

3号機 燃料取り出しの開始について

2019/4/25

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. これまでの経緯

TEPCO

- 3号機 燃料取扱設備は、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。
- 発生した不具合を踏まえ、設備信頼性に万全を期することを目的として以下を実施した。
 - 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、機能・性能に影響を及ぼす事象14件を確認し、対策・検証は完了している。
- 2019年2月14日より燃料取り出し訓練を開始した。
 - 訓練中に7件の不具合事象を確認し、対策・検証は完了している。
- 2019年4月15日より燃料取り出しを開始（新燃料：7体）した。



2. 燃料取り出しの状況

TEPCO

- 4/15(月)8時50分より、燃料取り出し作業を開始し、4/16(火)13時49分に、新燃料計7体の輸送容器への燃料装填を完了した。
- 4/23(火)に燃料を装填した輸送容器の共用プール建屋への輸送が完了した。今後、共用プールの燃料ラックに燃料を貯蔵する。
- 輸送容器一基目取り出し以降は、訓練及び小ガレキ撤去を再開する。2基目取り出しあは7月頃を予定している。
- なお、燃料取り出し作業において、周辺環境のダストの濃度に有意な変動がないことを確認している。



輸送容器へ燃料装填(1体目)



輸送容器へ燃料装填完了(7体)

2

3-1. 訓練中に確認された事象

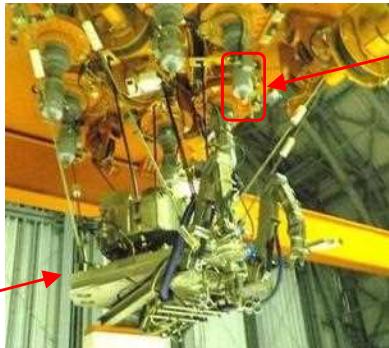
TEPCO

- 2019年2月14日より燃料取り出し、訓練中に7件の不具合事象を確認した。7件の事象について、全て対策・検証は完了している。

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	ケーブルペアによるケーブル巻き込み事象	ケーブルとケーブルペアの干渉具合について確認が不足したことにより、ケーブルペ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	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

3

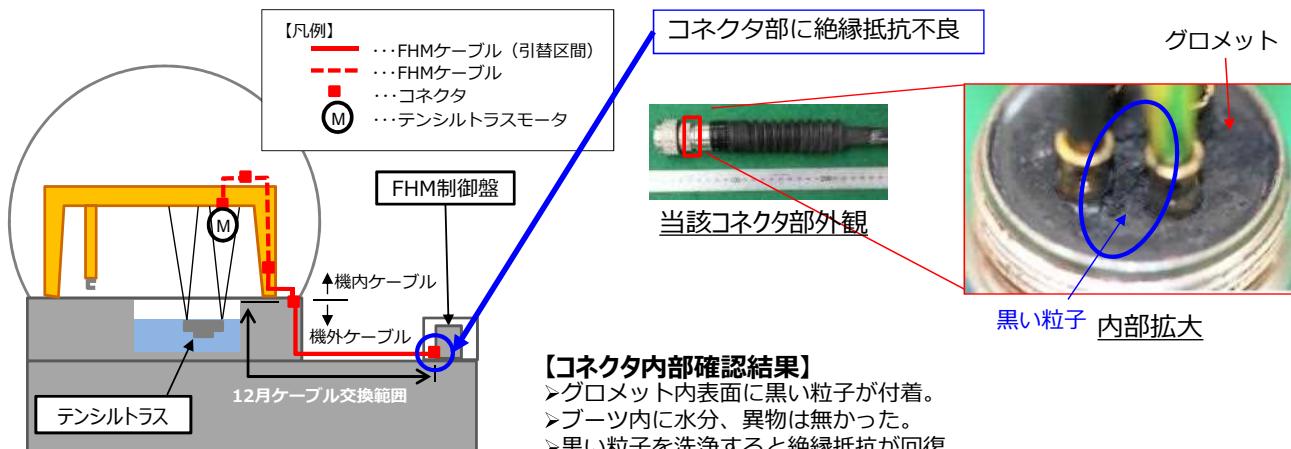
3-2. 訓練中に確認された事象 ⑥テンシルトラス上昇操作時の警報発生 **TEPCO**

発生事象	テンシルトラス上昇操作時の警報発生
概要	<p>移送容器ヘ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> 
原因	<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是、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。
対応	<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) 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。 ✓ 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補修・交換の対策を実施済み。(4月5日完了)

4

3-2. テンシルトラスホイスト#1ケーブルコネクタ故障箇所と調査結果 **TEPCO**

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



■ 原因調査結果

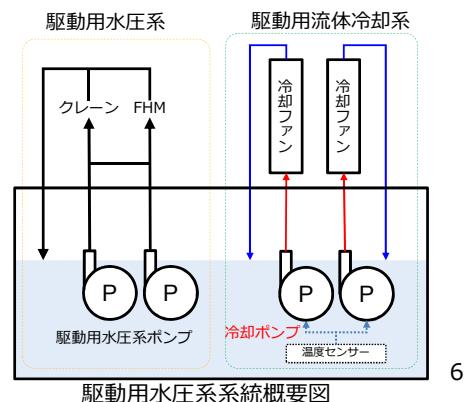
- テンシルトラスホイスト1モータの電源ケーブルについて、FHM制御盤側ケーブルのコネクタ部に絶縁抵抗不良があることを確認した。
- 絶縁不良の原因是、炭素を多く含有している黒い粒子であることを確認した。
- 黒い粒子の発生原因は、コネクタ内グロメット内表面に異物が存在し、課電による発熱で炭化が進展した。

5

3-3. 制御ケーブル絶縁抵抗測定の追加実施について

TEPCO

- 燃料取扱設備 駆動水圧系（HPU）の駆動用流体を冷却するため、冷却ポンプ（以下、ポンプ）を2台設置しており、通常1台で運用している。
 - ケーブル復旧後の12/28に電源投入したところ、片方の冷却ポンプのブレーカがトリップしたが、主回路を調査して異常が確認されなかつたことから一過性の事象と判断し、1台で運用していた。コンタクタ（ブレーカ下流の電磁スイッチ）固着の可能性があるため、念のためコンタクタ新品の手配を進めていた。
 - 今回燃料取り出し開始に万全を期すため、コンタクタを交換し2台目のポンプの電源を投入したところ、起動信号を入れる前にポンプが起動する異常が確認された。このため、4/8にケーブル障害位置測定器にて制御ケーブルを測定したところ、コネクタ内（上流制御盤側）に混触を確認した。なお、当該ポンプは作動流体を冷却するものであり、停止しても直ちに燃料取扱作業が停止するものではなく、安全に影響を及ぼすものではない。
 - 当該ケーブルは、出荷時の絶縁抵抗測定を実施していた。また、ケーブル不具合に伴い工場での再製作をしていたこと、ブレーカトリップ事象のためケーブル復旧後の動作確認は未実施だったという特異性がある。このため当該ケーブルの調査・修理を行い絶縁抵抗が回復したことを確認した。なお、現地布設後に混触が確認されたこと、同時期に工場製作した制御ケーブルは布設後の絶縁抵抗測定が未実施であることから、慎重を期すため、これらについて絶縁抵抗測定を行った。その結果、2ラインに絶縁低下が確認されたが補修を行い、全て健全な状態であることを確認した。



6

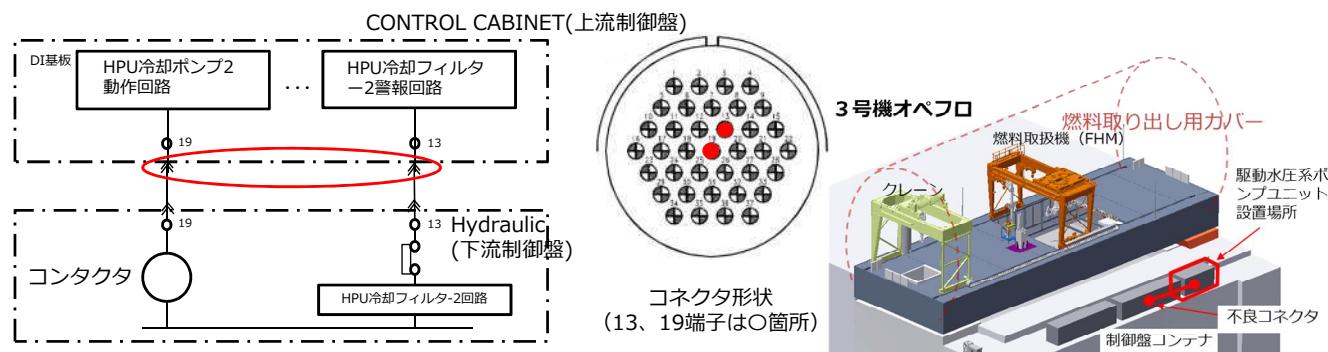
3-3. 当該部に対する調査結果

TEPCO

調查結果

冷却ポンプに動作異常が確認されたことから、当該ケーブルの絶縁抵抗測定を実施したところ、下記に示す13-19端子間で混触をしていること確認した。また、混触箇所を調査したところ、上流制御盤側コネクタ内で混触していることを確認した。

混触：異なる回路の2以上の電線が意図せず通電する状態のこと。



■ ネクタ内部確認結果

- ▶異物（①充填剤らしき物質、②黒い物質、③金属物らしきもの）を確認
 - ▶異物を除去、再組立後に絶縁抵抗を再測定した結果、13-19芯線間を含むピン間の絶縁抵抗は判定基準（ $2M\Omega$ ）以上であることを確認した。

▶ 異物の成分調査を実施

- ## ①充填剤と同物質

②炭素を含む有機物



充填劑



①充填剤
(非導電性)

②炭素系有機物 ③ハン
(非導電性) (

大きさ 1.5mm 程度

③が混触原因と想定

7

【参考】機外ケーブルコネクタ部の製作時の品質管理改善

TEPCO

- 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 等

現在の組立手順 チェックシート

作業手順		品質確認	出庫
ケーブル準備	（グロメット、シールドテープ等）	○	-
コネクタ取付	（コネクタ、シールドテープ等）	○	-
グロメット装着	（グロメット、シールドテープ等）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、各部品の確認を行なう。シールドテープ等の確認は、シールドテープ等の確認を行なう。
各部シールド	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、各部シールドの確認を行なう。
片端接続部組立	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、片端接続部の確認を行なう。
アダプタ	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、アダプタの確認を行なう。
グロメット	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、各部のグロメットの確認を行なう。
各部接続	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、各部接続の確認を行なう。
各部シールド	（各部）	○	「機外ケーブルコネクタ部品質確認シート」に記載する、各部シールドの確認を行なう。

JIS K 0024組立チェックシート

作業内容	基準チャックポイント	NG	良品
STEP: <組立確認、検査>			
1. 帽子等の頭髪落下対策を行い区画管理された空間で組立を行う	ガロメット、シールドテープシールドの確認 ・頭髪落下防止装置等の確認	NG	OK
2. 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、素線のはみ出しがないことを、作業者とQCのダブルチェックを実施	・頭髪落下防止装置等の確認 ・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、素線のはみ出しがないことを、作業者とQCのダブルチェックを実施	NG	OK
3. 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	・頭髪落下防止装置等の確認 ・写真撮影	NG	OK
STEP: <品質管理（検査等）の実施>			
4. 現場出荷前に、JIS C 8306に定められている、2倍の定格電圧+1,000 Vを満たす電圧にて、耐電圧試験を実施	・耐電圧試験	NG	OK
STEP: <ケーブル被覆の傷対策として、以下を行う			
▶ 特殊な製作作業に対する経験の補完			
5. ケーブル被覆の硬さなど特性を確認し、作業面で留意すべきQCチェック項目として被覆キズの確認することなどの項目を追加し、作業員とQCにてダブルチェックする	・ケーブル被覆の硬さなど特性を確認し、作業面で留意すべきQCチェック項目として被覆キズの確認することなどの項目を追加し、作業員とQCにてダブルチェックする	NG	OK

8

- 対策として、以下を今後の要領書に追加記載する

➤ 工場と同様な製作環境（異物等の管理）

- 帽子等の頭髪落下対策を行い区画管理された空間で組立を行う
- 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、素線のはみ出しがないことを、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

➤ 工場と同様な品質管理（検査等の実施）

- 現場出荷前に、JIS C 8306に定められている、2倍の定格電圧+1,000 Vを満たす電圧にて、耐電圧試験を実施

- また、ケーブル被覆の傷対策として、以下を行う

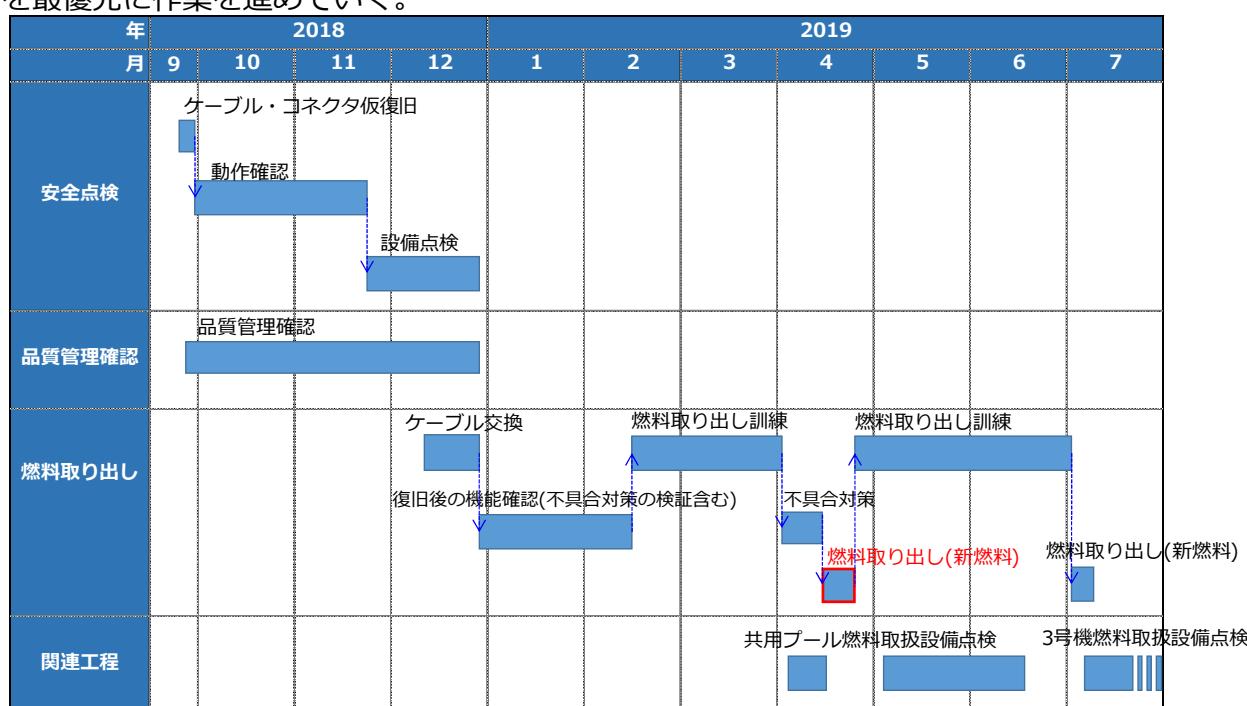
➤ 特殊な製作作業に対する経験の補完

- ケーブル被覆の硬さなど特性を確認し、作業面で留意すべきQCチェック項目として被覆キズの確認することなどの項目を追加し、作業員とQCにてダブルチェックする

4. スケジュール

TEPCO

- 燃料取扱設備は、不具合発生時も燃料・輸送容器等を落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てきた。今回、その準備が整ったことから、4月15日から燃料取り出しを開始した。引き続き、周辺環境のダストの濃度を監視しながら、安全を最優先に作業を進めていく。



9

以下、参考資料

10

【参考】燃料取出作業訓練進捗状況

- 4月2日までに予定していた1基目開始前までの訓練（2班分）を完了。

訓練内容				
① 燃料取扱設備訓練	燃料取扱設備（燃料取扱機、クレーン）の動作方法等を確認する			
② 輸送容器訓練	遠隔操作での輸送容器の蓋締め、密封確認装置の操作、1階への吊り降ろし等の訓練を行う			
③ 燃料移動訓練	模擬燃料を用いてラック～輸送容器間の燃料移動の訓練を行う			
	訓練 (1基目前)	燃料取り出し (1基目)	訓練 (1基目後)	燃料取り出し (2基目～)
燃料移動操作班 (6班)	③2班	2班で作業	③4班	6班で作業
輸送容器取扱操作班 (6班)	①2班 ②2班 完了	2班で作業	①4班 ②4班	6班で作業



燃料移動訓練の状況（模擬燃料の輸送容器への収納）



訓練風景

11

- ガレキ撤去訓練にて、初回に取り出しを実施する新燃料の上部にあるガレキの撤去を完了。



2019.4.2撮影

初回に取り出しを実施する燃料の状況



□部拡大



ガレキ撤去作業状況 1



ガレキ撤去作業状況 2

12

【参考】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

②ITV画像の乱れ

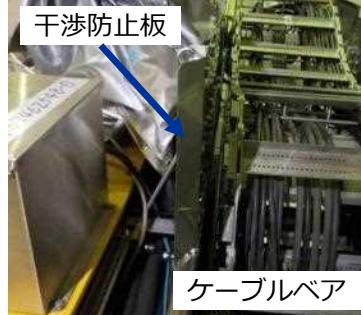
発生事象	無停電装置内バッテリー容量低下に伴う警報発生
概要	重故障「操作室キャビネット異常」と軽故障「操作室UPS異常」が発生した。ただし、本警報はバッテリー交換時期が近づいていることを告知する警報であり、警報が発生しても、燃料取扱設備の停止は無く、操作にも影響を与えない。
原因	無停電装置内バッテリーの容量低下
対応	バッテリーを交換した。(3月16日完了)
備考	無停電装置は、遠隔操作室の伝送装置や入出力基板の瞬停対策として設置している。

発生事象	ITV画像の乱れ
概要	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。
	 画像の乱れ状況
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	✓ フリーズを解消するために再起動を行い、フリーズが解消し中継器が健全に動作していることを確認した。また、ITV104カメラ表示が正常に動作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つたため、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。

13

発生事象	垂直吊具用ケーブルコネクタ浸水事象
概 要	<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>    <p>垂直吊具</p> <p>コネクタ養生状態</p> <p>養生状態イメージ</p>  <p>注意喚起表示</p>
原 因	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。
対 応	<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)
備 考	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。

14

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	<p>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。</p> <p>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。</p>     <p>クレーン脚部</p> <p>ケーブルベア</p> <p>干渉防止板</p> <p>干渉防止版設置状況</p>
対 応	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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。

15

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>✓ 類似箇所について、同様の対策を実施済（3月15日完了）</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。

16

発生事象	クレーンバルブボックスの漏えい事象
概 要	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>バルブボックス設置状況 クレーントロリ上部</p> <p>漏えい箇所 (閉止プラグ)</p>
原 因	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。
対 応	<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。
備 考	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。

17

■ コネクタ内事象と警報発生時系列・設備側動作状況の関連性

	発生警報	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18 A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)

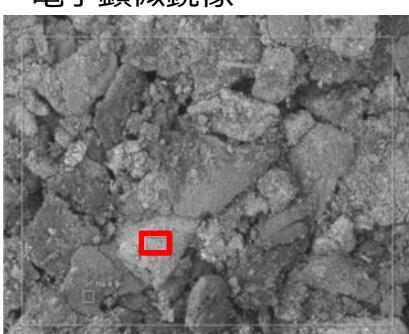
■ 対応

- 絶縁抵抗不良のあった箇所についてケーブル・コネクタ交換を実施済
- 類似箇所である動力ケーブル・コネクタ(34ライン)について、耐電圧試験による健全性確認を実施済
 - 3ラインで試験電圧まで昇圧できない事象を確認
 - 昇圧できなかった3ラインのコネクタを分解し、内部を確認した結果、ブーツ内の芯線の被覆に傷があるのを確認したため、交換・補修を実施済
 - 交換後、耐電圧試験を実施し、健全性を確認済
- コネクタ製作時の品質改善(適切な作業環境整備、出荷時の耐電圧試験等)を行う

18

■ 黒い粒子の元素分析(SEM*分析)結果 抜粋

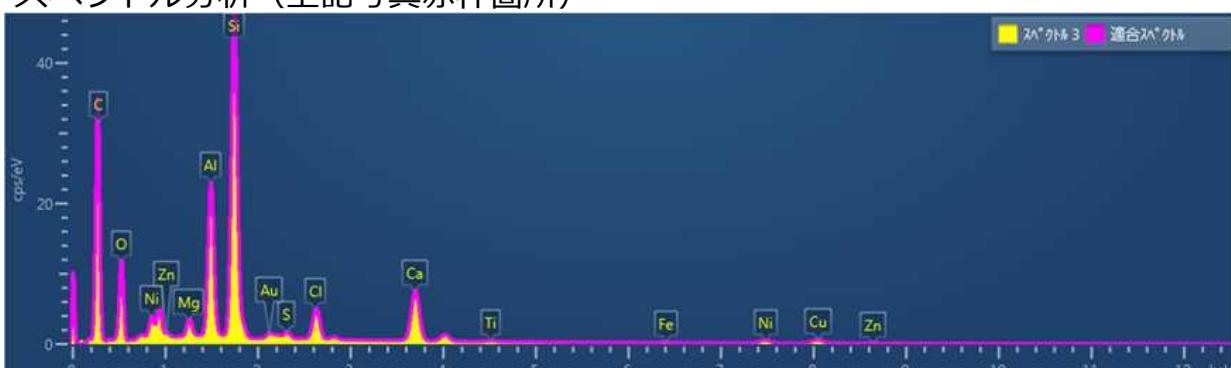
電子顕微鏡像



- 炭素やシリコンが主として検出されている。これは、作業場の埃(繊維、髪等)やクロロメットの材質であるクロロブレンゴムの主成分が炭素として、クロロブレンゴムの添加剤がシリコンとして検出されたものと考えられる。
- 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)

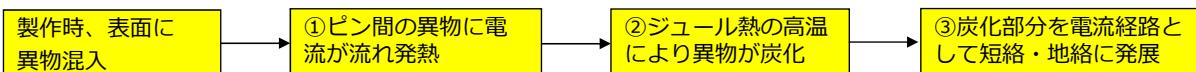


19

【参考】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
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

TEPCO

■ 黒い粒子発生メカニズムの検証試験



異物の混入により今回の不具合事象が発生するか、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

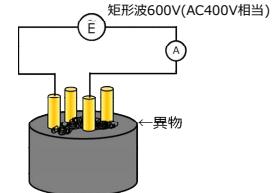
■ 試験条件

- ・2本のピン間に、異物として混入する可能性が高いと考えた“毛髪”を置く（数本）
- ・通常の回路電圧（AC400V）相当の電圧を2本のコネクタピン間に印加

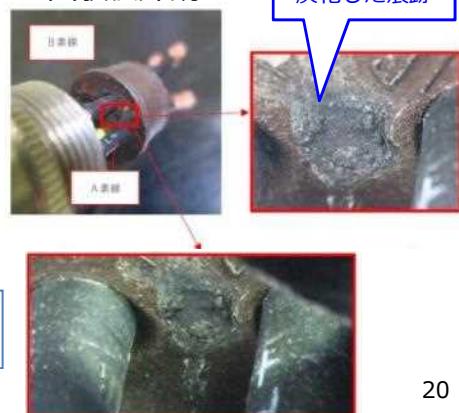
■ 試験結果

- ①ピン間に異物※に電流が流れ、発熱を確認
 - ・通常の回路電圧（AC400V）相当の電圧で、2Aの通電を確認（約100秒間程度）
- ②ジューク熱の高温により異物が炭化
 - ・埃の成分である繊維、髪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
 - ・グロメットの一部も炭化したことから、当該材質であるクロロブ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、地絡保護遮断器動作に至り、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毛髪を使用したが、作業場の埃（繊維、髪等）でも同様な結果が得られると考える



■ 試験後外観



20

【参考】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
耐電圧試験の考え方

TEPCO

	通常の原子力プラント に使用されている製品（国産品）	3号機燃料取扱設備 に使用された製品
ケーブル	1)適用規格類 JIS C 3005 2)耐電圧試験の要求 <ul style="list-style-type: none"> ・製品製作時 要求している ・納入時（コネクタに取付後） 要求している ・現地据付時 低圧（制御系）は未実施 	1)適用規格類 例：HPU controlケーブル36芯の規格 DIN EN 50525-2-21 VDE 0285-525-2-21 (独) 2)耐電圧試験の要求（今回の実績） <ul style="list-style-type: none"> ・製品製作時（国外、実施） 手配時要求してない (実施しているメーカーと、実施有無を明確にしてないメーカーがある) ・納入時（国内 コネクタに取付後） 未実施 ・現地据付時 未実施
コネクタ	1)適用規格 JIS C 8306 2)耐電圧試験の要求・内容 手配時要求している 2kV、3kV:コネクタにより・1分間（単体） 2.4kV、3.6kV（上記120%）・1秒間（取付後）	1)適用規格 MIL-DTL-5015 2)耐電圧試験の要求・内容 手配時要求してない 規格内容：2kV/1分間 単体

21

【参考】制御ケーブル絶縁抵抗測定の追加実施について 同時期製作制御ケーブルに対する調査結果

TEPCO

慎重を期すため、その他の同時期に工場製作した制御ケーブル80ライン(制御78ライン+動力ケーブル内に制御を含むもの2ライン)についても、健全性確認を行う。

■ 健全性確認方法

- 絶縁抵抗試験（メガ）による絶縁性能確認
→制御ケーブルの絶縁性判定基準は、 $2\text{ M}\Omega$ 以上を基本とする

➢ ケーブル復旧後の動作確認試験

→各機器の動作確認試験により、正しく配線されているか・断線は無いか等を確認する
以上、2通りの試験により健全性を確認する

■ 調査結果および補修方法

以下2ラインの絶縁抵抗に異常が見られた。その他78ラインは健全であることを確認

- ① FHMマストホイスト2制御ケーブル(No.459) E-F間

絶縁低下原因：リード線に微小な傷があり、シールド線との絶縁を低下させていた。

補修方法：当該ケーブルの補修実施。なお、補修の過程でピンと芯線が外れてしまったため
ハンダで補修実施(1本)

- ②ツールラック制御ケーブル(No.530) S-X間

絶縁低下原因：リード線から素線がはみ出しており、グロメット挿入時にその素線が他のピンに接觸していた。

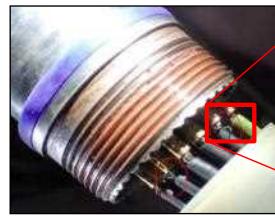
補修方法：広野にて新規ケーブル製作し交換実施

①FHMマストホイスト2制御ケーブル(No.459)



絶縁テープ補修
にて絶縁回復

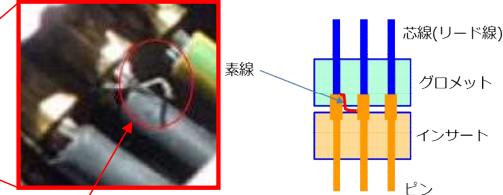
②ツールラック制御ケーブル(No.530)



はみ出した素線

TEPCO

22



【参考】機外ケーブルコネクタ部の施工時の管理

■ 2018年8月のケーブルコネクタ浸水トラブルを鑑みて、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



コネクタ水密試験実施手順

23

【参考】ケーブルコネクタ製作等についての従前との比較（1／2）

TEPCO

国内でのケーブル・コネクタ製作においては、海外製コネクタのメーカー指導員による製作技術の習得等には腐心していたが、通常の原子力プラントに使用されているケーブルの製作に比べ、工場製作と現場製作の差異（品質リスク）について次のような観点が足りなかったと考えている。

- 通常の原子力プラントに使用されているケーブルとは異なるコネクタ仕様であるため、メーカー指導員による製作技術の習得に努めたが、コネクタケーブルの製作は未経験であり、コネクタ組立に集中し異物確認に注意が払われなかった。
- 製作環境には配慮していたものの、工場製作に対して評価すると、作業姿勢の悪さ、空調の有無など、施工精度、異物管理、（施工後の目視確認含む）へ影響を及ぼす状態であった。
- 品質確認および検査方法については、現地改造工事の延長と捉えた内容で実施していた。

	通常の原子力プラント に使用されているケーブル	3号機燃料取扱設備 に使用されたケーブル	相違点	
仕様	架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル（CV電線）  介在物： 難燃性ジュート（柔い）	チェーンフレックス動力ケーブル  介在物： 熱可塑性エラストマー（固く弾力性あり）	• 介在物の弾性強度が異なる	
コネクタ製作	作業手順	1) 作業者の資格認定 扱うケーブル／コネクタに見合った訓練を実施＊ ＊) 設計思想の理解、部品の意味合い、製造経験、ノウハウの蓄積 2) 作業手順に従い作業（新製） ・ケーブル測長、切り出し ・ケーブル処理 ・コネクタ組立	1) 作業者の資格認定 通常の原子力プラントで運用されているケーブルの有資格者で実施 コネクタに対しては個別訓練＊を実施した上で、作業を実施 ＊) 組立手順通りにしか作業できない、製造経験がない 2) 作業手順に従い作業(再利用品有) ・ケーブル測長、切り出し ・ケーブル処理 ・コネクタ組立	1) 特異なケーブル／コネクタに対する経験が無かった（コネクタ組立てはメーカー指導員から技能訓練を受けたと共に、社内工場技派からの勘所を得る等したが、ケーブル処置は低圧ケーブル端末処理資格保持者に任せ、被覆剥きの要領や注意点の感度が不足） 2) 再利用品の手入れ、充填剤の選択等あるものの、プロセス自体に差異はない

24

【参考】ケーブルコネクタ製作等についての従前との比較（2／2）

TEPCO

	通常の原子力プラント に使用されているケーブル	3号機燃料取扱設備 に使用されたケーブル	相違点	
コネクタ製作	作業環境	1) エリア環境 清浄度管理あり 作業エリア全体の作業照度確保 2) 作業姿勢 作業台を用いた立ち姿勢 3) 服装 静電防止衣	1) エリア環境 清浄度管理なし 照度は、個別にヘッドライト、補助スタンドを使用(局所的な光源) 2) 作業姿勢 床面にシートを敷き座った姿勢（胡坐） 3) 服装 通常作業衣	工場製造と現場製造の違いによるリスク＊）の視点が欠けており、現場環境で作業を実施した＊）異物が混入する可能性に対して発見出来ない、製品組立精度が低い等への影響 等
品質管理	当社	1) 現場施工の場合、受注者提出の施工要領書の確認を行い、立会または記録確認を実施 [導通確認、動作確認、絶縁抵抗測定（動力ケーブルのみ）] 2) 工場製作品は、出荷時検査として、外観検査、絶縁抵抗測定、耐電圧試験等を立会または記録確認にて実施（メーカー提出要領を確認）	1) コネクタ組立要領書の確認を行い、立会または記録確認を実施（製作手順を防水試験にて検証） [絶縁抵抗測定]	不具合に鑑み防水性能に対する管理を強化したものの、作業者の経験、作業環境に対するリスクの視点が欠けており、作業管理や性能確認の強化に至らなかった
品質管理	東芝ESS	1) ケーブルコネクタの組立ては、工場が行い品質も担保（現地にて組立てを行う場合も、当該製品に習熟した工場技派が作業を実施） 2) 工場出荷の際は、外観構造検査、配線検査、耐電圧試験、絶縁抵抗測定を実施	1) 現地改造の延長プロセスで、製造を実施。 2) 導通試験、絶縁抵抗測定を実施	工場製造と現場製造の違いによるリスクの視点が欠けており、工場出荷レベルの品質確保が出来ず、異物混入防止、製品組立精度や出荷検査の管理程度が低くなつた

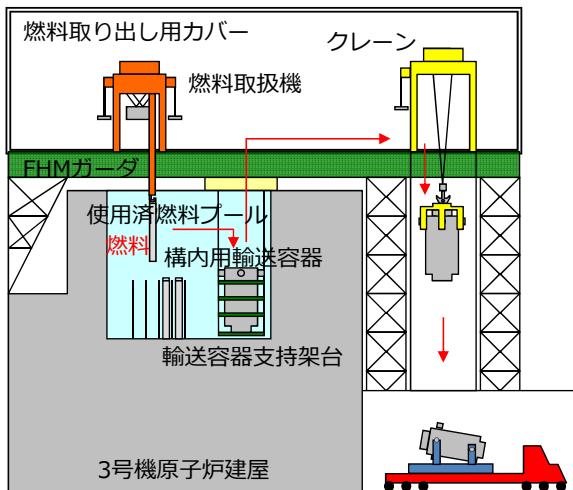
25

【参考】3号機使用済燃料プールからの燃料取り出し概要

TEPCO

- 3号機の使用済燃料プールには、使用済燃料514体、新燃料52体（計566体）の燃料を保管している
- 燃料取扱設備を遠隔で操作し、燃料上部のガレキを撤去した上で燃料を構内用輸送容器に入れて敷地内の共用プールへ輸送する
- なお、燃料取り出しは新燃料から開始する

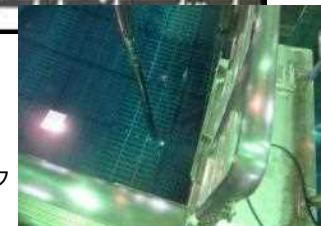
3号機原子炉建屋



共用プール



構内輸送



燃料ラック
に保管

撮影：2013年11月22日

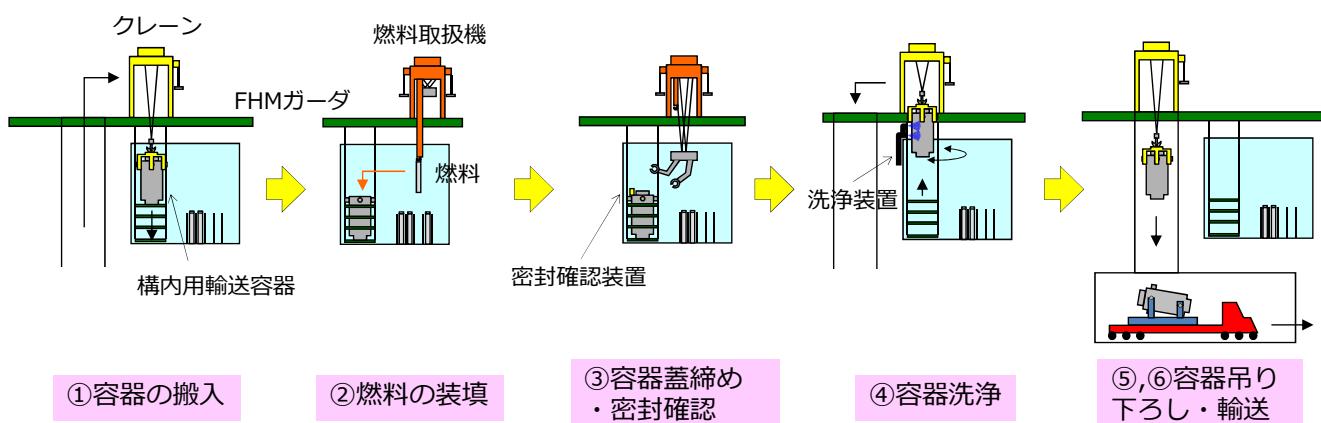
26

【参考】燃料取り出し作業手順の概要

TEPCO

燃料取り出しは、以下の手順で実施する。

- ① 構内用輸送容器をクレーンで吊り上げ使用済燃料プールに搬入する
- ② 燃料を1体ずつ燃料取扱機でつかみ、構内用輸送容器に装填する
- ③ 構内用輸送容器の一次蓋を設置し密封を確認する
- ④ 構内用輸送容器の表面を洗浄・水切りする
- ⑤ 構内用輸送容器をクレーンで地上階まで吊り降ろす
- ⑥ 構内用輸送容器の二次蓋を設置後、輸送車両に積載し共用プールへ輸送する



27

ガレキ撤去は、以下の手順で実施する。

直径約100mmより大きなガレキ：

- ① 燃料取扱機の補巻でガレキ収納バスケットを吊り降ろす
- ② ガレキつかみ具、バケットによりガレキを持ち、バスケットに入れる、または空き燃料ラックの上に置く
- ③ バスケットはコンテナに入れて、クレーンで地上階へ吊り降ろす

直径約100mm以下のガレキ：

- ① マニピュレータの小型つかみ具で吸引装置の吸引部を持持する
- ② ガレキを吸引する

