

【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6月12日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

コメント	
①	<p>本申請における破損燃料の定義を整理し、説明すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>輸送容器の一次蓋ボルトの締め付けトルクを管理するための取扱装置の信頼性について説明すること。</p>
③	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 除熱評価における燃料被覆管の設計基準温度である「照射硬化回復現象により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機械的特性の低下が生じない温度」について、（同一温度かどうか）具体的に説明すること。
④	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>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。</p>
⑦	<p>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。</p>

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

震災前から存在する漏えい燃料等やハンドル部が変形し燃料健全性への影響が確認できない燃料と定義。なお、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、ペレットは燃料被覆管内に保持されているものと想定。（添付資料2-2-1及び2-2-2に記載）

■ 燃料の分類と実施計画申請範囲

状態	燃料の状態	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-1-3	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		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

■ 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、がれき衝突解析及び吊上げ試験結果から、ペレット放出があるほど燃料被覆管は破損していないと考える。

➤ 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ている。（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かった。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）

➤ 吊り上げ試験

5月28日時点で確認されている16体のハンドル変形燃料のうち、7体については吊り上げ試験により通常の重量荷重で吊り上げ可能であることを確認。残りの9体についても吊り上げ試験を実施し、吊り上げ可能であることを確認する。

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

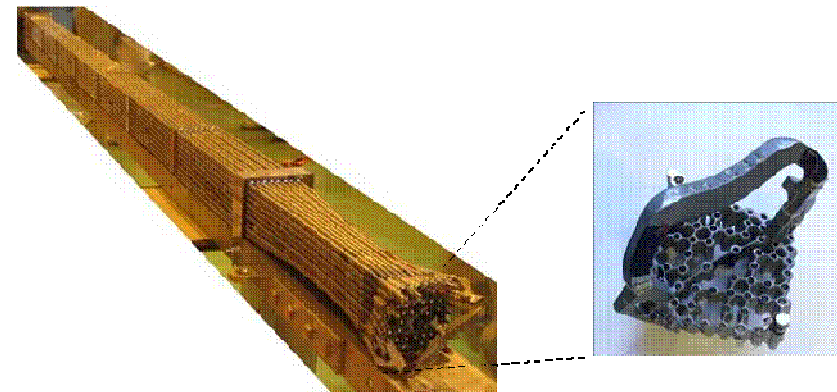


図5-1 がれき落下衝撃試験の結果

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>

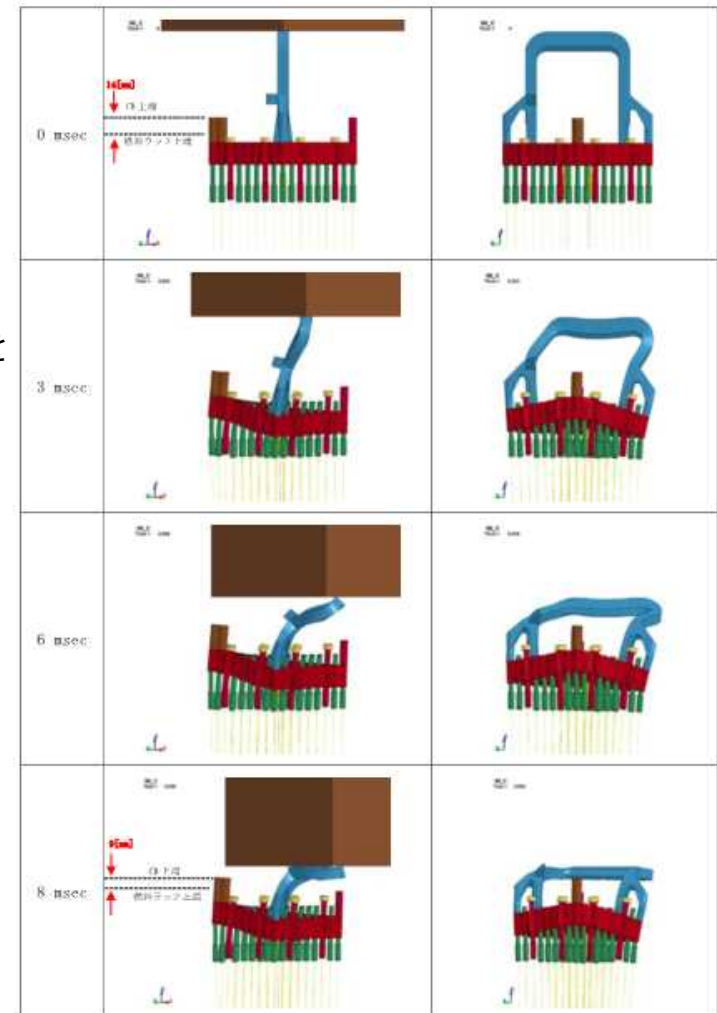
(評価手順・条件)

- ・ 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)

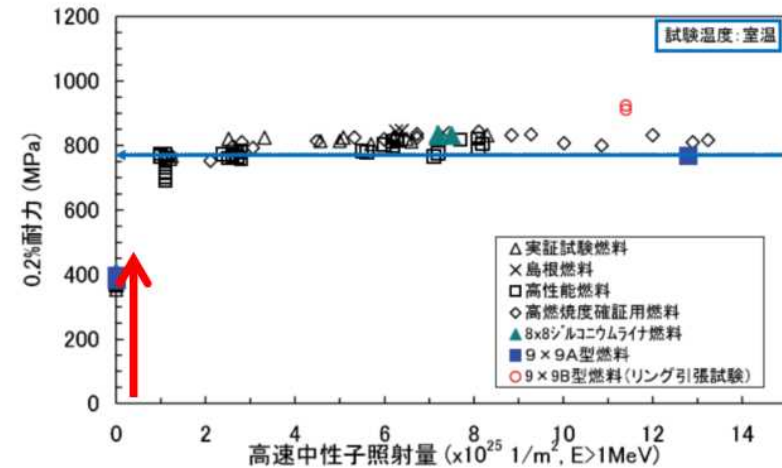
II-1 ガレキ衝突解析 ～解析条件～

<解析条件 (続き)>
(物性値)

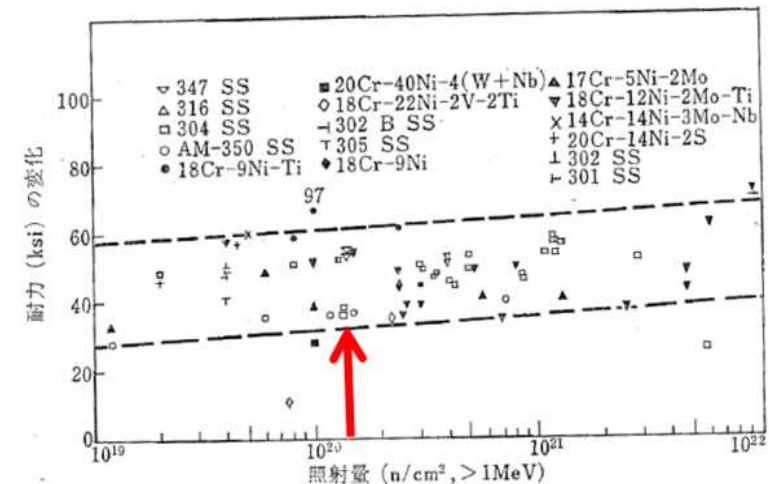
- 燃料集合体を構成する部材の大部分にジルカロイまたはステンレスが使用されており、いずれも中性子照射により強度が増大する。
- 原子炉内における5サイクル分の中性子照射量を評価した結果、燃料棒の上部端栓 (ジルカロイ) は $0.2E+25n/m^2$ 、上部タイプレート (ステンレス) は $1.3E+20n/cm^2$ ($0.1E+25n/m^2$) となり、いずれも未照射材に近い照射量であることを確認した。
- 未照射材は照射材と比較して降伏応力は低く、また、より大きな歪み量で破断に至る。
- 今回、ガレキ衝突解析では、ガレキ重量・衝突速度を解析ケース毎に固定した評価のため同じ衝突エネ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

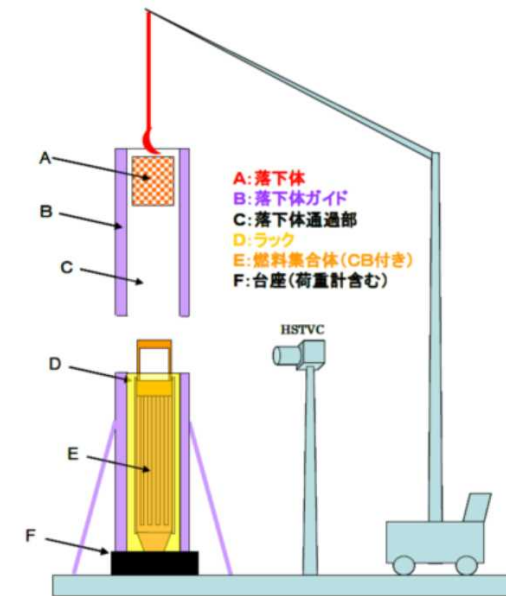
II-1 ガレキ衝突解析 ～試験結果の再現性～

<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。



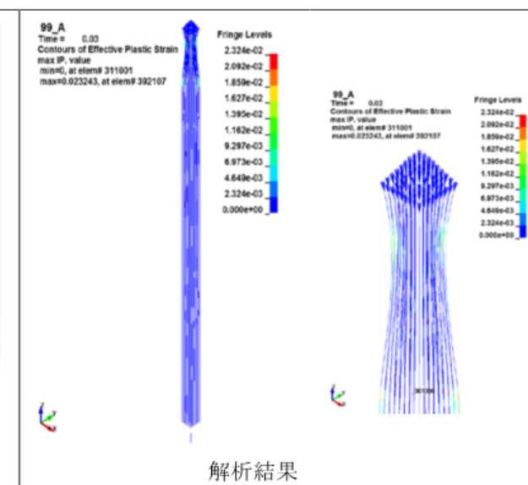
がれき落下試験イメージ図

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

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

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

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

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

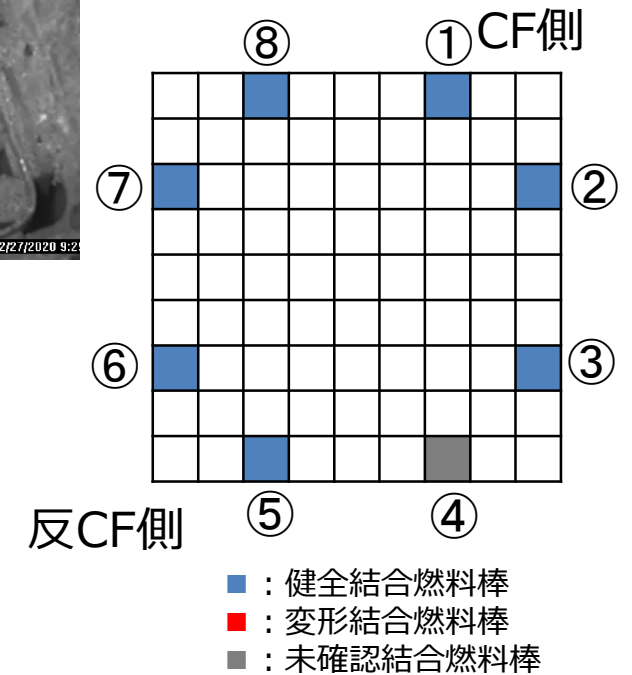
反CF側

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^{*1}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通じ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＞

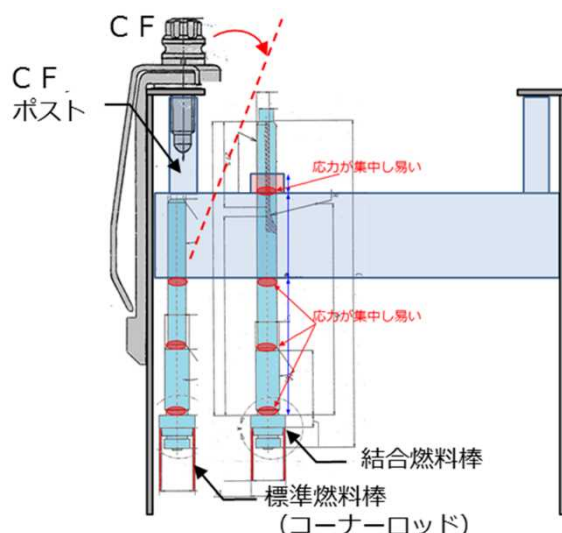
CFポスト傾倒角度：30°、評価温度：70℃^{*2}、物性値：ジルカロイ（未照射材）

^{*2} 震災後の3号機SFP内温度の最高値（評価値）

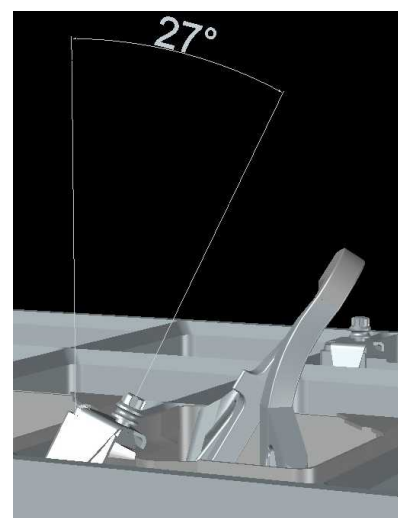
＜評価モデル＞

- 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

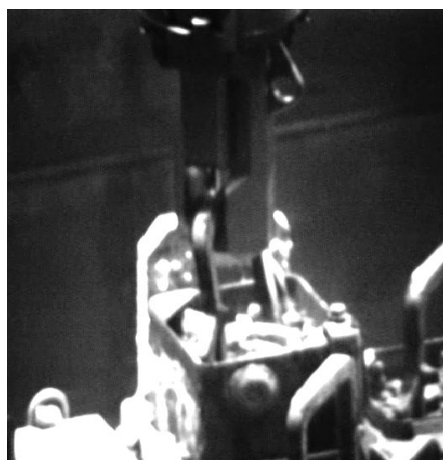
- ✓ 7体中3体については試験前より約20~70mm高い位置で着座。通常の重量荷重で再吊り上げ可能であることを確認済み。今回の吊り上げによりガレキが燃料の下部に混入したと推定。想定事象でリスクが無いいため燃料取り出しまで現状維持。

■ 3体が制限荷重(700kg)内で吊上がらないことを確認

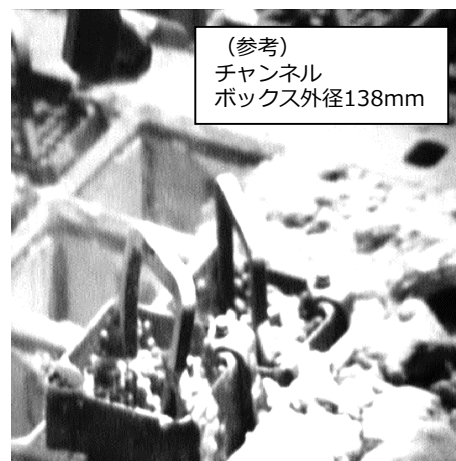
- ✓ チャンネルボックス変形による燃料ラックとの干渉または,ガレキによるかじり・固着していると推定。
- ✓ 当該燃料の対応方法については,今後検討。

■ 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。



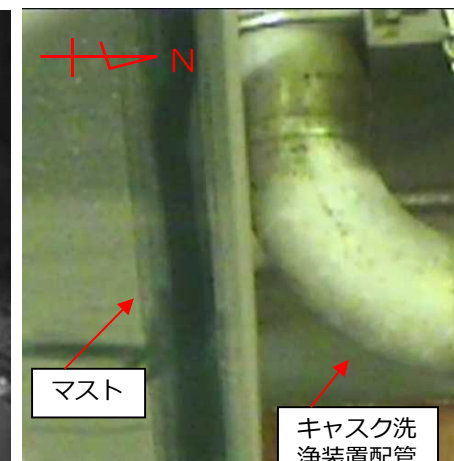
吊り上げ試験の状況 (No.15)



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。

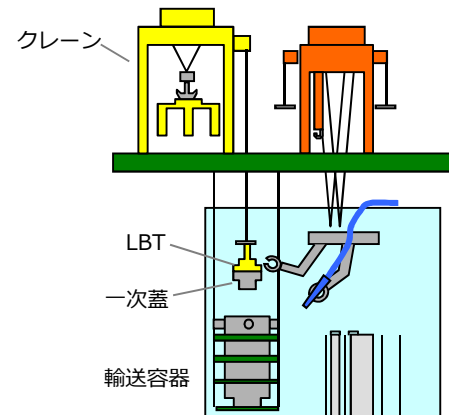
輸送容器の密封は、一次蓋をボルトで容器本体に締め付ける構造であり、締め付けトルクの管理により密封機能を担保している。以下のように、締め付けトルクは使用済燃料プール内の移送容器蓋締め装置(LBT)で締め付けを行い、さらに輸送容器取扱ボックスに吊り下ろした後、に有人でのトルク確認を行っている。

(使用済燃料プールでの一次蓋取付け作業)

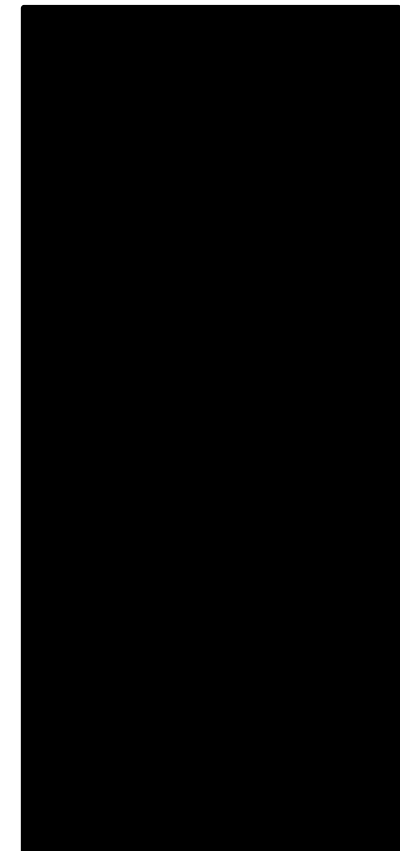
- 移送容器蓋締め装置(LBT)をクレーン補巻に装着し、遠隔にて一次蓋を取付け後にLBTを使用しボルトを締め付ける。その際、ボルトの回転数をカメラで確認し、ボルトの締め付け状態を確認している。
- ボルトは、LBTで設定した規定トルクで締め付ける。
- 一次蓋取付け後、LBTを外し、輸送容器に垂直吊り具を取付け、輸送容器を建屋1階の輸送容器取扱ボックスに移動する。

(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 13

締付けトルクを管理するための取扱装置の信頼性について説明すること。

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、メーカー保証値（<150℃）を担保するように、本輸送容器では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。

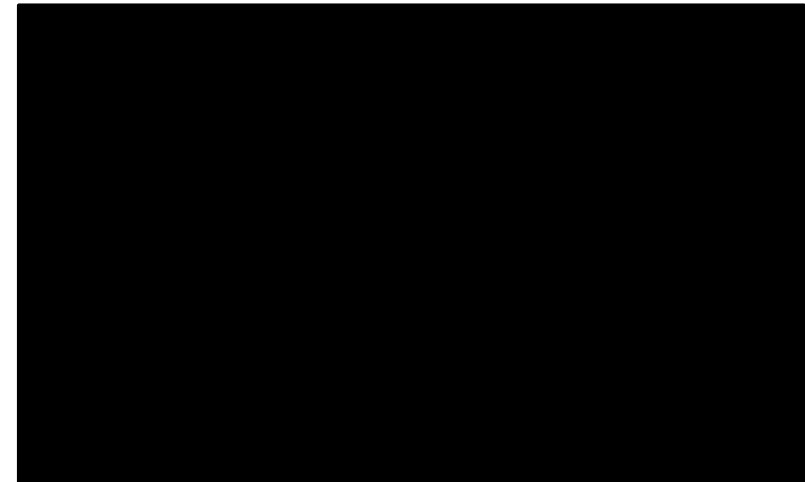
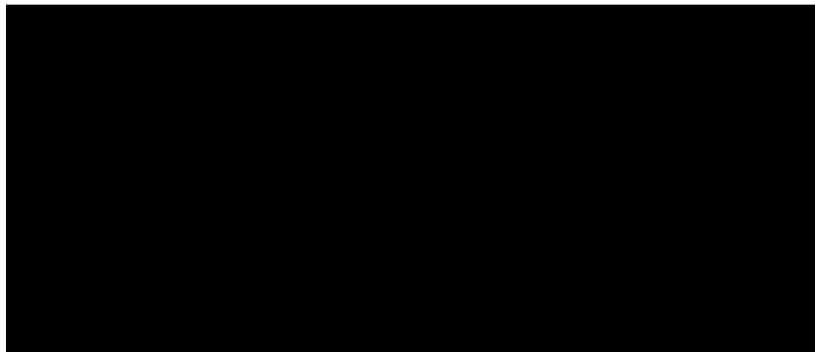


図1 エポキシ系レジンの重量減損^[1]

[1] (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)」

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、産業技術センターの「複合材料技術集成」に記載の使用温度の高温側温度から設定している。

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"> ・ 300℃以下かつ16MPa以下 ・ 250℃以下かつ40MPa以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 300℃以下かつ70MPa以下
	機械特性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 300℃以下かつ70MPa以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 300℃以下かつ70MPa以下
		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"> ・ 200℃以下かつ70MPa以下 ・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 200℃以下かつ70MPa以下 ・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要)
	機械特性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 200℃以下かつ70MPa以下 ・ 250℃以下かつ70MPa以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 200℃以下かつ70MPa以下 ・ 250℃以下かつ40MPa程度以下 (追加データによる確認要)
50GWd/t	照射硬化回復特性	<ul style="list-style-type: none"> ・ [300℃, 5000h]において, 硬さのわずかな回復 ・ [300℃, 2000h]において, 硬さの有意な回復は確認されず ・ [270℃, 5000h]において, 硬さの有意な回復は確認されず 	

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

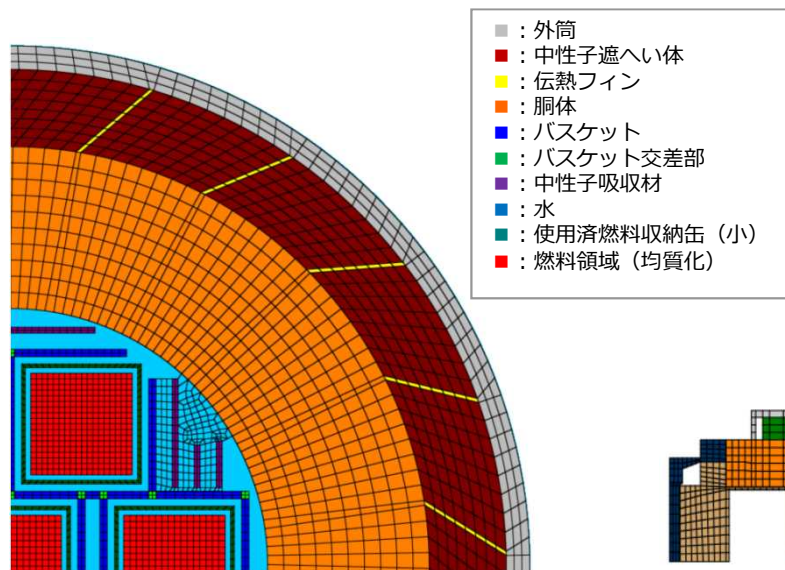
下表に示すとおり、評価対象及び評価条件・方法が既認可と同様のため、新評価の実施は不要

評価項目		既認可（7体収納）	破損燃料用輸送容器（7体収納）
構造強度	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
	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）。 なお、「設計条件」ではガス放出時の内圧（最高使用圧力）まで考慮して評価している 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

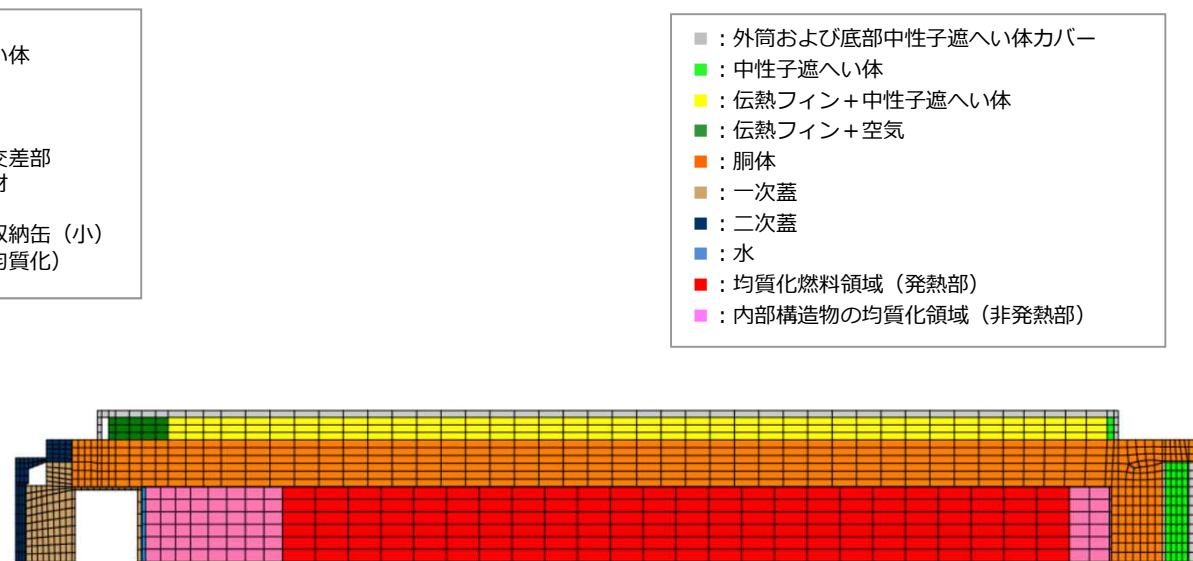
破損燃料用輸送容器に係るコメント回答 ④



評価項目		既認可（7体収納）	破損燃料用輸送容器（7体収納）
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

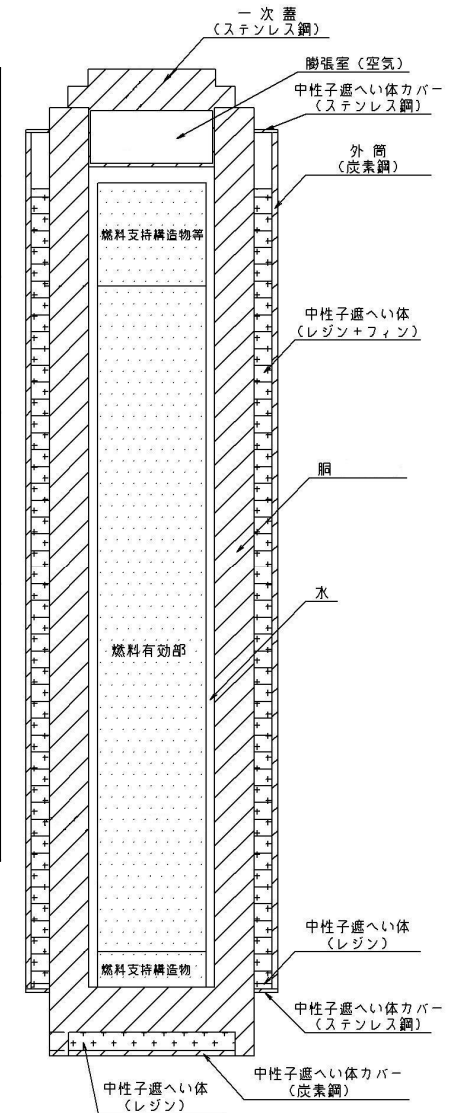


軸対称断面モデル形状図

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。

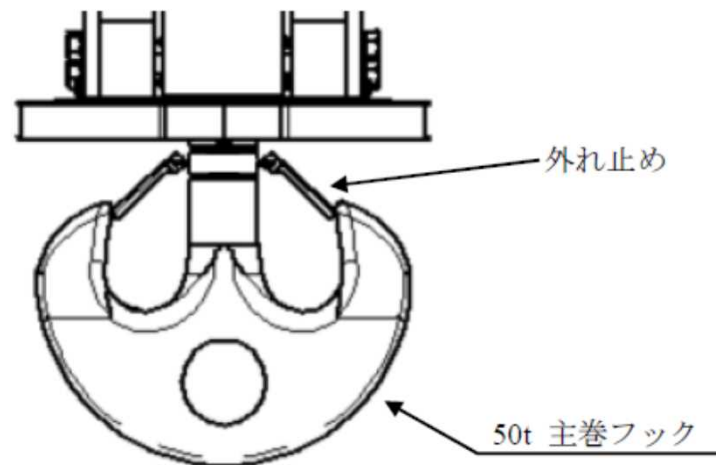
落下防止及び落下時の影響緩和措置に係る安全評価について説明すること。

- 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上機ブレーキで保持する構造
- 主巻フックは二重のワイヤロープで保持する構造：クレーンの主巻フックは、ワイヤロープを二重化し、万が一ワイヤロープが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



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※¹：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※²

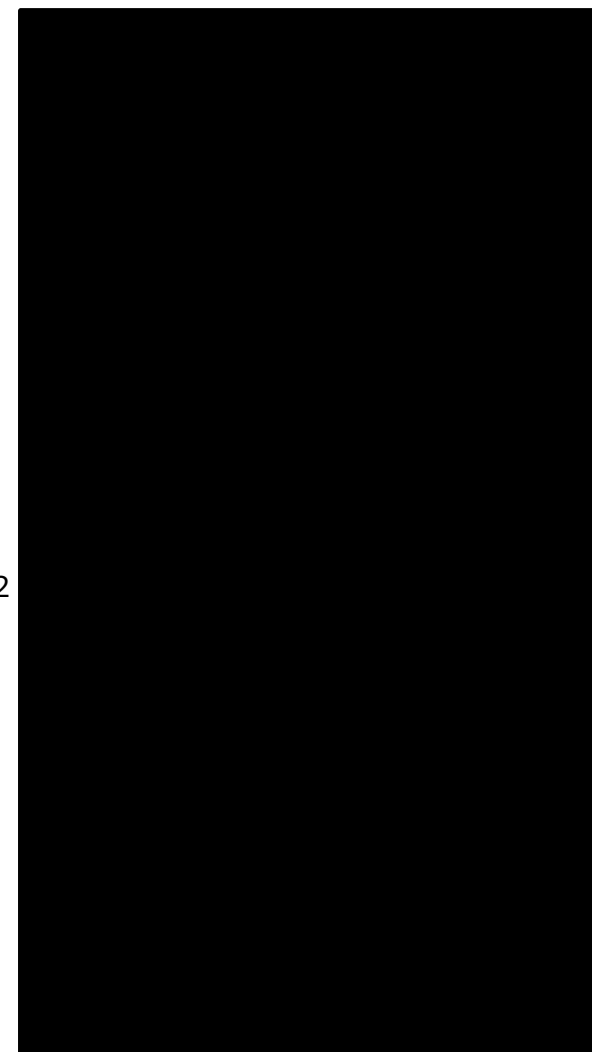
※¹：コーナー落下は垂直または水平落下に包絡される

※²：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



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の要求仕様として定めたもので、品質記録として管理している。

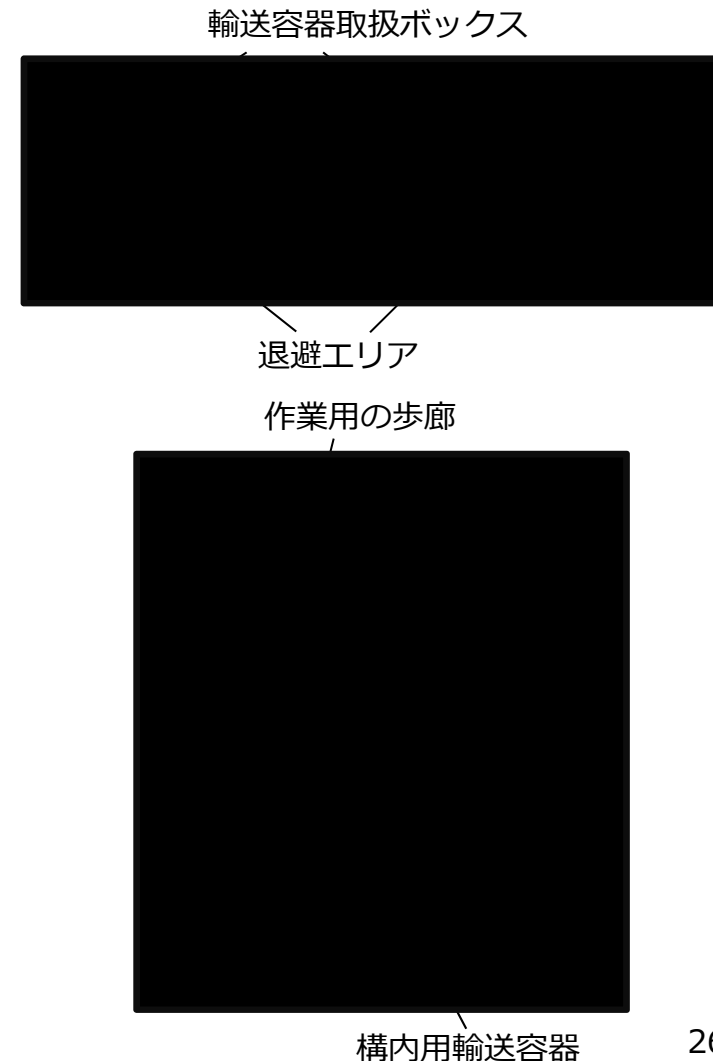
遮蔽評価における「容器取扱い時には追加遮蔽体設置等の放射線業務従事者の被ばく低減対策を講じる」について、具体的に説明すること。

○ 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
- ② 作業用の歩廊設置
- 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）
- ④ 構内用輸送容器吊り具の取外し，吊り上げ
- ⑤ 一次蓋ガイド・一次蓋吊り具取外し
- ⑥ 二次蓋を取付け，ボルトを締め付ける

（被ばく低減対策）

- ① 作業がない作業員は，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
- 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



○ 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
- ② 転倒防止措置の解除
- ③ 構内用輸送容器を吊り上げ、輸送車両を搬入する
- 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
- ⑤ 摺動架台により構内用輸送容器を横転させる
- 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
- 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、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 追加遮蔽体として、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

遮へい板
(着脱可能式)