

福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会 (2019.3.26) 追加説明

3号機使用済燃料プールからの燃料取り出しの状況について

2019年4月8日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- ① 3号機構内用輸送容器の落下対策について
- ② 燃料破損時の使用済燃料プール水の放射能濃度について
- ③ がれき撤去時にがれきが落下した場合の影響評価
- ④ 「テンシルトラス上昇操作時の警報発生」について

1. 輸送容器取扱い時の安全対策および落下試験について

■ 安全対策

- ✓ 3号機の燃料取り出しにあたっては、構内用輸送容器を落下させないよう、吊具やクレーンワイヤーロープの二重化等、4号機燃料取り出し作業と同様の落下防止対策を講じている。
- ✓ その上で、万一落下した場合の影響緩和として、落下時の衝撃を吸収し輸送容器の密封性を確保する緩衝体を地上階に設置する。
- ✓ なお、仮に輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。

■ 落下試験

- ✓ 4号機で使用した輸送容器（NFT-22B）は、震災前に事業所外輸送用として設計・製造されたもので、法令に基づき9 m落下に耐えることを確認しているが、これは輸送中の事故※を想定したものの。一方、3号機の輸送容器は1 F 構内輸送専用であり、1F構内では車両を徐行させ、他の車両の立ち入りを制限するため、輸送中の事故を想定した9 m落下試験は実施していない。

※時速50kmでの衝突に相当

2-1. 4号機と3号機における輸送容器取扱い時の安全対策の比較

	4号機 (NFT-22B)	3号機 (構内用輸送容器)
落下防止対策	<ul style="list-style-type: none"> 吊具及びクレーンワイヤーロープの二重化 クレーンフックの外れ止め構造 駆動源喪失時にキャスクを保持するブレーキの設計 等 	同左 (P9,10参照)
落下時の影響緩和	既存の緩衝体を設置	新規設計の緩衝体を設置
	6号機のSFP内で使用していた緩衝体で、オペフロ高さ(32m)からのキャスク落下を考慮した設計ではない(高さ約4mからの落下エネルギーを吸収できる程度)	ガーダ高さ(約40m)からの落下でも、密封性を損なわない設計。 輸送容器を5m高さまで吊り降ろし、緩衝体を移動させた後、速やかに地上まで吊り降ろし、ワイヤーで固定する (P11~13参照)
	<ul style="list-style-type: none"> 輸送容器吊り降ろし時にトレーラエリアから半径40m以内の立入禁止 追加遮へいコンテナの待機 	同左

2-1. 4号機と3号機の輸送容器の比較

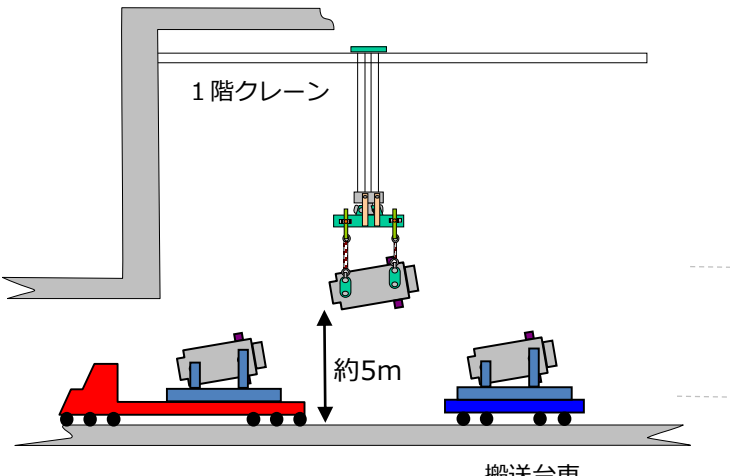
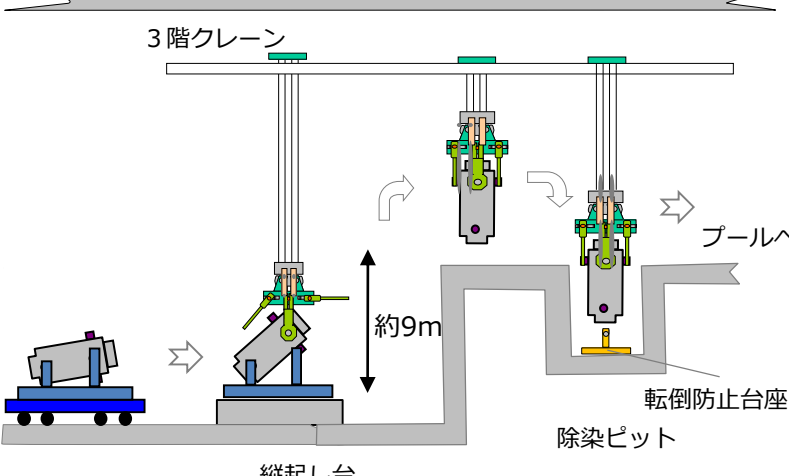
	4号機 (NFT-22B)	3号機 (構内用輸送容器)
目的	震災前に事業所外輸送用に設計、製造。 4号機燃料取り出しで使用。	3号機燃料取り出し用に設計、製造。 1F構内輸送専用。
設計 (構造強度)	<p>事業所外輸送用のため、緩衝体を取り付けた状態で9m高さからの落下※に耐える設計としている。 ※輸送中の事故を想定。時速50kmでの衝突に相当</p> <p>1 F 構内での取扱い中に発生する荷重に耐える構造強度であることを確認している。 なお、輸送容器の落下防止対策を講じていることから、取扱い中の落下事象は設計要件ではない。</p>	<p>事業所外輸送用ではなく、構内輸送専用であり、1F構内では車両を徐行させ、他の車両の立ち入りを制限するため、輸送中の事故を想定した9m落下は設計要件としていない。</p> <p>同左</p>

2-1. 4号機と3号機における輸送容器落下時の影響評価の比較

	4号機 (NFT-22B)	3号機 (構内用輸送容器)
輸送容器への影響	事業所外輸送用のため、緩衝体を取り付けた状態で9m高さからの落下時の評価を行っている。	ガード高さ (約40m) から、緩衝体に落下した場合の評価を行い、密封性が損なわれないことを確認。
	緩衝体がない状態 (共用プール建屋内も含む) で輸送容器が落下した場合の評価は行っていないが、密封性が損なわれる可能性はあるため、被ばく線量への影響を評価している。	同左
被ばく線量への影響	輸送容器が落下した場合は、直ちに作業員を退避させ、過度の被ばくを防止する。なお、評価上、保守的に仮定 (落下地点付近 (半径40m) から10分後に退避。遮へいなし) した場合、被ばく線量は10mSv未満と評価。	同左 (輸送容器の収納体数は7体であるため、4号機 (収納体数22体) の評価結果に包絡される)
	輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量 (約 5.3×10^{-3} mSv) は小さいことを確認。	輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量 (約 1.6×10^{-3} mSv) は小さいことを確認 (P14参照)

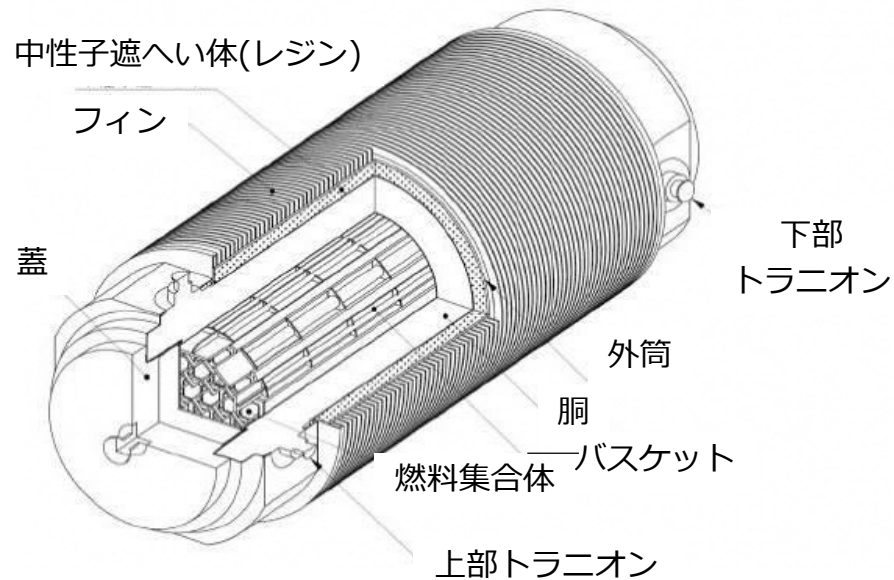
<p>各輸送段階 (3号機)</p>	<p>ガーダ上からの吊り降ろし</p>	<p>トレーラへの吊り降ろし・積載</p>
<p>安全対策</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 吊具及びクレーンワイヤーロープの二重化等の落下防止対策を講じている。 ■ 万一の落下時の影響を緩和するため、緩衝体を設置する。なお、輸送容器を5m高さまで吊り降ろし、緩衝体を移動させた後、速やかに地上まで吊り下げワイヤーで固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 同左 ■ 輸送容器を輸送架台に吊り降ろした後は、トラニオンを固縛し、輸送架台に固定する。 ■ 火災対策として、輸送前に車両の始業前点検を行い異常の無いことを確認している。また、危険物を混載していないこと、徐行運転がされていること等を確認している。
<p>落下時の 影響評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 万一、輸送容器が緩衝体に落下した場合は、密封性を損なわないことを確認している。 ■ 輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。

2-2. 各輸送段階における安全対策と影響評価 (2/2)

	<p>トレーラから搬送台車への積載・移送</p> 	<p>輸送容器の吊り上げ</p> 
<p>各輸送段階 (共用プール)</p>		
<p>安全対策</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 既設プラントと同等の落下防止対策を講じている。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 吊具及びクレーンワイヤーロープの二重化 ・ クレーンフックの外れ止め構造 ・ 駆動源喪失時にキャスクを保持するブレーキの設計を保持 ■ 搬送台車に吊り降ろした後、トラニオンを固縛し、搬送台車に固定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 同左
<p>落下時の 影響評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 同左

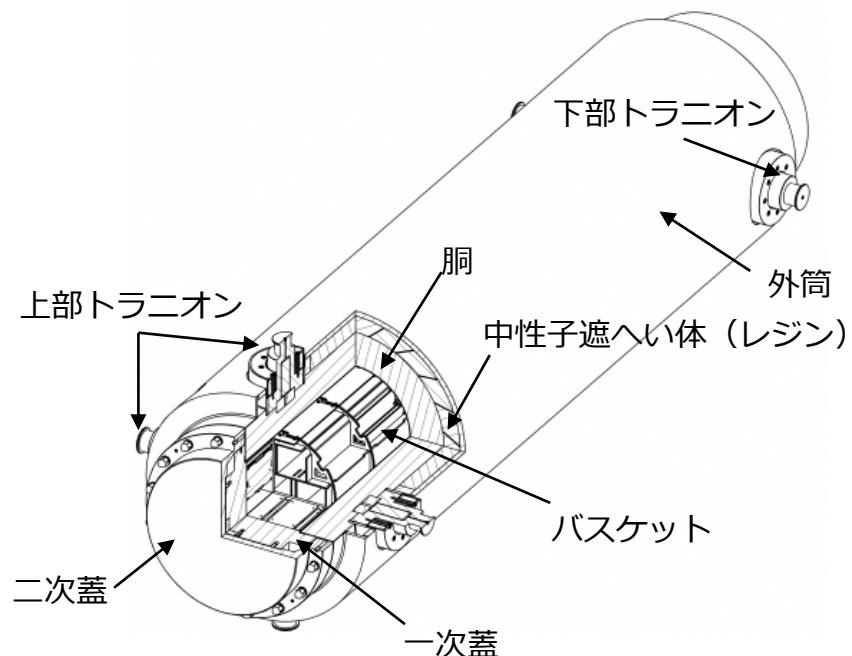
【参考】 4号機と3号機の輸送容器の外観

4号機



収納体数 : 22体
 容器総重量 : 約91 t
 全長 : 約5.5m
 外径 : 約2.1m

3号機



収納体数 : 7体
 容器総重量 : 約46.3 t
 全長 : 約5.6 m
 外径 : 約1.4 m

クレーン

クレーンフック
安全板

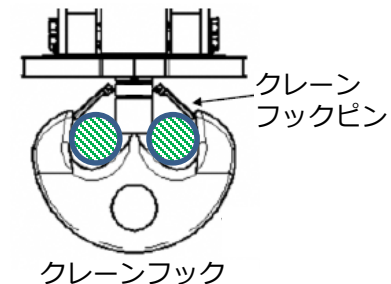
クレーン
シーブ

クレーン
フック

補アーム

主アーム

吊具



■ 吊具の二重化

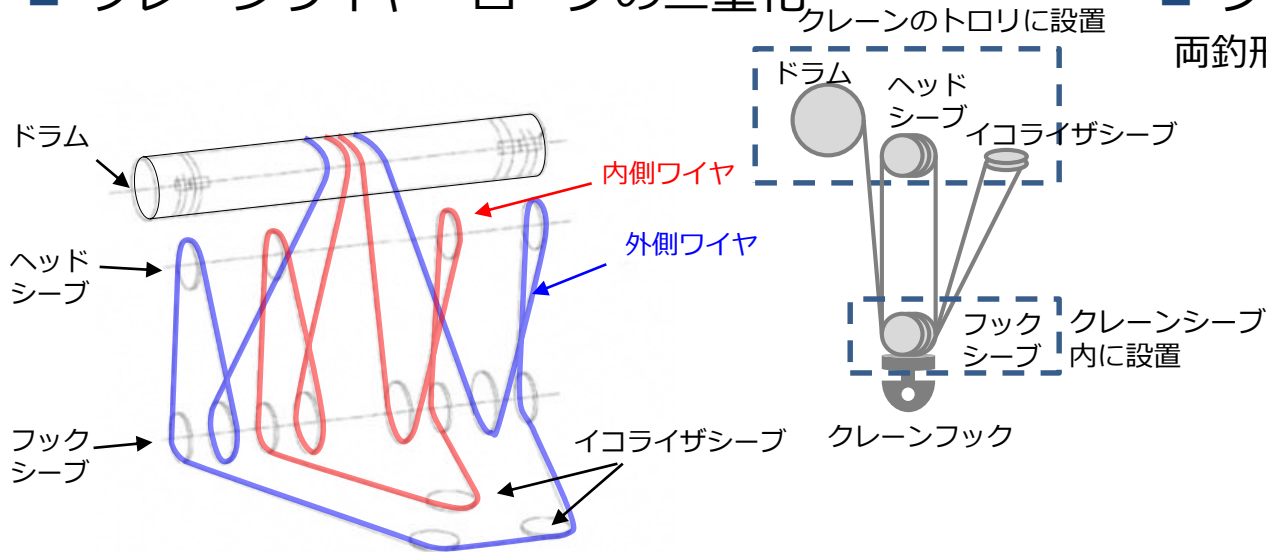
➡ クレーンと吊具の取付け

- クレーンフックと吊具をクレーンフックピン2本で接続
- クレーンシーブと吊具をクレーンフック安全板とボルトで接続
- 荷重はクレーンフックが受けており、クレーンフック破損時にクレーンフック安全板で荷重を受ける

➡ 吊具と構内用輸送容器の取付け

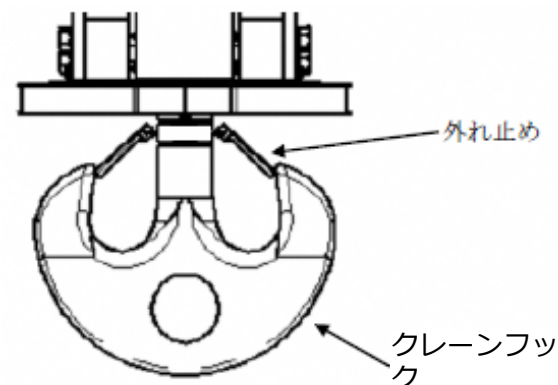
- 吊具と構内用輸送容器を主アーム（1対）と補アーム（1対）で接続
- 荷重は主アームで受けており、主アーム破損時に補アームで荷重を受ける

■ クレーンワイヤーロープの二重化



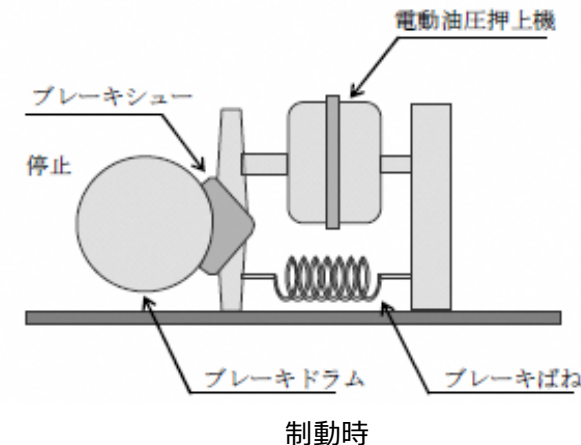
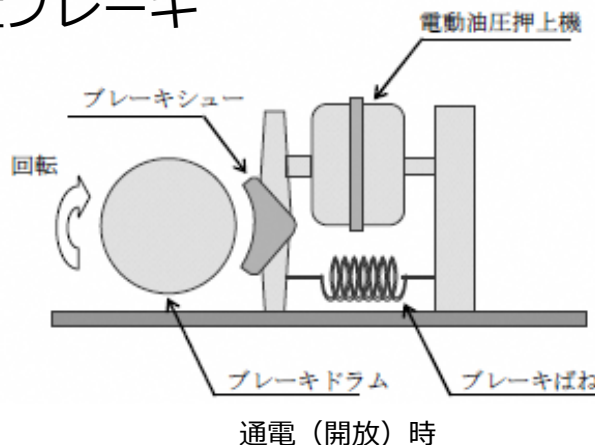
■ フックの外れ止め構造

両釣形フックで外れ止めを有する構造



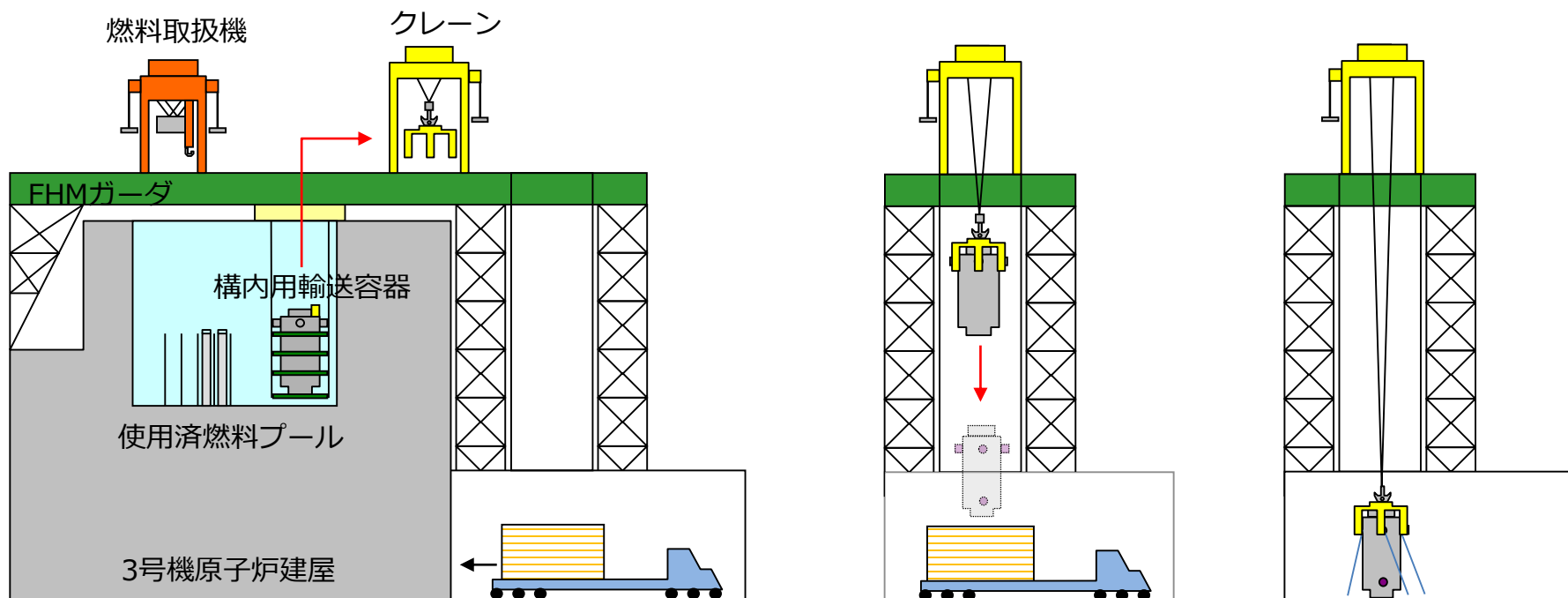
■ クレーンの巻き上げ装置ブレーキ

電源切断時に電動油圧押し上げ機が停止すると、ブレーキばねによりブレーキがかかり保持できる構造



【参考】 3号機における輸送容器落下時の影響緩和（1 / 2）

- 万一落下した場合の影響緩和として、落下時の衝撃を吸収し輸送容器の密封性を確保する緩衝体を地上階に設置する。



- ① 緩衝体搬入・設置
- ② 構内用輸送容器吊り下ろし

- ③ 構内用輸送容器を緩衝体上方へ下降

- ④ 吊具を取り付けた状態で、ワイヤを張り転倒防止

緩衝体

- 寸法：約3.4m×約5.1m,高さ約5m（車両込）
- 材質：硬質発泡ポリウレタン（R-PUF）
- 構造：鋼製フレームにR-PUFを敷詰める

【参考】 3号機における輸送容器落下時の影響緩和（2 / 2）

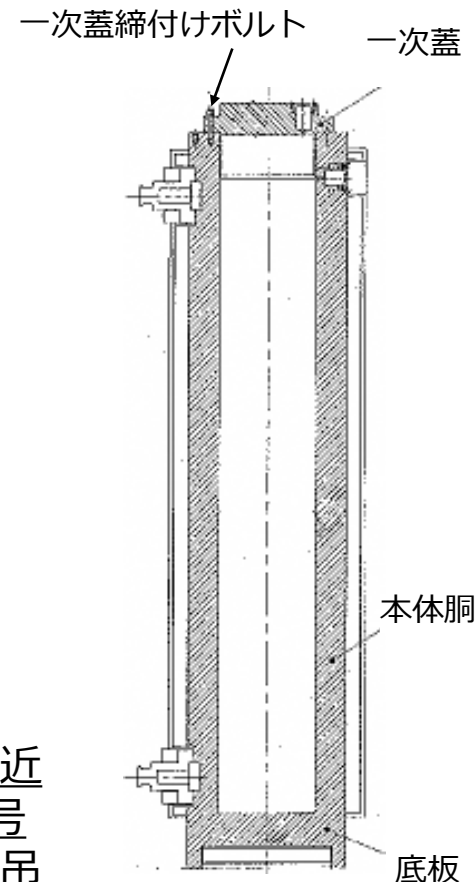
- 輸送容器がガーダ上（地上からの高さ約40m）から緩衝体に落下した場合、発生する応力が許容値以下であることを解析により確認している。なお、解析は事業所外輸送容器の落下評価で用いられている手法で行っている。

40m落下時の解析結果

(単位：MPa)



	垂直落下時 応力	水平落下時 応力	許容応力
本体胴	85	60	377
底板	77	118	377
一次蓋	4	18	412
一次蓋締付けボルト	—※	797	845

※一次蓋締付けボルトには垂直落下による荷重が付加されず水平落下時に包絡されるため、水平落下のみ評価



- 緩衝体は高さが5m（車両込）あるため、輸送容器を緩衝体上部付近まで吊り降ろした後、緩衝体を移動させる必要がある。緩衝体を4号機で使用した小型の緩衝体に入れ替える方法もあるが、5m以下の吊り降ろしは有人作業で行うことから、入れ替えに時間をかけるより、速やかに輸送容器を吊り降ろして、ワイヤーによる転倒防止措置を講じる手順としている。

【参考】 4号機と3号機の緩衝体の比較

4号機	3号機
<ul style="list-style-type: none">➤ 寸法：2.5m×2.5m、高さ0.6m➤ 材質：ステンレス鋼（SUS304）➤ 構造：上板と底板の間にパイプを縦に三段重ねで並んでいる <p>当該緩衝体は、震災前に6号機のSFP内で使用していたもので、オペフロ高さ（32m）からの落下を考慮した設計ではない（高さ4m程度の落下エネルギーを吸収できる程度）ため、3号機の緩衝体に比べ小型である。</p>  <p><4号機で使用した緩衝体></p>	<ul style="list-style-type: none">➤ 寸法：約3.4m×約5.1m、高さ約5m（車両込）➤ 材質：硬質発泡ポリウレタン（R-PUF）➤ 構造：鋼製フレームにR-PUFを敷詰める  <p><3号機で使用する緩衝体></p>

- 仮に輸送容器が落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。

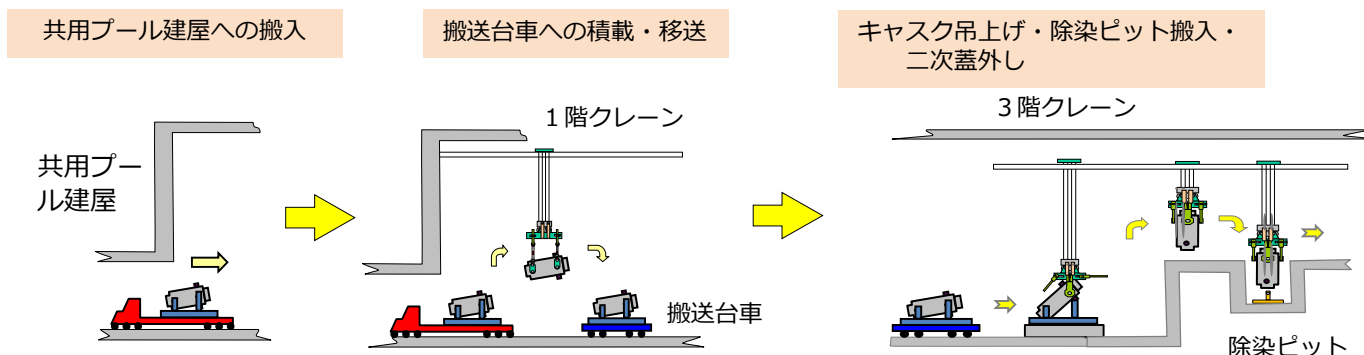
	小児	成人
実効線量 (mSv)	約 1.3×10^{-3}	約 1.6×10^{-3}

<評価条件>

- 落下場所：3号機における輸送容器の吊り降ろし時を想定
- 落下高さ：－（落下高さによらず、放射性物質が地上放出されるものと仮定）
- 緩衝体の有無：無
- 破損燃料体数：収納された燃料7体の破損を想定
- 冷却期間：1716日
- 放出経路：3号機からの地上放出を想定
- 対象核種：燃料の冷却期間を考慮し、半減期の長い希ガス（Kr-85）及びよう素（I-129）を考慮
- 被ばく経路：吸入摂取による内部被ばく、ガンマ線及びベータ線による外部被ばくを評価

【参考】共用プールにおける構内用輸送容器の取扱い

- 3号機使用済燃料プールから輸送した輸送容器を共用プール建屋に搬入し、1階から3階へ吊り上げる。



- 共用プールで使用する設備については、クレーンワイヤーロープ及び吊り具の二重化等、輸送容器の落下防止対策を講じている。また、共用プールの燃料取扱設備は、震災前や4号機の燃料取り出し等において輸送容器の取扱いに十分な実績のある設備を有人で操作することから、緩衝体は使用していない。
- なお、仮に輸送容器が共用プール建屋内で落下し、放射性物質が大気中に放出されたとしても、敷地境界の被ばく線量は小さいことを確認している。

【参考】 4号機及び3号機の主な概要・仕様（1 / 4）

分類	項目	4号機	3号機	備考
基本事項	燃料	<ul style="list-style-type: none"> プール燃料1535体 変形燃料（震災前） 1体 漏えい燃料（震災前） 2体 	<ul style="list-style-type: none"> プール燃料566体 ハンドル変形燃料6体* 漏えい燃料（震災前） 1体 	*現在約100体外観確認によるもの
	操作方法	<ul style="list-style-type: none"> 有人作業 	<ul style="list-style-type: none"> 無人作業： （燃料取り出し用カバー内） 有人作業： （機器搬出入口エリア） 	<ul style="list-style-type: none"> 無人作業を実施するため、工場訓練を2015.3.16～2015.12.21に実施、今後現場での訓練を実施
	訓練期間	<ul style="list-style-type: none"> 約2週間 	<ul style="list-style-type: none"> 3か月程度の予定 	
	監視	<ul style="list-style-type: none"> 水中カメラ1台 webカメラ1台 	<ul style="list-style-type: none"> ITVカメラ35台 webカメラ7台 	
	燃料取り出し作業概要	<ol style="list-style-type: none"> プール内ガレキ撤去 操作訓練 燃料調査 燃料取り出し 共用プール*へ輸送・保管（2014.12完了） <p>*新燃料の一部は6号機へ輸送</p>	<ol style="list-style-type: none"> プール内大ガレキ撤去（2015.12完了） 操作訓練・工場（2015.12完了） 操作訓練・実機 プール内小ガレキ撤去 燃料調査 燃料取り出し 共用プールへ輸送・保管 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料かじり時を想定して引っ掛かり解除治具を準備中

【参考】 4号機及び3号機の主な概要・仕様（2 / 4）

分類	項目	4号機	3号機	備考
設備	燃料取扱機	<ul style="list-style-type: none"> オペフロ床上を南北に走行 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料取扱機架構上(オペフロ上約6m)を東西に走行 	<ul style="list-style-type: none"> カバーの構造による違い
		<ul style="list-style-type: none"> 燃料把握機 1基 補助ホイスト 1基 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料把握機 1基 補助ホイスト 2基 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉ウエルから燃料ハンドルまでの高さ約16m
		<ul style="list-style-type: none"> 燃料取扱機から燃料ハンドルまでの高さ：約8m 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料取扱機から燃料ハンドルまでの高さ：約13.4m 	
		<ul style="list-style-type: none"> マニピュレータなし (瓦礫撤去は作業台車より有人作業) 	<ul style="list-style-type: none"> マニピュレータあり (瓦礫撤去等の作業用) 	
	クレーン	<ul style="list-style-type: none"> 天井式 	<ul style="list-style-type: none"> 門型 	<ul style="list-style-type: none"> FHMとの衝突防止のインターロックとダンパーを設置
		<ul style="list-style-type: none"> 主巻定格荷重：100t 補巻定格荷重：5t 	<ul style="list-style-type: none"> 主巻定格荷重：50t 補巻定格荷重：5t 	<ul style="list-style-type: none"> カバーの荷重制限による違い
	換気設備	<ul style="list-style-type: none"> 排気風量：25000m³×2台 (予備1台, 合計3台) 高性能粒子フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> 排気風量：30000m³×1台 (予備1台, 合計2台) 高性能粒子フィルタ 	<ul style="list-style-type: none"> カバー内の空間の違い
	電源	<ul style="list-style-type: none"> 二重化 	同左	
構内用輸送容器	<ul style="list-style-type: none"> 収納体数：22体 基数：2基 重量：約91t 	<ul style="list-style-type: none"> 収納体数：7体 基数：3基 重量：約46.3t 	<ul style="list-style-type: none"> クレーン主巻(50t)で取扱可能な容器として新規に設計・製造 	

【参考】 4号機及び3号機の主な概要・仕様（3 / 4）

分類	項目	4号機	3号機	備考
安全	構内用輸送容器の落下防止	<ul style="list-style-type: none"> ・巻上装置は電源遮断時にブレーキで保持する構造 ・クレーン吊りワイヤー及び吊り具の二重化 ・フックは外れ止め装置を有する構造 ・緩衝体設置（落下時の衝撃緩和） 	同左	
	燃料の落下防止	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料把握機は空気源喪失時にフックが開かない構造 ・ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 ・燃料把握機の機械的インターロック ・燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック ・燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料把握機は水圧源喪失時にフックが開かない構造 ・ホイストは電源断時に電磁ブレーキで保持する構造 ・燃料把握機の機械的インターロック ・燃料把握機の過荷重時に上昇を阻止するインターロック ・燃料把握機は二重のワイヤロープで保持する構造 	
	放射線・放射性物質監視	<ul style="list-style-type: none"> ・エリアモニタ 2台 ・ダストモニタ 3台 	同左	

【参考】 4号機及び3号機の主な概要・仕様（4 / 4）

分類	項目	4号機	3号機	備考
	プール水	<ul style="list-style-type: none"> 3か月毎にサンプリング分析 塩分除去 (2011.8.20~2012.10.12) 放射能除去 (2011.8.20~2011.11.8) 	<ul style="list-style-type: none"> 3か月毎にサンプリング分析 塩分除去 (2012.1.14~2013.3.18) 放射能除去 (2012.1.14~2012.7.11) 	塩分濃度管理値：100ppm以下 4号機22ppm (2018.7.20) 3号機33ppm (2018.7.9)
環境	燃料取り出しエリアの作業環境（線量）	<ul style="list-style-type: none"> 遮へい後の線量率： 0.03mSv/h 遮へい： 鉄板 16mm厚さ 鉛マット12mm厚さ（最大） 	<ul style="list-style-type: none"> 遮へい後の線量率： 1.0mSv/h以下 主な作業エリアの線量率： 0.05~0.8mSv/h 遮へい： 鉄板 250mm厚さ（最大） 	

-
- ① 3号機構内用輸送容器の落下対策について
 - ② 燃料破損時の使用済燃料プール水の放射能濃度について
 - ③ がれき撤去時にがれきが落下した場合の影響評価
 - ④ 「テンシルトラス上昇操作時の警報発生」について

1. 燃料破損時の使用済燃料プール水の放射能濃度について

- 運転停止から8年以上期間が経過しているため、通常の運転プラントで燃料破損を検知する短半減期核種I-131及びXe-135等(表1参照)は減衰しほぼ消滅している。したがって、長半減期核種Kr-85及びI-129(表2参照)が評価の対象となるが、Kr-85はガス核種であるためプール水分析で測定可能なのはI-129となる。なお、Cs137濃度は 10^3Bq/cm^3 程度であるため、Csによる検知は困難と考えている。
- I-129のプール水分析※1による検出限界値は $1.0 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ である。
- 使用済燃料のI-129の内蔵放射能は代表的な燃焼度 52,000MWd/t,冷却期間 1716日で燃料1体 $3.10 \times 10^8 \text{ Bq/体}$,3号機プール容積が約1400 m^3 であるため、燃料1体 (9×9燃料(A型)の全燃料棒74本) が破損した場合には放射エネルギーは $1.07 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$ となる。そのため、大きな破損であれば、水質分析により燃料リークを検知することができる。
- 至近のI-129測定結果(2018年7月9日) では、 $1.183\text{E}-03 \text{ Bq/cm}^3$ となっており、検出限界値($1.0\text{E}-04$)を上回るが、この絶対値では、炉心からのフォールアウトまたは燃料破損によるものかを判別するのは不可能である。
- なお、仮に3号機燃料1体が破損した場合、敷地境界における実効線量は約 $2.70 \times 10^{-4} \text{ mSv}$ 程度※2であり、燃料破損の事象が周辺公衆に与える放射線被ばくのリスクは小さいものと考えられる。

表1 短半減期核種半減期

核種	半減期
I-131	8日
Xe-135	9.2時間

表2 長半減期核種半減期

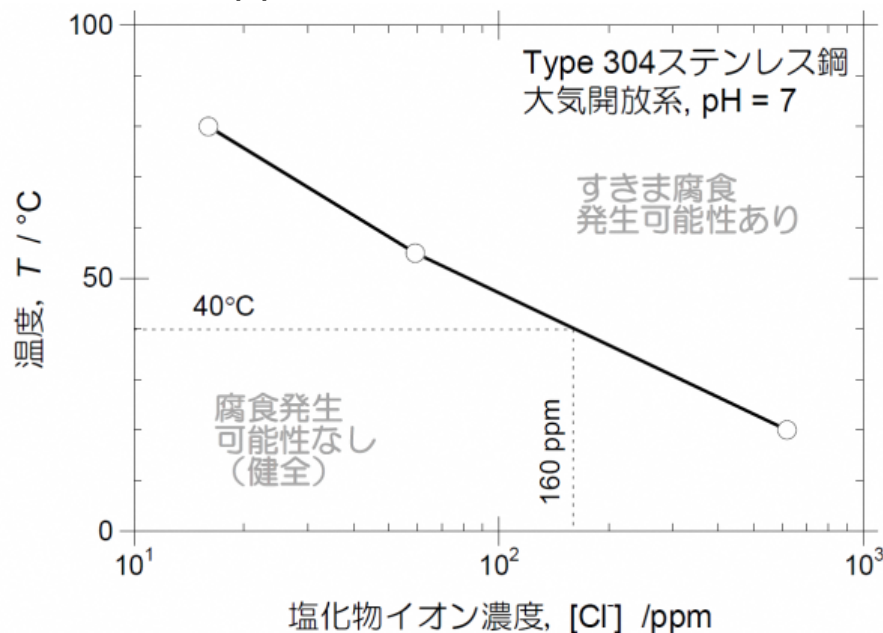
核種	半減期
I-129	1570万年
Kr-85	10.776年

※1 「JIS K 0133:2007 高周波プラズマ質量分析通則」の基づき分析を実施している。

※2 落下場所:使用済燃料貯蔵ラック、落下高さ:10m、緩衝体の有無:無、冷却期間:1600日、放出経路:大気放出、対象核種:希ガス,I-131、被ばく経路:呼吸(発電用軽水型原子炉施設の安全評価に基づく)

(参考) 燃料の健全性について

- 燃料破損が発生する要因は、がれき落下の衝撃による影響及び水質悪化の腐食による影響である。
- がれき落下の衝撃による影響については、燃料取り出し前にハンドルの曲がり角度を確認することで(燃料健全性確認冶具)、燃料被覆管の健全性について確認している。
- 通常使用済燃料プール水の温度は実績として40℃以下で管理しており、40℃の局部腐食臨界電位に相当する塩化物イオン濃度を評価すると、下図より160ppmとなる。水質悪化の腐食による影響については、下図中曲線の下領域が腐食が発生しない環境となっていることから水質の目標値を保守的に100 ppmと設定し管理している。

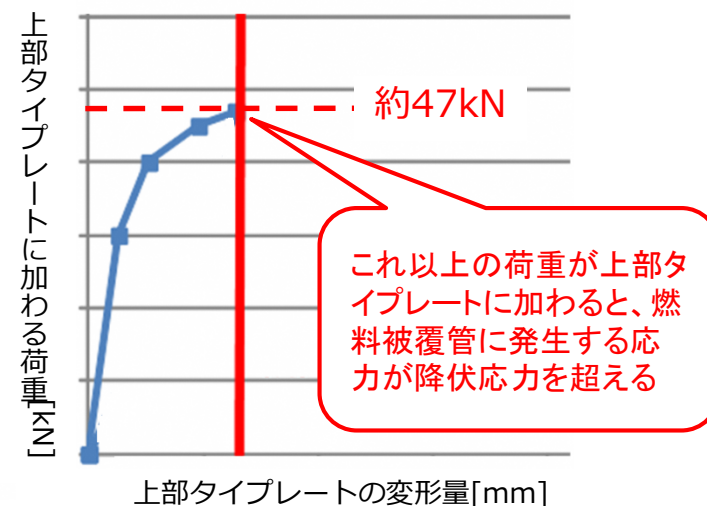
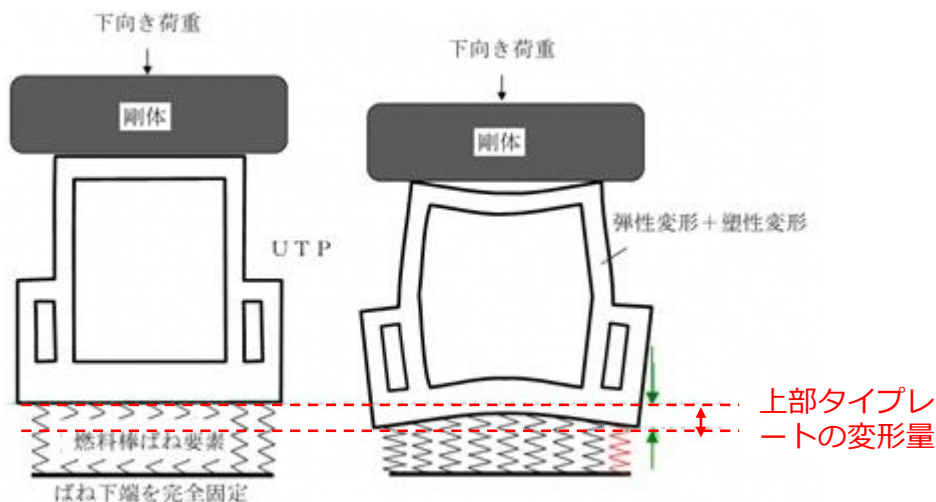
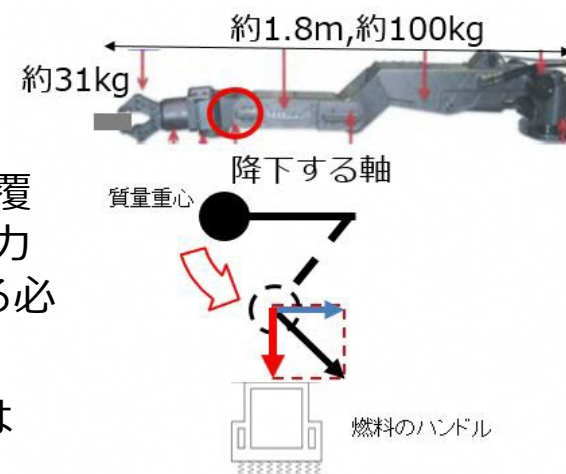
大気開放条件での304ステンレス鋼の腐食マップ¹⁾²⁾

1) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).

2) T. Fukuda, M. Akashi: Proc. Nuclear Waste Packaging –FOCUS'91, ANS, p. 201 (1991).

-
- ① 3号機構内用輸送容器の落下対策について
 - ② 燃料破損時の使用済燃料プール水の放射能濃度について
 - ③ がれき撤去時にがれきが落下した場合の影響評価
 - ④ 「テンシルトラス上昇操作時の警報発生」について

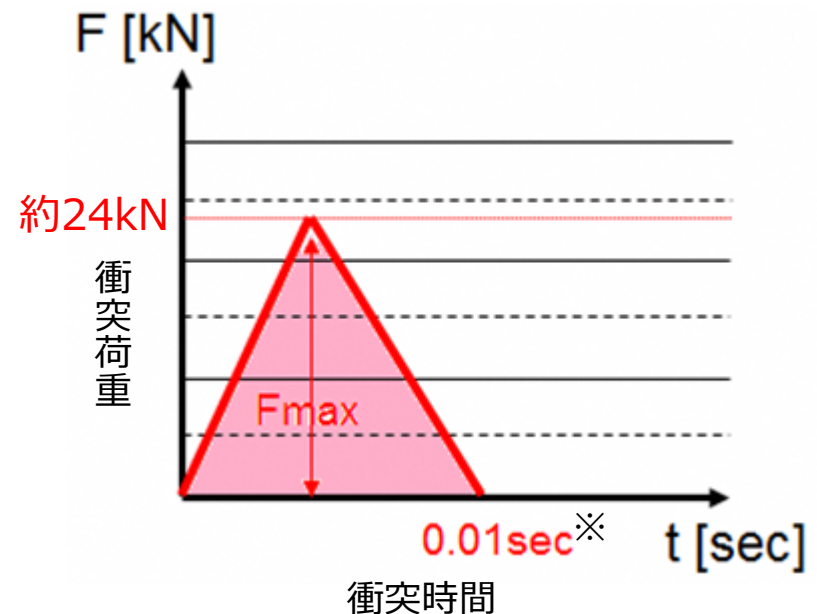
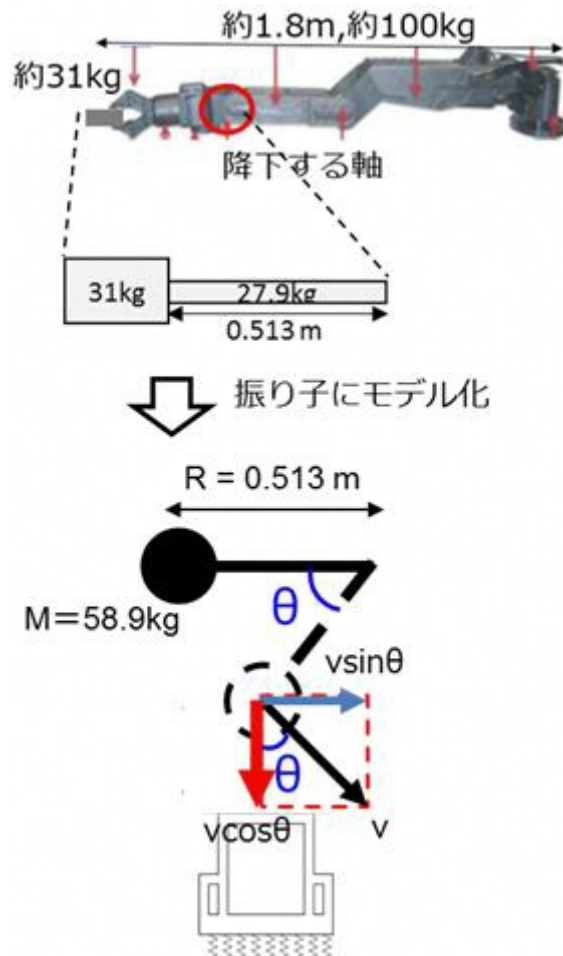
- マニピュレータが瓦礫を把持した状態で関節部を軸に降下し、把持した瓦礫が燃料の上部タイププレートに衝突したとすると、この時の衝突荷重は約24kNと評価した。
- 瓦礫の衝突により上部タイププレートが変形すると、燃料被覆管に応力が発生する。この燃料被覆管の発生応力が降伏応力に達するには、上部タイププレートに約47kNの荷重を加える必要がある。
- 衝突荷重は約47kNを超えないため、燃料被覆管への影響はないと考えられる。



<上部タイププレートに加わる荷重と変形量>

<参考> 衝突荷重の評価方法

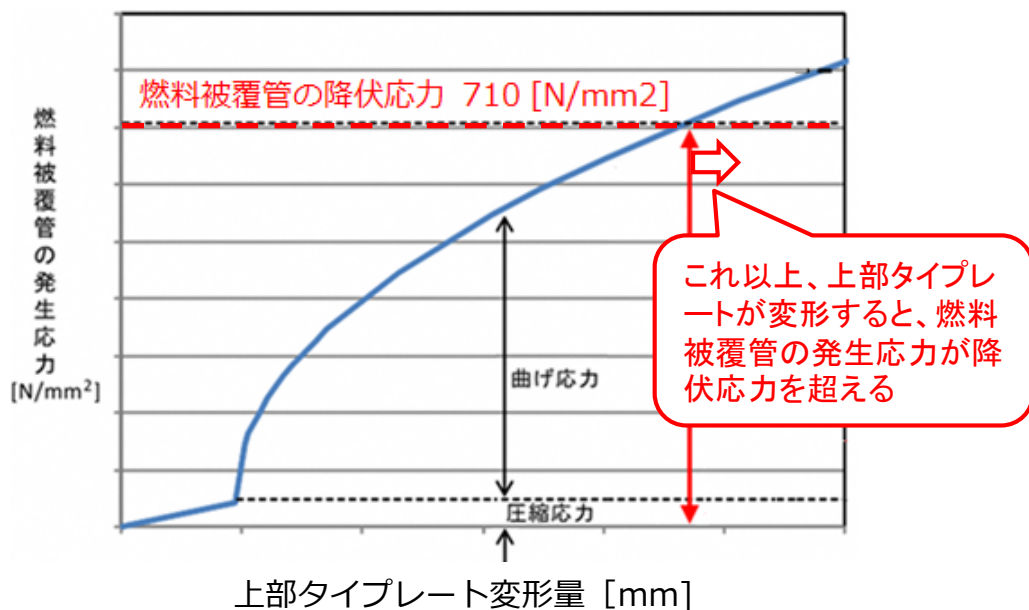
- ① 瓦礫を把持したマニピュレータを振り子にモデル化し、瓦礫が上部タイププレートに衝突する時の速度 (v) を求める。(なお、保守的に水の抵抗等は考慮しない)
- ② 衝突前後の瓦礫の運動量 (mv) の変化 (=力積) を求める。
- ③ 力積 ($F\Delta t$) と衝突時間 (Δt) から、衝突荷重の最大値 (F_{max}) を求める。



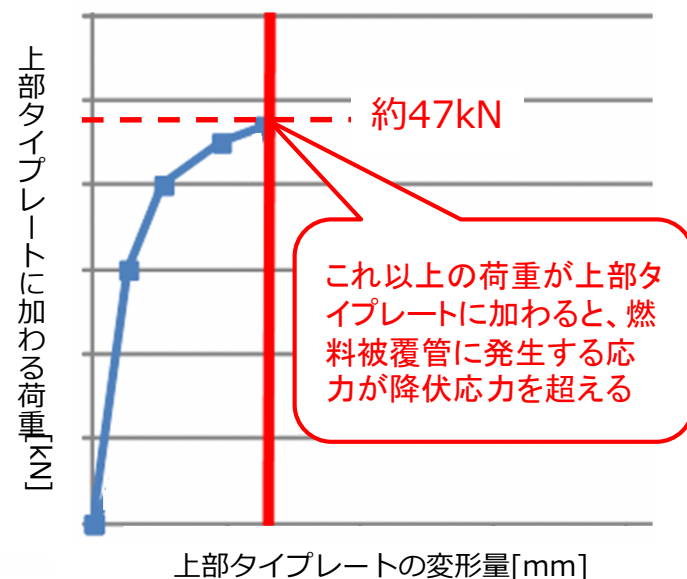
<衝突時における衝突荷重>

※過去に実施した模擬燃料への瓦礫落下試験結果をふまえ、衝突時間を0.01secとする

- ① 上部タイプレートの変形により、燃料被覆管に発生する応力を求める。
- ② 上記①の結果より、燃料被覆管の発生応力が降伏応力に達する際の上部タイプレートの変形量を求める。
- ③ 上部タイプレートに荷重を加え、上記②で求めた変形量に至る時の上部タイププレートに加わる荷重を求める。



上部タイププレート変形量 [mm]
<上記①、②の評価結果>



<上記③の評価結果>

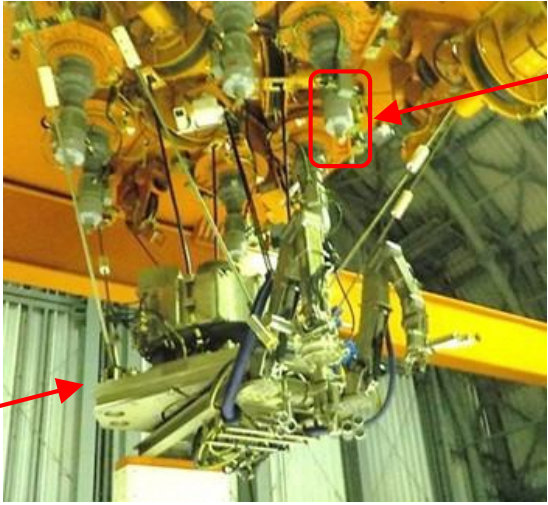
- ① 3号機構内用輸送容器の落下対策について
- ② 燃料破損時の使用済燃料プール水の放射能濃度について
- ③ がれき撤去時にがれきが落下した場合の影響評価
- ④ 「テンシルトラス上昇操作時の警報発生」について

2. 訓練中に確認された事象

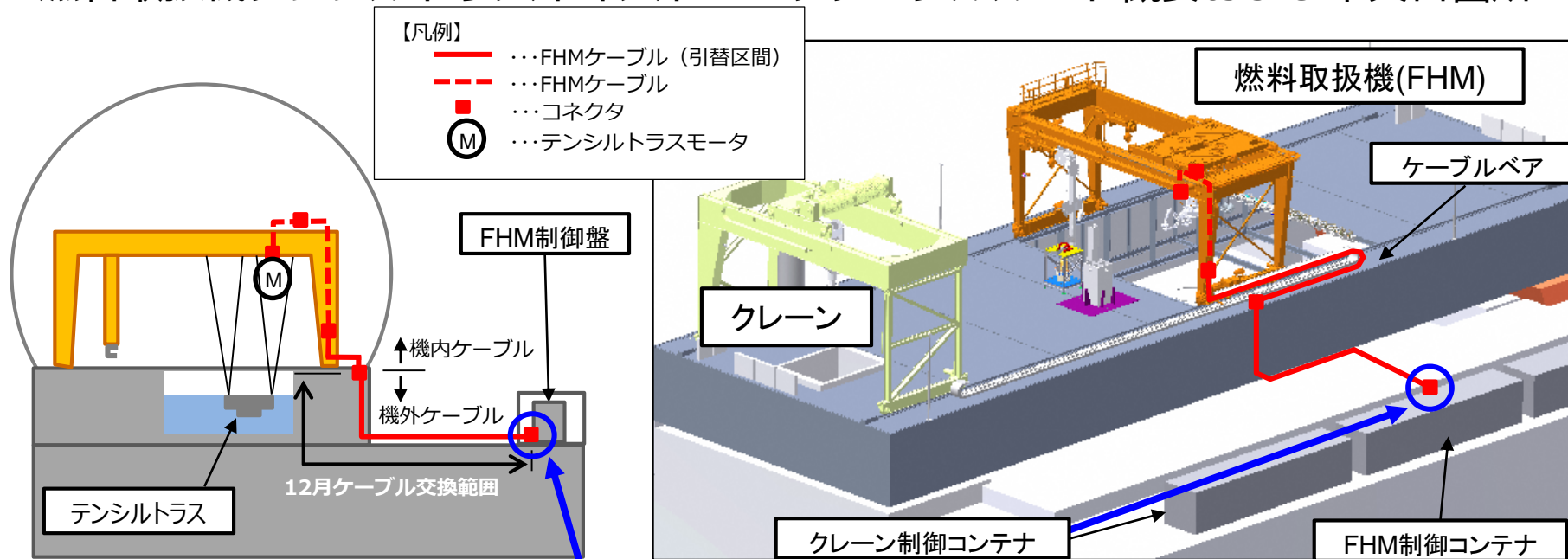
No	発生事象	概要	対応	対応状況
①	無停電装置内バッテリー容量低下に伴う警報発生	バッテリー交換時期が近づいていることを告知する警報が発生した。	バッテリーの交換	済
②	I T V画像の乱れ	中継器のフリーズ(再起動で対応可能)によりITV画像の乱れが発生した。復旧の手順が無かった。	再起動 操作方法を手順書へ反映	済
③	垂直吊具用ケーブルコネクタ浸水事象	ケーブルコネクタの養生状態の確認が足りないまま、使用済燃料プールにコネクタを水没させた。	コネクタ交換 SFP着水時の注意喚起表示を掲示	済
④	ケーブルベアによるケーブル巻き込み事象	ケーブルとケーブルベアの干渉具合について確認が不足したことにより、ケーブルベアに巻き込まれたケーブルが損傷した。	ケーブル交換 干渉防止板の設置	済
⑤	駆動水圧供給系駆動用流体の漏えい事象	機器の使用に伴い継手部に回転力等が生じ、ゆるみが発生したことにより、駆動用流体が漏えいした。	増締め及び合マークを実施 日常点検表に確認項目の追加	済
⑥	テンシルトラス上昇操作時の警報発生	テンシルトラス上昇操作中に警報が発報し停止。テンシルトラスホイスト1モータ電源ケーブルコネクタで絶縁不良を確認。コネクタ内表面に異物等が存在し、課電による発熱で地絡・短絡に発展した。モータ駆動装置が電圧異常を検知して動作を停止させたため、警報発生したもの。	当該ケーブル・コネクタの交換 モータ駆動装置健全性を確認 耐電圧試験による他動力ケーブル・コネクタの健全性確認	対応方針 決定済
⑦	クレーンバルブボックスの漏えい事象	機器の操作に伴う振動の影響により閉止プラグ部のゆるみが発生し駆動用流体が漏えいした。	電磁弁等の交換 当該プラグの点検・再締結及び合マークを実施 し月例点検で合マークを確認 更なる信頼性向上対策として、ゆるみ防止剤の塗布を検討中	済

- 今回発生した7事象は、使用・作業に伴い発生した事象であり、安全点検（動作確認・設備点検）及び品質管理確認において確認することを目的としていた、設計や調達上の品質に起因するものではない。今後は、手順書への反映、点検項目の追加等によって対応していく。

2. 訓練中に確認された事象 ⑥テンシルトラス上昇操作時の警報発生

発生事象	テンシルトラス上昇操作時の警報発生
<p>概要</p>	<p>移送容器へフランジプロテクタ（移送容器フランジ部の保護部材）を設置後、テンシルトラスをSFPから移動するために上昇操作を実施していたところ、警報が発報し停止した。また、原因調査のため、警報解除後に再度上昇させた際に、地絡に起因する警報が発生した。</p>  <p>テンシルトラス ホイストモータ</p> <p>テンシルトラス</p>
<p>原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ テンシルトラスホイスト1モータの電源ケーブルについて、FHM制御盤側ケーブルのコネクタ部に絶縁抵抗不良があることを確認した。 ✓ 絶縁抵抗不良の原因は、コネクタ内グロメット内表面に異物等が存在し課電による発熱で炭化が進み地絡・短絡に発展した。 ✓ コネクタ内の異物等の炭化で絶縁低下したことにより異常電流が流れ、モータを駆動する装置が異常を検知して動作を停止させたため、警報発生した。
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ テンシルトラスホイスト1のモータを制御する装置の交換を実施済み。(3月1日完了) ✓ FHM制御盤～燃料取扱機足元間のケーブル・コネクタの交換を実施済み。(3月8日完了) <p style="font-size: 2em;">}</p> <p>不具合が発生した制御装置、ケーブル・コネクタに関しては、これまでの点検や不具合等を踏まえて準備していた予備品により、不具合箇所特定後速やかに交換を実施。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 取り外したテンシルトラスホイスト1のモータ駆動装置の健全性を確認。(3月19日完了) ✓ 他動力ケーブル・コネクタは耐電圧試験等にて健全性の確認を実施し、問題のあるコネクタは交換等の対策を行う。(4月5日完了予定)
<p>備考</p>	

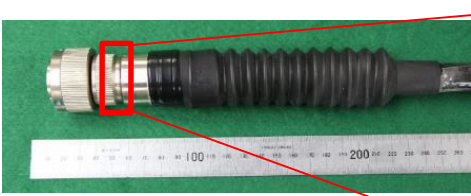
■ 燃料取扱機テンシルトラスホイストモーターケーブルルート概要および不具合箇所



調査の結果、コンテナ内FHM制御盤に接続されているケーブルコネクタ部に絶縁抵抗不良があることが判明。

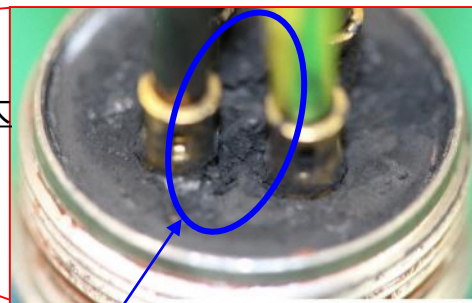
【内部確認結果】

- ▶ グロメット内表面に黒い粒子が付着。
- ▶ ブーツ内に水分、異物は無かった。
- ▶ 黒い粒子を洗浄すると絶縁抵抗が回復。
- ▶ 元素分析の結果、黒い粒子はコネクタ内パーツのグロメットの主成分でもある炭素や添加剤の主成分でもあるSiが支配的であることを確認。明らかな異物の混入を示す結果は得られなかった。
- ▶ 検証試験により、コネクタ内に異物が存在した場合、課電による発熱で炭化が進み地絡・短絡に発展することを確認した。



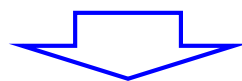
当該コネクタ部外観

内部拡大



黒い粒子

	発生イベント	コネクタ内事象	設備側動作状況
2/28以前	—	コネクタピン間に埃等の異物があり、微小な短絡電流が流れジュール熱により絶縁劣化が進行	モータ駆動装置(DR)の過電流保護は18Aであるため微小な短絡電流では動作しない
2/28 12:35	テンシルトラス上昇操作中に「ブレーキ異常」発生	ピン間絶縁抵抗低下が進み、微短絡により電圧波形の一部が欠相方向へ変化した	DRの欠相検出機能が働き、DRがブレーキ動作させたことで指令信号との齟齬によりブレーキ異常警報が発生
2/28 12:39→ 18:28	「Simotion異常」「TTブレーキ異常」発生	運転条件を変えて昇降操作を実施した際、コネクタへの電圧印加が繰り返されピン間の絶縁劣化が進行した	DR保護機能が働き動作しないため、Simotion異常が継続発生
2/28 18:30	「MCC3A電源フィーダ異常(地絡検出)」発生	ピン間異物の炭化が進展し、絶縁抵抗の低下が顕著となり、最終的に接地ピンとの絶縁も低下して地絡が発生した。	MCC側地絡過電流リレーが動作(地絡検出100mA以上で動作)

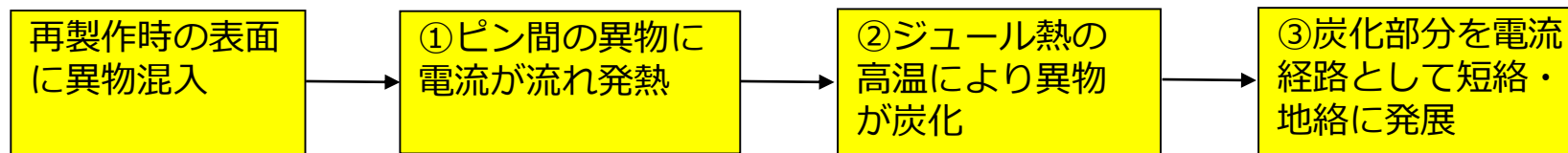


下記の検証実験を行う。

- 異物による絶縁低下で発生したピン間の電流が炭化を進行させるほどのエネルギーを発生させること
- 黒い粒子に類似した物質がグロメットに発生すること

【参考】 テンシルトラスホイスト#1ケーブルコネクタ不具合検証試験

■ 黒い粒子発生メカニズムの検証試験

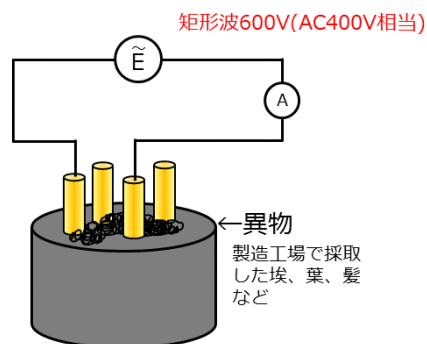


■ 試験概要

- ①ピン間の異物※に電流が流れ、発熱を確認
 - ・実効値AC400V相当の電圧で、2Aの通電を確認（約100秒間程度）
- ②ジュール熱の高温により異物が炭化
 - ・埃の成分である繊維、髪、葉などの有機物の熱分解が進む温度は250～400℃程度
 - ・短絡により総エネルギー量(熱量)約80kJ(=400V×2A×100秒)が与えられると、質量が数mg程度の物質は容易に400℃以上に温度上昇する
 - ・グロメットの一部分も炭化したことから、当該材質であるクロロプレンゴムの炭化温度500℃程度まで温度上昇したと想定される
- ③炭化部分を電流経路として短絡・地絡に発展
 - ・試験の結果、ピン-ピン間の異物表面に炭化痕を確認。
 - ・炭化によって接地ピン側にも経路が生成され、最終的に100mA以上地絡電流が流れ、地絡保護継電器動作に至り、電源トリップしたと考えられる。

※当該試験では混入可能性が高いと考えた人毛を使用した。広野作業場の埃(繊維、髪、葉等)でも同様な結果が得られると考える

■ 試験後外観



■ 動力ケーブルコネクタ健全性確認方法について

▶ 対象

2018年12月にコネクタ再組立を実施した機外ケーブルコネクタ 全34ライン
(クレーン及び燃料把持機の動力回路)

▶ 試験方針

- ケーブル両端のコネクタを解線し、試験前絶縁抵抗を測定(1000Vメガー)
- 耐電圧試験実施(交流2000V印加。1分間) ←負荷側定格AC400Vより
 $2E+1kV=1800V$ 以上
- 耐圧試験後、再度絶縁抵抗測定実施し変化がないことを確認

▶ 判定基準

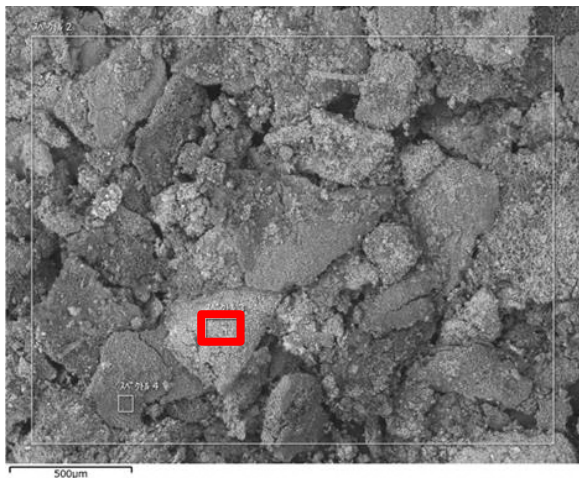
耐圧試験前後の絶縁抵抗試験値に有意な差がないこと(具体的には東電・東芝間にて協議)

▶ 修理方法

不良判定されたケーブルコネクタは予備品を使用し新規製作して交換
(製作要領は異物混入確認を反映)

■ 黒い粒子の元素分析(S E M※分析)結果 抜粋

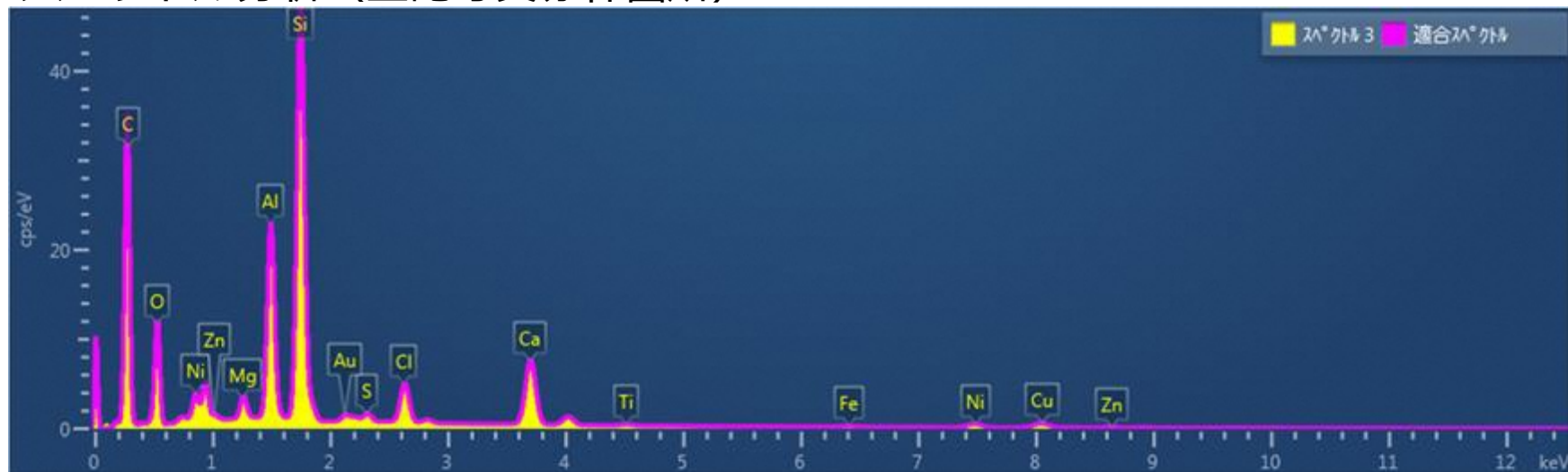
電子顕微鏡像



- ・炭素やシリコンが主として検出されている。これはグロメットの材質であるネオプレンゴムの主成分である炭素や、ゴムの添加剤のシリコンであると考えられる。
- ・アルミニウム、チタン、ニッケルも検出されており、これらは埃に含まれるメジャーな元素である。程度として微量な割合であるため、短絡・地絡に影響を与えるほどの大きさの異物とは断定しにくい。
- ・金も検出されているが、ピンの金メッキが融解して黒い粒子に混入したものと推定。

※SEM：走査電子顕微鏡

スペクトル分析（上記写真赤枠箇所）



【参考】機外ケーブルコネクタ部の施工時の管理

■ 8月のケーブルコネクタ浸水トラブルを反映し、以下の品質改善を実施。

● コネクタ製造時の管理

- コネクタ部の構造ならびに防水性能が十分確保できる手順であることを、当社が直接確認
- 東芝ESS作成の施工要領書・組立チェックシートを当社・東芝ESSで確認。
- 製造作業中の品質管理が、施工要領書・組立チェックシートにもとづき行われているかを立会にて確認

● コネクタ施工時の管理

- 施工要領書通りに施工されていることを、当社が抜き取り立会にて確認
- 東芝ESSは、施工要領書に則り製作するとともに、コネクタ組立チェックシートを用いて各工程ごとの品質確認を行い、組立を実施
- 組立後の品質記録は当社に提出され、記録確認を実施

水密試験立会



組立手順・チェックシート確認



ケーブルコネクタ部を組立する際の注意

図3-4 組立方法

22. 図3-4の通り、ブーツが全周にわたって均等に収縮したことを確認後、A層を一回捻回してから最終的に組立し、捻回に応じて収縮の仕上がり状態を行い、捻回からの歪みの発生を防止し、収縮が完了したら、実施も終了する。

図3-4 組立後のブーツの点検

23. 外観に目視確認、臭気、及び痛みがないことを確認し、ブーツ層から露出している導体とシールド層との間に隙間が生じていないことを確認する。そのために、必要に応じてブーツ層とシールド層との間に隙間が生じていないことを確認する。また、必要に応じてシールド層とブーツ層との間に隙間が生じていないことを確認する。

24. 品質確認として図3-4に示すように点検を行う。各寸法は公差範囲内とする。

※1 図3-4の通り、ブーツが全周にわたって均等に収縮したことを確認し、A層を一回捻回してから最終的に組立し、捻回に応じて収縮の仕上がり状態を行い、捻回からの歪みの発生を防止し、収縮が完了したら、実施も終了する。

※2 図3-4の通り、ブーツが全周にわたって均等に収縮したことを確認し、A層を一回捻回してから最終的に組立し、捻回に応じて収縮の仕上がり状態を行い、捻回からの歪みの発生を防止し、収縮が完了したら、実施も終了する。

※3 図3-4の通り、ブーツが全周にわたって均等に収縮したことを確認し、A層を一回捻回してから最終的に組立し、捻回に応じて収縮の仕上がり状態を行い、捻回からの歪みの発生を防止し、収縮が完了したら、実施も終了する。

図3-4 組立後のブーツの点検

図3-4 組立後のブーツの点検

25. 図3-4の通り、ブーツが全周にわたって均等に収縮したことを確認し、A層を一回捻回してから最終的に組立し、捻回に応じて収縮の仕上がり状態を行い、捻回からの歪みの発生を防止し、収縮が完了したら、実施も終了する。

品質管理		品質管理	
項目	検査方法	検査結果	検査結果
1	100%	合格	合格
2	100%	合格	合格
3	100%	合格	合格
4	100%	合格	合格
5	100%	合格	合格
6	100%	合格	合格
7	100%	合格	合格
8	100%	合格	合格
9	100%	合格	合格
10	100%	合格	合格
11	100%	合格	合格
12	100%	合格	合格
13	100%	合格	合格
14	100%	合格	合格
15	100%	合格	合格
16	100%	合格	合格
17	100%	合格	合格
18	100%	合格	合格
19	100%	合格	合格
20	100%	合格	合格
21	100%	合格	合格
22	100%	合格	合格
23	100%	合格	合格
24	100%	合格	合格
25	100%	合格	合格
26	100%	合格	合格
27	100%	合格	合格
28	100%	合格	合格
29	100%	合格	合格
30	100%	合格	合格

【参考】機外ケーブルコネクタ部の施工時の管理

- 今回訓練中のトラブル事象を省みて、今後実施する品質管理改善は以下のとおり。

- 現在の要領書に記載されている内容
 - コネクタ部品（グロメットも含む）をすべて無水エタノールで拭きとる
 - 割れ・欠損等がないことを確認
- 一方、以下については要領書には記載されていない
 - グロメットをインサートにセットする際のインサート側の異物有無の確認
 - グロメット下側（インサート側）の異物有無の確認



- 対策として、以下を今後の要領書に追加記載する
 - 帽子等の頭髪落下対策を行い、区画管理された空間で組み立てをおこなう
 - グロメットのインサートにセットする直前に、グロメットの下側（インサート側）、およびインサート表面やピン周囲に異物がないことを、作業者とQCのダブルチェックを実施
 - チェック記録とともに、エビデンスとして写真撮影を実施
 - 現場出荷前に、JIS C 8306に定められている、2倍の定格電圧+1000 (V) を満たす電圧にて、耐電圧試験を実施

現在の組立手順・チェックシート

作業日		実定ES5確認		TP90確認	
作業前確認項目					
確認項目	記載項目	結果			
WED No.	466 (A2)	-			
ケーブル番号	CP1-24-072	-			
コネクタ配列	20-4	-			
ブーツサイズ	20-4	STEP9 寸法表の適用ブーツサイズ以外を“-”とする。			
各対シールド	有 (無)	無しの場合STEP2内の各対シールド品確認不要。			
外徑修正要否	(無) 有	STEP3の熱収縮チューブ品確認不要。確認不要“-”とする。			
アダプタ	(有) 無	無しの場合STEP8外側編組シールド品確認不要。16,17項を“-”とする。			
グロメット	(有(健全) 有(破損)) 無	またSTEP9 23項の寸法確認を“-”とする。無しの場合STEP4不要。確認不要“-”とする。有りの場合も記録が認められる場合、STEP4は確認不要“-”とする。			
一階シールド	(有) 無	無しの場合STEP8外側編組シールド品確認不要。16,17項を“-”とする。			

ITSコネクタ組立チェックシート				
0.	作業内容	品質チェックポイント	TP90確認	実定ES5確認
STEP1: <部品確認、整理>				
2	部品構成、異数確認	グロメット、コンプレッションリングの異物なきこと	○10%	○10%
2	ブーツ目視点検	・異物なきこと ・異径(A部、C部)内側に捺印があること	○10%	○10%
2	Oリング目視点検 破損がある場合、Oリングを除去・清掃	・Oリングの切斷またはネジ部への濡れ込みの有無 ・Oリング取換後の内ねじ部に異物なきこと	○10%	○10%
2	グロメットの健全点検	割れ・欠損等の有無が健全な点検	○10%	○10%
STEP2: <設置処理とシールド線の接続>				
4	はんだ部のツノ、ヒゲの処理	突起部がないこと	—	—
4	シールド線接続電線への絶縁テープ目印設定	はんだ接続した電線に設定	—	—
5	部品設定確認	ブーツ、アダプタ、バックシールドの選別	○10%	○10%