

(案)

伊方発電所第3号機 原子炉容器上部炉心構造物
吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がりについて

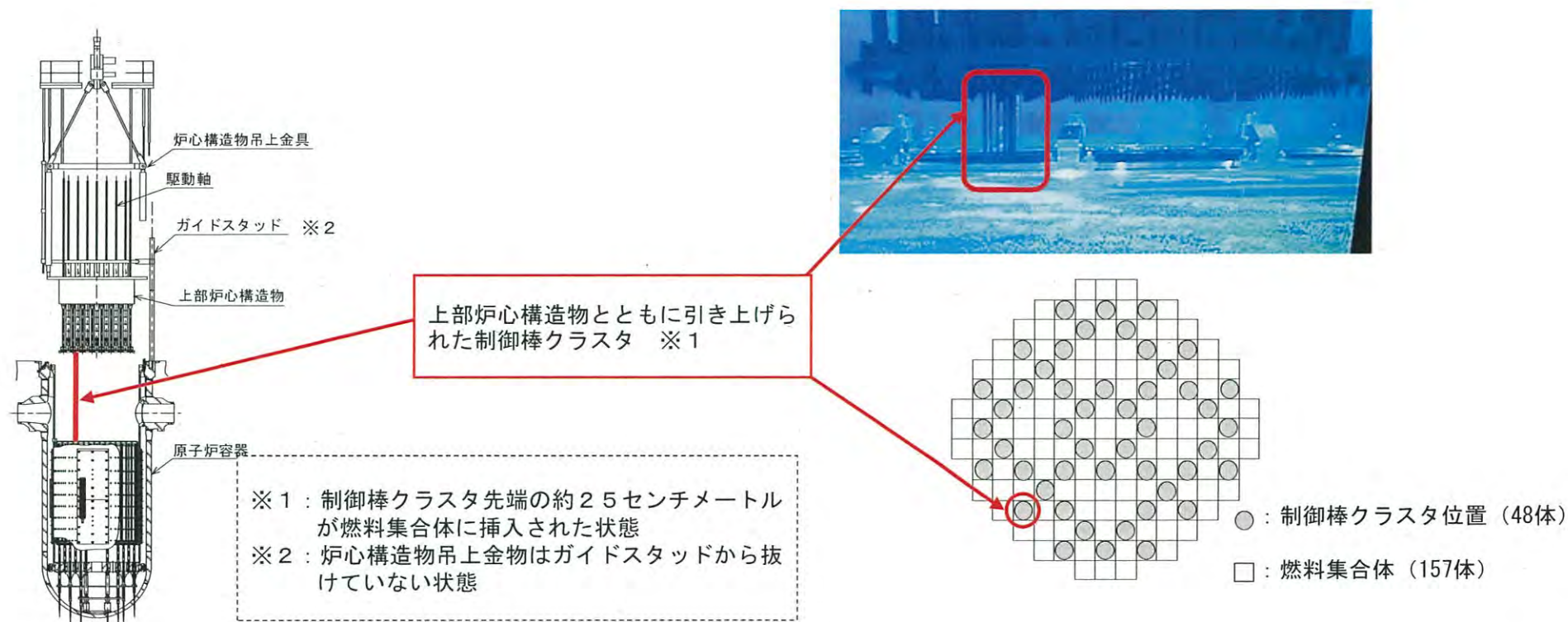
(概要版)

2020年2月〇〇日

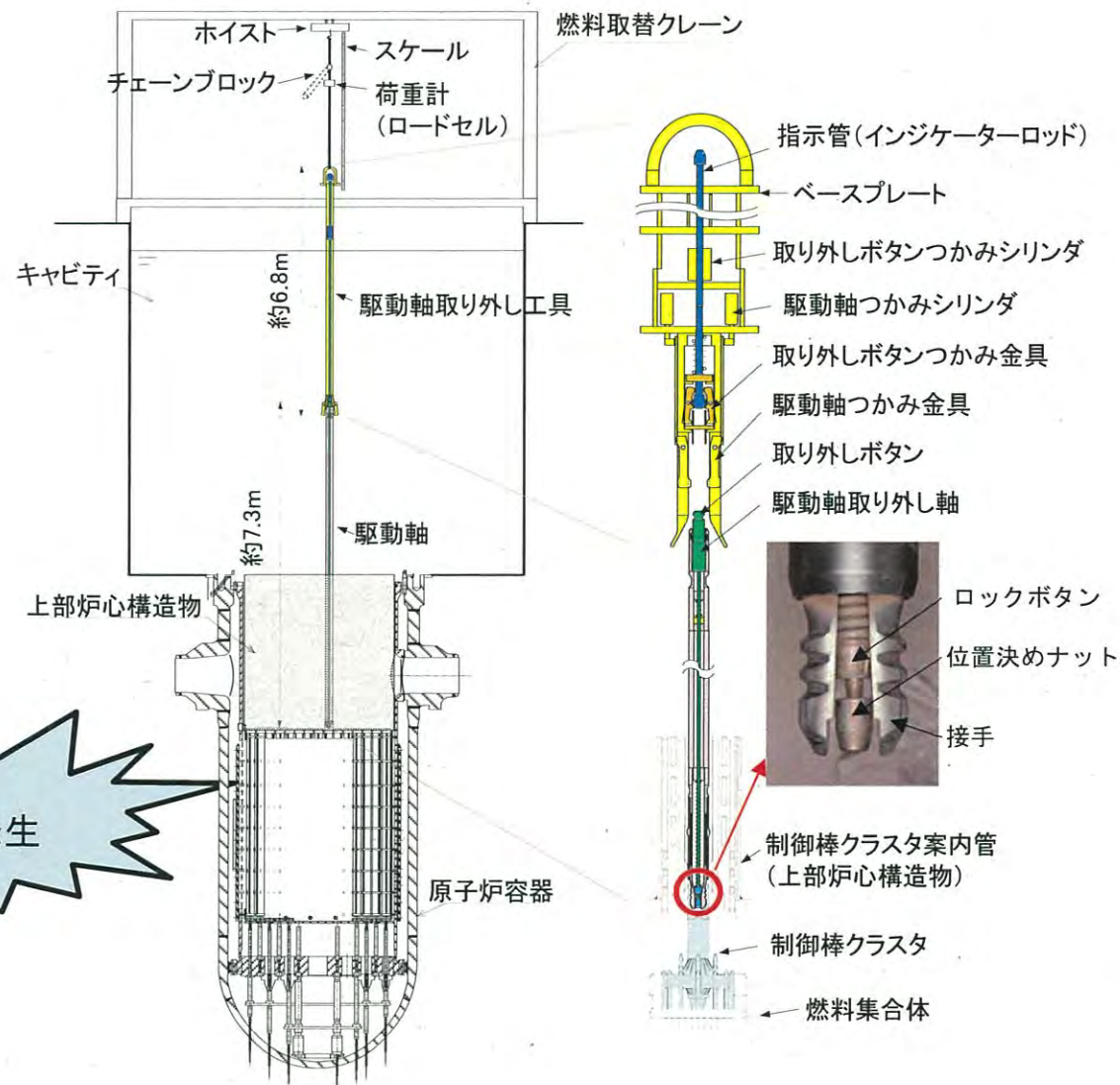
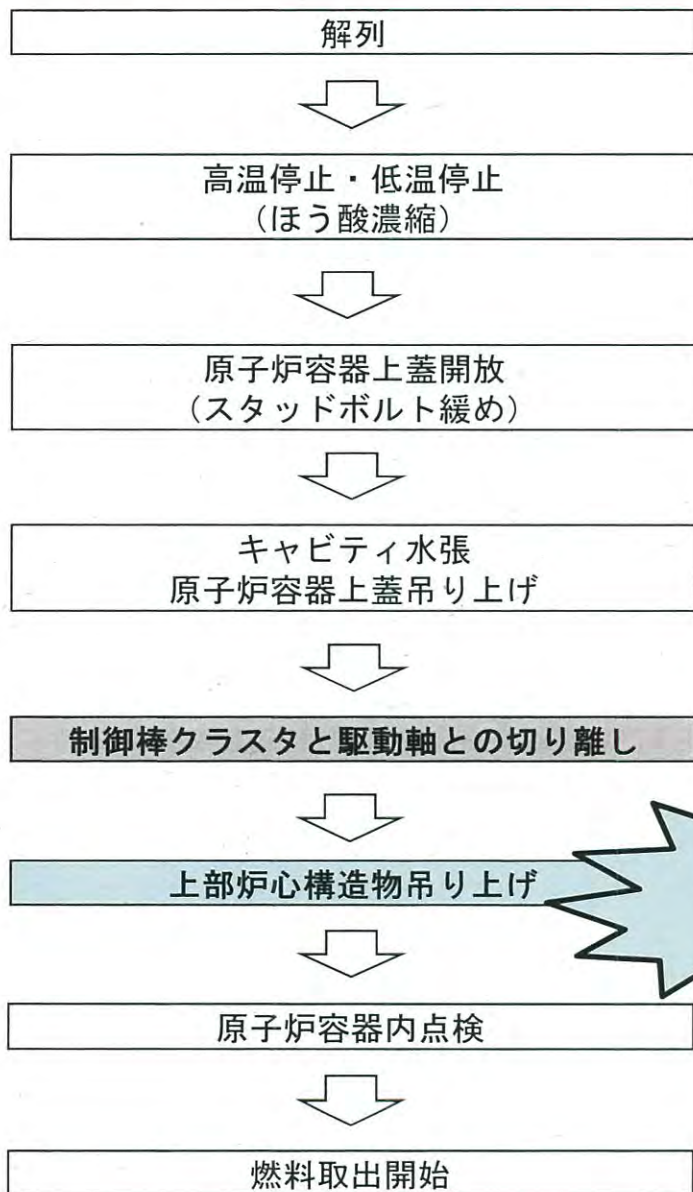
四国電力株式会社

1. 事象概要(1/2)

- 伊方発電所第3号機は第15回定期検査（2019年12月26日解列）中、燃料取出作業のため、制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業を行った後、原子炉容器の上部炉心構造物を吊り上げていたところ、2020年1月12日13時20分、制御棒クラスタ1体が上部炉心構造物とともに引き上げられていることを確認した。
- 本事象による環境への放射能の影響はなかった。また、燃料取出作業に備えて、あらかじめ原子炉容器内の1次冷却材ほう素濃度を高めていたことから、未臨界は維持されていた。
- 本事象は、引抜き操作を行っていない制御棒が管理位置から移動したこと、その際、炉心に燃料体が装荷された状況であったことから、2020年1月15日9時00分に実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第134条に該当すると判断した。



1. 事象概要(2/2)

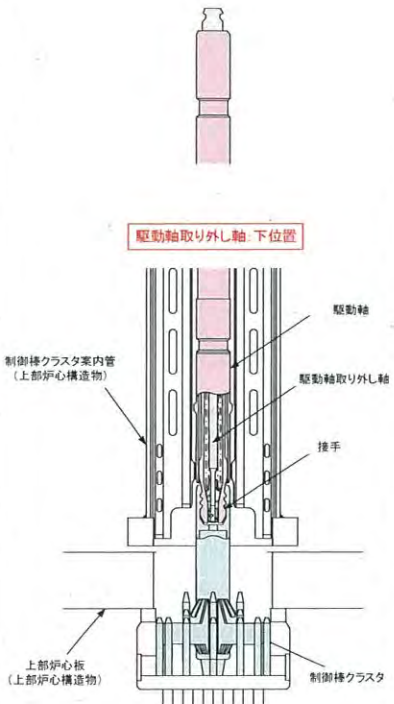
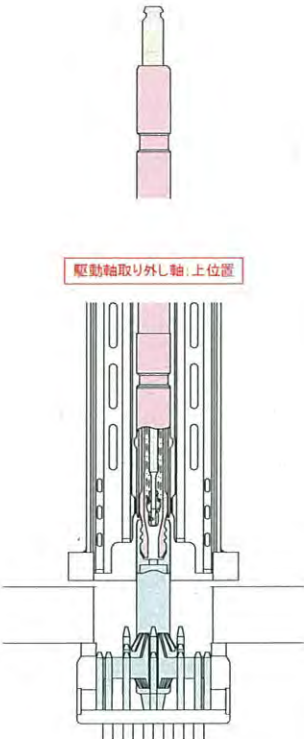
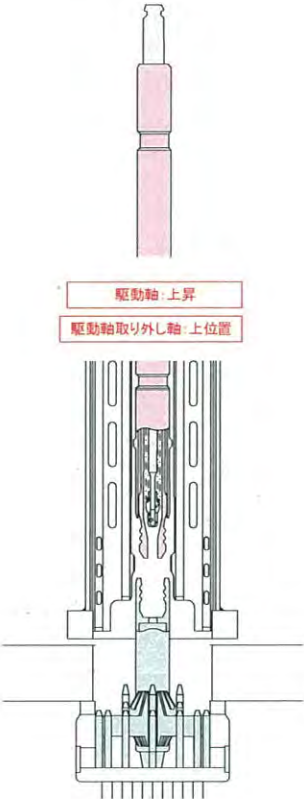
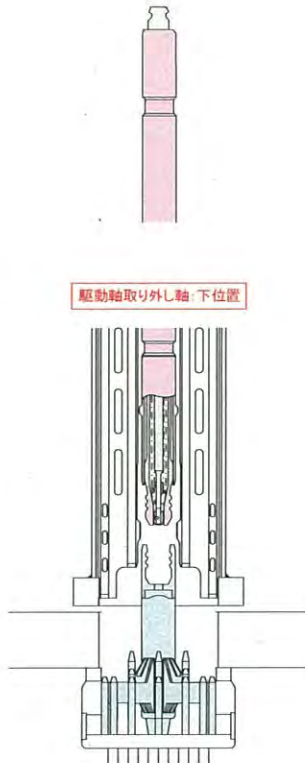
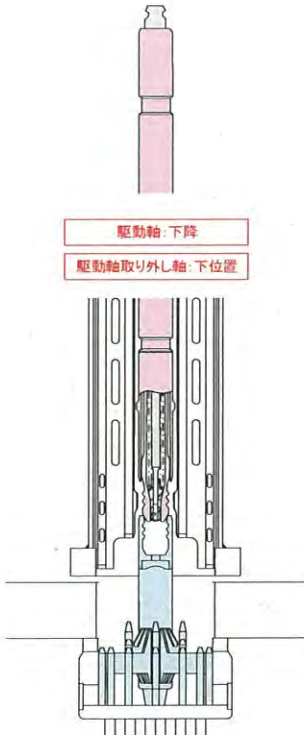


解列から燃料取出開始までの主要作業フロー

制御棒クラスタと駆動軸との切離し作業 概要図

2. 制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業(1/4)

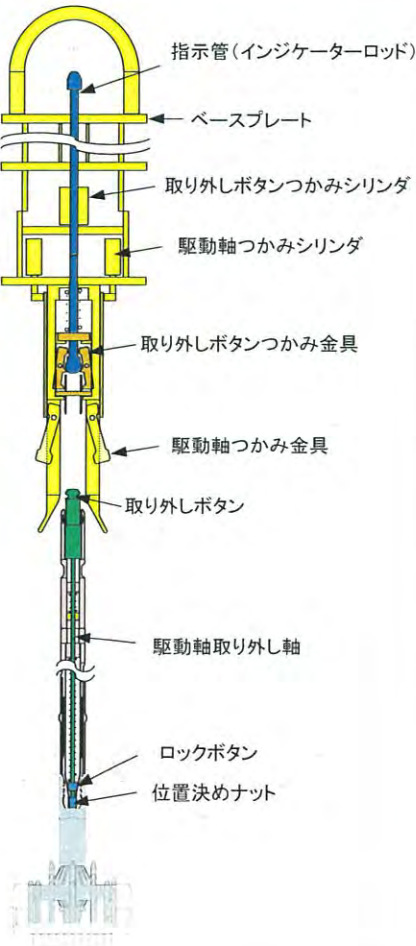
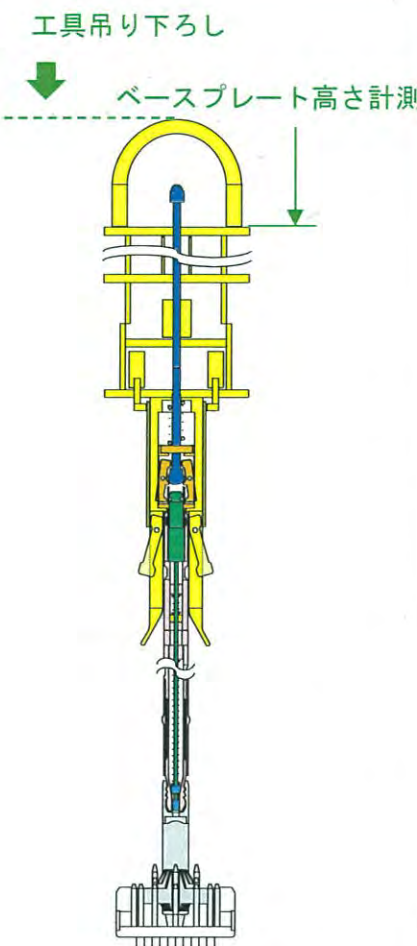
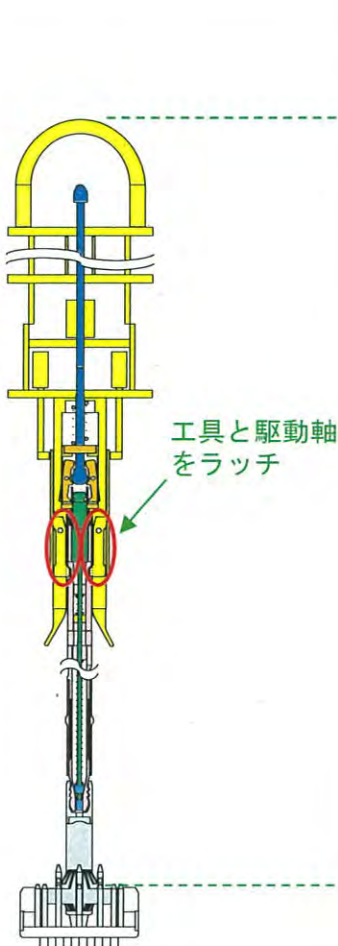
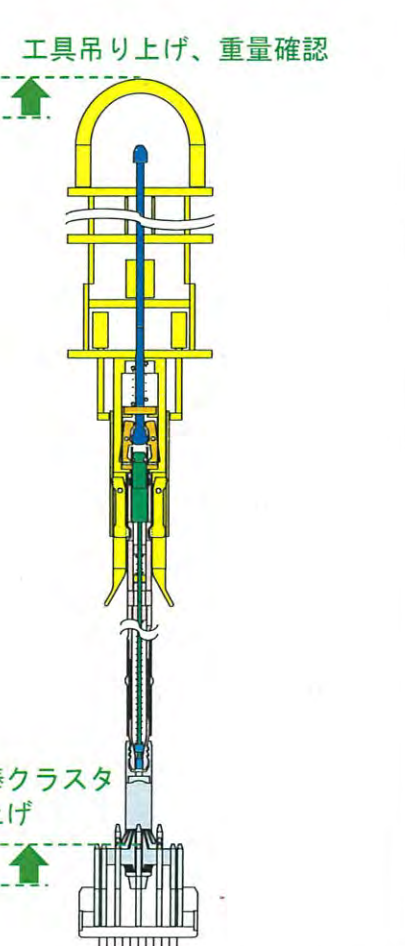
➤ 制御棒クラスタと駆動軸との結合部の機構および切り離し時の動作を以下に示す。

A 駆動軸結合状態	B 接手部拘束解放	C 駆動軸切り離し	D 接手部拘束	E 駆動軸着底
<p>運転中は、駆動軸取り外し軸は駆動軸先端まで挿入され、接手が拘束されており、駆動軸と制御棒クラスタは結合している。</p>	<p>駆動軸取り外し軸が上昇して、接手の拘束が解かれる。</p>	<p>駆動軸を上昇させることにより、接手が弾性変形し、制御棒クラスタから切り離される。</p>	<p>駆動軸取り外し軸が下降し、接手が開いた状態で拘束される。</p>	<p>駆動軸を下降させ、制御棒クラスタに着底させる。 (接手は押し広げられた状態で拘束されているため、制御棒クラスタ結合部には入らない)</p>
				

2. 制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業(2/4)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

➤ 制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業の手順を以下に示す。

<p>① 駆動軸アドレスの確認 ② 駆動軸取り外し工具単体重量の確認</p>	<p>③ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし</p>	<p>④ 工具と駆動軸のラッチ確認</p>	<p>⑤ 駆動軸取り外し工具吊り上げ (重量確認)</p>
<p>・工具単体重量約 kg</p>	<p>・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さを計測</p>	<p>・工具と駆動軸をラッチ</p>	<p>・工具を約75mm吊り上げ、重量を確認 (工具+駆動軸+制御棒クラスタ =約 kg)</p>
<p>A</p> 	<p>A</p> <p>工具吊り下ろし</p> <p>↓</p> <p>ベースプレート高さ計測</p> 	<p>A</p>  <p>工具と駆動軸をラッチ</p>	<p>A</p> <p>工具吊り上げ、重量確認</p> <p>↑</p>  <p>制御棒クラスタ吊り上げ</p> <p>↑</p>

2. 制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業(3/4)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

<p>⑥ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし</p>	<p>⑦ 駆動軸ボタンアップ確認</p>	<p>⑧ 駆動軸取り外し工具吊り上げ (重量確認)</p>	<p>⑨ 駆動軸ボタンダウン確認</p>
<p>・荷重計の指示が0kgになれば停止 ・工具のベースプレート高さ(A)を計測</p>	<p>・駆動軸取り外し軸を上昇させる ・インジケータロッドも上昇</p>	<p>・工具を約75mm吊り上げ、重量を確認 (工具+駆動軸=約 kg)</p>	<p>・駆動軸取り外し軸を下降させる ・インジケータロッドも下降</p>
<p>A</p>	<p>B</p>	<p>C</p>	<p>D</p>

2. 制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業(4/4)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

- ⑩ 駆動軸取り外し工具吊り下ろし
- ⑪ 駆動軸接手浮き上がり寸法確認

・荷重計の指示が0kgになれば停止
 ・工具のベースプレート高さ(B)を計測
 ・**駆動軸浮き上がり寸法を確認**
 (A-B= mm)

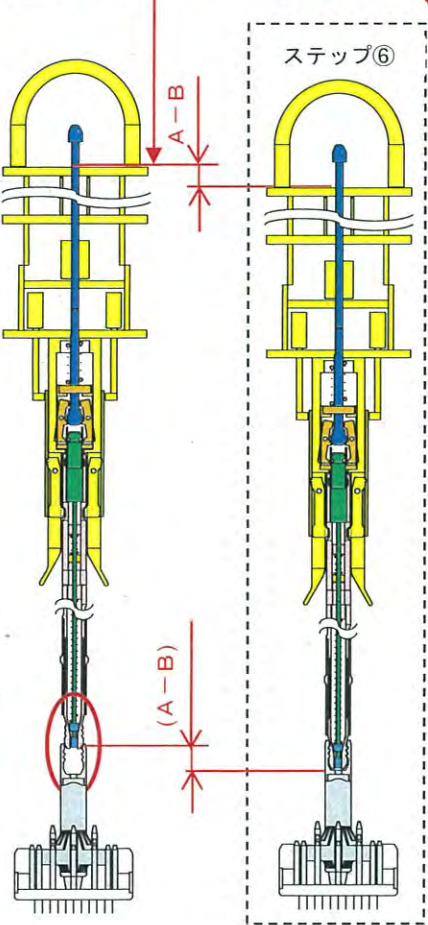
- ⑫ 工具と駆動軸のアンラッチ確認

・工具と駆動軸をアンラッチ

- ⑬ 駆動軸取り外し工具吊り上げ
(重量確認)

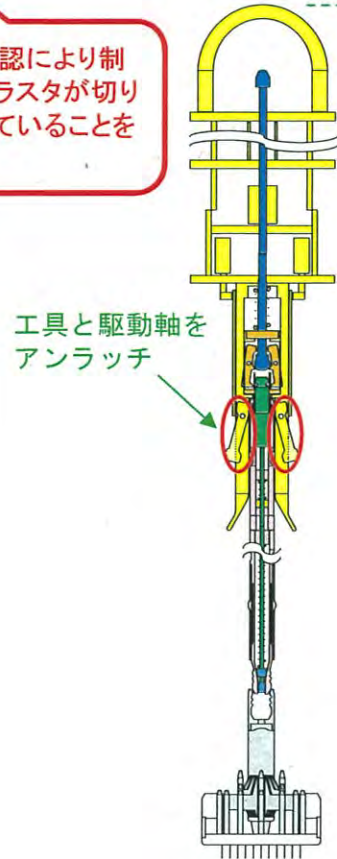
・工具単体重量約 kg

E ベースプレート高さ計測



E

寸法確認により制
御棒クラスタが切り
離されていることを
確認



E

工具吊り上げ



3. 制御棒クラスタと駆動軸の結合状況等の確認

- 事象発生後（1月12日から1月13日）、上部炉心構造物を吊り上げた状態から下ろして、駆動軸と制御棒クラスタの結合、切り離し確認等を実施し、正常に結合、切り離しができること等を確認。

項目	調査結果
上部炉心構造物吊り下ろし後の結合状況確認	事象発生後、上部炉心構造物を吊り上げた状態から下ろして、上部炉心構造物吊り上げ作業開始前の状態に戻した後、駆動軸取り外し工具にて駆動軸を引き上げたところ、この時点では制御棒クラスタは引き上がり、制御棒クラスタと駆動軸は結合されていないことを確認。
結合・切り離し確認	駆動軸取り外し工具にて駆動軸と制御棒クラスタの結合、切り離し作業を実施し、正常に結合、切り離しができることを確認。
上部炉心構造物との干渉有無確認	駆動軸と制御棒クラスタを結合させた状態で、上下方向に操作して、上部炉心構造物と干渉せずスムーズに操作できることを確認。

- その後、上部炉心構造物を再度吊り上げた際には、制御棒クラスタは引き上がることはなく、本事象は再現しなかった。

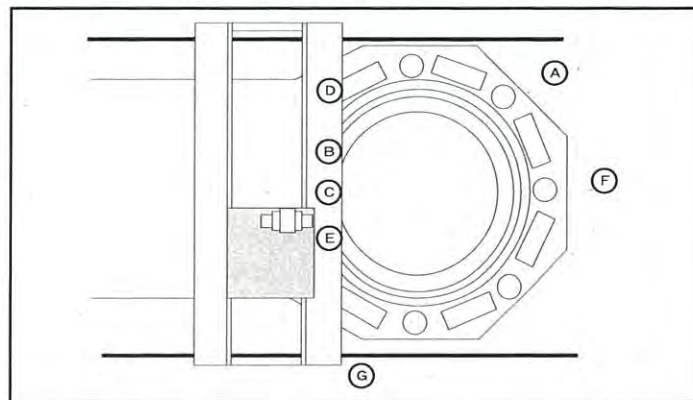
4. 原因調査(作業体制・手順等 1/2)

- 下表のとおり、今回の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業の作業体制・作業手順書は従来と同様であり、定められた手順どおりに重量確認と寸法確認を実施し、確実に切り離し作業が行われていることを確認。
- 事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかったことから、切り離し操作自体をしていないといったような重要な手順の抜けやアドレス間違い等の作業ミスは考え難い。

項目	調査結果
作業手順書 作業記録	<ul style="list-style-type: none"> 作業は当社にて承認された作業手順書に基づき実施している。 今回の作業手順書は過去の定検（第1回～14回）時と同様であり、過去の定検時に同様の事象は発生していない。 現地作業開始前に作業手順書の読み合わせを実施し、作業手順や過去の不具合事例等について確認。 今回の作業記録を確認し、定められた手順どおりに重量確認と寸法確認を実施し、確実に切り離し作業が行われていることを確認。なお、今回上部炉心構造物とともに引き上げられた制御棒クラスタの切り離し作業は、48体中6体目の作業であった。
作業体制	<ul style="list-style-type: none"> 今回の作業体制（計7名）は、過去に十分な実績のある作業体制と同じであることを確認。 1月12日の作業前ミーティングで、当日の作業内容の説明、配員の周知および体調や勤務状況の確認を含む安全確認を実施。
作業員の 力量	<ul style="list-style-type: none"> 右表に示すとおり、作業責任者や工具操作者等の主要な操作を行う者は、過去の原子炉容器の開放作業において当該作業を経験しており、現場操作に十分な経験と知識を有していた。
作業環境	<ul style="list-style-type: none"> 作業場所は原子炉格納容器内であり、照明、騒音および気温に問題はなかった。 燃料取替クレーン歩廊上の作業であったが、これまでの定検時と同じであり問題はなかった。 作業時の装備は、管理区域標準装備に加え、タイベック(1重)、ゴム手袋(2重)、靴下(1重)を着用しての作業であったが、これまでの定検時と同じであり問題はなかった。また、作業時に全面マスク等の着用はなく、作業員間のコミュニケーションに問題はなかった。
聞き取り 調査結果	<ul style="list-style-type: none"> 作業責任者、作業員は、作業手順書に従い工具の操作、荷重計による重量確認および寸法確認等を行っており、作業手順に問題はなかった。 当社が立ち会うことにより、作業が確実に行われていることを確認。 当該駆動軸切り離しの確認作業時に、制御棒クラスタを切り離すために駆動軸取外し工具を揺する操作をしたことが確認されたが、当該駆動軸に限った操作ではなく、他のほとんどの駆動軸で同様の操作を行っていること、および、これまでの定検時にも同様の操作を行っているとのことであり、特殊な操作ではないことを確認した。

作業要員経歴

要員		経験年数	当該作業経験
作業責任者	1名	A 10年以上	有 (伊方有り)
記録者	1名	B 10年以上	有 (伊方有り)
工具操作者	2名	C 10年以上	有 (伊方有り)
		D 7年	有 (伊方有り)
クレーン 操作者	1名	E 10年以上	有 (伊方有り)
センタリング 確認者	2名	F 4年	有 (伊方有り)
		G 1年	無



要員配置図

4. 原因調査(作業体制・手順等 2/2)

- 類似事例を調査した結果、国内の加圧水型軽水炉において類似事例は確認されなかったが、海外の類似事例として以下の事象が確認されたことから、引き続き詳細を調査中である。

発電所	発生日	制御棒数※1	推定原因	主な対策
HBロベソソソ2号※2 (米国)	1974. 5. 26	1	【作業ミスの疑い】 ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業中に何らかの作業を怠ったと推測	・作業要領見直し
ドール2号※2 (ベルギー)	1976. 11. 15	9	【作業ミスの疑い】 ・作業ミスにより制御棒クラスタと駆動軸が部分的に再結合と推測	・作業要領見直し
フィッセンハイム1号※2 (フランス)	1979. 3. 17	3	【作業ミス】 ・手順書に記載されている作業を怠ったことによる切り離し作業の不完全な実施	・作業要領見直し
ブージュイ2号※2 (フランス)	1981. 7. 20	48 (全数)	【作業ミス】 ・チェックシートの不備により、切り離し作業の不完全な実施および切り離し確認手順を未実施	・作業要領見直し
セントルーシー1号※3 (米国)	1997. 10. 27	1	【作業ミス、設備不良】 ・作業ミスにより制御棒クラスタと駆動軸が部分的な結合が継続 ・当該駆動軸の摩擦力が高い状態	・作業要領見直し

※1：同時に引き上がった制御棒クラスタの数



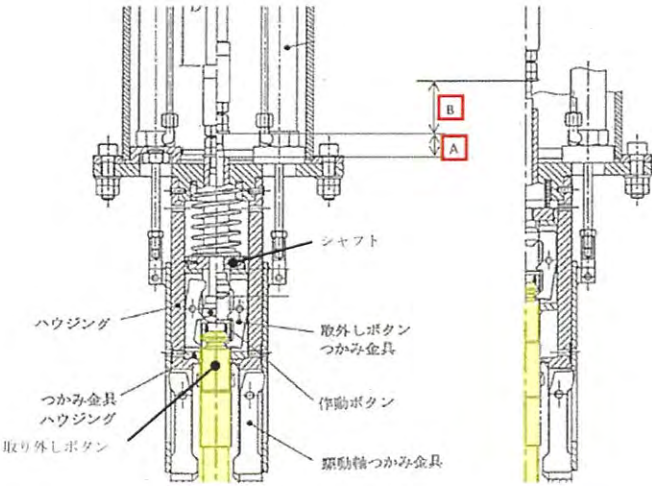
※2：出典（IPSN, Analyse De L' Incident Du 20 Juillet 1981 A La Centrale Nucleaire De Bugey - Tranche 2, "Extraction Intempestive des Grappes de Contrôle Lors de la Levé des Internes Supérieurs", Dec. 1982)

※3：出典（Nuclear Regulatory Commission - Home Page ; LICENSEE EVENT REPORT DOCKET NUMBER: 05000335)

4. 原因調査(駆動軸取り外し工具)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

➤ 下表のとおり、駆動軸取り外し工具の調査結果に問題はなく、当該工具を使用した駆動軸の動作確認等でも問題は確認されていない。

項目	調査結果																							
<p>外観確認</p>	<p>駆動軸本体との取合い部</p>  <p>駆動軸つかみ金具</p>	<p>取り外しボタンとの取合い部</p>  <p>ボタンつかみ金具</p>	<p>工具と駆動軸の取合いに問題なし</p>																					
<p>動作確認</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ストローク</th> <th>計測値 (mm)</th> <th>設計値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>取り外しボタンの把持 (A)</td> <td>28.5</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>取り外しボタン 上昇ストローク (B)</td> <td>48.0</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引き上げ荷重</th> <th>計測値 (kg)</th> <th>設計値 (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>空気圧 0.588MPa (6.0kgf/cm²)</td> <td>340</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>空気圧 0.637MPa (6.5kgf/cm²)</td> <td>364</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>空気圧 0.686MPa (7.0kgf/cm²)</td> <td>400</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)	取り外しボタンの把持 (A)	28.5	■	取り外しボタン 上昇ストローク (B)	48.0	■	引き上げ荷重	計測値 (kg)	設計値 (kg)	空気圧 0.588MPa (6.0kgf/cm ²)	340	■	空気圧 0.637MPa (6.5kgf/cm ²)	364	■	空気圧 0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	400	■	<p>工具による駆動軸取り外し軸の引き上げ／押し下げ動作に問題なし</p>
ストローク	計測値 (mm)	設計値 (mm)																						
取り外しボタンの把持 (A)	28.5	■																						
取り外しボタン 上昇ストローク (B)	48.0	■																						
引き上げ荷重	計測値 (kg)	設計値 (kg)																						
空気圧 0.588MPa (6.0kgf/cm ²)	340	■																						
空気圧 0.637MPa (6.5kgf/cm ²)	364	■																						
空気圧 0.686MPa (7.0kgf/cm ²)	400	■																						

4. 原因調査(計測器)

- 下表のとおり、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業に使用した計測器の調査結果に問題はなかった。

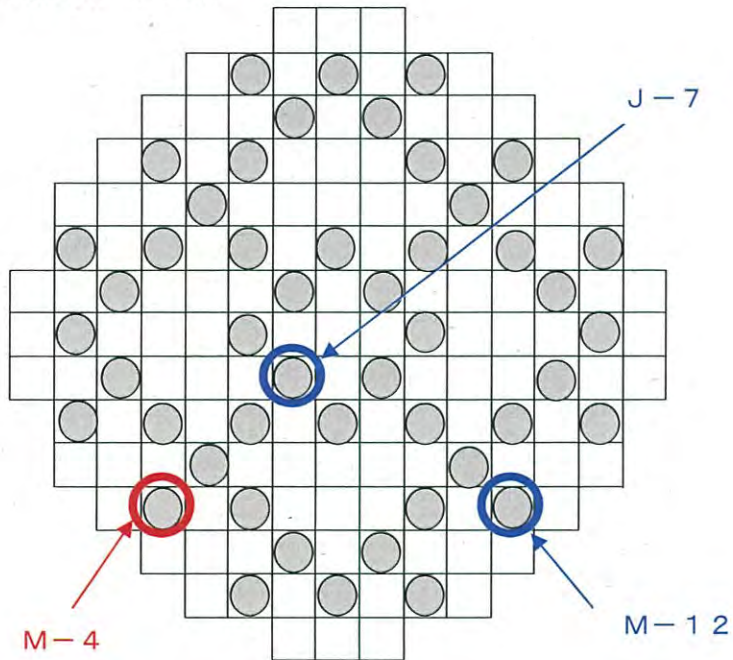
項目		調査結果
荷重計	使用前点検記録確認	<ul style="list-style-type: none"> ・荷重計（ロードセル）表示が出ていること、遠隔表示機の表示値が本体表示値と同じであることを確認。 ・外観確認により有意な損傷等がないことを確認。
	ウェイトによる動作確認	<ul style="list-style-type: none"> ・140kg、200kg、260kg※のおもり（ウェイト）による動作確認を実施し、荷重計（ロードセル）表示値が各重量（140kg、200kg、260kg）を示すことを確認。 <p>※：駆動軸取り外し工具、駆動軸、制御棒クラスタの重量を考慮</p>
スケール	外観確認	<ul style="list-style-type: none"> ・外観確認により有意な損傷等がないことを確認。

4. 原因調査(駆動軸・制御棒クラスタ)

- 駆動軸および制御棒クラスタの調査については、事象が発生したアドレスの他に、比較対象として他の2か所のアドレスを選定し、計3か所のアドレスについて調査を実施。

○：制御棒クラスタ位置（48体）

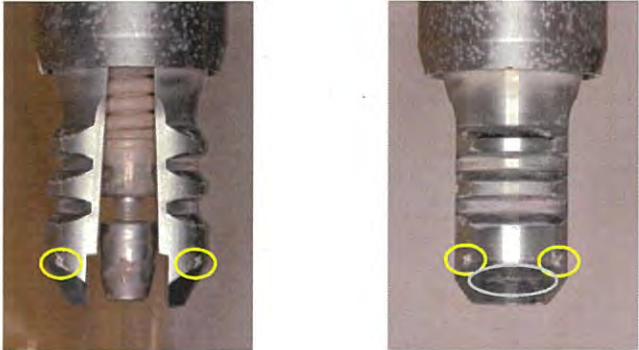
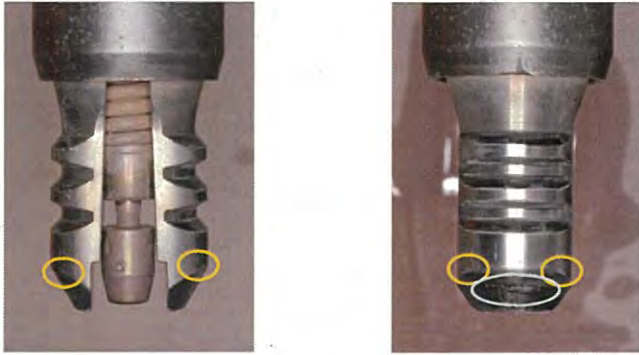
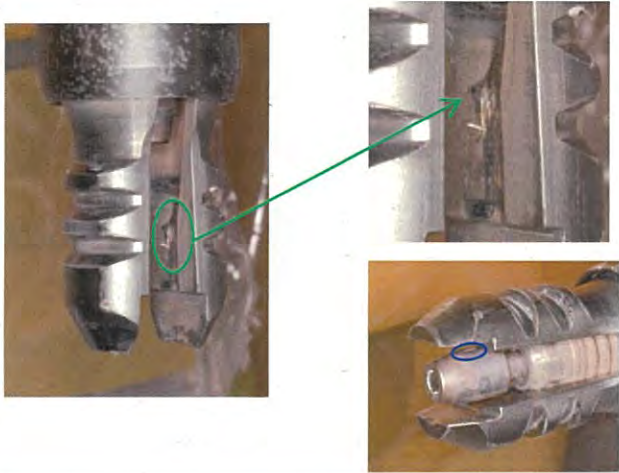
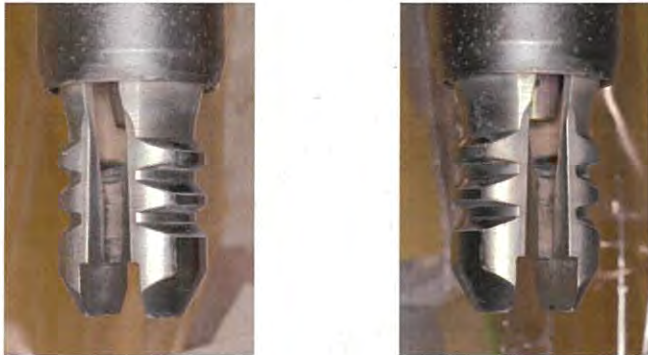
□：燃料集合体（157体）



アドレス	選定理由	
M-4	本事象発生箇所	
M-12	比較対象	制御棒クラスタの使用期間が同等
J-7		炉心中心近傍のアドレス

4. 原因調査(駆動軸 1/5)

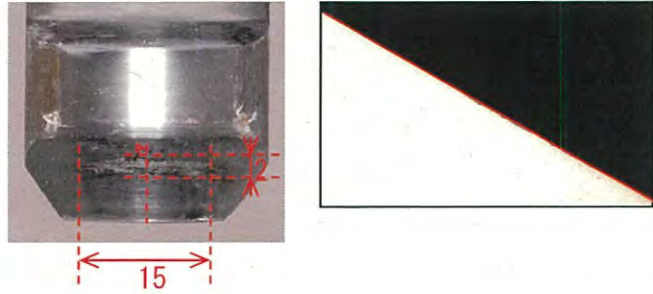
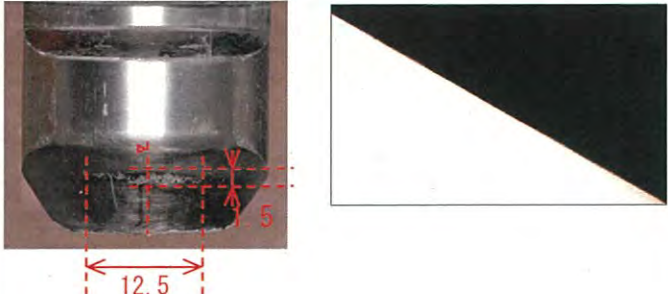
- 下表のとおり、駆動軸の調査の結果、接手の内外面に金属光沢のある接触痕が確認されたため、今回の事象に関連している可能性について継続調査中である。

項目		調査結果		
		M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果(M-12)	
外観確認	接手外面			<ul style="list-style-type: none"> ・金属光沢を有するM-4接触痕(黄色枠)は今回の事象で生じたものである可能性が高い 比較対象分でも同様の箇所に接触痕(橙色枠)が確認されたが金属光沢はなかった ・テーパ部の周方向接触痕(灰色枠)は切り離し操作後の駆動軸仮置きで制御棒クラスタと取り合う箇所に相当し、金属光沢はなかった
	接手内面			<ul style="list-style-type: none"> ・金属光沢を有するM-4接触痕(緑枠)は今回の事象で生じたものである可能性が高い ・内面テーパ部近傍は位置決めナット/ロックボタンが摺動する部位であるが、比較対象分には有意な摺動痕なし。したがって、M-4接触痕は今回の事象と関連している可能性がある ・M-4位置決めナットに傷(青枠)が確認された

4. 原因調査(駆動軸 2/5)

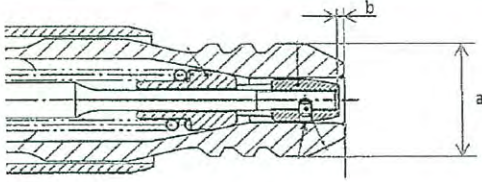
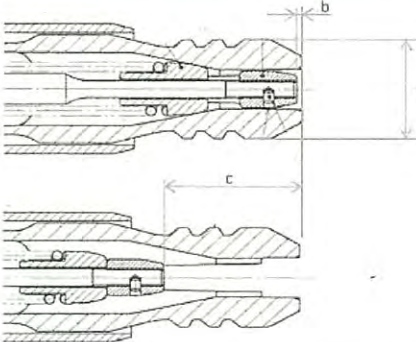
項目		調査結果								
		M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果(M-12)							
型取り	接手部			<p>・M-4に見られた接手外面の局所的な接触痕はM-12の当該接触痕に比べ有意に深かった</p>						
		M-4と比較対象アドレスの重ね合わせ								
				<p>白境界：M-4 赤境界：比較アドレス 灰色・ピンク：差</p>						
		M-4と比較対象アドレスの差								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">外面の局所的接触痕</td> <td>長さ：約1.32～約2.50</td> </tr> <tr> <td>幅：約1.16～約3.20</td> </tr> <tr> <td>深さ：約0.04～約0.12</td> </tr> </tbody> </table>		部位	計測値(mm)	外面の局所的接触痕	長さ：約1.32～約2.50	幅：約1.16～約3.20	深さ：約0.04～約0.12	
部位	計測値(mm)									
外面の局所的接触痕	長さ：約1.32～約2.50									
	幅：約1.16～約3.20									
	深さ：約0.04～約0.12									

4. 原因調査(駆動軸 3/5)

項目		調査結果							
		M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果(M-12)						
型取り	接手部			<ul style="list-style-type: none"> ・外面テーパ部周方向接触痕はM-4接手外面の局所的な接触痕に比べ軽微 ・M-4とM-12の接触痕に有意な差なし 					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外面テーパ部の周方向接触痕</td> <td>長さ：約2.00 幅：約15.00 深さ：約0.02以下</td> </tr> </tbody> </table>	部位		計測値(mm)	外面テーパ部の周方向接触痕	長さ：約2.00 幅：約15.00 深さ：約0.02以下	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>計測値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>外面テーパ部の周方向接触痕</td> <td>長さ：約1.50~約2.00 幅：約12.50~約13.00 深さ：約0.02以下</td> </tr> </tbody> </table>	部位
部位	計測値(mm)								
外面テーパ部の周方向接触痕	長さ：約2.00 幅：約15.00 深さ：約0.02以下								
部位	計測値(mm)								
外面テーパ部の周方向接触痕	長さ：約1.50~約2.00 幅：約12.50~約13.00 深さ：約0.02以下								

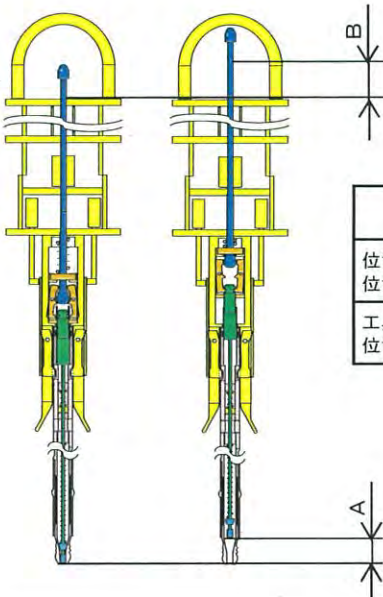
4. 原因調査(駆動軸 4/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

項目	調査結果																		
	M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果																	
接手部の寸法計測			<ul style="list-style-type: none"> ・駆動軸取り外し軸の押し下げ位置でのM-4接手寸法に問題なし ・比較対象駆動軸との有意な差なし 																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>計測値(mm)</th> <th>参考値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>39.55</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1.292</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	項目		計測値(mm)	参考値(mm)	a	39.55	■	b	1.292	■	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>計測値(mm)</th> <th>参考値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>38.88 (M-12) 39.03 (J-7)</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1.262 (M-12) 1.233 (J-7)</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	項目	計測値(mm)	参考値(mm)	a	38.88 (M-12) 39.03 (J-7)	■	b
項目	計測値(mm)	参考値(mm)																	
a	39.55	■																	
b	1.292	■																	
項目	計測値(mm)	参考値(mm)																	
a	38.88 (M-12) 39.03 (J-7)	■																	
b	1.262 (M-12) 1.233 (J-7)	■																	
駆動軸取り外し軸動作点検			<ul style="list-style-type: none"> ・M-4位置決めナットのストロークに問題なし ・比較対象駆動軸との有意な差なし 																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>計測値(mm)</th> <th>設計値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>c-b</td> <td>45.8</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	項目		計測値(mm)	設計値(mm)	c-b	45.8	■	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>計測値(mm)</th> <th>設計値(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>c-b</td> <td>45.4 (M-12) 45.7 (J-7)</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	項目	計測値(mm)	設計値(mm)	c-b	45.4 (M-12) 45.7 (J-7)	■				
項目	計測値(mm)	設計値(mm)																	
c-b	45.8	■																	
項目	計測値(mm)	設計値(mm)																	
c-b	45.4 (M-12) 45.7 (J-7)	■																	



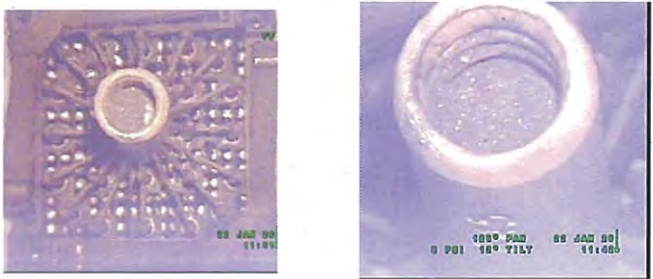
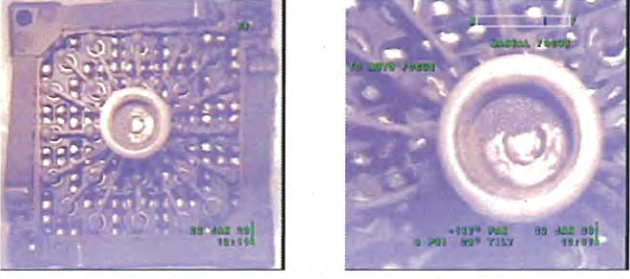
4. 原因調査(駆動軸 5/5)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

項目	調査結果																																																																																																						
	M-4の調査結果		比較対象アドレスの調査結果																																																																																																				
駆動軸取外し軸動作点検 ストローク確認(工具側含む)	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th> <th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th> <th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th> <th colspan="2">ストローク量 (mm)</th> <th rowspan="2">フルストローク動作</th> </tr> <tr> <th>位置決めナット位置</th> <th>工具ケガキ線位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.7(定格)</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.8</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.9</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.7</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.8</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1未満</td><td>46.0</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>22.5</td><td>54.3</td><td>×</td></tr> <tr><td>排気操作のみ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td></tr> </tbody> </table>	所内用空気供給圧力 (MPa)	引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)	ストローク量 (mm)		フルストローク動作	位置決めナット位置	工具ケガキ線位置	0.7(定格)	1	1未満	45.8	77.0	○	0.6	1	1未満	45.9	77.0	○	0.5	1	1未満	45.7	77.0	○	0.4	1	1未満	45.8	77.0	○	0.3	2	1未満	46.0	77.0	○	0.2	—	—	22.5	54.3	×	排気操作のみ					○	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th> <th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th> <th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th> <th colspan="2">ストローク量 (mm)</th> <th rowspan="2">フルストローク動作</th> </tr> <tr> <th>位置決めナット位置</th> <th>工具ケガキ線位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.7(定格)</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.4</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.2</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1未満</td><td>45.1</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>22.4</td><td>54.0</td><td>×</td></tr> <tr><td>排気操作のみ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td></tr> </tbody> </table>	所内用空気供給圧力 (MPa)	引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)	ストローク量 (mm)		フルストローク動作	位置決めナット位置	工具ケガキ線位置	0.7(定格)	1	1未満	45.4	77.0	○	0.6	1	1未満	45.1	77.0	○	0.5	1	1未満	45.1	77.0	○	0.4	1	1未満	45.2	77.0	○	0.3	2	1未満	45.1	77.0	○	0.2	—	—	22.4	54.0	×	排気操作のみ					○	<ul style="list-style-type: none"> M-4ストローク量、追従性に問題なし 空気圧が低い状態(約0.2MPa)では駆動軸取り外し軸の引き上げが不十分となる 比較対象駆動軸との有意な差なし
	所内用空気供給圧力 (MPa)				引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)		ストローク量 (mm)		フルストローク動作																																																																																													
		位置決めナット位置	工具ケガキ線位置																																																																																																				
	0.7(定格)	1	1未満	45.8	77.0	○																																																																																																	
	0.6	1	1未満	45.9	77.0	○																																																																																																	
	0.5	1	1未満	45.7	77.0	○																																																																																																	
	0.4	1	1未満	45.8	77.0	○																																																																																																	
	0.3	2	1未満	46.0	77.0	○																																																																																																	
	0.2	—	—	22.5	54.3	×																																																																																																	
	排気操作のみ					○																																																																																																	
所内用空気供給圧力 (MPa)	引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)	ストローク量 (mm)		フルストローク動作																																																																																																		
			位置決めナット位置	工具ケガキ線位置																																																																																																			
0.7(定格)	1	1未満	45.4	77.0	○																																																																																																		
0.6	1	1未満	45.1	77.0	○																																																																																																		
0.5	1	1未満	45.1	77.0	○																																																																																																		
0.4	1	1未満	45.2	77.0	○																																																																																																		
0.3	2	1未満	45.1	77.0	○																																																																																																		
0.2	—	—	22.4	54.0	×																																																																																																		
排気操作のみ					○																																																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>設計値 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>位置決めナット位置 (A)</td> <td>■</td> </tr> <tr> <td>工具ケガキ線位置 (B)</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	部位	設計値 (mm)	位置決めナット位置 (A)	■	工具ケガキ線位置 (B)	■	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">所内用空気供給圧力 (MPa)</th> <th rowspan="2">引き上げ動作時間 (秒)</th> <th rowspan="2">押し下げ動作時間 (秒)</th> <th colspan="2">ストローク量 (mm)</th> <th rowspan="2">フルストローク動作</th> </tr> <tr> <th>位置決めナット位置</th> <th>工具ケガキ線位置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.7(定格)</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.7</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.6</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.6</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1</td><td>1未満</td><td>45.5</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>2</td><td>1未満</td><td>45.5</td><td>77.0</td><td>○</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>—</td><td>—</td><td>18.7</td><td>48.5</td><td>×</td></tr> <tr><td>排気操作のみ</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td></tr> </tbody> </table>	所内用空気供給圧力 (MPa)	引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)	ストローク量 (mm)		フルストローク動作	位置決めナット位置	工具ケガキ線位置	0.7(定格)	1	1未満	45.7	77.0	○	0.6	1	1未満	45.6	77.0	○	0.5	1	1未満	45.6	77.0	○	0.4	1	1未満	45.5	77.0	○	0.3	2	1未満	45.5	77.0	○	0.2	—	—	18.7	48.5	×	排気操作のみ					○																																													
部位	設計値 (mm)																																																																																																						
位置決めナット位置 (A)	■																																																																																																						
工具ケガキ線位置 (B)	■																																																																																																						
所内用空気供給圧力 (MPa)	引き上げ動作時間 (秒)	押し下げ動作時間 (秒)	ストローク量 (mm)		フルストローク動作																																																																																																		
			位置決めナット位置	工具ケガキ線位置																																																																																																			
0.7(定格)	1	1未満	45.7	77.0	○																																																																																																		
0.6	1	1未満	45.6	77.0	○																																																																																																		
0.5	1	1未満	45.6	77.0	○																																																																																																		
0.4	1	1未満	45.5	77.0	○																																																																																																		
0.3	2	1未満	45.5	77.0	○																																																																																																		
0.2	—	—	18.7	48.5	×																																																																																																		
排気操作のみ					○																																																																																																		

4. 原因調査(制御棒クラスタ)

- 下表のとおり、制御棒クラスタの調査の結果、制御棒クラスタ頭部の円筒部内に堆積物が確認されたため、今回の事象に関連している可能性について継続調査中である。

項目		調査結果		
		M-4の調査結果	比較対象アドレスの調査結果(M-12)	
外観確認	制御棒クラスタ頭部	<p>【原子炉容器内点検】</p> 	<p>【原子炉容器内点検】</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・頭部の円筒部内に堆積物が確認された ・制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）との干渉の痕跡は認められない
		<p>【使用済燃料ピット内点検】</p> 	<p>【使用済燃料ピット内点検】</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・頭部の円筒部内に堆積物が確認された

4. 原因調査(その他)

➤ 下表のとおり、製造履歴、点検履歴、運転履歴等の調査結果に問題はなかった。

項目		調査結果
製造履歴調査	駆動軸	<ul style="list-style-type: none"> ・材料・寸法が設計どおり製作されていること、および駆動軸と模擬制御棒クラスタを組合わせてステッピング試験を実施しており両者の嵌合に問題なかったことを確認。
	制御棒クラスタ	<ul style="list-style-type: none"> ・材料、寸法が設計どおり製作されていること、および模擬駆動軸接手を用いた嵌合性試験に問題がなかったことを確認。 ・上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題が無いことを確認。
点検履歴調査	駆動軸	<ul style="list-style-type: none"> ・第13回定検の再稼働に向けた点検において、駆動軸全数を取り外しての外観確認で異常が確認されていないことを確認。
	制御棒クラスタ	<ul style="list-style-type: none"> ・これまでの定期事業者検査（制御棒クラスタ検査）で実施した外観確認で異常が確認されていないことを確認。
運転履歴調査	<ul style="list-style-type: none"> ・14サイクル期間中の定期運転および今定検のプラント停止における制御棒クラスタの引抜きおよび挿入動作に問題なかったことを確認。 ・駆動軸取り外し工具の駆動源である所内用空気について、所内用空気圧力の異常を示す警報の発信は確認されず、空気圧に異常な低下が無いことを確認。 ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時、キャビティ水位や余熱除去流量は安定しており、水流による揺れ等の影響は無いことを確認。 	

5. 今後の調査工程

➤ 今後の原因調査等の工程は以下のとおり。

	2020年	
	1月	2月以降
原因調査		
事象発生メカニズム・ 推定原因の検討		
再発防止対策の検討		

6. まとめ

- 事象発生後の制御棒クラスタと駆動軸の結合状況調査、その後の上部炉心構造物の吊り上げにおいて、本事象は再現していない。
- 制御棒クラスタと駆動軸の切り離しの作業体制・作業手順書は従来と同様であり、定められた手順どおりに重量確認と寸法確認を実施し、確実に切り離し作業が行われていることを確認。事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかったことから、切り離し操作自体をしていないといったような重要な手順の抜けやアドレス間違い等の作業ミスは考え難い。
- 海外の類似事例について、引き続き詳細を調査中。
- 使用工具・計測器の調査結果、および製造履歴や運転履歴等の調査結果に問題はなく、今回の事象の発生要因となった可能性は低い。
- これまでに実施した駆動軸および制御棒クラスタの調査の結果、事象発生アドレスの駆動軸の接手部に金属光沢のある接触痕を確認。また、制御棒クラスタ頭部の円筒部内に堆積物を確認。
- これら接触痕や堆積物が、今回の事象に関連している可能性について調査継続中。
- 今後、事象発生メカニズムおよび推定原因の解明、再発防止対策を検討し、原因対策報告書をまとめる。

参考. 要因分析図(暫定)

事象	要因	調査項目	調査結果	評価			
				評価	添付		
上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒クラスタ引き上がり	制御棒クラスタと駆動軸の結合	駆動軸切り離し操作の不良	駆動軸取り外し工具の動作不良	・ 駆動軸取り外し工具の外観確認を実施し、傷、変形、付着物が無いことを確認した。 ・ 駆動軸取り外し工具の動作確認を実施し、取り外し軸の引き上げ・押し下げ動作に異常なく、正常に動作することを確認した。	×	8-2	
			駆動軸切り離し作業に用いる計測器の不良	・ 使用された荷重計について、使用前点検で異常が確認されていないこと、および、ウェイトを用いた動作確認により表示値に異常が無いことを確認した。 ・ 使用されたスケールについて、外観確認により有意な損傷等が無いことを確認した。	×	8-3	
			駆動軸切り離し作業における操作不良	手順書の不備	・ 作業記録より、当社にて承認された手順書に基づき実施していることを確認した。また、今回の作業で用いた手順書は過去の定検時と同様であり、過去の定検で同様の事象は発生していないことを確認した。 ・ 類似事例調査により、海外で類似の事象が発生していることを確認したから、引き続き詳細調査中。	?	8-1 9-4
		不適切な操作	・ 作業記録確認 ・ 制御棒クラスタと駆動軸の結合状況確認 ・ 聞き取り調査 ・ 類似事例調査	・ 作業記録および聞き取り調査より、定められた手順どおりに操作が行われていることを確認した。また、当社立会により、作業が確実に行われていることを確認した。 ・ 事象発生後の駆動軸引き上げ時に制御棒クラスタは引き上がらなかったことから、手順の抜けやアドレス間違い等の根本的な作業ミスは考え難い。 ・ 作業員への聞き取りにより、当該駆動軸切り離し操作時に制御棒クラスタを切り離すために駆動軸取り外し工具を揺する操作をしたことが確認されたが、当該駆動軸に限った操作ではなく、他のほとんどの駆動軸で同様の操作を行っていること、および、これまでの定検時にも同様の操作を行っていることとあり、特殊な操作ではないことを確認した。 ・ 類似事例調査により、海外で類似の事象が発生していることを確認したから、引き続き詳細調査中。	?	8-1 8-5 9-4	
			作業環境の影響	・ 運転履歴調査	・ 駆動軸切り離し作業中のキャビティ水位や余熱除去ループ流量等に、作業環境に影響を与えるような有意な変動がなかったことを確認した。	×	9-3
			設計不良	・ 製造履歴調査	・ 図面より、駆動軸と制御棒の結合部の機構は、十分な実績がある17×17燃料タイププラントの標準設計であることを確認した。	×	9-1
		駆動軸切り離し動作の不良	製造不良	・ 製造履歴調査	・ 駆動軸について、製造記録より材料・寸法が設計どおり製作されていること、および駆動軸と模擬制御棒クラスタを組合わせてステッピング試験を実施しており両者の嵌合に問題なかったことを確認した。 ・ 制御棒クラスタについて、製造記録より材料・寸法が設計どおり製作されていること、および模擬駆動軸接手を用いた嵌合性試験に問題がなかったことを確認した。	×	9-1
			点検不良	・ 点検履歴調査	・ 制御棒クラスタについて、これまでの定期事業者検査(制御棒クラスタ検査)で実施した外観確認で異常が確認されていないことを確認した。 ・ 駆動軸については、13回定検の再稼働に向けた点検において、外観確認で異常が確認されていないことを確認した。	×	9-2
			制御棒クラスタと駆動軸の結合部の異常	・ 外観確認(制御棒クラスタ、駆動軸) ・ 接手型取り観察 ・ 駆動軸の寸法計測	・ 駆動軸の外観確認を実施し、当該駆動軸の接手の内外面に金属光沢のある接触痕が確認された。 ・ 制御棒クラスタの外観確認を実施し、スライダ円筒部に堆積物が確認された。 ・ 駆動軸の寸法計測を実施し、接手廻りの寸法が設計値を満足していることを確認した。 ・ 駆動軸に接触痕、制御棒クラスタに堆積物が確認されたことから、これらが今回の事象に関連している可能性について引き続き詳細調査中。	?	8-4 8-5
			駆動軸取り外し工具と駆動軸の取合部の異常	・ 外観確認(駆動軸、工具) ・ 駆動軸動作確認	・ 外観確認により、駆動軸取り外し工具と駆動軸の取合部に異常な噛み込み等の痕跡が無いことを確認した。 ・ 駆動軸動作確認により、駆動軸の結合・切り離し、駆動軸取外し軸の上下動作に問題が無いことを確認した。	×	8-2 8-5
	駆動軸取り外し軸の動作不良		駆動軸取り外し工具の駆動源(空気)の異常	・ 運転履歴調査(所内用空気圧) ・ 駆動軸動作確認	・ 所内用空気圧について、事象発生時、所内用空気圧力の異常を示す警報は発信しておらず、空気圧に異常な低下がないことを確認した。 ・ 駆動軸動作確認により、規定の所内用空気圧(約0.7MPa)で、問題なく駆動軸取外し軸の引き上げ操作ができることを確認した。なお、空気圧が低い状態(約0.2MPa)では取外し軸の引き上げが不十分となるが、他の駆動軸と同様であり、特異なものではないことを確認した。	×	8-5 9-3
	上部炉心構造物と制御棒クラスタの結合	駆動軸切り離し操作の不良	駆動軸取り外し軸のばねの異常	・ 外観確認(駆動軸) ・ 駆動軸動作確認	・ ロックばねについては、接手側からの可視範囲の外観確認により、ばね押しつけ状態に異常の無いことを確認した。 ・ また、駆動軸動作確認により、駆動軸取外し軸の上下動作に問題は無く、他の駆動軸とも有意な差は無いことから、ばね(軸用ばね、ロックばね)の異常は無いと考えられる。	×	8-5
			異物混入	・ 外観確認(駆動軸) ・ 駆動軸動作確認	・ 外観確認により、目視可能範囲に異物は確認されなかった。 ・ 駆動軸動作確認により、駆動軸取外し軸の上下動作に問題は無く、他の駆動軸とも有意な差は無いことを確認した。 ・ 制御棒クラスタの外観確認により、スライダ円筒部に堆積物が確認されたことから、堆積物が今回の事象に関連している可能性について引き続き詳細調査中。	?	8-5
			製造履歴調査 ・ 運転履歴調査 ・ 制御棒クラスタと駆動軸の結合状況確認 ・ 外観確認(制御棒)	・ 図面より、上部炉心構造物と制御棒の位置関係から物理的に干渉する箇所が無いことを確認した。 ・ 製造記録より、上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題が無いことを確認した。 ・ 前回定検以降の制御棒クラスタの操作において、異常な動作がなかったことを確認した。 ・ 事象発生後、駆動軸と制御棒クラスタを結合させた状態で、上下方向に操作して、上部炉心構造物と干渉せずスムーズに操作できることを確認した。 ・ 外観確認により、制御棒クラスタ頭部の外面に上部炉心構造物(案内管)と干渉した痕跡が無いことを確認した。	×	8-4 8-5 9-1 9-3	
			・ 外観確認(駆動軸)	・ 図面より、上部炉心構造物と制御棒の位置関係から物理的に干渉する箇所が無いことを確認した。 ・ 製造記録より、上部炉心構造物に組み込まれた制御棒クラスタ案内管単体に対する拘束力試験で、制御棒クラスタ案内管と制御棒クラスタのインターフェースに問題が無いことを確認した。 ・ 前回定検以降の制御棒クラスタの操作において、異常な動作がなかったことを確認した。 ・ 事象発生後、駆動軸と制御棒クラスタを結合させた状態で、上下方向に操作して、上部炉心構造物と干渉せずスムーズに操作できることを確認した。 ・ 外観確認により、制御棒クラスタ頭部の外面に上部炉心構造物(案内管)と干渉した痕跡が無いことを確認した。	×	8-4 8-5 9-1 9-3	

? : 調査継続中
× : 可能性なし