

2020年3月2日  
四国電力株式会社

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等について

標記事象に係る調査状況等については、先日2月12日の公開会合においてご説明させていただいたところですが、その後実施した追加確認等について、ご報告いたします。

今後、推定原因の検討を深めながら、再発防止に向けた対策を立案して参ります。

【伊方3号機制御棒クラスタ引き上がり】

(1) 原因調査結果

- ・定められた手順どおりに重量確認と寸法確認を実施し、制御棒クラスタと駆動軸の切り離しが確実に行われていた。
- ・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。
- ・制御棒クラスタおよび駆動軸の外観確認で確認された一部の接触痕は、金属光沢を有しており比較対象にないことから今回生じたものである可能性がある。
- ・接手内面と位置決めナットの接触痕には介在物が関与した可能性が高く、1mm程度の介在物が存在していた可能性がある。
- ・制御棒クラスタのスパイダ頭部内に確認された堆積物は、駆動軸内表面や1次冷却系統内で生成した $\text{Fe}_3\text{O}_4$ （マグネタイト）が剥離し堆積したもの（スラッジ）と推定される。

(2) 現在検討中の推定原因

本事象は、制御棒クラスタと駆動軸との切り離し作業を定められた作業手順に従い実施しているなかで、以下のメカニズムにより発生したものと推定した。

- ・堆積物（スラッジ）が位置決めナットと接手の間に挟まり、駆動軸取り外し軸がスタックした（詰まった）。その状態で制御棒クラスタに駆動軸を着座させた後、駆動軸が制御棒クラスタのスパイダ頭部内へ沈み込む不完全結合状態となり、上部炉心構造物吊り上げ時に制御棒クラスタ引き上がり事象が発生した。
- ・今回のように、堆積物の影響で駆動軸取り外し軸がスタックし、駆動軸着座後に制御棒クラスタと駆動軸が意図せず再結合するといった、通常発生しない非常に稀なケースが起こった場合、その不完全な再結合を引き起こす状態を確認する手順になっていなかった。

### (3) 現在検討中の対策

以下の対策を講ずるとともに従来実施している上部炉心構造物吊り上げ時の水中カメラによる監視を引き続き実施していく。

- ・ 駆動軸取り外し軸の下降時のスタック有無を確認する手順を追加する。
- ・ 上記により、今回のような駆動軸取り外し軸のスタックを起因とした事象の再発防止は可能であるが、念のため、駆動軸着座後の再度の重量確認および位置計測（ベースプレート高さ）をする手順を追加する。
- ・ 前述の手順の見直しにより再発防止は可能であるが、制御棒クラスタのスパイダ頭部内の堆積物（スラッジ）を可能な限り減らすため、定期検査毎に使用済燃料ピット内で制御棒クラスタのスパイダ頭部内の状況を確認し、堆積物が確認された場合は除去する。

### 【伊方発電所 187kV送電線の遮断について】

#### (1) 詳細調査

- ・ V相絶縁操作軸（有機絶縁物）表面に生じた炭化痕跡部の成分分析の結果、金属成分（銅、アルミ）が検出された。
- ・ V相絶縁操作軸上部埋金（アルミ合金）とV相可動接触子（銅）嵌合部が損耗していることを確認した。
- ・ 当該嵌合部には、組み込みするためのクリアランスを設けていること、構造上接触しない箇所も含め均一に損耗していること、電子顕微鏡での金属表面確認の結果、熱影響により表面が溶融していることを確認した。
- ・ 嵌合部の非接触状態が継続することで放電が発生することを検証試験により確認した。

#### (2) 推定原因

構造上のクリアランスより嵌合部が非接触（連続）となり、部分放電が発生し嵌合部の隙間が拡大、開閉動作時に嵌合部が擦れ金属くずが落下し、V相-W相間が短絡に至ったものと推定した。

#### (3) 対策

当該断路器の部品を交換するとともに、伊方発電所のガス絶縁開閉装置において、同一構造および使用状態が同じ断路器について追加点検等を行う。

以 上

# 伊方3号機制御棒クラスタ引き上がり 要因分析図(案)

△：可能性あり  
×：可能性なし

事象	要因	調査項目	調査結果	評価		
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動作確認 ・ 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無く、正常に動作することを確認した。	×	
			駆動軸切り離し作業に用いる計測器の不良	・ 計測器調査 ・ 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。	×	
			駆動軸切り離し作業における操作不良	手順書の不備	・ 作業記録確認 ・ 類似事例調査 ・ 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。 ・ 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。 ・ 類似事例の推定原因等を踏まえても、当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作に問題となる点はなかった。	△
				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挿す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であり、特殊な操作ではないことを確認した。 ・ 類似事例の推定原因等を踏まえても、当社の制御棒クラスタと駆動軸の切り離し操作に問題となる点はなかった。	×
				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ブ流量等に、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。	×
		駆動軸切り離し動作の不良	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。	×	
			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を用いた嵌合性試験に問題がなかったことを確認した。	×	
			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。	×	
			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 ・ 堆積物調査 ・ 駆動軸の外観確認を実施し、当該駆動軸の接手の内外面および位置決めナットに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、スパイダ頭部の円環部上面およびスパイダ内部のテーパ面に接触痕（色調の変化）が確認された。 ・ 一部の接触痕は金属光沢を有しており、比較対象にないことから今回生じたものである可能性がある。 ・ 制御棒クラスタの外観確認により、スパイダ頭部に堆積物が確認され、分析の結果、マグネタイトであることを確認した。 ・ 駆動軸の寸法計測を実施し、接手通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、駆動軸取り外し軸の上下動作に問題が無いことを確認した。	×	
	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、問題なく駆動軸取り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）では取り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。	×		
		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、接手側面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、駆動軸取り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。	×		
		異物混入	・ 外観確認(駆動軸) ・ 駆動軸動作確認 ・ 堆積物調査 ・ 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、駆動軸取り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、スパイダ頭部の外面に上部炉心構造物(制御棒クラスタ案内管)と干渉した痕跡が無いことを確認した。	△		
	上部炉心構造物と制御棒クラスタの結合		・ 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。 ・ 制御棒クラスタの外観確認により、スパイダ頭部の外面に上部炉心構造物(制御棒クラスタ案内管)と干渉した痕跡が無いことを確認した。	×		

# 伊方発電所 187kV送電線の遮断について 要因分析図 (1/2)

現地および工場確認結果から絶縁操作軸相間短絡至った相間短絡を発生させた要因となる「電界異常」、「絶縁性能不良」の2つの因子について、要因分析を実施した。

事象	要因	要因の可能性となる現象	調査項目	判定	
絶縁操作軸 相間短絡	電界異常	電界設計不良	断路器の電界設計に不備があると、電界異常となり相間短絡	・形式試験報告書確認 ・電界／絶縁設計確認	×
		製造不良	構成部品に製造上の形状、材料不良があると、電界異常となり相間短絡	・寸法測定 ・材料調査	×
		変形・損傷	断路器の構成部品に過大な外力が加わり、変形・損傷すると、電界異常となり、相間短絡	・外観確認 ・寸法測定	×
		異常電圧の侵入	雷などの過大な異常電圧の侵入があると、相間短絡	・雷撃履歴確認	×
	絶縁性能不良	異物の付着	異物が付着して絶縁操作軸などに付着すると電界異常、絶縁性能不良となり、相間短絡	・外観確認 ・表面汚損分析 ・採取異物の分析	△
		絶縁設計不良	絶縁操作軸の絶縁設計に不備があると、絶縁が破壊され、相間短絡	・形式試験報告書確認 ・電界／絶縁設計確認	×
		絶縁材料不良	絶縁操作軸に材料不良があると、絶縁性能が低下し、相間短絡	・寸法測定 ・外観確認	×
		SF <sub>6</sub> ガス異常	ガス圧力、純度が低下、規定値以上の水分が混入すると、絶縁性能が低下し相間短絡	・ガス圧確認 ・ガス純度測定 ・ガス中水分測定	×

図1 絶縁操作軸の相間短絡に対する要因分析図

## 伊方発電所 187kV送電線の遮断について 要因分析図（2/2）

絶縁操作軸相間短絡に対する要因分析において、異物の付着の可能性を確認し、その発生要因となる「機械的な摩耗」、「熱による溶損」の2つの因子について、更なる要因分析を実施した。

事象	要因	要因の可能性となる現象	調査項目	判定	
絶縁操作軸と可動接触子嵌合部損耗	機械的な摩耗	設計強度不足	絶縁操作軸または可動接触子の嵌合部に設計的な強度不足があれば、動作時の荷重により嵌合部が損傷	・形式試験報告書確認 ・設計強度評価 ・摩耗検証	×
		製造不良による強度不足	絶縁操作軸または可動接触子の加工・材料不良があれば、動作荷重に対する嵌合部の強度が不足となり損傷	・製造履歴確認 ・材料分析 ・硬度測定、寸法測定	×
		組立不良による強度不足	絶縁操作軸と可動接触子の部品間違い、取付方向間違い、取付位置不良があれば、動作時の荷重の増大、嵌合部の強度不足となり損傷	・製造履歴確認 ・外観確認	×
		電動機からの過大応力	電動機から通常の操作荷重を超える異常操作荷重が印加されると、嵌合部が損傷	・製造履歴確認 ・開閉操作状況確認 ・操作装置特性確認	×
	熱による溶損	嵌合部周辺からの熱影響	他の部位の発熱により、絶縁操作軸と可動接触子の嵌合部の温度が上昇し溶損	・外観確認	×
		ギャップ放電による発熱	絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部が、非接触状態となり、その状態が継続すると絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部で放電が発生し溶損	・放電による発熱量計算 ・嵌合部の電氣的浮遊検証 ・嵌合部の放電有無検証 ・表面観察	△

図2 絶縁操作軸と可動接触子嵌合部損耗に対する要因分析図