

3号機 燃料取り出しに向けた進捗状況

2019年3月18日



東京電力ホールディングス株式会社

1. これまでの経緯

- 3号機 燃料取扱設備については、2018年8月の使用前検査中にケーブルの不具合により燃料取扱機（以下、FHM）が停止し使用前検査を中断した。
- 使用前検査中に発生した不具合等を踏まえ、設備の信頼性を万全にすることを目的に以下の対策を実施した。
 - 安全点検（動作確認、設備点検）
 - 品質管理確認
 - 環境対策
 - 予備品の追加購入
- 安全点検の結果、燃料取扱設備の機能・性能に影響を及ぼす事象（14件）を確認し、それぞれについて対策および対策後の検証を完了した。
- その後、ケーブル不具合の対策（ケーブル交換）後の機能確認を実施し、2019年2月より、燃料取り出し訓練を実施しているが、訓練中に7件の不具合事象を確認している。

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、停止した。ケーブル交換等実施し、復旧したが、発生原因について調査中。	モータ制御装置の交換 ケーブルの交換 発生原因を踏まえて対策を検討	原因調査中
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事象のうち、6事象（⑥以外）については、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。
- また、発生原因調査中の事象(⑥)については、速やかな原因究明に努め、対策を徹底した上で燃料取り出しを開始していく。

2. 訓練中に確認された事象 ①無停電装置内バッテリー容量低下に伴う警報発生
② I T V 画像の乱れ

発生事象	無停電装置内バッテリー容量低下に伴う警報発生
概 要	重故障「操作室キャビネット異常」と軽故障「操作室UPS異常」が発生した。ただし、本警報は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であり、警報が発生しても、燃料取扱設備の停止は無く、操作にも影響を与えない。
原 因	無停電装置内バッテリーの容量低下
対 応	バッテリーを交換した。(3月16日完了)
備 考	無停電装置は、遠隔操作室の伝送装置や入出力基板の瞬停対策として設置している。

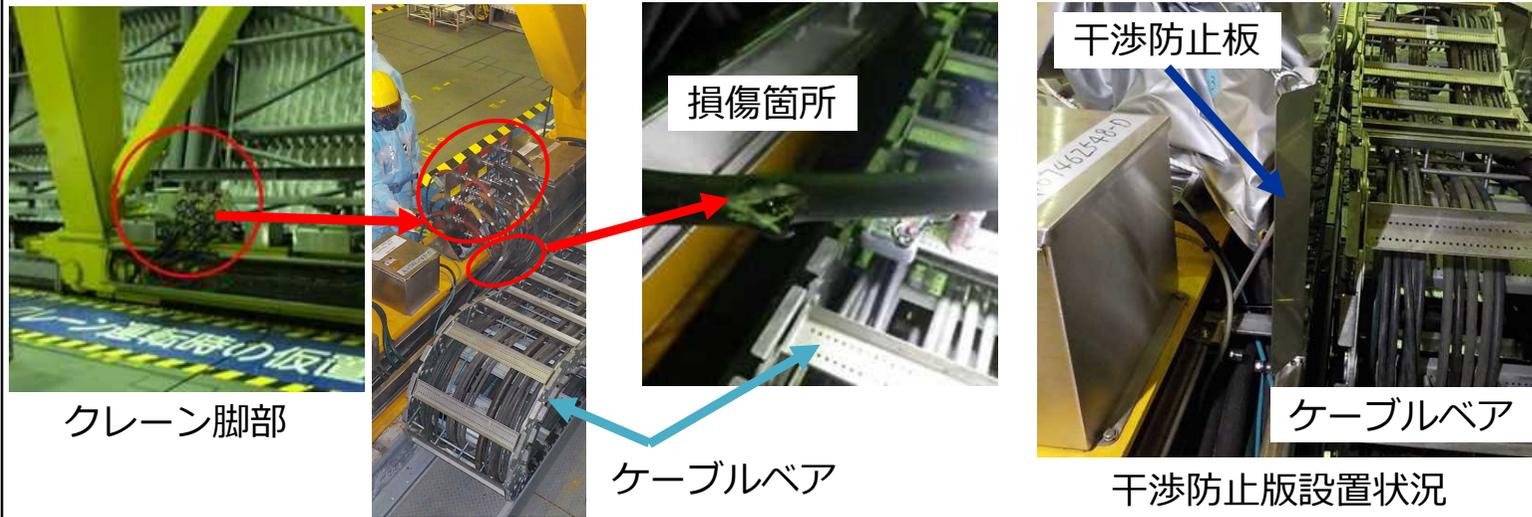
発生事象	ITV画像の乱れ
概 要	<p>マニピュレータ左手(SAM2)の肩にあるITV104カメラの画像の乱れを確認した。また、ITVからモニター間に設置されている中継器のフリーズを確認した。</p> 
原 因	中継器のフリーズによる画像の乱れと判断した。
対 応	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 中継器のフリーズを解消するために再起動を行い、ITV104カメラ表示が正常に作動していることを確認した。(2月19日完了) ✓ 事象発生時の再起動の手順が無かったため、手順書に反映した。(3月5日完了)
備 考	ITVの画像の乱れであり、マニピュレータの動作には影響を与えないため、ガレキ撤去作業に影響はない。

2. 訓練中に確認された事象 ③垂直吊具用ケーブルコネクタ浸水事象

発生事象	垂直吊具用ケーブルコネクタ浸水事象
<p>概要</p>	<p>クレーン主巻に設置されている垂直吊具用ケーブルコネクタは、垂直吊具を取り外した際に養生(水密性なし)を実施し、主巻に固縛していたが、ITVインターロック試験において、十分な処置を実施せず、当該養生のまま主巻を使用済み燃料プール（以下、SFP）に浸水させ、当該コネクタを水没させた。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>垂直吊具</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>コネクタ養生状態</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>養生状態イメージ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>注意喚起表示</p> </div> </div>
<p>原因</p>	<p>垂直吊具用ケーブルコネクタの養生状態の確認が不足し、十分な処置を実施せず主巻をSFP内に浸水させたこと。</p>
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 浸水したケーブルコネクタを交換し、抵抗測定・動作確認を行い、健全性を確認した。(3月17日完了) ✓ クレーン操作者が誰でも認識可能とするために、遠隔操作室の操作卓へ「垂直吊具未装着状態で、クレーン主巻をSFPに着水させないこと」の注意喚起表示を掲示した。(3月13日完了)
<p>備考</p>	<p>燃料取り出し期間中は、垂直吊具を取り外さない。また、取り外した状態で容器を取り扱うことはないため、輸送容器落下等につながる事象ではない。</p>

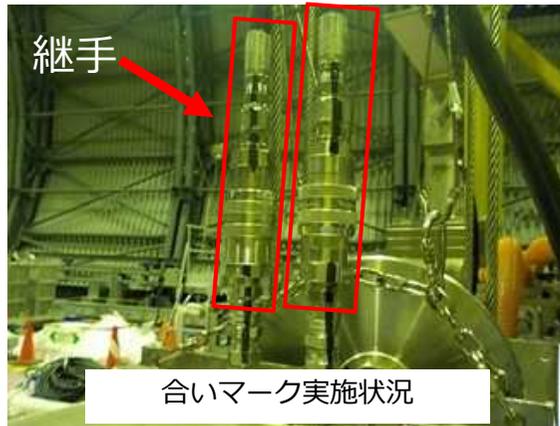
2. 訓練中に確認された事象 ④ケーブルベアによるケーブル巻き込み事象

発生事象	ケーブルベアによるケーブル巻き込み事象
概要	訓練実施中、垂直吊具の補アームの跳ね下げ※操作が出来なことを確認した。 ※垂直吊具の補アームは開いた後、水平に円を描く形で振り上がる。キャスク吊り上げ時にアームが干渉しないための動き。
原因	垂直吊具制御ケーブルの損傷を確認した。また、ケーブルベア（以下、ベアという。）可動域及びベアを構成する部品にケーブル被覆の一部と考えられる破片の付着を確認したため、ケーブルがベアに巻き込まれ損傷したと判断した。 ケーブルとベアの干渉確認が不足していたことが原因と判断した。
対応	✓ ケーブルを交換し、干渉防止板を設置した。抵抗測定・動作確認を行い、健全性を確認した。（3月14日完了）
備考	垂直吊具のアームの操作が出来なくなった場合でも、輸送容器の把持状態は維持されるため、燃料取り出し作業中の輸送容器落下等につながる事象ではない。

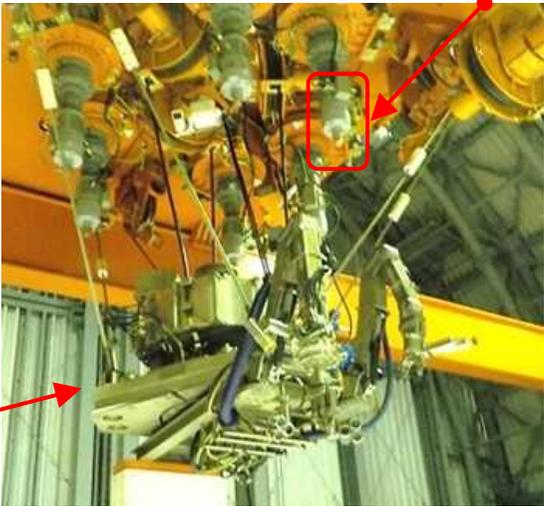


2. 訓練中に確認された事象 ⑤駆動水圧供給系駆動用流体の漏えい事象

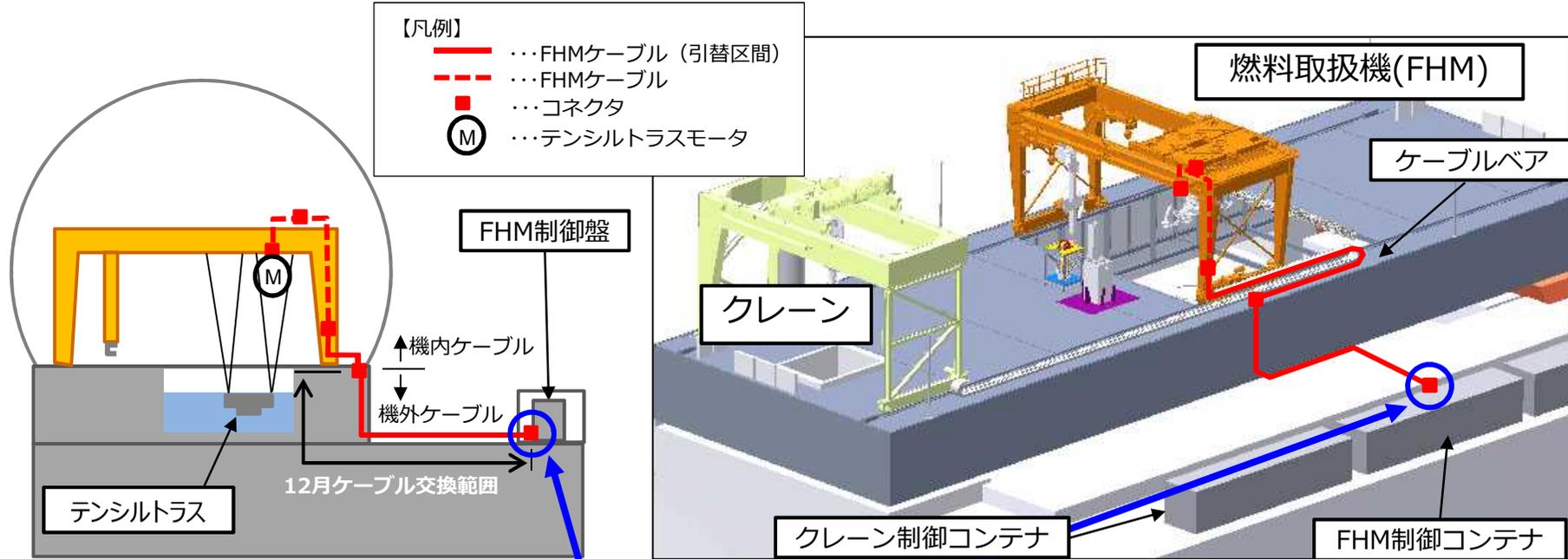
発生事象	駆動水圧供給系駆動用流体の漏えい事象	
概要	SFP水浄化装置設置のため当該装置を運搬中に、浄化装置上部が駆動用水圧供給系の駆動用流体で濡れていることをITVで確認した。 クレーン補巻を確認し、駆動用水圧供給系ホース継手部から駆動用流体が漏えいしていることを確認した（1滴／1秒）。	
原因	駆動用水圧系ホース継手部に、補巻操作による引っ張り力、回転力の影響が生じたことによる、ゆるみが原因と判断した。	
対応	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 増締めを実施し、運転圧にて漏えいのないことを確認した。（2月26日完了） ✓ 当該継手のITV監視可能位置に合いマークを付し、ゆるみが生じていないことを事前に確認することで未然に漏えいを防ぐ。 ✓ 事前確認について、日常点検で使用しているチェックシートに反映した。 	 <p style="text-align: center;">○部拡大</p>
備考	駆動水圧が喪失した場合でも、吊り荷の状態は維持されるため、吊り荷の落下等につながる事象ではない。	



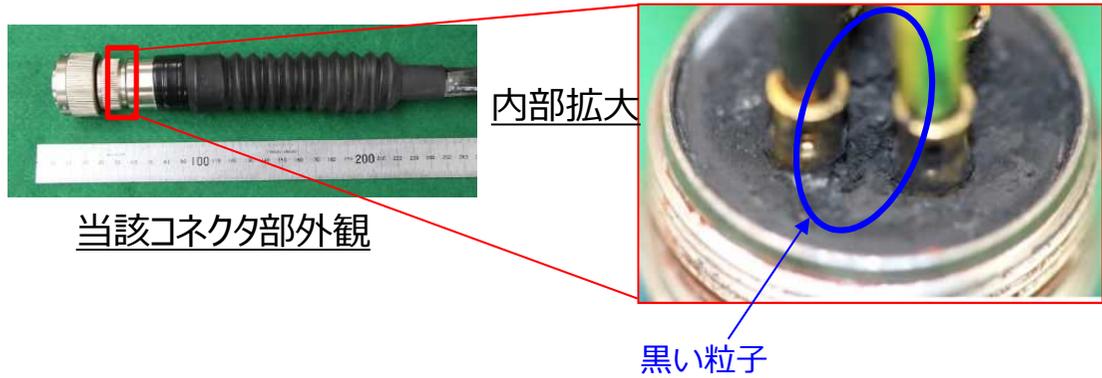
2. 訓練中に確認された事象 ⑥テンシルトラス上昇操作時の警報発生

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>	<p>原因調査中。</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からブレーキ動作信号が出ていないことを確認した。 ✓ テンシルトラスホイスト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。
<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>〔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"> ✓ 事象発生原因調査結果を踏まえて対策を検討する。
<p>備考</p>	<p>不具合箇所の交換によりテンシルトラスは復旧したが、引き続き発生原因について調査中。</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。

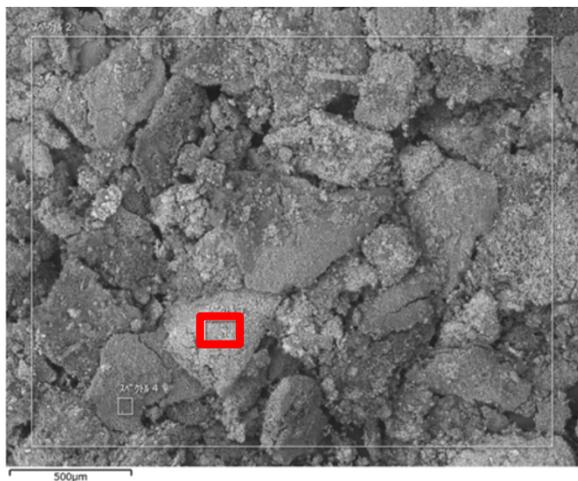


【内部確認結果】

- ▶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は確認できたが、原因特定に向け引き続き詳細な元素分析を継続実施中
- ▶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

■ 黒い粒子の元素分析(SEM※分析)結果 抜粋

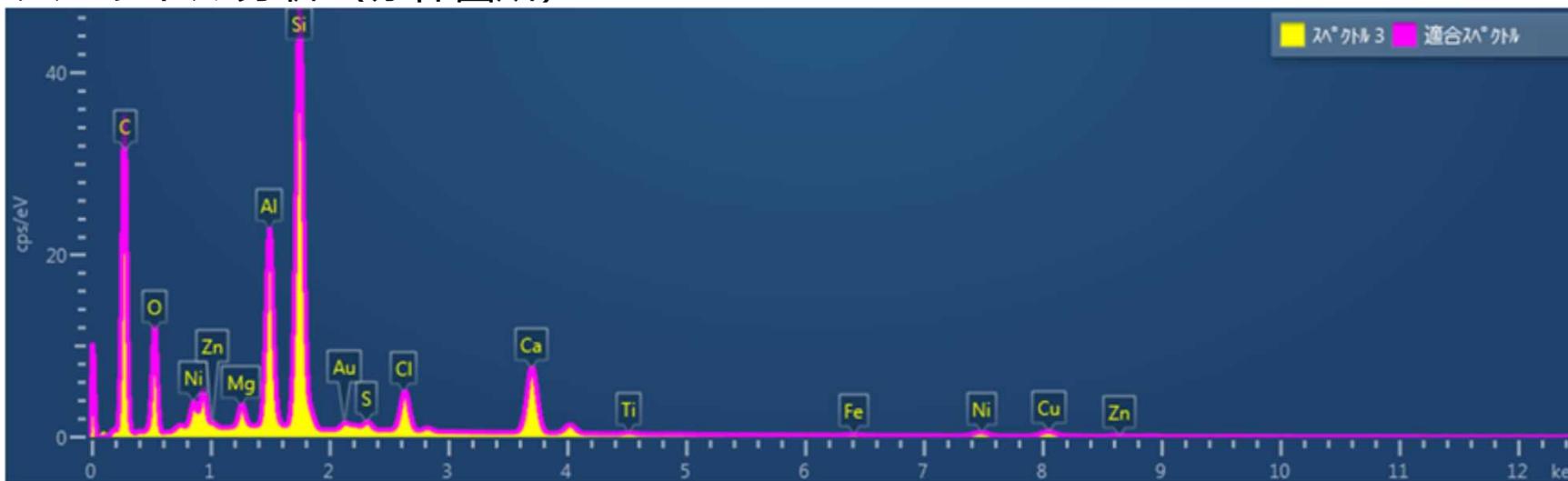
電子顕微鏡拡大



- ・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、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。

※SEM：走査電子顕微鏡

スペクトル分析（赤枠箇所）



■ 黒い粒子発生メカニズム

グロメットとインサートとの間が1000℃近い高温(金の融解温度1064℃)となり、グロメットまたは内在していた異物そのものが炭化したものと考える。

■ 高温が発生した推定原因として以下2案を軸に検証・検討実施中

推定1：モータ駆動装置の異常に伴う半導体スイッチングサージ過電圧※1等によりコネクタピン間に放電が発生した。

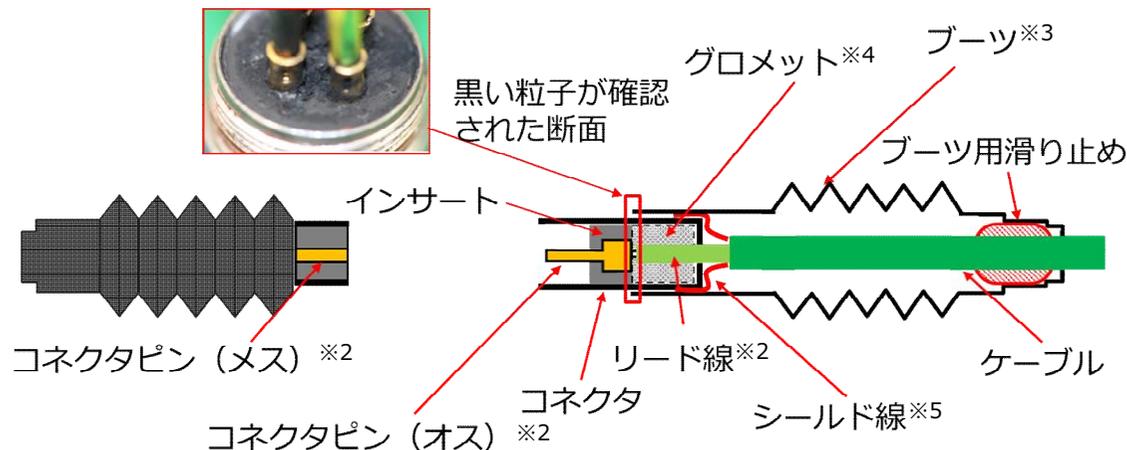
※1：半導体モジュールの中で直流から交流に電気変換する際に、高速に回路を切り替えるときに発生する過電圧

推定2：コネクタ内に異物が存在し、電流発熱により炭化し短絡・地絡に発展した。

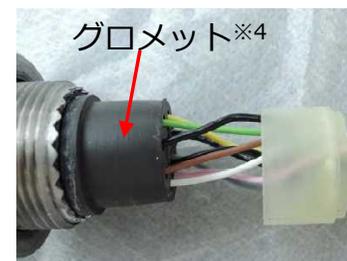
■ 今後の調査の進め方

- モータ駆動装置を試運転し、健全性の確認および過電圧発生の有無確認を行う（推定1関連）
- 詳細な元素分析の継続、製作時の作業状況の確認等により黒い粒子の物質特定（推定2関連）

【参考】 コネクタ部の概略構造図



- ※2：コネクタピン、リード線は4芯
- ※3：ブーツはケーブル保護及び雨水浸入防止のため
- ※4：グロメットは、防塵対策のため
- ※5：シールド線はノイズ防止のためのアース線

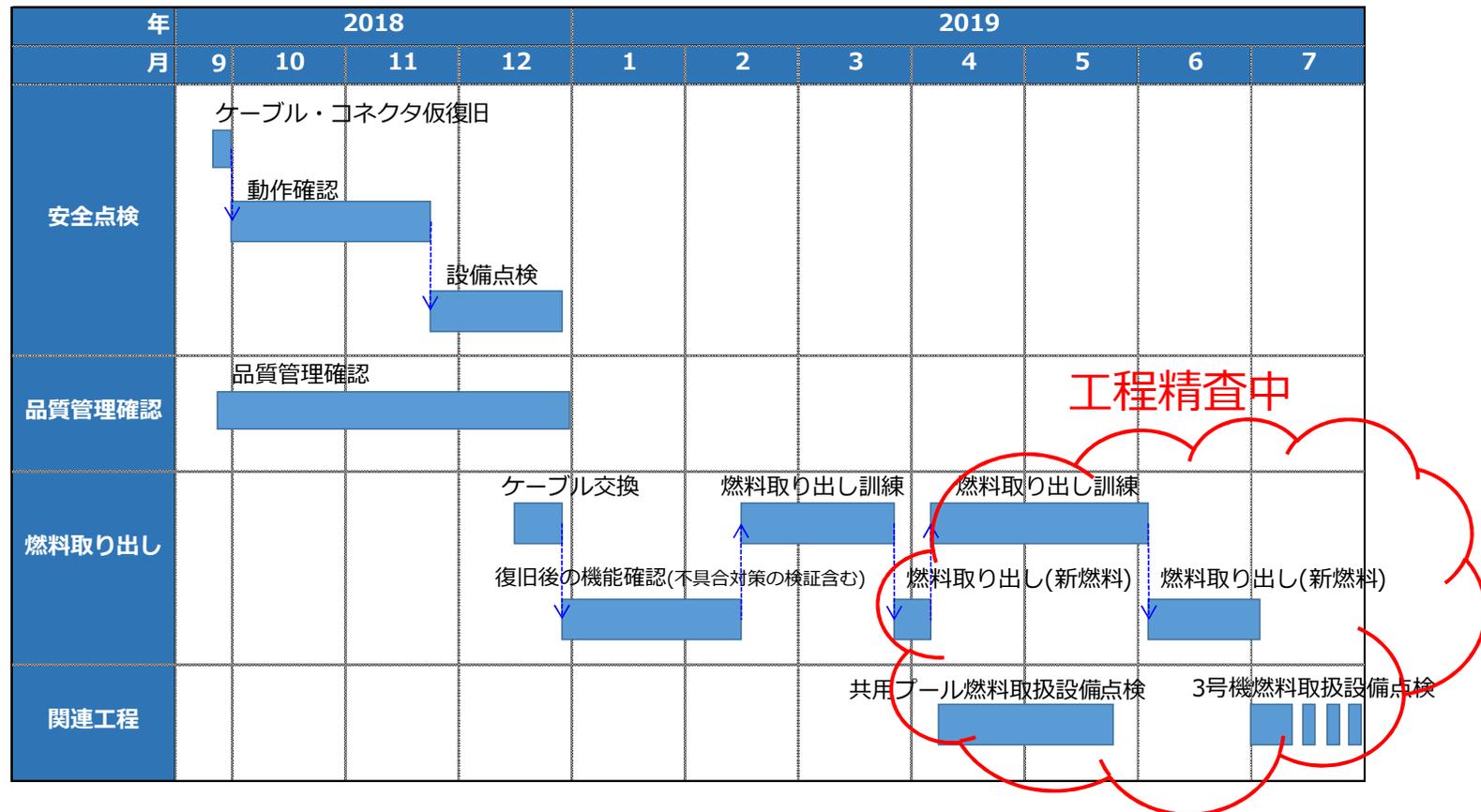


2. 訓練中に確認された事象 ⑦クレーンバルブボックスの漏えい事象

発生事象	クレーンバルブボックスの漏えい事象	
<p>概要</p>	<p>クレーン主巻にてエアリフト（ガレキ吸引装置）運搬作業中にクレーントロリ上部から駆動用流体の漏えいを確認した。また、仕切弁（電磁弁）等が駆動用流体に水没していることを確認した。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="499 451 994 845"> </div> <div data-bbox="1048 427 1552 759"> <p style="text-align: center;">バルブボックス</p> </div> <div data-bbox="1630 432 2007 759"> <p style="text-align: center;">漏えい箇所 (閉止プラグ)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="1115 772 1473 845" style="text-align: center;"> <p>バルブボックス設置状況 クレーントロリ上部</p> </div> <div data-bbox="1666 772 1966 807" style="text-align: center;"> <p>漏えい箇所特定状況</p> </div> </div>	
<p>原因</p>	<p>クレーントロリ上にあるクレーン主巻及び補巻の水圧系統に駆動用流体を供給する仕切弁（電磁弁）を格納しているバルブボックス内の閉止プラグ部において、水圧供給弁の“開”操作に伴う振動の影響によるゆるみが原因と判断した。</p>	
<p>対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電磁弁・減圧弁の交換を実施した。 ✓ 水没したケーブル部を切断し、再接続を実施した。 ✓ 閉止プラグの外観点検、再締結を実施後、合いマークを実施した。 (合マーク確認は、応力が掛かる部位でないため月例点検時に実施) ✓ 漏えい確認、作動確認を行い異常のないことを確認した。 (3月6日完了) ✓ 類似箇所について、同様の対策を実施済。(3月15日完了) ✓ 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。 <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  <p>復旧時の状況（合マーク実施）</p> </div>	
<p>備考</p>	<p>駆動水圧を喪失しても吊り荷の把持状態は維持されるため、燃料取り出し作業中の輸送容器落下等につながる事象ではない。</p>	

3. スケジュール

- 燃料取扱設備は、不具合発生時も燃料・輸送容器等を落下させないなど安全上の対策を施しているが、万が一燃料取り出し作業中に不具合が発生した場合でも、速やかに復旧できるよう、手順の策定や予備品の対策等を進め、万全の体制を整える。
- 3月末の燃料取り出し開始を目標に取り組んできたが、新たに発生した不具合により、3月末の取り出し開始は4月にずれ込む状況にある。それぞれの原因究明・対策を実施していくとともに、引き続き工程精査を行い、安全を最優先に作業を進めていく。



以下、参考資料

■ 目的

- ケーブル復旧後に燃料取扱設備に要求される機能が健全であることを確認する。

■ ケーブル復旧後の機能確認内容 【2019年2月8日完了】

➤ 電源復旧後の復元確認

電源復旧後に燃料取扱設備を動作させ、ケーブル復旧後も正常に動作することを確認した。

➤ 警報作動確認

警報が正常に作動することを模擬信号及び実動作にて確認した。

➤ クレーン動作確認（ブリッジ・トロリ・主巻・補巻）

基本動作及び設定可能な操作モードが正常に作動することを確認した。

➤ F H M動作確認(マスト・テンシルトラス・マニピュレータ・東西補巻)

基本動作及び設定可能な操作モードが正常に作動することを確認した。

➤ クレーン・F H M組合せ動作確認

クレーン及びFHMで使用する各種ツールを組合せた動作が正常に作動することを確認した。

➤ 不具合対策及び検証等の実施

警報作動試験と併せて安全点検時に確認した14件の不具合対策・検証を実施した。不具合対策完了後、燃料取扱設備の動作確認に合せ、安全点検時に実施できなかった箇所※の健全性も併せて確認した。

※安全点検未実施内容：ツール交換装置動作確認、掴み具、カッター等動作確認、吸引装置動作確認

【参考】安全点検における発生事象の状況

No.	発生事象	原因（概要）	対策（概要）	状況
①	テンシルトラス ホイスト3ドラム回転異常	ホイスト3ドラム回転検知用センサーの単体異常。 センサー内蔵の電子素子故障と判断した。	センサー交換 (予備品の準備)	対応済
②	クレーンでのエラーメッセージ発生	インバータで定義されている動作方向に対してBE2チェック時の動作方向の不整合。	ソフト改造（動作方向整合）	対応済
③	駆動源喪失時のマニピュレータの挙動	エアイベント不足若しくは逆止弁のリークにより姿勢が維持できなかった。	エア抜き・逆止弁交換、追設 (予備品の準備)	対応済
④	水中ポンプ動力ケーブル及び圧力検知用 センサーケーブルの絶縁低下	シール部から水が流入したため、絶縁抵抗が低下した。 (他に浸入の痕跡がないこと、シールは消耗品であり、使用に伴い摩耗することから、シール部の劣化と判断した。)	水中ポンプ・センサー交換 予備品の準備	対応済
⑤	垂直吊具の水圧供給用カブラの ガスケット損傷	-	カブラプラグ交換	対応済
⑥	クレーン動作時に動作異常の警報発生	異常検出の時間設定と実動作時の制動距離がミスマッチ。	ソフト改造（時間設定変更）	対応済
⑦	マニピュレータ関連動作不良事象	駆動水圧供給弁を“開”から“閉”操作時の圧力変動。	作業手順反映	対応済
⑧	燃料健全性確認用治具の状態表示不良	A:点検時にプレートを逆さに取付けた。 B:着座センサーの不良。 輸送の際の衝撃で故障と判断した。	A:表示プレート修正 B:センサー交換	対応済
⑨	マニピュレータ関連ツール交換不良事象	電磁弁のリーク（電磁弁のシート部のあたり不良と判断） により、接続コネクタへの圧力のこもり。	電磁弁交換 (予備品の準備)	対応済
⑩	テンシルトラス ホイスト6巻取り異常警報発生	ワイヤ巻取状態異常を検知するセンサーの検出位置調整不良。	センサー検出位置調整	対応済
⑪	クレーンの移送モードにおける動作不良	モード移行条件が成立していない状態で、モード移行を実施したことによる動作不良。	作業手順反映 ソフト改造（設定値変更）	対応済
⑫	燃料取扱設備の安全点検中のFHM停止について	単線結線図に未反映であったため、電源停止範囲検討時に認識されなかった。	単線結線図に反映	対応済
⑬	キャスク垂直吊具と水中カメラの接触について	垂直吊具アームの降下作業と水中カメラの操作の連携が作業手順書に未記載。	作業手順反映 水中カメラ交換	対応済
⑭	FHMテンシルトラス巻き下げ操作時の動作不良	ログ確認した結果、制御信号の一時的な伝送不良発生およびリセット後操作不能については手順の不足	ケーブル交換、回路健全確認 作業手順反映(初期化)	対応済

【参考】安全点検における発生事象の状況

④水中ポンプ動力ケーブル及び圧力検知用センサーケーブルの絶縁低下

【事象④】

ガレキ撤去装置（吸引装置）を使用済燃料プールに設置後、水中ポンプ動力ケーブルの絶縁抵抗測定を実施した結果、絶縁抵抗が低下していることを確認。（気中での絶縁抵抗測定時は異常なし）
また、水中ポンプの圧力センサのケーブルでも地絡を確認。

【原因】

吸引装置を水中から引き揚げ詳細調査を実施し、水中ポンプの分解調査を実施。

- ・外観点検の結果：異常なし
- ・分解調査結果
ケーブル側：異常なし
モータ巻き線：絶縁抵抗値低下
内部確認：水分流入の痕跡あり

⇒ シール部からの流入
（他に浸入の痕跡がないこと、シールは消耗品であり、使用に伴い摩耗することから、シール部の劣化と判断した。）

【対応】

- ✓ 水中ポンプ及び圧力センサーを予備品と交換
- ✓ 水中ポンプ及び圧力センサー交換し、動作確認を実施済（1月27日完了）



【仮に燃料取り出し中に発生した場合の影響】

- ✓ 水中ポンプ起動中に電源断等の影響により、ポンプが停止した場合、ホース内にある吸引途中のガレキ（～約φ25mm）が落下する可能性があるが、万が一ガレキが落下したとしても、燃料の健全性に影響を与えないことを確認しており、放射線安全上のリスクはない。

【参考】機外ケーブルコネクタ部の施工時の管理

- 機外ケーブルのコネクタについては当社にて製品の品質を確認済。
 - 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
 - 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



① 図1に示した状態で組立を行う。

図1-1 組立方法

② 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-2 組立方法

③ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-3 組立方法

④ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-4 組立方法

⑤ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-5 組立方法

⑥ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-6 組立方法

⑦ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-7 組立方法

⑧ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-8 組立方法

⑨ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-9 組立方法

⑩ 図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認後、A部を一回捻回することで確実に固定し、B部から捻回して固定を行う。捻回時の捻回角度は、図1の通りである。

図1-10 組立方法

① 図1に示した状態で組立を行う。			
項目	内容	確認	結果
1	図1の通り、ブーツが最後まで正確に挿入されたことを確認	○	
2	図1の通り、A部を一回捻回することで確実に固定	○	
3	図1の通り、B部から捻回して固定を行う	○	
4	図1の通り、捻回時の捻回角度は、図1の通りである	○	
5	図1の通り、図1の通りである	○	
6	図1の通り、図1の通りである	○	
7	図1の通り、図1の通りである	○	
8	図1の通り、図1の通りである	○	
9	図1の通り、図1の通りである	○	
10	図1の通り、図1の通りである	○	