

原子力発第19478号
令和2年 4月 3日

愛媛県知事
中村時広 殿

四国電力株式会社
取締役社長 社長執行役員
長井 啓 介

伊方発電所第3号機第15回定期検査中に発生した一連のトラブルに係る
報告書の一部補正について

拝啓 平素は格別のご高配を賜り、厚くお礼申し上げます。

さて、令和2年3月17日付、原子力発第19442号にて提出した報告書のうち「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」につきまして、その後の原子力規制委員会の確認を踏まえ報告書の補正が必要となったことから、安全協定第11条第2項に基づき、別添のとおり報告いたします。

今後とも伊方発電所の安全・安定運転に取り組んでまいりますので、ご指導賜りますようお願い申し上げます。

敬具

別添資料

1. 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

以 上

本資料のうち、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。

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

令和2年3月17日 提出
令和2年4月 3日 補正
四国電力株式会社

1. 件名

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

2. 事象発生の日時

令和2年1月12日 13時20分（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を確認した日時）

3. 事象発生の発電用原子炉施設

計測制御系統施設 制御材 制御棒クラスタ

4. 事象発生前の運転状況

第15回定期検査中

5. 事象発生の状況

伊方発電所第3号機（定格電気出力89万キロワット）は第15回定期検査（令和元年12月26日解列）中、原子炉からの燃料取出の準備作業のため、原子炉容器上蓋を開放し、制御棒クラスタと駆動軸との切り離し^{※1}を行った後、原子炉容器の上部炉心構造物を吊り上げしていたところ、令和2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。

その後、上部炉心構造物を吊り下ろして当該制御棒クラスタと駆動軸が結合されていないことを確認した後、再度上部炉心構造物を吊り上げ、当該制御棒クラスタが引き上がらないことを確認し、令和2年1月13日10時34分、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

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、令和2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。

なお、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

※1 燃料取替クレーンを使用し、制御棒クラスタ（48体）と駆動軸（48本）を専用の取り外し工具（1個）を用いて切り離しを行う作業。

（添付資料－1～6）

6. 発電用原子炉施設への影響

燃料取出にあたっては、原子炉格納容器内封機能および1次冷却材ほう素濃度等、原子炉施設の状態を事前に確認するとともに、原子炉出力、1次冷却材温

度、放射線監視設備等を監視し、正常な状態であったことを確認した。

また、燃料取出を行う原子炉運転モード6においての1次冷却材ほう素の濃縮は完了しており、臨界管理は1次冷却材の希釈系統を隔離する等、1次冷却材ほう素濃度にて管理することを規定している。

(添付資料-2-1、3)

7. 環境への影響

発電所に設置しているエリアモニタおよびプロセスモニタの指示値ならびに発電所周辺に設置している野外モニタの指示値には有意な変動はなく、本事象による外部への放射能の影響はなかった。

(添付資料-2-2)

8. 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(令和2年1月12日～13日)、以下の確認を実施し、上部炉心構造物を下ろした時点では制御棒クラスタと駆動軸は結合されていないことや正常に結合、切り離しができること等を確認した。

- ・事象発生後、上部炉心構造物を吊り上げた状態から吊り下ろして、作業開始前の状態に戻した後、駆動軸取り外し工具にて当該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した。
- ・その後、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した。
- ・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。

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。

以上のことから、事象発生時の結合状態は通常と異なる不完全な結合状態であった可能性がある。

9. 調査結果

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の原因について、要因分析図に基づき現地調査および図面や製造記録等の調査を行った。

(添付資料-7)

(1) 作業体制および手順等

a. 作業体制

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、作業責任者1名の指揮のもと、駆動軸取り外し工具の操作(寸法・動作確認を含む)を行う作業員(工具操作者)2名、制御棒クラスタと駆動軸の切り離しできたことを重量および寸法により確認を行う作業員(記録者)1名、駆動軸取り外し工具と駆動軸

のラッチのためセンタリング確認を行う作業員(センタリング確認者)2名、クレーン操作を行う作業員(クレーン操作者)1名、計7名の複数人で実施しており、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した。

また、1月12日の作業前ミーティングでは、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行っていた。

b. 作業責任者、作業員の力量

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離しのため駆動軸取り外し工具の操作を行う作業責任者(経験年数10年以上)および工具操作者(経験年数7年以上)等の主要な操作を行う者は、過去に伊方発電所の原子炉容器の開放作業において制御棒クラスタと駆動軸の切り離し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。

c. 作業手順書

- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業は、当社が承認した作業手順書に基づき実施している。また、今回の作業手順書は過去の定期検査(第1回～第14回)時と同様であり、過去の定期検査時に同様の事象は発生していないことを確認した。
- ・現地作業開始前には作業手順書の読み合わせを実施しており、作業手順の確認、過去の不具合事例紹介および安全管理、品質管理、放射線管理上の注意事項等について確認を行っていた。
- ・今回の作業手順書は、重量確認と寸法確認で確実に制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確認できる手順書であったが、切り離し確認以降に通常とは異なる不完全な結合状態に至った場合は制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

d. 作業記録

- ・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が実施され、確実に制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業が行われていることを確認した。また、過去の定期検査(第1回～第14回)の作業記録と比べても、今回の作業記録に特異な点は確認されなかった。

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。

- ・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。

e. 作業環境

- ・作業場所における照明、騒音、気温および作業エリアの観点から確認を行った。制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業を行った作業場所は、原子炉格納容器内であり、照明、騒音および気温について問題はなかった。作業エリアについては、燃料取替クレーン歩廊上で実施したが、これまでの定期検査時と同様で当該作業においては十分な作業エリアであり問題なかった。

- ・作業時の装備については、管理区域標準装備（管理服、綿手袋、靴下）に加えて、防護服（1重）、ゴム手袋（2重）、靴下（1重）を着用しての作業であるが、これまでの定期検査時にも同様の装備での作業であり、安全面も含めて問題はなかった。

また、当該作業時に全面マスク等の着用は必要なく、作業員間のコミュニケーションに問題はなかった。

f. 聞き取り調査

- ・作業員等への聞き取りにより、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時、作業責任者、作業員は、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作をするため、作業手順書に従い駆動軸取り外し工具の操作、荷重計（ロードセル）による重量確認および寸法確認等を行っており、作業手順に問題がないことを確認した。また、操作および計測時は、複数人による確認を行い、作業が確実に行われていることを確認した。

当該作業時、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ている。

なお、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期検査時にも同様の操作を行っているとのことであり、一般的に行っている操作であることを確認した。

（添付資料－８－１）

（２） 駆動軸取り外し工具

- ・駆動軸取り外し工具の外観確認を実施し、傷、変形、付着物はなく駆動軸取り外し工具と駆動軸の取り合いに問題ないことを確認した。
- ・駆動軸取り外し工具と模擬駆動軸を用いた動作確認を実施し、駆動軸取り外し軸の引き上げ、押し下げ動作に異常がなく、正常に動作することを確認した。

（添付資料－８－２）

（３） 計測器

- ・使用された荷重計（ロードセル）について、作業記録により、使用前点検で荷重計表示が出ていることおよび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するとともに外観確認により有意な損傷等がないことを確認した。また、今回の調査にて、ウェイトを用いた動作確認により表示値に異常がないことを確認した。
- ・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ないことを確認した。

（添付資料－８－３）

（４） 制御棒クラスタおよび制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）

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か所について調査を実施した。

- ・当該制御棒クラスタ（アドレス：M-4）
- ・他の制御棒クラスタ2体（アドレス：M-12、J-7）

a. 図面確認

- ・図面確認により、制御棒クラスタのスパイダ頭部と制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）の位置関係から、設計上、物理的に干渉する可能性がないことを確認した。

b. 外観確認

制御棒クラスタのスパイダ頭部の外観確認を実施し、損傷、変形の有無を確認するとともに、異物の有無を確認した。また、水中カメラをスパイダ頭部に近づけて外観の詳細確認を実施した。

(a) 原子炉容器内点検

燃料取出前（令和2年1月13日）に水中カメラ（白黒）で制御棒クラスタのスパイダ頭部全体の外観確認を実施し、外観形状に異常はなく、スパイダ頭部と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かった。

また、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）に堆積物が確認された。

なお、堆積物はM-12、J-7にも同様に確認された。

(b) 使用済燃料ピット内点検

燃料取出後、使用済燃料ピットにおいて、水中カメラ（カラー）で制御棒クラスタのスパイダ頭部の外観確認を実施した結果、上述のとおり、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）に堆積物が確認された。

また、M-12、J-7の制御棒クラスタについても比較のため外観確認を実施した結果、M-4の制御棒クラスタと同様に堆積物が確認された。

(c) 使用済燃料ピット内点検（詳細確認）

水中カメラを制御棒クラスタのスパイダ頭部に近づけてスパイダ頭部外観の詳細確認を実施した結果、当該制御棒クラスタ（M-4）のスパイダ頭部の円環部上面に接触痕（色調の変化）が確認された。円環部上面の接触痕（色調の変化）はM-12にも同様に確認されたが、M-4のほうが広範囲であった。なお、使用期間が短いJ-7に接触痕（色調の変化）は確認されなかった。

また、M-4のスパイダ頭部の内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認され、M-12にも同様に確認された。

スパイダ頭部内で確認された堆積物の詳細確認結果は（6）に示す。

（添付資料-8-4）

(5) 駆動軸 (制御棒クラスタとの結合部含む)

駆動軸の調査については、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か所について調査を実施した。

- ・当該駆動軸 (アドレス : M-4)
- ・他の駆動軸2本 (アドレス : M-12、J-7)

a. 外観確認 (M-4およびM-12の型取り観察含む)

駆動軸の外観確認を実施し、接手内外面 (位置決めナット含む) および駆動軸取り外し工具の取り合い部の傷、変形、付着物の有無を確認した。また、接手内外面 (位置決めナット含む) の型取り観察により詳細性状を確認した。

(a) 接手外面

イ. 外観確認

当該駆動軸 (M-4) および比較のため当該駆動軸以外の駆動軸 (M-12、J-7) について外観確認を実施した結果、当該駆動軸 (M-4) の接手外面の直線部に局所的な金属光沢を有する接触痕を確認した。一方、M-12、J-7の駆動軸でも接触痕は確認されたが、金属光沢は確認されなかった。

また、駆動軸 (M-4、M-12、J-7) の接手外面の先端テーパ部には周方向の接触痕が確認されたが、周方向の接触痕は切り離し操作後のスパイダ頭部の内面と取り合う箇所と相当し、金属光沢はなかった。

このため、当該駆動軸 (M-4) の接手外面に確認された金属光沢を有する接触痕は今回生じた可能性がある。

なお、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。

ロ. 型取り観察

接手部の型取りを実施し、M-4に見られた接手外面の局所的な接触痕は、M-12の当該接触痕よりも有意に深かった。また、通常、駆動軸切り離し操作後の駆動軸着座位置では接手外面テーパ部とスパイダ頭部の内面が取り合うが、その周方向の接触痕は局所的な接触痕よりも軽微であった。

(b) 接手内面

イ. 外観確認

当該駆動軸 (M-4) の駆動軸取り外し軸を引き上げた状態での外観確認を行った結果、接手内面直線部に金属光沢を有する接触痕を確認した。

接手内面直線部は位置決めナットおよびロックボタンが摺動する部位であるが、比較対象であるM-12、J-7には有意な接触痕はないことから、当該駆動軸 (M-4) の接手内面に確認された金属光沢を有する接触痕は今回生じた可能性がある。

また、駆動軸取り外し軸を押し下げた状態での外観確認を行った結果、M-4の位置決めナットに線状の接触痕が確認された。

なお、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。

ロ. 型取り観察

接手内面および位置決めナットの型取りを実施した結果、M-4に見られた接手内面直線部の接触痕と位置決めナットの接触痕は共に線状であり、両者が取り合う箇所であることから、位置決めナットの上下降時に生じた可能性がある。

また、型取り観察結果より、接触痕発生には介在物が関与しており、接触痕の大きさから、1 mm程度の大きさの介在物が存在した可能性がある。

(c) 駆動軸取り外し工具との取り合い部

イ. 外観確認

駆動軸取り外し工具との取り合い部である駆動軸頂部(取り外しボタン)および駆動軸つかみ部周辺に対して、外観確認を行った結果、異常な噛み込み等の痕跡は確認されなかった。

b. 寸法計測

- ・駆動軸 (M-4、M-12、J-7) について、駆動軸取り外し軸の押し下げ位置で、接手部周りの寸法を計測した結果、全て設計値を満足していることを確認し、M-4の寸法に有意な差はなかった。

c. 動作確認

- ・実機駆動軸および駆動軸取り外し工具を組み合わせたうえで、駆動軸取り外し工具にて、駆動軸取り外し軸を操作し、当該駆動軸 (M-4) の動作状況の確認を行った結果、駆動軸取り外し工具および駆動軸(駆動軸取り外し軸)の動作に異常はなく、ストロークは設計寸法を満足していた。
- ・駆動軸 (M-12、J-7) についても比較のため動作確認を実施した結果、当該駆動軸 (M-4) との差はなく、M-4の動作状況に問題はなかった。
(添付資料-8-5)

(6) 堆積物

堆積物の調査については、事象が発生した制御棒クラスタの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か所について調査を実施した。

- ・当該制御棒クラスタ (アドレス: M-4)
- ・他の制御棒クラスタ2体 (アドレス: M-12、J-7)

a. 堆積物の調査結果

水中カメラにて制御棒クラスタのスパイダ頭部内の堆積物を確認するとともに、堆積物を回収し、実体顕微鏡にてサイズおよび形状等を観察した。

また、走査電子顕微鏡 (SEM) 観察するとともに、電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA) による組成分析およびX線回折により形態を調査した。

(a) 堆積物の確認

(4) 項の制御棒クラスタの外観確認でも確認された、制御棒クラスタの

スパイダ頭部内の堆積物量に関し、原子炉容器内の水中カメラ（白黒）確認では、M-4、M-12、J-7共にスパイダ頭部内底部の機械加工模様が堆積物で覆われていた。

その後の使用済燃料ピット内の水中カメラ（カラー）確認では、堆積物の偏り傾向を確認した。堆積物の偏りは燃料移送中の制御棒クラスタの横倒しに影響したと考えられる。

原子炉容器内で撮影された写真より、M-4の堆積物は制御棒クラスタのスパイダ頭部の上から三山目より下の領域に堆積しており、スパイダ頭部の三山目より下の容積である約20cc相当の堆積物があったと推定される。

(b) 堆積物のサイズ・形状

堆積物のサイズ、形状については、黒色の粒子状および薄膜状の形状であり、M-4で回収された薄膜状の堆積物は数mm程度の大きさであり厚さは0.1mm程度であった。

また、M-4とM-12で堆積物のサイズ、形状に差はなく、J-7では粒子状の堆積物のみ回収された。

(c) 堆積物の分析

堆積物のSEM画像を確認した結果、M-4とM-12で回収された薄膜状の堆積物は、一体構造であるがひび割れが認められることから脆い物質と推定される。一方、M-4、M-12、J-7で回収された粒子状の堆積物は数十～数百 μm の粒子が集まって形成されていた。

また、EPMAによる組成分析およびX線回折による形態分析を実施した結果、薄膜状の堆積物はマグネタイト (Fe_3O_4) であった。粒子状の堆積物も同様にマグネタイト (Fe_3O_4) であった。

(d) まとめ

以上から、制御棒クラスタ (M-4、M-12、J-7) のスパイダ頭部内で確認された堆積物は硬くて脆い性質であるマグネタイトであり、1次冷却材中に一般的に存在する鉄の酸化物の一種である。

堆積物の生成過程については次項で考察するが、プラント起動初期段階の高溶存酸素環境において駆動軸内表面で生成した鉄酸化物が、運転時間の経過に伴いマグネタイトに変態したもの、またはプラント運転中に1次冷却系統内の機器から1次冷却材中に溶出した鉄イオンが、機器・部品表面に付着してマグネタイトとなり、それが剥離し堆積したもの（スラッジ^{※2}）と推定される。

また、制御棒クラスタ48体のうち、上記3体以外の制御棒クラスタ45体についても使用済燃料ピット内で外観確認を実施したところ、上記の3体と同様に堆積物があり、過去の定期検査でも確認されている。

※2 本報告書では、スパイダ頭部内で確認された堆積物をスラッジという。

b. 堆積物（スラッジ）の生成過程

堆積物（スラッジ）の生成過程について考察した。

(a) 駆動軸内表面で生成

イ. プラント起動初期段階

プラント起動初期段階の高溶存酸素環境において、原子炉容器上蓋上の制御棒クラスタ駆動装置圧力ハウジングは、その構造上、1次冷却システム水張時に加圧された空気が残留することから、溶存酸素が有意に高くなる期間が存在する。

このとき、駆動軸は全引抜状態にあり（制御バンクDは除く）、駆動軸内側は全長にわたり高溶存酸素・高温環境におかれているため、駆動軸内表面では鉄酸化物が生成する。運転時間の経過に伴って、生成した鉄酸化物はマグネタイトに変態するため、駆動軸内面のマグネタイト生成にはプラント起動段階の高溶存酸素環境における鉄酸化物が関与する。

ロ. プラント運転中

駆動軸近傍は上端に比べ下端が高温の条件にあると推定され、駆動軸内部では温度差（密度差）を駆動源とする1次冷却材の自然循環流が生じている可能性が考えられる。この循環する過程の温度変化に伴って鉄イオンの溶解度が増加し、析出した鉄イオンが駆動軸内表面でマグネタイトを形成する。

上記のイ. 項、ロ. 項を踏まえると、駆動軸内表面ではプラント起動時とプラント運転中に生成したマグネタイトが重畳し、時間の経過とともに成長したマグネタイトが剥離、脱落してスパイダ頭部内に堆積する可能性がある。

数mmの大きさの薄膜状の堆積物がこれに該当している可能性が高く、また、脱落の過程で粒子状に変化することもあると考えられる。

(b) 1次冷却システム内で生成

プラント運転中、1次冷却システム内で生成したマグネタイトが、結合状態にある駆動軸接手と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間を経て侵入し堆積する可能性がある。

粒子状の堆積物（スラッジ）がこれに該当すると推定される。

駆動軸の保護筒下端と制御棒クラスタのスパイダ頭部の隙間は数mm程度と狭いことから、今回、スパイダ頭部内で確認された堆積物は、(a)の駆動軸内表面で生成したマグネタイトが剥離、落下、堆積したもののほうが比較的多いと推定される。

c. 1次冷却材中の堆積物（スラッジ）の挙動

- ・1次冷却材中のスラッジ（今回、スパイダ頭部内で確認されたスラッジも一部含む）については、1次冷却材システムや化学体積制御システムなどを循環、対流する間に細かく微粒子状になり、冷却材フィルタ等で捕捉される。
- ・一般的に、鉄の酸化物の一種であるマグネタイトは従来から1次冷却システム内に存在するものであり、これまでこれが原因で燃料集合体等に損傷を与えるような事象は発生していないことから、原子炉施設の安全性に影響を与える

ものではない。

(添付資料－８－６)

(7) 接触痕および堆積物まとめ

以上の調査結果から、制御棒クラスタの引き上がり事象には、以下の接触痕および堆積物が関与していた可能性がある。

- ・ 接手外面直線部の局所的な接触痕
- ・ 接手外面テーパ部の周方向接触痕
- ・ 接手内面直線部の接触痕
- ・ 位置決めナット直線部の接触痕
- ・ スパイダ頭部の円環部上面の接触痕（色調の変化）
- ・ スパイダ頭部の内部テーパ面の接触痕（色調の変化）

(添付資料－８－７)

(8) 製造履歴調査

- ・ 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。
- ・ 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を確認した。

また、駆動軸と模擬制御棒クラスタを組み合わせたのステッピング試験により、両者の嵌合に問題がなかったことを確認した。

駆動軸接手については、熱処理記録より適切に熱処理が実施されていることを確認した。

- ・ 制御棒クラスタ案内管（上部炉心構造物）について、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ないことを確認した。

(添付資料－９－１)

(9) 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、第１３回定期検査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した。

(添付資料－９－２)

(10) 運転履歴調査

- ・ 制御棒クラスタの運転履歴を調査した結果、制御棒クラスタ駆動装置および制御棒位置指示装置の動作状況に問題なかったことを記録により確認したことから、プラント運転中の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。
- ・ 本定期検査のプラント停止操作において、制御棒クラスタに対する制御信号、プラント停止時の警報履歴および制御棒クラスタ位置の記録により、制御棒

クラスタ制御信号と制御棒クラスタ位置に偏差が生じたような記録は確認されなかったことから、プラント停止操作中における制御棒クラスタの動作機能に問題なかった。

- ・以上より、今回実施した上部炉心構造物吊り上げ、吊り下げの一連の作業において引き上がりが生じた制御棒クラスタが、プラント運転中およびプラント停止操作中、円滑に引抜き、挿入されていたことを確認した。
- ・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なかったことを確認した。
- ・制御棒クラスタと駆動軸の切り離し作業時、キャビティ水位および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ないことを確認した。

(添付資料－9－3)

(11) 類似事例調査

a. 制御棒クラスタ引き上がり事象の類似事例調査

(a) 国内事例

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燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象は確認されなかった。

(b) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において、燃料取出前の上部炉心構造物吊り上げ時に同時に制御棒クラスタが引き上がった事象について調査した結果、5件の事例を確認した。

海外の発電事業者は、一部に原因は特定できていない事例はあるものの、全ての事例において、推定される原因に対して作業要領の見直し等により再発防止対策を行っている。

b. 駆動軸等に関する不具合事例調査

(a) 国内事例

国内の加圧水型軽水炉において駆動軸等の不具合事例を抽出した結果、8件の事例を確認したが、当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

(b) 海外事例

海外の加圧水型軽水炉において駆動軸等の機械的なトラブル事例を抽出した結果、5件の事例を確認したが、当該不具合事例が制御棒クラスタ引き上がりに発展する可能性を踏まえても、伊方3号機における今回の事象の発生原因となる可能性は無いことを確認した。

c. まとめ

海外で類似事例が確認されたことから詳細調査を実施した結果を踏まえても、

当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作自体に問題となる点はなかった。
(添付資料－9－4)

10. 引き上がり事象発生時の不完全結合状態ケース検討

9. の調査結果（製造記録、外観確認等）を踏まえ、制御棒クラスタの引き上がり事象が起こり得るか否か（整合するか否か）のケース検討を実施した。

ここで、今回の事象は、駆動軸切り離し作業後、制御棒クラスタと駆動軸の意図しない再結合により制御棒クラスタが引き上がったと考えられること、その後、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作を行うことなく制御棒クラスタが切り離されていたことから、不完全結合状態として以下のケースを抽出した。

(1) 検討ケース

ケース1 仮置き状態で不完全結合

- ・仮置き（駆動軸着座）状態で押し付け力がかかった場合、くさび効果^{※3}により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース2 スパイダ頭部1山目位置で不完全結合

- ・スパイダ頭部の上端から1山目と接手先端テーパ部が接触した場合、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース3 スパイダ頭部2山目位置で不完全結合

- ・ケース2と同様、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース4 スパイダ頭部3山目位置で不完全結合

- ・ケース2と同様、くさび効果により制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース5 位置決めナットがボタンアップ位置にあり不完全結合

- ・接手部のみ完全結合位置に着底し、位置決めナットがボタンアップ位置にあり不完全結合した場合、制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース6 スパイダ頭部外部側で不完全結合

- ・水平方向のアライメントずれにより、駆動軸がスパイダ頭部の外部側に跨いだ場合、駆動軸の接手がスパイダ頭部に噛み込むことにより制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

ケース7 スパイダ頭部外部側で、位置決めナットがボタンアップ位置で不完全結合

- ・駆動軸取り外し軸が下降途中の状態であり、水平方向のアライメントずれにより、駆動軸がスパイダ頭部の外部側に跨いだ場合、ケース6と同様、駆動軸の接手がスパイダ頭部に噛み込むことにより制御棒クラスタの引き上がりが生じる可能性がある。

※3 鋭角を有するくさび状のものに力を与えた場合、その角度によって、与えられた力より大きな押し広げ力（本事象ではこの押し広げ力に比例する摩擦力により制御棒クラスタを引き上げる力になる）が発生すること。

(2) 検討結果

ケース毎に、スパイダ頭部と接手の幾何学的な関係、外観確認で見られた接触痕との関係、作業手順との関係からケース検討を実施した。

a. 幾何学的な整合

ケース1～5の不完全結合状態は整合するという結果になった。一方、ケース6、7では、製作、組立公差や駆動軸の傾きを最大限考慮しても整合しないという結果となった。

b. 外観確認結果との整合

全ての接触痕と整合する不完全結合状態はなかったが、全てのケースにおいて、いずれかの接触痕がつく可能性はあるという結果となった。

c. 作業手順との整合

ケース1、6は、駆動軸切り離し後に、位置決めナットが所定の位置まで下降しているため、整合する。また、ケース2～4は、位置決めナットが所定位置まで下降しないという条件付きの場合において整合し、ケース5、7においては、位置決めナットがボタンアップ位置に留まっており、整合しないという結果になった。

(3) まとめ

以上より、幾何学的な関係、外観確認で見られた接触痕との関係、作業手順との関係がいずれも整合する（条件付きで整合する場合含む）ケース1～4で制御棒クラスタの引き上がり事象が発生する可能性があることを確認した。

このため、これらのケースについて次項にて実証試験を行った。

(添付資料-10)

1.1. 部分モデルによる引き上がり状態実証試験

前項「10. 引き上がり事象発生時の結合状態ケース検討」に示したとおり、制御棒クラスタの引き上がりが発生する可能性があるケース1、ケース2およびケース3を選定し、駆動軸と制御棒クラスタの取り合いを部分的に模擬した供試体を用いて、以下の試験を実施した。なお、ケース4は引き上げ力が比較的小さいと想定されるケース3で代表して試験を実施した。

(1) 引き上がり状態実証試験

a. ケース1 仮置き状態で不完全結合

供試体の接手およびスパイダ頭部の接触面が面荒れありの状態（静止摩擦係数が大きく引き上がりが生じやすい場合）においても、制御棒クラスタ引上荷重は0 kg fであり、制御棒クラスタの引き上がりは発生しなかった。

b. ケース2 スパイダ頭部1山目位置で不完全結合

供試体の接手外面（接手およびスパイダ頭部）の接触面および接手内面（位置決めナットおよび接手）の接触面が面荒れなしの状態（静止摩擦係数が小さく引