
- ・ 2019年8月：燃料取扱設備の年次点検時
- ・ 2020年4月：燃料取扱設備の年次点検時
- ・ 2021年4月予定：燃料取扱設備の年次点検時

除熱評価の中性子遮へい材の基準温度について、何を担保しているのか説明すること。

○ 中性子遮へい材（レジン）

レジンの設計基準温度（149℃）は、使用可能温度を保証する基準値として設定おり、メーカーでは150℃の連続使用においても優れた耐熱性を有するとして、本輸送容器ではメーカー保証値（<150℃）を担保するように、149℃を設計基準値として設定している。

レジン(エポキシ系レジン, NS-4-FR) は、キャスクの中性子遮蔽材として広く使用されており、熱及び放射線を受ける環境では、熱を支配因子として時間の経過とともにわずかながら重量が減少することが知られている。

3号機構内用輸送容器については、図1に示すように、熱によるレジンの重量減損はない。なお、本輸送容器を3号機以外で使用する場合は、改めてレジンの重量減損評価を実施し、重量減損する場合は遮へい評価を実施することを保全計画に記載する。



図1 エポキシ系レジンの重量減損 [1]

参照：(独)原子力安全基盤機構，「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）」

：黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

密封評価の Oリングの基準温度について、何を担保しているのか説明すること。

○ Oリング（ふっ素ゴム）

輸送容器のOリングの設計基準温度は、4号機の燃料取り出しで使用した構内用輸送容器（構外輸送容器としても認可を受けているもの）と同様で、ふっ素ゴムの使用可能温度として産業技術センターの「複合材料技術集成」に記載の使用温度から設定している。また、日本規格協会の「新版ゴム材料選択のポイント」にもふっ素ゴムの使用可能温度範囲として上限300℃が産業技術センターと同様に記載されている。なお、日本規格協会は、JIS等の開発を行っている一般財団法人である。

除熱評価の燃料被覆管設計基準として、「照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度」及び「水素化物の再配向による被覆管の機械的特性の低下が生じない温度」の2種類の温度が挙げられているが、設計基準温度の200℃（8×8燃料）及び300℃（9×9燃料等）はどちらの温度に関係するのか。何を担保しているのか説明すること。

使用済燃料被覆管は水素を吸収しており、この水素が水素化物として析出している。ある程度以上の水素化物が半径方向に配向すると、機械的特性を低下させることが知られている。また、従来300℃以下で貯蔵される場合には照射硬化の回復が生じないとされてきたが、原子力安全基盤機構(JNES)が平成15年度に実施した試験において、比較的300℃に近い温度条件で照射硬化の回復が生じた。このことからJNESにおいて、貯蔵燃料長期健全性等確認試験を実施し、使用済燃料被覆管水素化物の再配向の機械特性への影響及び照射硬化回復の機械特性への影響をまとめている。

JNESの水素化物再配向機械特性試験結果より、ライナー無し燃料(8×8型以前)では200℃以下で、ライナー有り燃料(9×9型他)では300℃以下で水素化物再配向による機械特性の劣化は確認されていない。また、JNESの照射回復特性において、300℃では照射硬化回復で強度が著しく低下しない。これらの結果を基に、実施計画では燃料被覆管の設計基準温度を設定している。

## 【参考】燃料被覆管の設計基準温度について

燃料被覆管の設計基準温度は、下記の知見から設定している。

- \*1 平成18年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確証試験に関する試験最終報告書)(06基炉報-0006, 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- \*2 平成19年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書)(07基炉報-0004, 独立行政法人原子力安全基盤機構)

燃料 (試験対象)	温度・応力等条件	冷却速度： 30℃/h－0.6℃/h程度	冷却速度： 0.6℃/h程度以下
55GWd/t型 ライナー有	水素化物配向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 300℃以下かつ16MPa以下</li> <li>・ 250℃以下かつ40MPa以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 300℃以下かつ70MPa以下</li> </ul>
	機械特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 300℃以下かつ70MPa以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 300℃以下かつ70MPa以下</li> </ul>
		冷却速度： 30℃/h－3℃/h程度	冷却速度： 3℃/h程度未満
40GWd/t新型 8×8型以前 ライナー無	水素化物配向	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 200℃以下かつ70MPa以下</li> <li>・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 200℃以下かつ70MPa以下</li> <li>・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要)</li> </ul>
	機械特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 200℃以下かつ70MPa以下</li> <li>・ 250℃以下かつ70MPa以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 200℃以下かつ70MPa以下</li> <li>・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要)</li> </ul>
50GWd/t	照射硬化回復特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ [300℃, 5000h]において, 硬さのわずかな回復</li> <li>・ [300℃, 2000h]において, 硬さの有意な回復は確認されず</li> <li>・ [270℃, 5000h]において, 硬さの有意な回復は確認されず</li> </ul>	

破損燃料に対する安全評価について、健全燃料の評価との違い（がないこと及びその理由）を説明すること。

- 安全評価条件において、破損燃料の評価にも関わらず、健全燃料を用いて評価しているのか、考え方を説明すること。

■ 想定する破損燃料の状態

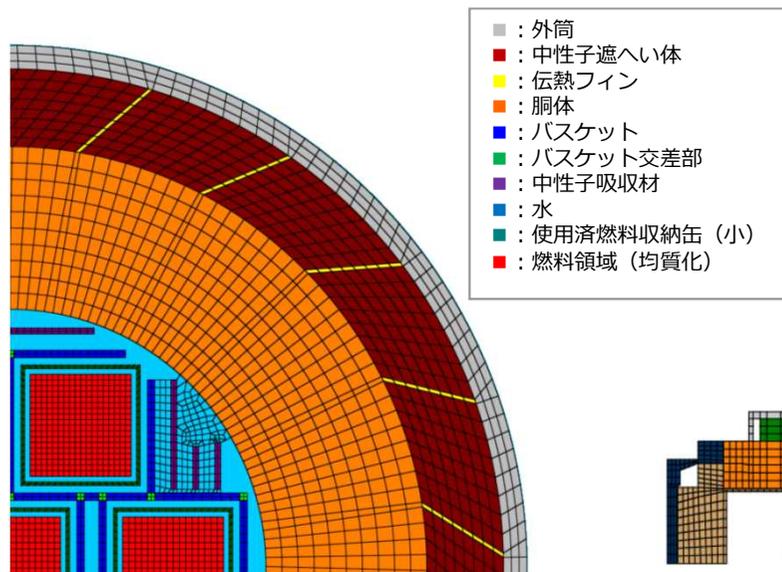
落下がれきによる影響で燃料上部が損傷している可能性があるものの、ペレットは燃料被覆管内に保持されている。

■ 健全燃料（既認可）との比較

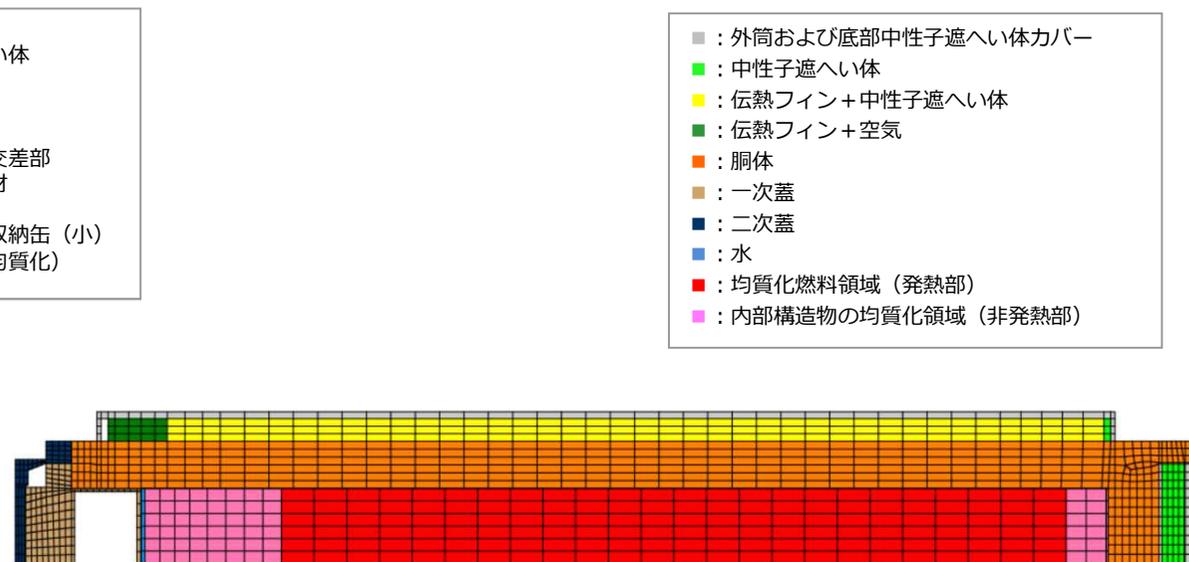
下表に示すとおり、評価対象及び評価条件・方法が既認可と同様のため、新評価の実施は不要

評価項目		既認可（7体収納）	破損燃料用輸送容器（7体収納）
	評価対象	容器本体，蓋，バスケット，トラニオン	同じ輸送容器を用いるため既認可と同様
構造強度	評価条件・方法	①設計事象の抽出 ②設計事象における荷重条件の算出 1. 内圧 容器内部水及び気体の熱膨張を考慮した場合の内圧（燃料破損による燃料棒内のガス放出は考慮しない） 2. 熱荷重 除熱評価結果より得られた温度分布 3. 加速度 衝突対象のバネ定数，クレーン巻下げ速度，容器質量から導出 ③荷重条件に基づく応力評価	①同じ輸送容器を用い，取扱いモードも同様のため，既認可と同様 ②－1. 燃料の破損は（1）ガレキ落下時，（2）吊上げ時，（3）輸送時に生じる可能性がある。（1）で燃料破損が生じている場合，すでに燃料棒内のガスは放出されているため，輸送時の燃料棒内のガス放出は考慮不要。（2），（3）では被覆管に影響はないため，ガス放出は考慮不要。（3/30 面談資料参照） ②－2. 除熱評価は既認可と同条件（ペレットは燃料被覆管内に保持されていると想定）により評価結果も同様のため，熱荷重も既認可と同様 ②－3. 同じ輸送容器を用い，取扱いモード（使用設備）も同様のため，既認可と同様 ③荷重条件が既認可と同様のため，応力評価も既認可と同様

評価項目		既認可（7体収納）	破損燃料用輸送容器（7体収納）
除熱機能	評価対象	中性子遮へい材, Oリング, 胴, 蓋, バスケット, 燃料被覆管	同じ輸送容器, 燃料のため既認可と同様
	評価条件・方法	①伝熱パス 燃料→水→使用済燃料収納缶→水→バスケット→水→胴→伝熱フィン→外筒 ②燃料仕様, 収納体数, 崩壊熱 ③計算モデル 輪切り断面モデル, 軸対称断面モデル	①同じ輸送容器（使用済燃料収納缶含む）を用いるため, 既認可と同様 ②同じ輸送容器, 燃料のため既認可と同様。なお, 冷却期間及び崩壊熱量は保守的に既認可の数値とする ③燃料の状態は同じ（ペレットは燃料被覆管内に保持されていると想定）ため, 計算モデルも既認可と同様。 以上から評価結果についても既認可と同様



輪切り断面モデル形状図

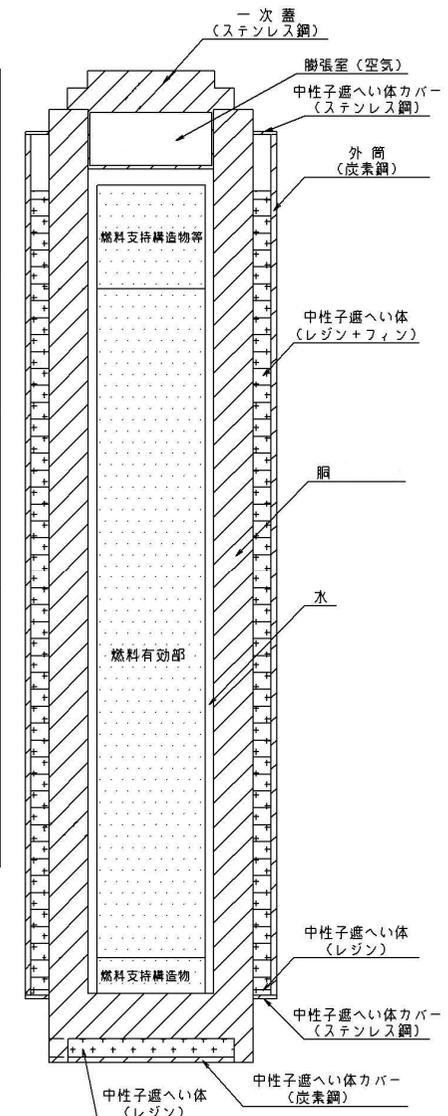


軸対称断面モデル形状図

# 破損燃料用輸送容器に係るコメント回答 ④



評価項目		既認可（7体収納）	破損燃料用輸送容器（7体収納）
密封機能	評価対象	一次蓋及び二次蓋で構成する密封境界	同じ輸送容器を用いるため既認可と同様
	評価条件・方法	構造強度評価結果，除熱機能評価結果，容器構造から，密封機能が維持されることを確認	いずれも既認可と同様のため，既認可と同様に密封機能は維持される
遮へい機能	評価対象	容器上部，上部中性子遮へい体欠損部，容器側面，下部中性子遮へい体欠損部，容器下部，上部トランニオン，下部トランニオン	同じ輸送容器を用いるため既認可と同様
	評価条件・方法	①遮へい厚さ，線源条件，線源強度及びエネルギー ②計算モデル 実形状を模擬した2次元R-Z体系	①同じ輸送容器，燃料のため既認可と同様。なお，冷却期間については保守的に既認可の数値とする ②燃料の状態は同じ（ペレットは燃料被覆管内に保持されていると想定）ため，計算モデルも既認可と同様。 以上から評価結果についても既認可と同様



遮へい解析モデル  
(全体 R-Z体系)

## 【参考】破損燃料用輸送容器で輸送する3号機の破損燃料（損傷・変形等燃料）

- これまでに実施したガレキ落下衝撃試験では、燃料上部の上部タイプレートや被覆管が大きく変形したが、被覆管の損傷は見られなかった（実施計画2.11添付1-3）。
- 3号機の燃料取り出しでは、ガレキ落下時、吊上げ時、輸送時の3か所で燃料が破損する可能性がある。
  - ① ガレキ落下時：ガレキ落下衝撃試験後の状態よりも、確認されている燃料上部の変形は小さいため、被覆管の大きな損傷はないと考えているが、燃料上部が小さく損傷している可能性がある。
  - ② 吊上げ時：解析や試験を元に、被覆管に影響を与えないよう吊上げ荷重を制限する。（今後実施計画申請）
  - ③ 輸送時：ガレキが燃料に混入しているが、コンクリートやR/Bで通常使用される金属よりも被覆管の方が固いため、影響はない。
- そのため、破損燃料用輸送容器で運ぶ3号機の破損燃料（損傷・変形等燃料）は、SFP内で被覆管からペレットが出ない程度に損傷している状態を想定して遮蔽及び除熱評価を実施する。また、ハンドル変形燃料については別途、吊上荷重や高さを制限した吊上試験を実施し、燃料の状態を確認することとしている。
- なお、臨界評価については、万一臨界になった後の影響緩和は難しいため、発生防止の観点で保守性を確保するため収納する全ての燃料が被覆管から出てきてさらに粉々になった状態を想定する。
- 遮蔽や除熱評価に関して、万一、想定外の事象となった場合においても、線量や温度を測定できることから異常を検知でき、遮蔽の追加等の対策により影響緩和が可能と考えている。これまでの使用済燃料の輸送で異常な値は確認されていない。

落下防止及び落下時の影響緩和措置に係る安全評価について説明すること。

- 落下防止対策：クレーン主巻フックを保持するワイヤーロープや吊具の二重化等
- 落下時の影響緩和措置：燃料を装填した輸送容器を地上階へ吊り降ろす際に緩衝体を載せたトレーラーを事前に地上階に配置する等

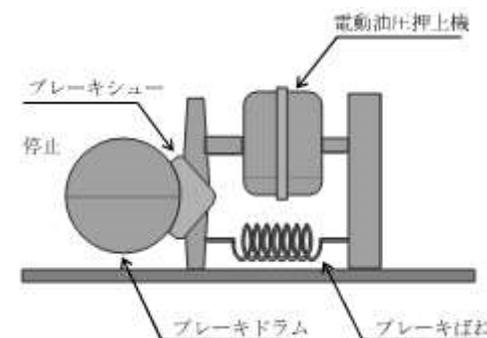
○ クレーンの落下防止対策は以下の通り。

(添付資料1-1 の2.2. 3号機 燃料落下防止対策に記載)

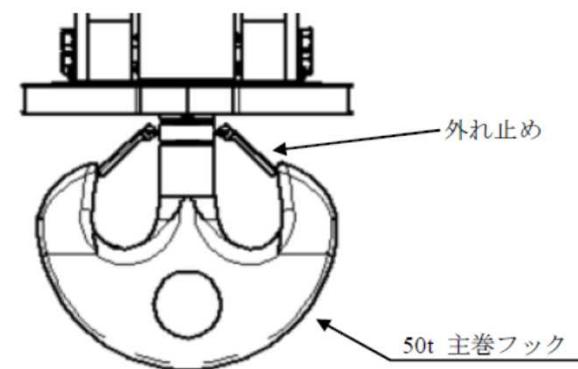
- 巻上装置は電源断時に電動油圧押し上げ機ブレーキで保持する構造：電動油圧押し上げ機ブレーキは、ブレーキばねの力によってブレーキシューをブレーキドラムに押しつけて電動機の回転を制動している。巻上モータに通電すると、同時に電動油圧押し上げ機にも通電され、内蔵モータにより油圧が発生し、シリンダーロッドを押し上げ、ブレーキばねを縮めることによりブレーキを開放する。

巻上モータを停止させると、電動油圧押し上げ機も停止するため、再びブレーキばねの力によってブレーキシューがブレーキドラムを押しつけて制動する。

- 主巻フックは二重のワイヤーロープで保持する構造：クレーンの主巻フックは、ワイヤーロープを二重化し、万が一ワイヤーロープが1本切断したとしても落下を防止できる設計
- 主巻フックは外れ止め装置を有する構造：両釣形フックの外れ止めを有する



電動油圧押し上げ機(制動時)



主巻フック

## 【参考】破損燃料用輸送容器に係るコメント回答 ⑤

### ■ 緩衝体の設置

万一の備えとして、構内用輸送容器落下時に密封機能を確保するため、落下時の衝撃を吸収する緩衝体を準備。燃料を装填した構内用輸送容器を地上階へ吊り降ろす際、緩衝体を載せたトレーラを事前に地上階に配置する運用。

### ■ 要求仕様

構内用輸送容器が地上階へ落下した時に、閉じ込め機能を有する容器各部に発生する応力が、許容応力を超えないように緩和すること。

### ■ 評価条件

落下高さ：40m

落下姿勢※<sup>1</sup>：垂直，水平

評価対象部位：本体胴，底板，一次蓋，一次蓋締付けボルト※<sup>2</sup>

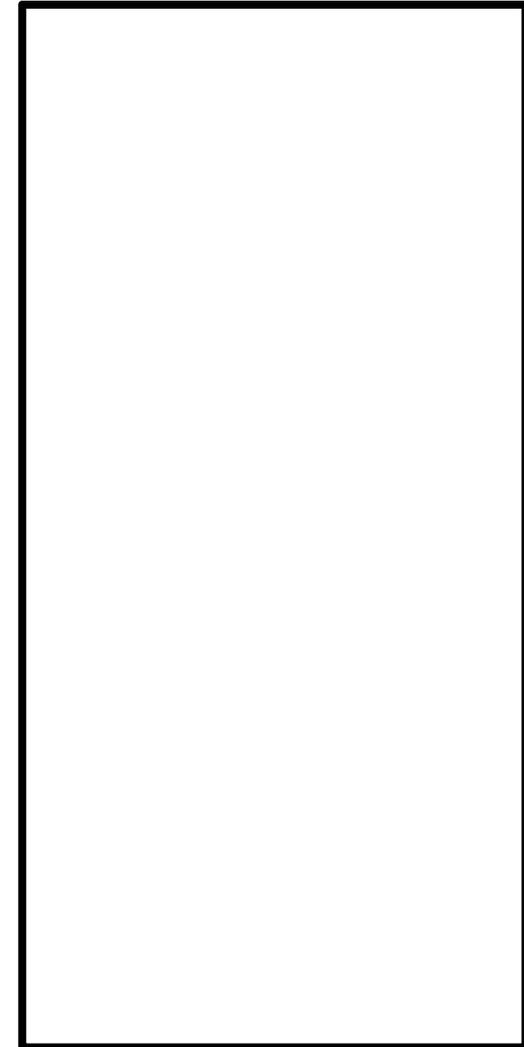
※<sup>1</sup>：コーナー落下は垂直または水平落下に包絡される

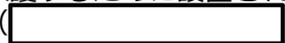
※<sup>2</sup>：垂直落下は水平落下に包絡されるため水平落下時のみ評価

### ■ 評価結果

容器各部の発生応力が許容応力を超えないことを確認

構内用輸送容器吊り下ろし作業時  
機器関連図



\* 移送容器ガイドとは、燃料取り出し用力  
バー架構を保護するために設置された筒  
型の構造物（）

ボロン添加ステンレス鋼及びアルミニウム合金のB-10含有量の「製造下限値」がどういう値か説明すること。

臨界評価条件として、中性子吸収材のB-10の含有量を設定している。本条件を購入仕様書に製造下限値として設定し、中性子吸収性能を確保したものである。

遮蔽評価における「容器取扱い時には追加遮蔽体設置等の放射線業務従事者の被ばく低減対策を講じる」について、具体的に説明すること。

○ **二次蓋設置作業（有人作業）**

- ① 放射線管理員により雰囲気線量を測定しながら構内用輸送容器を吊り下ろす (作業時間：約30分)
- ② 作業用の歩廊設置 (作業時間：約5分)
- ③ 胴周りの線量率を測定し異常がないことを確認した上で、転倒防止措置（トラニオン部と床の敷鉄板をワイヤーで固縛） (作業時間：約10分)
- ④ 構内用輸送容器吊り具の取外し，吊り上げ (作業時間：約5分)
- ⑤ 一次蓋ガイド・一次蓋吊り具取外し (作業時間：約5分)
- ⑥ 二次蓋を取付け，ボルトを締め付ける (作業時間：約5分)

(被ばく低減対策)

- ① 作業がない作業員は，必要な場合は退避エリア\*1に退避 (約10人収納可能)
- ② 輸送容器近傍作業時は，放射線管理員の指示により，タングステンジャケットを着用
- ③ 輸送容器の表面汚染密度を測定し，必要に応じ除染を行う
- ④ 作業員のローテーションを図り，一人当たりの被ばく線量を平準化

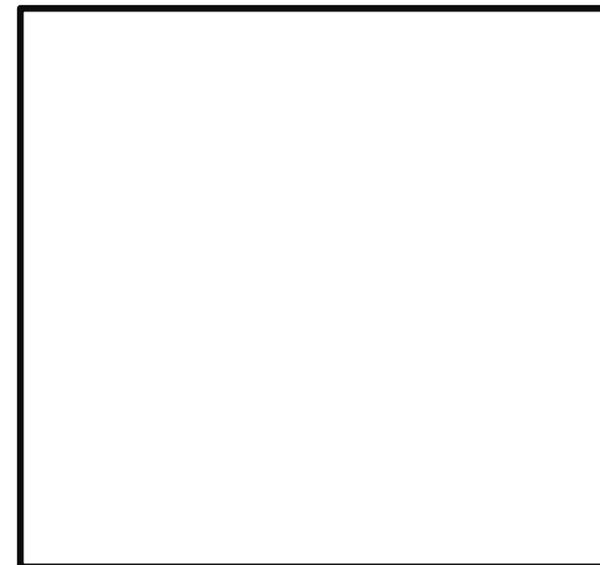
\*1：退避エリアの遮へい材には，を使用

	作業時線量 (mSv/h) *2	備考
輸送容器取扱ボックス	0.013~0.6	6月23日測定
退避エリア	0.004~0.015	同上

輸送容器取扱ボックス



退避エリア



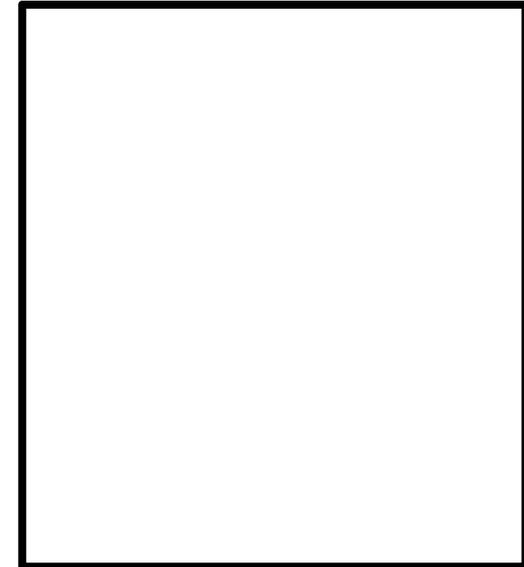
：黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。 \*2：輸送燃料等により変動有り

## ○ 輸送車両への積載（有人作業）

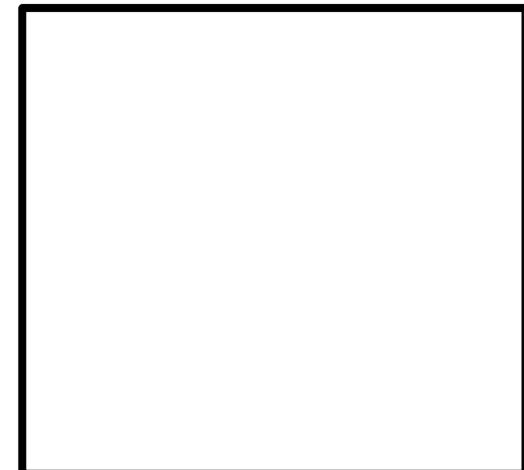
- ① 吊り具を構内用輸送容器に取り付ける（作業時間：約5分）
- ② 転倒防止措置の解除（作業時間：約10分）
- ③ 構内用輸送容器を吊り上げ、輸送車両を搬入する（作業時間：約15分）
- ④ 下部トラニオンを摺動架台受け部にボルトにより固定する（作業時間：約5分）
- ⑤ 摺動架台により構内用輸送容器を横転させる（作業時間：約10分）
- ⑥ 上部トラニオンと摺動架台受け部をボルトにより固定する（作業時間：約10分）
- ⑦ 輸送車両を搬出し構内輸送を行う

### （被ばく低減対策）

- ① 作業がない作業員は、必要な場合は退避エリアに退避
- ② 輸送容器近傍作業時は、放射線管理員の指示により、タングステンジャケットを着用する
- ③ 追加遮へい体\*として、遮へい板を設置することで下部トラニオン受けまわりの作業時（下部トラニオンの着座確認、下部トラニオン押さえの着脱）の被ばくを低減  
なお、共用プールでの吊り上げ作業も同様に作業員への被ばく低減が見込める
- ④ 作業員のローテーションを図り、一人当たりの被ばく線量を平準化  
\* 追加遮へい体の遮へい材には、を使用



遮へい板

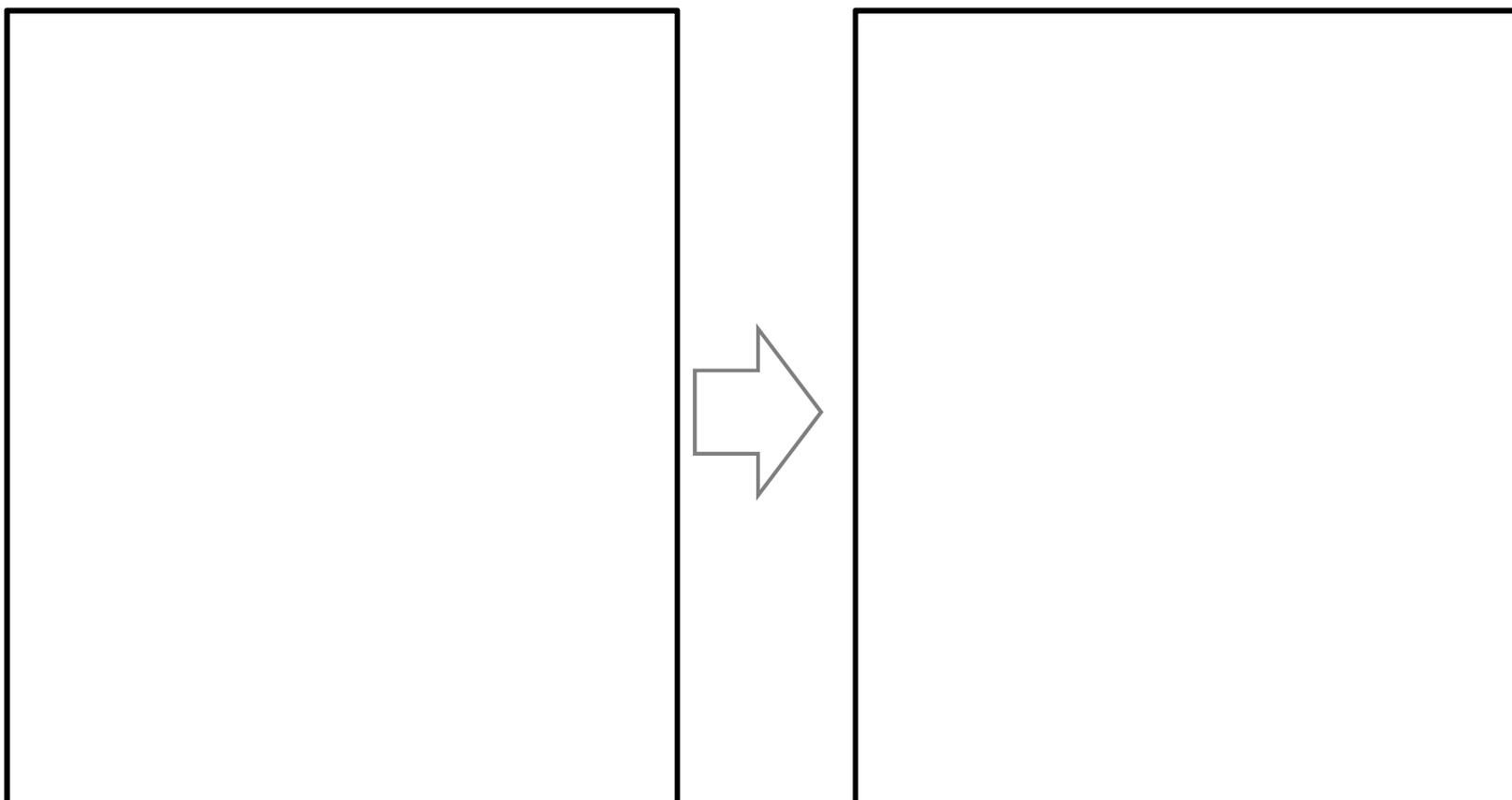


: 黒枠の内容は商業機密に属しますので公開できません。

未臨界性評価のみ燃料被覆管の大破損による燃料ペレットの放出・粉砕を想定している理由（臨界になった場合の影響緩和が困難であること）を説明すること。

燃料被覆管からの漏えいや、落下がれきによる燃料上部の損傷の可能性はあるが、使用済燃料プールからの燃料取り出しや共用プールへの燃料輸送を考慮してもペレットは燃料被覆管内に保持されると想定する。

しかし、万一臨界に至った場合の影響緩和が困難であることから、燃料輸送時の臨界評価では臨界防止の観点で保守性を確保するため収納する全ての燃料が被覆管から出てきてさらに粉々になった状態を想定する。



破損燃料用輸送容器の中性子吸収材について説明すること。

中性子吸収材は、破損燃料用輸送容器バスケットの中性子吸収材支持板に嵌め合っ固定する構造であり、強度部材としての機能は有していない。3号機構内用輸送容器のバスケットに使用した実績があり、海外キャスクに使用実績のあるMAXUS®を使用している。また、使用済燃料収納缶（大）にも使用する。

海外では、米国の貯蔵キャスクや使用済燃料プール用ラックに使用実績があり、使用済燃料プール用ラックでは、エクセロンのラサール、ピーチボトム、クォード・シティに導入\*<sup>1</sup>されている。

MAXUS®は、炭化ホウ素を純アルミニウム中に均一に分散させたコアを耐食性\*<sup>3</sup>に優れるアルミニウム合金の皮材で挟んだ構造である。中性子吸収材の構造を図1に示す。

破損燃料用輸送容器の未臨界評価に使用しているボロン添加量（<sup>10</sup>B面密度）については、評価条件以上含まれていることを、米国のASTM規格 C1671\*<sup>2</sup>に基づく中性子透過試験により確認する。中性子透過試験は、全てのMAXUS®部品について、切断前の大板（マザーシート）から試験片を採取し、試験を行う。

なお、MAXUS®のボロン添加量や使用材料であるアルミニウム合金については社内検査においてミルシートにて確認する。

- \* 1 : NRC審査資料(Palo Verde 1, 2, 3号機臨界安全解析ライセンス要求) : ML15336A084-NET-300047-07 Revision 1, "Material Qualification Report of MAXUS® for Spent Fuel Storage.", November 2015
- \* 2 : ドライキャスクおよび使用済燃料プールラック向け新規中性子吸収材の開発, 軽金属第66巻第3号(2016)
- \* 3 : 日軽金による腐食試験において、5年間の腐食加速試験の結果、腐食、膨れ、層形成はなく、90年相当のプール貯蔵でも問題ないことが確認されている。" 5-Year Accelerated Corrosion Testing of MAXUS® for Spent Fuel Pool and Dry Cask Performance" PATRAM 2019

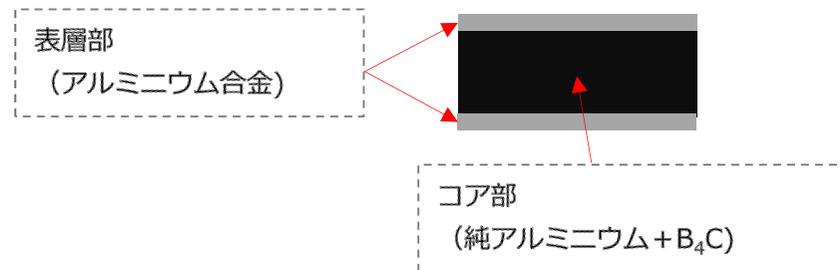


図1 中性子吸収材構造概念図

## 【参考】 輸送容器（2体収納）のバスケット構造

- 2体収納バスケットは、ステンレス鋼（SUS）の枠板、SUS304の格子支持板、バスケット外周にボロン添加アルミニウム（B-Al）合金板で構成されている。
- 枠板で燃料集合体を直接支持する。
- ボロン添加アルミニウム合金板は、両端を中性子吸収材支持板に嵌め合って固定する構造であり、構造強度部材としての機能は有していない。中性子吸収材支持板は格子支持板にボルトで固定する構造である。
- スペースは、格子支持板を所定の位置に保持する役割であり、バスケットの構造強度部材の機能を有している。

