

伊方発電所で発生したトラブルの原因と対策について ～ 3月17日に提出した報告書の概要 ～

令和2年3月
四国電力株式会社

本年1月、当社伊方発電所においてトラブルが連続して発生し、皆さまには大変ご心配をおかけしていることを改めてお詫び申し上げます。

当社では、トラブルの原因究明と再発防止策の策定に取り組んでまいりましたが、3月17日、これらを取りまとめた報告書を、愛媛県・伊方町をはじめ関係自治体と原子力規制委員会に提出しました。

今回は、その概要についてご説明いたします。

当社といたしましては、今後行われる公開会合等での報告書に対する審議に的確にお応えするとともに、様々なご意見を真摯に受け止め、現状に止まることなく発電所を「より良くする」という強い思いのもと、伊方発電所の安全性向上の追求に全力で取り組んでまいります。

令和2年3月
四国電力株式会社

(事象 1) 中央制御室非常用循環系の過去の点検時期誤り

[1月6日発生]

トラブルの概要

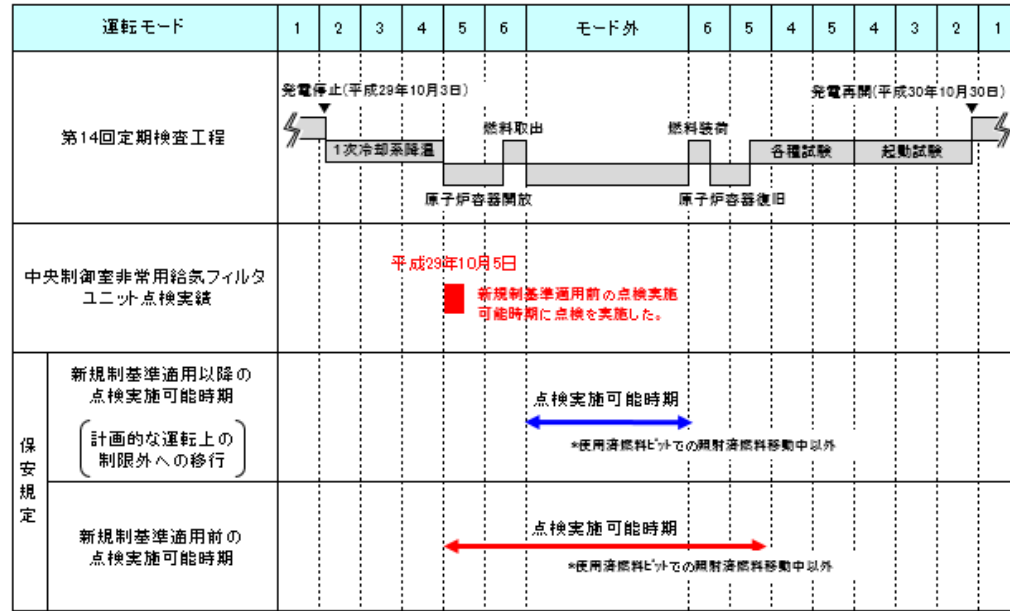
前回の定期検査において実施した中央制御室非常用循環系（空調装置）の点検作業（平成29年10月）が、保安規定に定める点検可能時期に行われていないことが分かりました。

【 原 因 】	【 再発防止策 】
・ 担当者は、保安規定に定める点検可能時期について、誤った解釈をした状態のまま、十分な確認も行わなかった。 → 実施してはいけない時期に当該作業を計画した。	・ 作業計画の妥当性を確認するチェックシートを作成し、承認を受ける運用を開始しました。 ・ 保安規定が改定された場合には、周知に加えてその内容に関する教育を実施します。
・ 作業許可にあたり、各承認者が点検可能時期かどうかを確実にチェックできる仕組みが構築できていなかった。 ・ 「問いかける姿勢」が欠けており、組織としてのチェック機能も働かなかった。	
	・ 原子力安全に対し、組織や個人が持つべき習慣等に関して定期的を実施している教育に今回の事象を反映します。 → 「問いかける姿勢」が定着するよう繰り返し意識付け。

Q. 具体的にどのように保安規定の解釈を誤ったのか。

A. 「モード1、2、3、4、5、6および使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期との記載を「モード1、2、3、4、5、6の時期」および「使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期」と解釈したため、当該作業予定日はモード5であり、かつ使用済燃料ピットでの照射済燃料移動作業がないことから問題ないと判断しました。

図.第14回定期検査における点検工程



※保安規定で定めているプラントの運転状態に応じた区分

Q. 点検可能時期とは。

A. 原子炉容器内の燃料がすべて取り出され、かつ使用済燃料が使用済燃料ピットに保管されている状態（いわゆる燃料取り出し後）。

Q. これまでの定期検査では同様の事象はなかったのか。

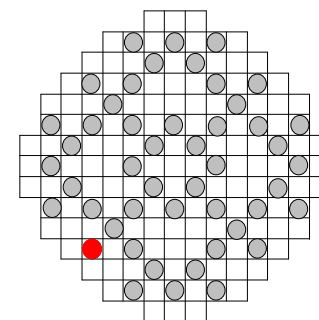
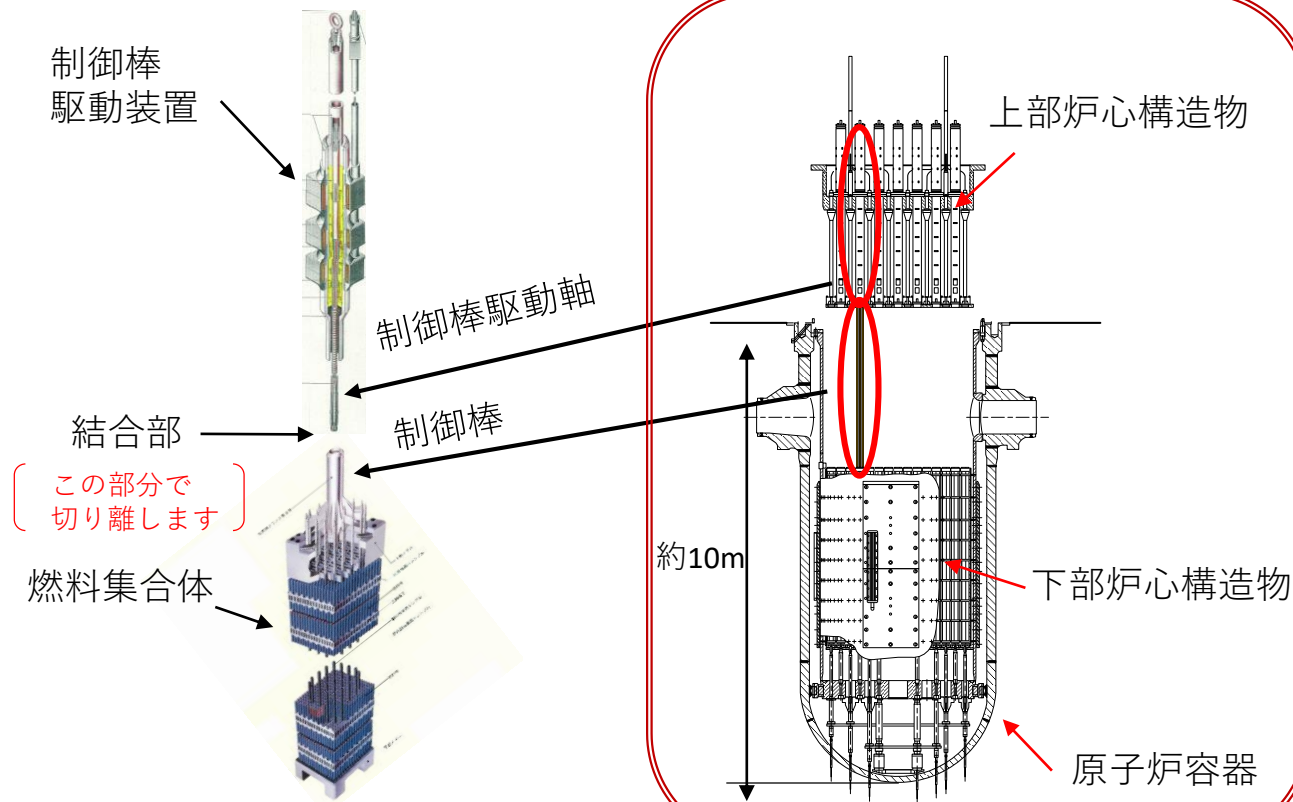
A. 過去（3号機第13回、14回）および今回の定期検査における同様な作業について、実施時期が適切であることを確認しています。平成28年に新規制基準を踏まえて保安規定を改正し、当該作業の実施可能時期を変更したことから、それより前（第13回定期検査より前）に同様の事象は発生しておりません。

(事象 2) 3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の
制御棒引き上がり [1月12日発生]

[1月12日発生]

トラブルの概要

燃料取出準備作業として、原子炉容器の上部炉心構造物※¹を吊り上げていたところ、本来切り離されているべき制御棒※² 48体のうち1体が、上部炉心構造物とともに引き上がりました。



●：制御棒位置

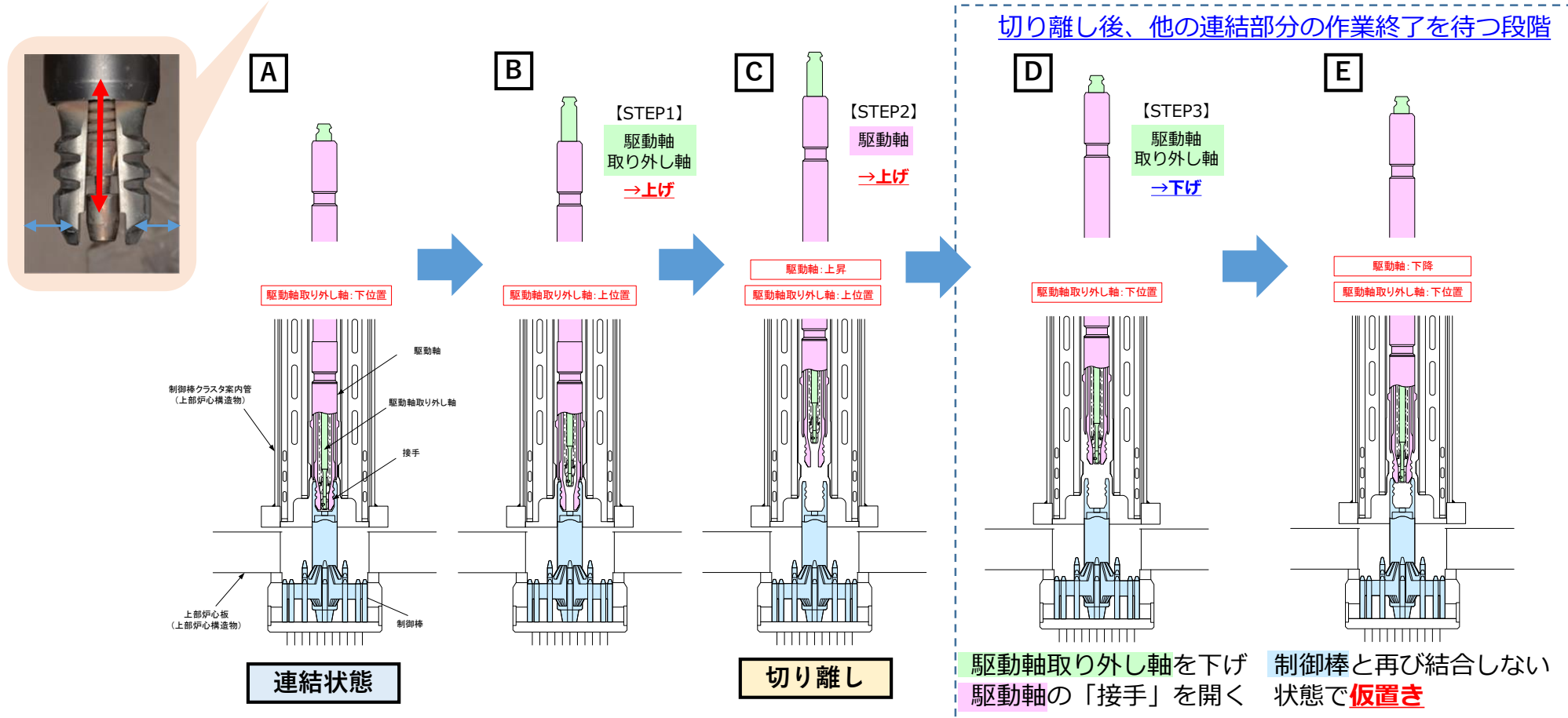
□：燃料集合体：157体

※¹ 上部炉心構造物とは、原子炉内上部から燃料を支える構造物。

※² 制御棒とは、原子炉内で起こっている核分裂連鎖反応を中性子吸収にて調節して制御し、原子炉の起動、出力変更、停止などの運転を行う棒状の装置。

～「制御棒の切り離し作業」について解説します～

- ・ 上部炉心構造物を吊り上げる前には、あらかじめ、連結されている「**制御棒駆動軸**」と「**制御棒**」を切り離す必要があります。
- ・ この連結部分は全部で48か所あり、1か所ずつ順番に連結状態を解除していきます。
- ・ 具体的には、「**制御棒駆動軸**」の内側にある「**駆動軸取り外し軸**」を引き上げることで**先端部分（＝接手）**を内側から**広げる力**がなくなり、解除が可能となります。

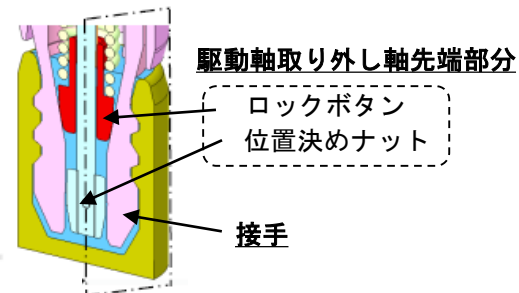
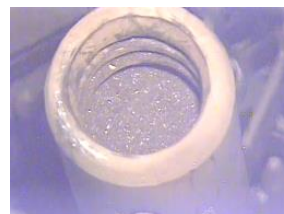


(事象2) 3号機 原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒引き上がり
[1月12日発生]

5

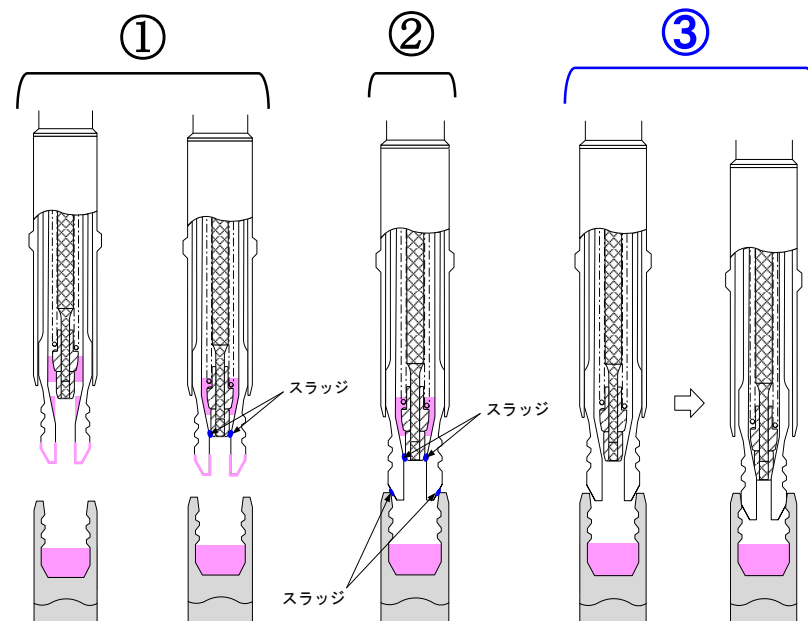
【原因】

- ・制御棒の頭部にあたるくぼみ部分に、配管や駆動軸の内面・表面にできた鉄の酸化物が堆積しているのを確認。



- ・駆動軸と制御棒の連結時、接手や駆動軸取り外し軸の先端部分にその堆積物（スラッジ）が付着。そのままの状態では切り離し作業を実施。

- ・制御棒切り離し後、仮置きのため接手を開こうとした際〔前ページのD〕、付着した堆積物の影響で駆動軸取り外し軸が本来の位置まで下がりきらなかった。
(→接手を完全に内側から押し広げることができなかった。) …①
- ・仮置き時、接手と制御棒頭部の間に堆積物が付着しており、不安定な状態だった。 …②



⇒ 工具取り外しの振動で堆積物が脱落。
駆動軸の先端が制御棒に沈み込み、
不完全な連結状態に至った。 …③

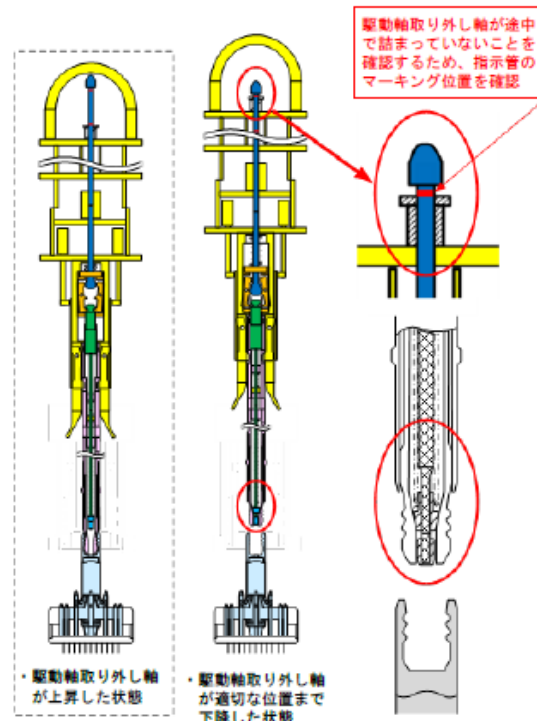
【 再発防止策 】

- ・ 駆動軸取り外し軸が本来の位置まで下がりきっていることを確認する手順を追加します。
[…図①]
- ・ 切り離し作業を行い駆動軸を制御棒の上に仮置きした後に、再度重量確認や位置計測を行うことにより、再連結していないことを確実に確認する手順を追加します。

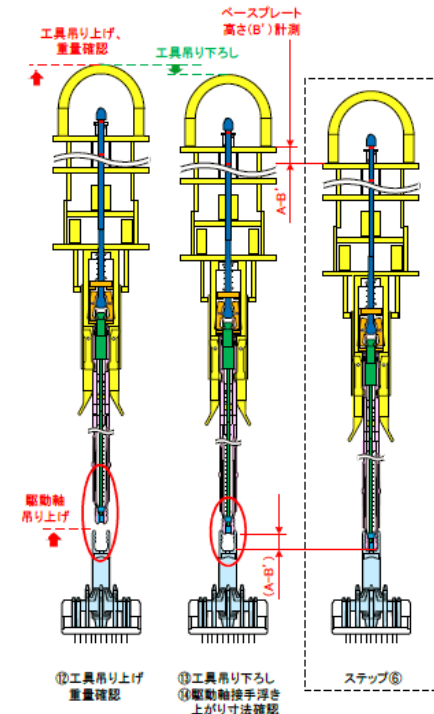
[…図②]

- ・ 定期検査ごとに制御棒頭部の状況を確認し、スラッジがたまっている場合は除去します。

〔図①〕 駆動軸取り外し軸の位置確認
～マーキング確認手順を追加～



〔図②〕 再連結していないことの確認
～「重量」と「位置」を基に～



Q. 制御棒を引き抜いた状態で数時間、何をしていたのか。

A. 制御棒や燃料集合体を損傷させないことが重要であるため、制御棒が抜けきっていないことや制御棒が正規の位置にあること、吊り下ろしのための作業手順などの必要な確認を実施していました。

Q. 堆積物があっても原子炉の運転に支障はないのか。

A. 従来から1次冷却系統内に存在するもので、原子炉施設の安全性に影響を与えるものではありません。運転中、水で満たされた駆動軸内部や1次冷却系統内で鉄の酸化物が発生し、それが堆積したものと考えています。

Q. 堆積物の除去はいつ実施するのか。またどのように除去するのか。

A. 毎回の定期検査で堆積物の有無を確認し、堆積物が確認されれば、除去します。堆積物については、仮設ポンプを用いて吸い取り、フィルタで回収した後、固体廃棄物処理設備で処理（ドラム缶に詰める）します。

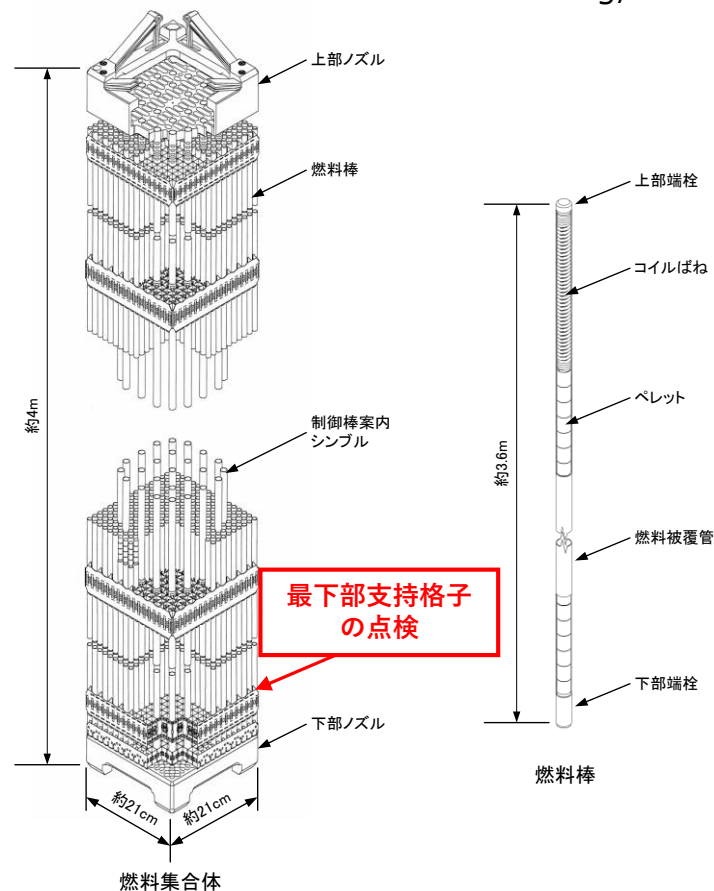
Q. 原子炉の安全上問題はなかったのか。

A. 燃料取り出し作業に備えて、原子炉容器内の一次冷却材ほう素濃度※を高めており、制御棒の有無にかかわらず、未臨界を維持することができ、安全上問題はありませんでした。

※ほう素濃度 4,553ppm（保安規定80条に係る制限値：4,400ppm以上）

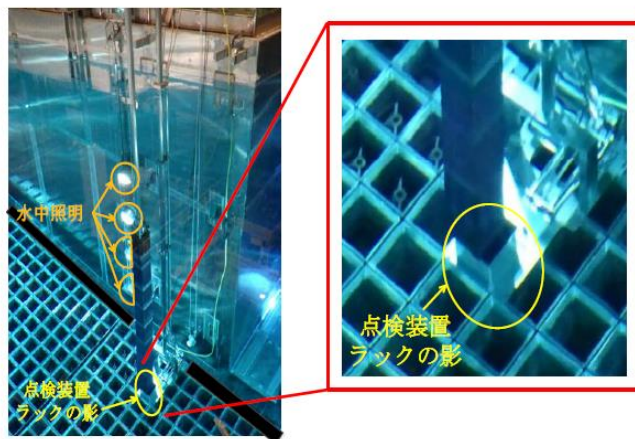
(事象 3) 3号機 燃料集合体落下信号の発信

[1月20日発生]



【原因】

- 点検装置ラックの開口部が小さく、難度が高い作業となっていた。



【再発防止策】

- 点検装置ラックの開口部を拡大します。

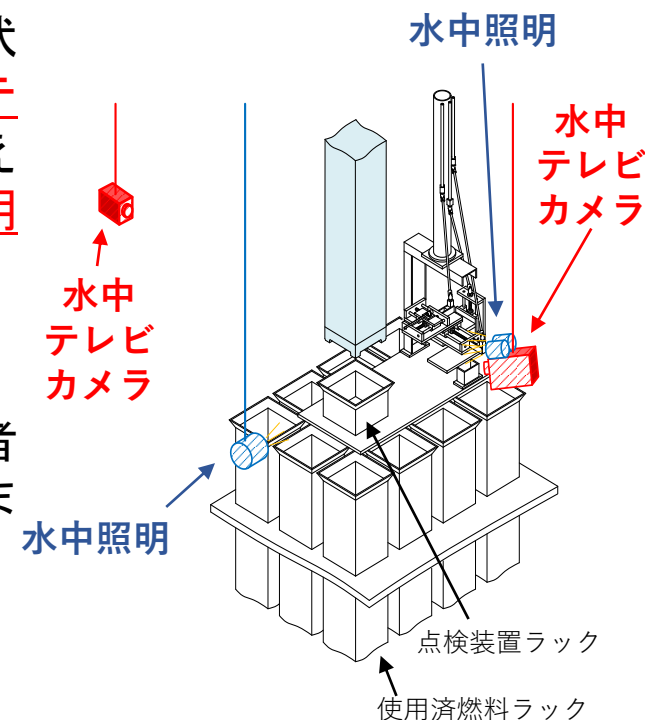


※燃料集合体の外寸は214mm

- 水中照明により点検装置ラックに影ができ、クレーン操作員から開口部が見えづらい状況となっていた。

- 本点検作業時には、作業状況を確認するための水中テレビカメラ、開口部を見えやすくするための水中照明を追加設置します。

- 燃料の挿入状況について、操作員に加えて作業責任者がダブルチェックを行います。



【原因】	【再発防止策】
燃料集合体が点検装置ラックと接触することなどにより荷重変動が生じた際の対応が明確ではなかった。 (本事象発生直前の作業時に荷重変動が発生していたが、注意喚起を行うなど積極的な対応をとらなかった。)	燃料集合体を点検装置ラックに挿入する際の注意事項として、点検装置ラックへの接触等により<u>荷重変動が生じた際には作業を中断し、追加措置の必要性等を確認</u>することを<u>作業要領書に追記</u>します。
本作業の困難さを操作員のみが認識し、作業員全体で共有できておらず、改善に繋がっていなかった。	今後、作業の難度を考慮し、作業員への聞き取り等に基づき適切な作業手順・作業環境とすることが作業要領書に反映されるよう、<u>社内規定を見直し</u>ます。

Q. なぜ当該燃料の最下部支持格子を点検する必要があったのか。

A. 過去に発生した燃料集合体からの放射性物質の漏えい事象を踏まえ、経済産業省からの指示で、同設計の燃料集合体を再び使用する場合に、漏えい個所と推定される最下部支持格子内の燃料棒の支持部と燃料棒の間に間隙等がないことの確認を行うこととしています。

Q. 影になり見え難い状況だったとのことだが、いつ分かったのか。

A. 事象発生後に実施した、関係者への聞き取り調査の中で分かりました。

Q. 荷重変動が生じた際の対応が明確でなかったことなど、作業員任せだったのではないか。

A. 本作業の困難さについて操作員のみが認識し、作業員全体で共有できていなかったため、関係者は本作業が難度の高い作業であることに気づくことができず、荷重変動が生じてクレーンが自動停止した場合の措置について、作業要領書には記載できていませんでした。今後、荷重変動が生じた際には作業を中断し、次に実施する操作手順や追加措置の必要性等を確認することを作業要領書に追記します。

Q. どういったときに自動停止したり落下信号が出たりする設定になっているのか。

A. $\pm 65\text{ kg}$ 以上の荷重変動を検知した場合に自動停止する設定としています。
落下信号は、燃料取扱作業中にクレーンの荷重が急減して 300 kg 以下になった場合に発信されます。

Q. 通常の使用済燃料ラックと点検装置ラックの違いは何か。

A. 点検装置ラックは、点検作業時に燃料集合体の揺れや回転を防止するために、使用済燃料ラックよりも小さめの寸法で設計しています。

(事象 4) 所内電源の一時的喪失 [1月25日発生]

トラブルの概要

伊方1、2号機の屋内開閉所※¹（管理区域外）において、保護装置※²が動作し、18万7千V送電線からの受電が停止しました。※³

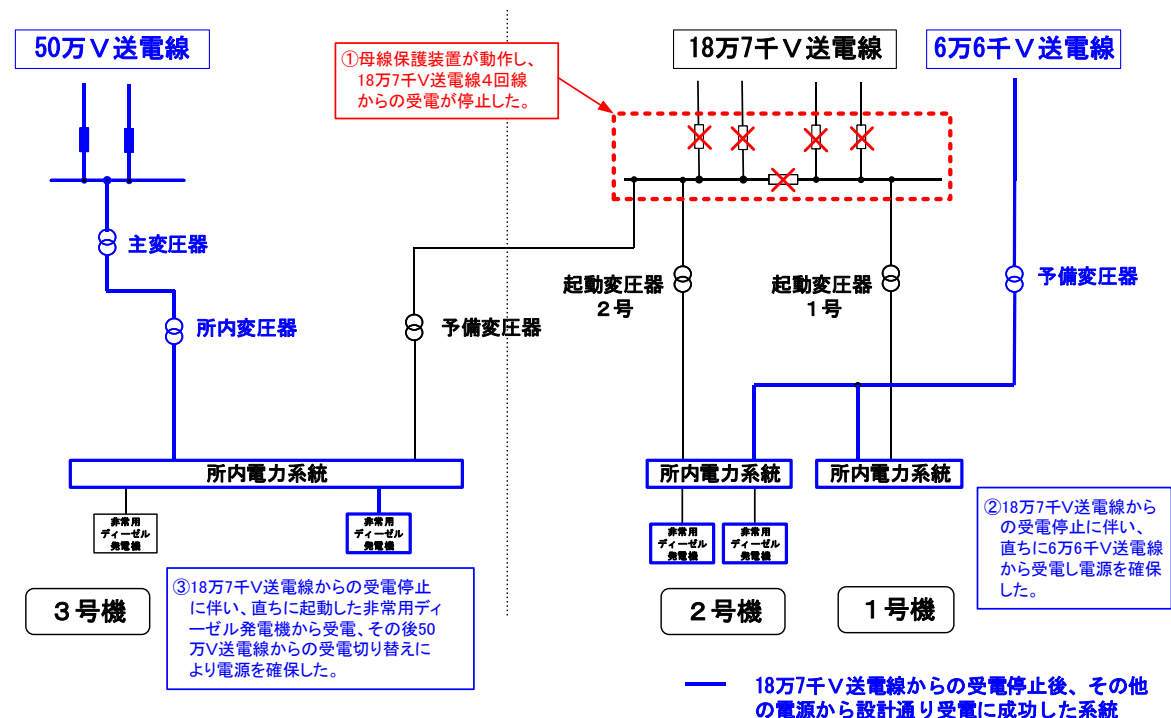
18万7千V送電線からの受電停止後、設計どおりただちに、1、2号機では6万6千V送電線からの受電に自動で切り替わり、3号機では非常用ディーゼル発電機が正常に起動し、その後50万V送電線への受電切替を実施しました。

※1 開閉所とは、送電線の電流を入り切りする施設。

※2 保護装置とは、過大な電流が流れた時に遮断する装置。

※3 調査の結果、18万7千V送電線4回線のうち1回線の電路の一部に設備故障があったことを確認。当該電路の切り離しを実施。

伊方発電所 所内電力系統図
(事故発生時)



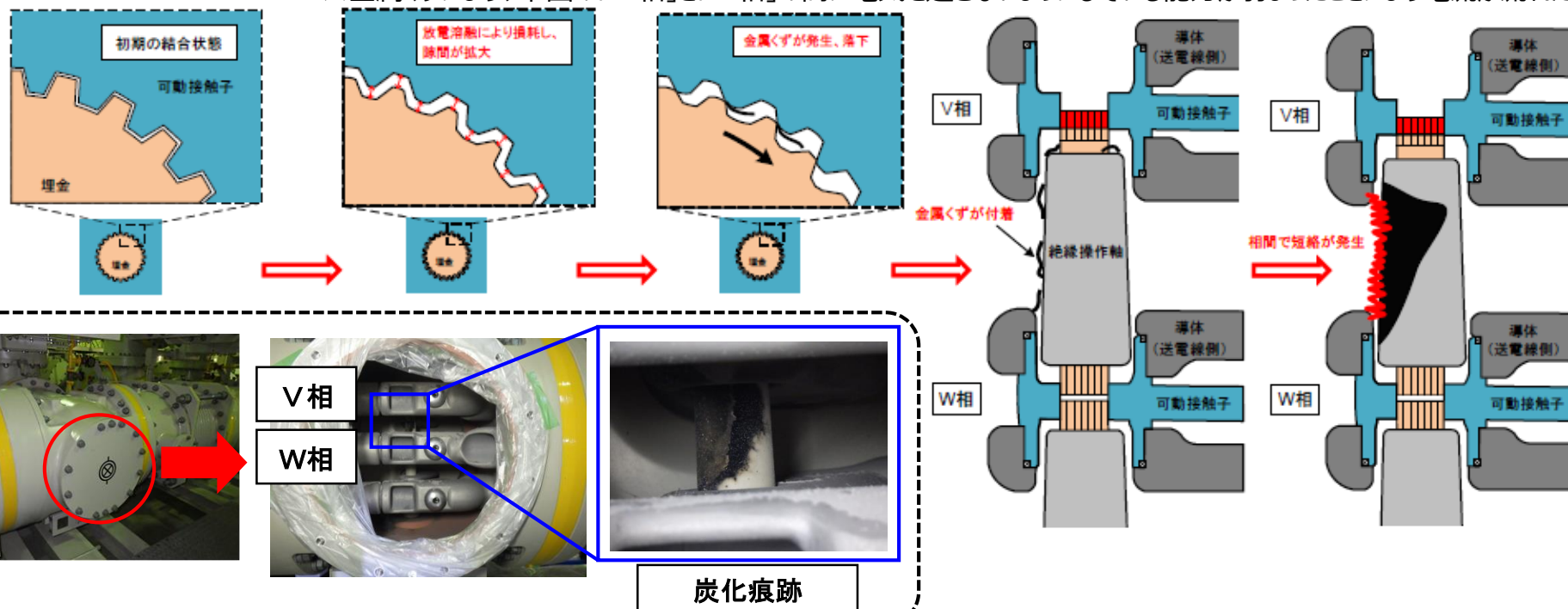
【原因】

・直接的な原因は、受電していた18万7千V送電線4回線のうち1回線の断路器※故障。

※電気回路を選択（切り替え）・区分（切り離し）するためのスイッチ

- 断路器内にある歯車状の部品が結合した部分に隙間が発生
- この隙間に起きた放電による熱で結合部が損耗し、更に隙間が拡大
- 断路器の開閉時に結合部の擦れが生じて金属くずが発生・落下
- 当該個所で短絡（ショート）が発生※したことで保護装置が動作 ⇒ **受電停止**

※金属くずにより、下図の「V相」と「W相」の間に電気を通さないようにしている能力が弱まったことにより電流が流れた



【 再発防止策 】

- ・ 故障した当該断路器の部品を新品に取り替えます。
- ・ その他の断路器についても、内部診断等により異常がないことを確認しました。更に、構造が異なる３号機の断路器についても同診断により異常がないことを確認しました。同一構造の断路器については、今後、計画的に内部を開放して点検を行うとともに、監視を強化します。

- ・ 本トラブルは、保護リレー※の試験を行うため、１～３号機全てへの電力供給を１８万７千Ｖの送電線から行っていた際に発生したものでした。

※電力系統で発生した地絡(漏電)や短絡(ショート)などの電気事故を検出し、事故が発生した個所を切り離す信号を発信する装置

今回の保護リレー試験の再開に際しては、一定の負荷をかける（電気を流す）必要がありますが、１～３号機の同時停電を防止するため、３号機は実際の回路には接続せず、模擬負荷を使用することにより必要な負荷を確保することとします。

Q. なぜ1、2、3号機とも18万7千Vから受電する必要があったのか。

A. 実際の電気系統を使用した試験（方向試験）のため、約7千kWに相当する電流が必要であり、1、2号機の所内負荷だけでは足りなかったためです。今後は、模擬負荷を使用することにより、必要な負荷を確保することとします。

Q. 模擬負荷とは。

A. 模擬負荷は、抵抗器を車両の荷台に載せて発電所構内に運び、試験対象機器に電氣的に接続して負荷として用いるものです。これまでも空冷式非常用発電機の負荷試運転のため、約2千kWの模擬負荷を使用した実績があります。

Q. 安全上、最初からなぜそのようにしなかったのか。

A. 模擬負荷の使用は、重くて長いケーブルの敷設作業が必要になることなど、作業環境上のリスクを伴うことから、当初は使用しませんでした。作業前ミーティングや危険予知活動の充実等、十分なリスク低減を図ることにより、1～3号機の同時停電を防止する観点からは、模擬負荷の使用は有効な手段となると考えております。

4 事象の直接原因と背後要因を踏まえた調査結果と改善策

4 事象の直接原因と背後要因を踏まえた調査結果と改善策

16

- ・ 4 事象の原因と再発防止策をもとにした、4 事象それぞれの直接要因に加え、さらに踏み込んだ分析を行うため、各事象の背後に存在する要因や社外からのご意見を踏まえた視点など、あらゆる観点から幅広く調査を実施した結果、以下 5 点の改善余地や不十分な点が確認されたことから、対応する改善策を策定しました。

(調査結果)

(改善策)

作業要領書の改善余地

- ・ 作業要領書の見直し(記載内容の充実等)について、幅広くほかの作業にも水平展開することで、不具合発生リスクを低減できる可能性があることを確認した。



作業要領書の充実

- ・ 作業要領書に改善余地があることから、3号機15回定期検査の全作業要領書(約1,100件)を総点検し、144件の要領書を対象に426か所の見直しを実施。
- ・ 新たに制定する作業要領書についても、同様の充実を図る。

作業計画の妥当性確認が不十分

- ・ 作業計画段階で点検時期を誤り、事象1が発生したことから定期検査における作業計画の妥当性確認が不十分であった。



作業計画段階におけるレビューの強化(新チームの設置)

- ・ 新チームを設置し、独立した立場から作業担当部門が策定した作業計画の妥当性を確認し、継続的な改善を図る。

軽微な気付きなどの収集・反映が不十分

- ・ 従来のシステムでは軽微な気付きや改善提案を活用できず、協力会社、外部機関等からの情報収集もできていなかった。



包括的な改善活動の実施

- ・ 幅広く軽微な気付きなどを収集するとともに、是正処置プログラムに入力し、この仕組みを確実に実施することで、包括的な改善活動を強力に推進する。

双方向コミュニケーションの改善余地

- ・ 今回実施した幹部と発電所員、関係会社等との意見交換では、モチベーションの低下は見られず、安全意識も高く維持されていることを確認。一方、仮処分決定や原子力の将来に関する不安などの意見も出された。



安全意識共有の実施

- ・ 今回実施した双方向のコミュニケーションは、不安払拭や安全意識の共有に有効であることから、今後とも幹部と発電所員、関係会社等との意見交換を実施するなど充実していく。

ノウハウなどの技術継承の改善余地

- ・ 発電所員および協力会社の技術力レベルは維持されているものの、一基運転となったことによる作業機会の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等により、これまで蓄積されたノウハウの維持が難しくなる懸念がある。



技術力・現場力の維持・向上

- ・ ノウハウなどの技術継承に改善余地があることから、教育訓練の機会を増やすとともに、ベテラン社員・作業員の経験や視点を踏まえ、作業要領書の記載内容を充実させていくことで、確実な技術継承を図る。

- Q. 震災以降の停止期間の長期化や、一基体制になったことで技術力が低下しているのではないか。
- A. 一基体制により現場作業の機会は減少傾向にありますが、教育訓練機会の増加や、ベテラン社員の技術・ノウハウを適切に継承する仕組みの構築、双方向のコミュニケーションの充実などにより技術力を維持してまいります。
- Q. 震災以降に追加された多くの規制要求や2度の敗訴により、発電所員のモチベーションが低下しているのではないか。
- A. 社長や原子力本部長が行った意見交換では、業務量の多さ、2度の敗訴や一基体制となったことによる将来への不安などが挙げられましたが、安定供給への気概や「トラブルは決して起こさないよう全力で取り組みたい」といった決意が聞かれるなど、発電所員にモチベーションの低下は見られず、安全意識も高く維持されていると考えています。
- Q. 幹部と発電所員・関係会社との意見交換は今後どのくらいの頻度で行っていくのか。
- A. 役員クラスと所員との意見交換は2か月に1回程度、発電所幹部と関係会社幹部との意見交換については、気づき事項や改善提案に耳を傾けるため四半期に1回程度開催します。
- Q. 定期検査はいつ再開するのか。
- A. 定期検査再開時期を申し上げる段階ではなく、まずは報告書の内容を公開会合等の場でしっかり説明していきたいと考えております。