

[原因と対策の報告の公表文（様式2）]

伊方発電所から通報連絡のあった異常に係る原因と対策の報告について(令和2年1月に連続して発生したトラブル)

R 2.8.3

原子力安全対策推進監

(内線2352)

1 四国電力(株)から、令和2年3月17日、同年1月に連続して発生したトラブルに係る原因と再発防止策の報告書の提出がありました。

県では、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会において、四国電力から報告された報告書の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性に加え、総括評価を踏まえた安全性の向上に向けた改善方策について、技術的・専門的見地から厳しく審議し、「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連続発生したトラブルに関する報告書」（別添1）を取りまとめ、7月29日、親会の伊方原子力発電所環境安全管理委員会から、「四国電力が取りまとめた原因と再発防止策は妥当であり、さらなる安全性向上のため、5項目の要請を求める」旨の報告を受けました。（別添2 [審議結果](#) 参照）。

県では、伊方原子力発電所環境安全管理委員会の報告を踏まえ、四国電力から提出された報告書を適当と判断した上で、安全管理委員会から要請を求められた5項目に、「県民の信頼回復」「安全性の不断の追求」を加えた7項目について、四国電力に要請しましたのでお知らせします。（別添3 [四国電力に対する要請文書](#) 参照）

[報告書の概要]

県の公表区分	異常事項	発生年月日	推定原因等	対策
B	<a href="#">中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱（3号機）</a>	2.1.6	別添1 <a href="#">「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連続発生したトラブルに関する報告書」</a> P3～P6参照	別添1 <a href="#">「伊方発電所3号機第15回定期検査中に連続発生したトラブルに関する報告書」</a> P6参照
A	<a href="#">原子炉容器上部炉心構造物吊り上げ時の制御棒引き抜き（3号機）※1</a>	2.1.12	<a href="#">同上</a> P9～P12参照	<a href="#">同上</a> P13参照
A	<a href="#">燃料集合体点検時の落下信号発信（3号機）</a>	2.1.20	<a href="#">同上</a> P16～P19参照	<a href="#">同上</a> P20参照
A	<a href="#">所内電源の一時的喪失（1, 2, 3号機 共用）※2</a>	2.1.25	<a href="#">同上</a> P22～P25参照	<a href="#">同上</a> P26参照
-	<a href="#">連続発生したトラブルの総括評価について※3</a>	-	<a href="#">同上</a> P29～P32参照	<a href="#">同上</a> P32～P34参照

[四国電力に対する要請項目]

1. 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施（※1 制御棒引き抜き関係）
2. 恒常的な対策による安全性の確保（※2 所内電源一時的喪失関係）

- |            |  |                              |
|------------|--|------------------------------|
| 3. 安全文化の醸成 | 4. 新チームの研鑽                                       | 5. 技術力の維持・向上（※3 総括評価関係（3～5）） |
| 6. 県民の信頼回復 | 7. 安全性の不断の追求（別添 <a href="#">四国電力に対する要請文書</a> 参照） |                              |

2 県としては、これまでに実施されている、作業計画の妥当性を検証する新チームの設置、断路器の取替・監視システムの導入、保安点検に係る作業要領書等の改訂等の再発防止策について、伊方発電所に職員を派遣し、確認しています。

また、今後実施される再発防止策や県からの要請事項の取り組み状況について、適宜、報告を求め、確認することとしています。

伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

令和 2 年 3 月  
四国電力株式会社





## 1. 件名

伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

## 2. 事象発生の日時

令和2年1月25日 15時44分（187kV母線保護継電装置動作）

## 3. 事象発生の設備

187kVガス絶縁開閉装置

（添付資料－1、2）

## 4. 事象発生時の運転状況

1号機 廃止措置中

2号機 平成30年5月23日 運転終了（第23回定期検査中）

3号機 第15回定期検査中

## 5. 事象発生の状況

1月25日15時44分、伊方発電所1、2号機の屋内開閉所（管理区域外）において、187kV母線連絡遮断器を動作させる保護継電装置（以下、「187kVブスタイ保護リレー」という。）の取替え終了後の確認作業で起動変圧器2号を系統切替えるため甲母線断路器を操作しようとしたところ、何ら操作していない状態で、187kV母線保護継電装置（以下、「187kV母線保護リレー」という。）が動作し、乙母線に接続されている187kV送電線4回線すべての遮断器が開放して受電が停止した。

このため、1、2号機は直ちに66kVの予備系統から受電した。また、3号機は直ちに起動した非常用ディーゼル発電機から受電し、その後、500kV送電線からの受電に切替えた。これにより、1～3号機ともに外部からの受電は復旧した。

その後の状況調査の結果、187kV送電線4回線のうち、1回線から受電する回路の一部に設備故障があることを確認した。このため、当該回路の切り離しを実施し、1月27日17時13分、当該回路を含む1回線を除く3回線から受電して、187kV送電線からの所内電源を確保した。これにより、本事象に伴い受電できなくなった4回線のうち3回線が回復した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料－3）

## 6. 事象の時系列

1月 6日

6時54分 3号機について、保安規定第88条第3項に定める保全計画等に基づき定期的に行う点検、保守として、保安規定第72条の3外部電源を運転上の制限外へ移行

1月23日～1月25日 (予定)

187kVブスタイ保護リレー試験

1月25日

15時39分 187kV送電線切替え作業開始

15時44分 187kV母線保護リレーが動作し187kV送電線4回線からの受電停止

1、2号機は予備変圧器より受電

2号機非常用ディーゼル発電機2A、2B起動 (無負荷運転)

3号機非常用ディーゼル発電機3B起動 (3Aは点検中)、非常用高圧母線3Dに給電

15時51分 3号機非常用高圧母線3Cを外部電源 (500kV送電線) より受電

16時04分 2号機非常用ディーゼル発電機2A、2B停止

16時11分 3号機非常用高圧母線3Dを非常用ディーゼル発電機3Bから外部電源 (500kV送電線) に切替え

16時25分 3号機非常用ディーゼル発電機3B停止

22時40分 伊方南幹線1号線を187kV乙母線に接続する断路器を含むユニットで異常が発生したことを確認

1月27日

14時00分 187kV甲母線試充電作業開始

16時09分 187kV甲母線試充電作業終了

16時22分 3号機予備変圧器が受電の状態に復帰 (187kV送電線からも受電できる待機状態へ)

保安規定第72条の3外部電源を運転上の制限外から復帰

16時56分 1、2号機予備変圧器から起動変圧器への受電に切替え開始 (66kV送電線から187kV送電線に受電を切替え)

17時13分 187kV送電線3回線が受電後、1、2号機予備変圧器から起動変圧器への受電に切替え終了

## 7. 発電用原子炉施設への影響

本事象に伴う発電用原子炉施設への影響について、電源確保状況、燃料の冷却状況およびその他設備の状況について、異常がないことを確認した。

(添付資料－4)

## 8. 環境への影響

放射線モニタの記録より、本事象に伴う外部への放射能の影響はなかったことを確認した。

## 9. 作業状況

本事象に至るまでの関係箇所の作業状況として、中央給電指令所、伊方発電所の運転担当部署および保守担当部署の関連作業について、電源系統の状況、作業内容および手順について問題ないことを確認した。

### (1) 電源系統の状況

当該試験に伴う電源系統構成については、方向試験のための制約があるなかで、各号機に必要な非常用ディーゼル発電機および空冷式非常用発電装置ならびに外部電源（500kV送電線、66kV送電線および亀浦配電線）を確保しており、外部電源（187kV送電線）系統の事故に対して電源の多様性を確保していた。

(添付資料－5)

### (2) 作業内容および手順

当該試験に伴う電源系統切替え作業については、「四国電力株式会社 系統運用指針」等の社内規定に従い、関係箇所で協議の上、作業計画を策定し、一指令ごとに一操作を行い、その都度確認を行う操作指令により、適切に実施していた。

(添付資料－6)

## 10. 状況調査結果

本事象では、187kV母線保護リレーが動作し、187kV送電線4回線からの受電が停止したことから、状況調査を実施した。

### (1) 自動オシロ装置の測定結果

事象発生時の自動オシロ装置によって測定された187kV送電線の電圧および電流の波形を確認したところ、V相－W相間の二相短絡から二相地絡を経て三相地絡に至ったものと推定した。

(添付資料－7)

(2) ガス分析等の調査結果

187kVガス絶縁開閉装置内のガス分析を行ったところ、伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットにおいて、短絡および地絡の際に発生するガスの存在を確認した。それ以外の箇所について異常はなかった。

187kVガス絶縁開閉装置内のガス圧力を確認したところ、異常はなかった。

なお、伊方南幹線1号線乙母線断路器は、今回の定期検査における点検対象ではない。

(添付資料-8)

(3) 健全性確認結果

187kV甲、乙母線について、主回路の対地間および相間の絶縁抵抗を測定したところ、異常はなかった。

187kV送電線3回線(伊方北幹線1、2号線、伊方南幹線2号線)から187kV甲母線を順次試充電し、部分放電診断およびセンサによる内部異物の確認診断を実施したところ、異常はなかった。

(添付資料-9)

(4) 内部調査結果

a. 現地確認結果

ガス分析の結果、地絡の発生を推定した伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットのガス絶縁開閉装置を現地にて開放し、内部調査した結果、タンク内に分解ガスによるフッ素化合物(白粉)が堆積しており、断路器のV相-W相間絶縁操作軸に黒色の炭化痕跡を確認したことから、当該箇所で相間短絡が発生したと推定した。また、V相可動接触子がW相およびU相と不整合の位置であることを確認した。

b. 工場確認結果

現地確認結果を踏まえてメーカー工場にて、当該断路器を分解し内部調査を実施した結果、以下の状況を確認した。

- ・V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部に損耗を確認した。
- ・当該部位以外には、放電に伴うフッ素化合物の堆積や放電痕以外の異常はなかった。

(添付資料-10)

(5) 製造、点検履歴等調査結果

187kVガス絶縁開閉装置は、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)の優れた絶縁性能により、極間、相間および対地間距離が大幅に縮小されているとともに、機器の合理的な配置により従来形ガス絶縁開閉装置に比べ、さらに縮小を図った装置であり、導電部、絶縁部、接触部等がすべてガス中に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性の高い装置となっている。

る。

断路器ユニットの点検については、メーカー推奨に基づき定期的に開閉試験、絶縁抵抗測定、機構部の注油等を実施している。また、断路器ユニット内部については、長期的な劣化が無いことから開放点検、部分放電診断等についてはこれまで実施していない。

上記の設計および保守管理を実施している一方で、本事象が発生したことを踏まえて当該断路器に係る製造履歴、点検履歴および運転履歴について、記録等を確認した。

製造履歴については、製造時の試験記録より、電気規格調査会標準規格（以下、「JEC」という。）に基づく試験の判定基準を満足していること、点検履歴については、保全計画に従って、計画通り保守点検を実施していること、運転履歴については、メーカー動作確認回数である10,000回を十分に下回る使用状況であることを確認した。

（添付資料－11）

## （6）類似事例調査結果

国内類似事例として、原子力施設情報公開ライブラリー（ニューシア）登録情報から、「ガス絶縁開閉装置」、「断路器」および「外部電源喪失（信号発信含む）に伴うディーゼル発電機起動」に係る件名から、「トラブル情報」および「保全品質情報」を抽出した結果、本事象と同様に断路器の相間短絡に起因する類似事例はないことを確認した。

また、原子力施設以外の施設については、伊方発電所の187kVガス絶縁開閉装置のメーカーに確認した結果、同一構造の断路器における類似事例はないことを確認した。

（添付資料－12）

## 1.1. 詳細調査結果

「1.0. 状況調査結果」から本事象に至った相間短絡を発生させる要因について、要因分析図を作成し、これに基づき詳細調査を実施した。

（添付資料－13）

### （1）絶縁操作軸相間短絡に係る詳細調査

V相－W相間絶縁操作軸相間短絡を発生させた要因となる「電界異常」、「絶縁性能異常」の2つの因子について、要因分析を実施した。

その結果、「電界異常」の要因となる「電界設計不良」、「製造不良」、「変形・損傷」、「異常電圧の侵入」については、製造時の試験、運転記録等により、異常は認められなかった。また、「絶縁性能異常」の要因となる「絶縁設計不良」、「絶縁材料不良」、「SF<sub>6</sub>ガス異常」についても、製造時の試験記録、分析結果等により、異常は認められなかった。

一方、「電界異常」、「絶縁性能異常」の共通因子である「異物の付着」については、以下の状況から、V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部損

耗により発生した異物の付着が要因となって相間短絡が発生した可能性があることを確認した。

- ・ V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部に損耗および嵌合部の山頂部付近に、機械的な衝撃で発生する擦過痕を確認した。
- ・ 断路器ユニット内部より採取した異物を確認した結果、放電に伴い発生する溶融金属以外の箔状の金属（最大で約4 mm）を採取した。成分分析した結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。
- ・ 相間短絡が発生したV相－W相間絶縁操作軸の表面汚損分析をした結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。

## （2）絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部損耗に係る詳細調査

「（1）絶縁操作軸相間短絡に係る詳細調査」において、異物発生の可能性を確認したV相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部損耗の要因となる「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。

その結果、「機械的な摩耗」の要因となる「設計強度不足」、「製造不良による強度不足」、「組立不良による強度不足」、「操作装置（電動機）からの過大応力」については、製造時の試験記録、材料分析結果等により、異常は認められなかった。また、「熱による溶損」の要因となる「嵌合部周辺からの熱影響」については、外観確認および製造履歴調査結果から、嵌合部周辺に異常な発熱はなかったことを確認した。

一方、「ギャップ放電の発熱」が要因となって、V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部損耗（溶損）が発生した可能性があることを確認した。調査の詳細を以下に示す。

### a. 機械的な摩耗

#### （a）設計強度の確認

##### i. 工場試験報告書確認

当該断路器は、JECに基づく、1,000回の連続開閉試験を実施し、合格していることを確認した。

また、メーカーとして自主的に、10,000回の開閉試験を実施し、合格していることを確認した。

##### ii. 設計強度評価

当該断路器の可動接触子および絶縁操作軸の埋金の嵌合部について、最大公差での隙間および実嵌合長さにおける、通常動作時および拘束時の荷重に対して、十分な設計強度を有していることを確認した。

#### （b）製造状態の確認

##### i. 製造履歴確認

製造履歴調査結果から、製造状態に異常は認められなかった。

ii. 材料分析

絶縁操作軸の上部埋金および可動接触子の材料分析を行い、設計通りの材料が使われていることを確認した。

iii. 硬度測定

硬度測定の結果、規格値以上であることを確認した。

iv. 寸法測定

寸法測定の結果から、異常は認められなかった。

(c) 組立状態の確認

i. 製造履歴確認

製造履歴調査結果から、組立状態の異常は認められなかった。

ii. 外観確認

外観を確認した結果、組立状態の異常は認められなかった。

(d) 操作装置（電動機）からの応力確認

i. 製造履歴確認

製造時の試験記録より、開閉特性に異常は見られないことを確認した。

ii. 開閉操作状況確認

当該断路器について、事象発生までの開閉操作履歴より、操作装置のモータ過電流警報発生などの異常履歴がないことを確認した。

iii. 操作装置特性確認

事象発生後の詳細調査において、開閉時間および操作電流が管理値内であること、製造時から有意な差がないことを確認した。

b. 熱による溶損

(a) 嵌合部周辺からの熱影響の確認

i. 外観確認

寸法測定の結果から、嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24箇所）を含め、均一に損耗しており、山径、谷径ともに健全部より小さくなっていることを確認した。一方、嵌合部に熱影響を与えると考えられる近隣部位には、異常はなかった。

ii. 表面観察

V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部について、電子顕微鏡（SEM）による表面観察を行ったところ、熱による金属溶融の様相を確認した。

iii. 製造履歴確認

製造履歴調査結果から、主回路抵抗値は管理値内であったことから、嵌合部付近で通電による異常な発熱はないことを確認した。

(b) ギャップ放電による発熱の確認

以下の状況から、ギャップ放電の発熱が要因となって、V相-W相間絶縁操作軸とV相可動接触子の嵌合部損耗（溶損）が発生した可能性があることを確

認した。

- ・当該嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24箇所）を含め均一に損耗しており、山径、谷径ともに健全部より小さくなっていることを確認した。
- ・電子顕微鏡（SEM）にて損耗部の金属表面を確認した結果、熱影響により表面が溶融していることを確認した。
- ・当該嵌合部の構造上のクリアランスにより絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の非接触状態が発生することを確認した。
- ・当該嵌合部で絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の非接触状態が継続することで放電が発生することを実証試験にて確認した。

調査の詳細は以下に示す。

#### i. 嵌合部の非接触状態継続確認

設計上、嵌合部をセレクション構造としていることから、動作開始直後と動作停止直前は絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の嵌合部が瞬間的に非接触となる場合があるが、瞬間的な非接触では放電は発生しない。動作停止後に非接触状態が継続した場合、嵌合部の隙間で放電現象が発生する可能性があることから、当該断路器と同型式の断路器を用いて、絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の非接触状態の継続有無について確認した。

##### (i) 操作装置による非接触状態継続有無の確認（通常）

運転時同様の操作装置を用いて絶縁操作軸および可動接触子を動作させ、非接触状態の継続有無を確認する試験を1,000回実施した。試験の結果、以下に示す挙動となることを確認した。動作中は瞬間的な非接触状態が発生するが、1ms程度の瞬間的な非接触状態であることから、放電が発生することはない。

- ・絶縁操作軸の下側の嵌合部は、構造上、可動接触子が絶縁操作軸の荷重を支えていることから常に接触状態となる。このため、動作中の瞬間的な非接触状態については、各絶縁操作軸の上側の嵌合部で発生し、下側の嵌合部においては発生しない。また、同様に絶縁操作軸の荷重を可動接触子が支える（絶縁操作軸が水平方向に配置される）構造となる断路器については、非接触状態は発生しない。
- ・動作開始直後は、絶縁操作軸のみが動き出し、停止時に接していた面と逆の面に当たるまでの瞬間は、面での接触がなくなることから、各絶縁操作軸の上側の嵌合部において瞬間的な非接触状態が発生する可能性がある。
- ・開放動作時は、停止直前に絶縁操作軸の速度が徐々に低下するのに対して、可動接触子は慣性によって速度低下が遅れるため、各絶縁操作軸の上側の嵌合部の面が離れ、瞬間的な非接触が発生する。一方、投入動作



時は、停止直前に可動接触子が固定接触子と嵌合するため、可動接触子は固定接触子から反力を受け、絶縁操作軸はねじりひずみによる回転力が加わることから、絶縁操作軸の埋金と可動接触子が接触した状態で停止する

- ・前述した非接触状態はすべて瞬間的なものであり、停止後は継続しない。
- ・W相可動接触子はV相-W相間絶縁操作軸の荷重を受け、U相可動接触子はW相-U相間絶縁操作軸の荷重を受けるのに対して、V相可動接触子は、上部から絶縁操作軸の荷重がかからないことから摩擦力が小さい。このためV相-W相間絶縁操作軸の上部埋金については、他部に比べて非接触状態となる可能性がある。

## (ii) 操作装置による非接触状態継続有無の確認（摩擦力調整）

「(i) 操作装置による非接触状態継続有無の確認（通常）」のとおり、摩擦力の違いによって非接触状態となる頻度が異なることから、可動接触子と導体間の摩擦力を小さくして非接触状態の有無を確認する試験を1,500回実施した。摩擦力の調整は、可動接触子と導体間に塗布するグリスの量を調整することによって行った。試験の結果、以下の挙動を確認した。

- ・V相-W相間絶縁操作軸の上側の嵌合部は、動作停止直前に非接触状態となる回数が増えることを確認し、動作停止後にも瞬間的に非接触状態となる状況を確認した。
- ・その他の嵌合部の挙動については、変化がなかった。

動作停止後の継続的な非接触状態はなかったが、停止後に瞬間的であっても非接触状態が発生することがあった。これは、V相可動接触子の摩擦力が減ったことにより、停止直前に可動接触子がチャタリングし、停止後まで継続することによるものと推定した。

## (iii) 手動による非接触状態継続有無の確認

「(ii) 操作装置による非接触状態有無の確認（摩擦力調整）」の結果、摩擦力を小さくすることによって可動接触子が停止後もチャタリングする場合があることを確認したが、操作装置の停止後も非接触状態が継続することは確認できなかった。

このため、開放位置から手動で絶縁操作軸または可動接触子を微調整したところ、非接触状態が継続することを確認した。

以上のことから、可動接触子の摩擦力が小さく、停止時にチャタリングするよう場合は、停止後も非接触状態が継続する可能性があることを確認した。

## ii. 嵌合部の放電有無の確認

絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部を「i. (iii) 手動による非接触状態継続有無の確認」と同様の方法で非接触状態とした後に、主回路に187 kVを30分間連続的に印加した結果、放電（部分放電）が連続的に発生することを確認した。また、試験後、解体して絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部を確認した結果、一部に白色化（フッ素化合物の付着）した様相を確認した。

本試験の結果から、嵌合部の部分放電の有無は、部分放電診断によって検知できるレベルであることを確認した。また、部分放電によって嵌合部が損耗している場合は、フッ素化合物が落下することから、開放点検時にフッ素化合物の有無を確認することが有用であることが分かった。

## iii. 放電による溶融時間計算

絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部に放電が継続した場合に、今回の事象と同等の損耗にかかる時間を解析した結果、200日程度であることを確認した。また、当該断路器の運転履歴を確認したところ至近に1年以上継続して開放状態となっている実績を確認した。

(添付資料－14)

## 12. 断路器内部確認結果

系統状態を変えずに点検可能な断路器3台について、現地で開放し内部確認を実施した。

以下に示すとおり、内部確認の結果、異常は認められなかった。

### (1) 対象断路器

- ・主変圧器1号乙母線断路器
- ・起動変圧器1号乙母線断路器
- ・伊方南幹線1号線線路側断路器

### (2) 確認結果

- ・外観確認の結果、V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部に放電痕跡および損耗は認められなかった。また、導体表面やタンク底部等に放電に伴うフッ素化合物やその他異物の存在は認められなかった。
- ・V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子とは接触状態（テスターで導通を確認）であることを確認した。

(添付資料－15)

### 1.3. 試験用系統構成、手順等の評価

本事象を踏まえて、今回の試験用系統構成、手順等の評価および更なるリスク低減に係る検討を実施した。

#### (1) 今回の試験用系統構成、手順等の評価

187kVブスタイ保護リレーの方向試験の計画にあたっては、「送電系統（原子力部門、系統運用部門）」、「所内系統（原子力部門の発電所内関係箇所）」についての検討を実施しており、その検討内容について評価した。

その結果、今回の方向試験の計画にあたっては、関係部門において必要な系統構成の立案を行うとともに、原子力安全に係るリスクを最小化するために実施時期の選定、天候条件の考慮などのリスクの特定、分析評価を行い、試験中止条件の設定、万が一のトラブルに対する外部電源、非常用電源の電源確保対策など、リスクを緩和するための必要な措置を講じていた。

#### (2) 更なるリスク低減に係る検討

今回、1、2、3号機の所内負荷が数秒間同時に停電したことから、他の作業手順の可能性を踏まえ、原子力安全に係るリスクを更に低減するため、3号機所内負荷の切替え時期及び試験用負荷の使用について、更なる検討を実施した。

また、過去の同様な試験についても試験系統内の事故発生時の影響について同様に評価を実施した。

その結果、3号機の所内負荷切替時期は、187kV片母線接続前後のいずれにおいても、機器故障発生確率の観点では有意な差はなく、故障発生時の影響度の観点でも、故障の発生箇所によっては、それぞれ一長一短あり、一概にどちらが有用とは言えない。

さらに、試験用負荷について、仮設備（模擬負荷）の使用を検討した結果、ケーブル敷設・接続作業等に伴う電気事故・作業安全上のリスクを伴うものの、TBM（作業前のミーティング）－KY（危険予知）の充実等によるリスク低減を図ることにより、有効な手段のひとつである。

今回の187kVブスタイ保護リレーの方向試験において、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を試験系統構成から切り離すことで、1、2、3号機の所内負荷が同時に停電することはなかった。

1、2、3号機の所内負荷の同時停電を回避する手段の検討など、過去の実績にとられることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、より幅広い観点から、特定、分析評価することが重要である。

#### (3) 今後の対応

1、2、3号機の所内負荷が数秒間同時に停電したことを踏まえ、今回の187kVブスタイ保護リレーの試験再開に際して、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成（模擬負荷を使用）にて実施する。

また、187kVブスタイ保護リレー等の方向試験を実施する場合、最適な試験系統構成、負荷の状況は、各プラント状態に大きく依存することから、過去の方向試験の状況と必ずしも同じとは限らない。

従って、原子力安全に係るリスクについて、試験の都度、過去の実績にとらわれることなく、より幅広い観点から、特定、分析評価することが重要である。

今後実施する保護リレーの方向試験においては、試験計画段階の都度、今回の再分析・評価を踏まえた検討を実施することとする。また、必要に応じ、確率論的リスク評価等、その他のリスク情報を活用するとともに、関係する主任技術者も含めた意思決定を行うこととする。

なお、現在当社では、発電所のマネジメントに対し、今回の事例のようにリスク情報を活用した意思決定を導入するための活動を推進している。

(添付資料－16)

#### 1 4. 推定原因

「1 1. 詳細調査結果」および「1 2. 断路器内部確認結果」から本事象に至った相間短絡を発生させる要因分析を実施した結果、以下のメカニズムにより本事象に至ったものと推定した。

- ・ V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部において、構造上のクリアランスによる非接触状態が継続した。
- ・ 非接触状態となったV相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部において放電が発生し、嵌合部の隙間が拡大した。
- ・ 嵌合厚さが薄くなったことから、動作時に嵌合部の擦れによって金属くずが発生した。
- ・ 発生した金属くずが落下し、V相－W相間絶縁操作軸または導体表面に付着、高電界部に付着した金属くずを起点にV相－W相間で短絡が発生した。

(添付資料－1 7)

## 15. 対策

「14. 推定原因」を踏まえて、伊方南幹線1号線乙母線断路器の相間短絡事象に対する伊方発電所における対策および他の断路器に対する対策を以下のとおり実施する。

- ・当該断路器（1台）の絶縁操作軸、可動接触子等の損傷（溶損）した部品については、新品に取替える。なお、187kVガス絶縁開閉装置のすべての断路器については、ギャップ放電の発熱による溶融が進展していないことを、内部ガス分析、部分放電診断および内部異物診断により確認した。さらに、構造が異なる3号機のガス絶縁開閉装置（500kV、187kV）の断路器についても、部分放電診断および内部異物診断を行い、異常がないことを確認した。
- ・本事象を踏まえ、同一構造および使用状態が同じ断路器（13台）については、計画的に断路器の内部開放点検を行い異常がないことを確認する。
- ・当該断路器（1台）ならびに同一構造および使用状態が同じ断路器（13台）について、今後も引き続き部分放電診断、内部異物診断を定期的に変更し状態監視を強化する。断路器については、恒常的な対策について検討していく。

さらに、「13. 試験用系統構成、手順等の評価」を踏まえて、1、2、3号機の電源が数秒間同時に停電したことから、今回の187kVブスタイ保護リレーの試験再開に際しては、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成（模擬負荷を使用）にて実施する。また、今後実施する保護リレーの方向試験においては、リスク低減に係る取り組みを実施する。

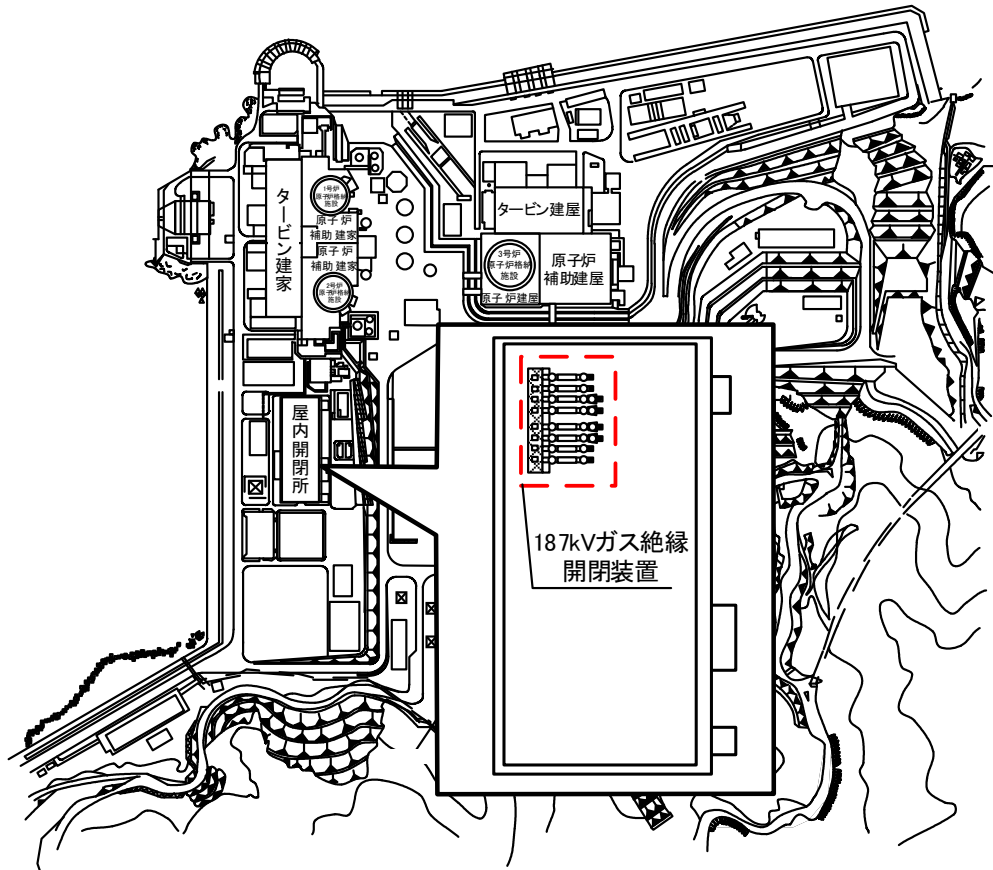
（添付資料－18）

以 上

## 添 付 資 料

添付資料－ 1	事象発生場所	16
添付資料－ 2	事象発生設備	17
添付資料－ 3	事象概要	20
添付資料－ 4	発電用原子炉施設への影響	22
添付資料－ 5	電源系統の状況	29
添付資料－ 6	作業内容および手順	31
添付資料－ 7	自動オシロ装置の測定結果	32
添付資料－ 8	ガス分析等の調査結果	33
添付資料－ 9	健全性確認結果	35
添付資料－ 1 0	内部調査結果	36
添付資料－ 1 1	製造、点検履歴等調査結果	41
添付資料－ 1 2	類似事例調査結果	43
添付資料－ 1 3	要因分析図	44
添付資料－ 1 4	詳細調査結果	46
添付資料－ 1 5	断路器内部確認結果	70
添付資料－ 1 6	試験用系統構成、手順等の評価	72
添付資料－ 1 7	推定メカニズム	86
添付資料－ 1 8	対策要否検討結果および対策内容	87
参考資料	用語解説	91

事象発生場所





## 事象発生設備

表 1 ガス絶縁開閉装置の仕様

定 格 電 圧	204kV
定 格 電 流	1200A (変圧器ユニット) 2000A (送電線ユニット)
定 格 短 時 間 耐 電 流	31.5kA
定 格 周 波 数	60Hz
定 格 ガ ス 圧 力 ( 2 0 ℃ )	0.6MPa

表 2 断路器の仕様

定 格 電 圧	204kV
定 格 電 流	1200A (変圧器ユニット) 2000A (送電線ユニット)
定 格 短 時 間 耐 電 流	31.5kA
定 格 周 波 数	60Hz
定 格 ガ ス 圧 力 ( 2 0 ℃ )	0.6MPa

表 3 ガス絶縁開閉装置の設置時期

設 置 時 期	平成 1 6 年度
---------	-----------

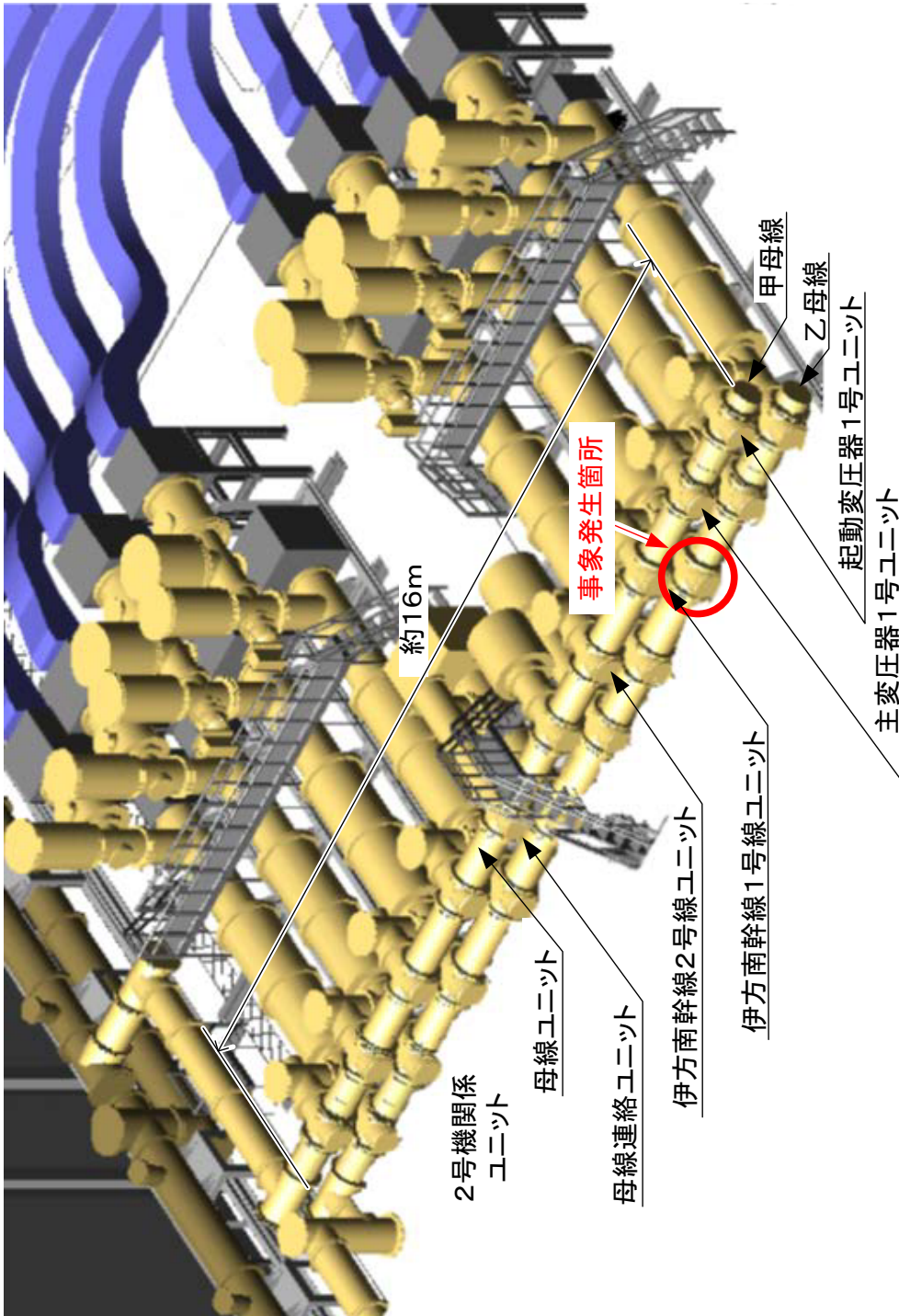


図1 187 kVガス絶縁開閉装置全体概要図

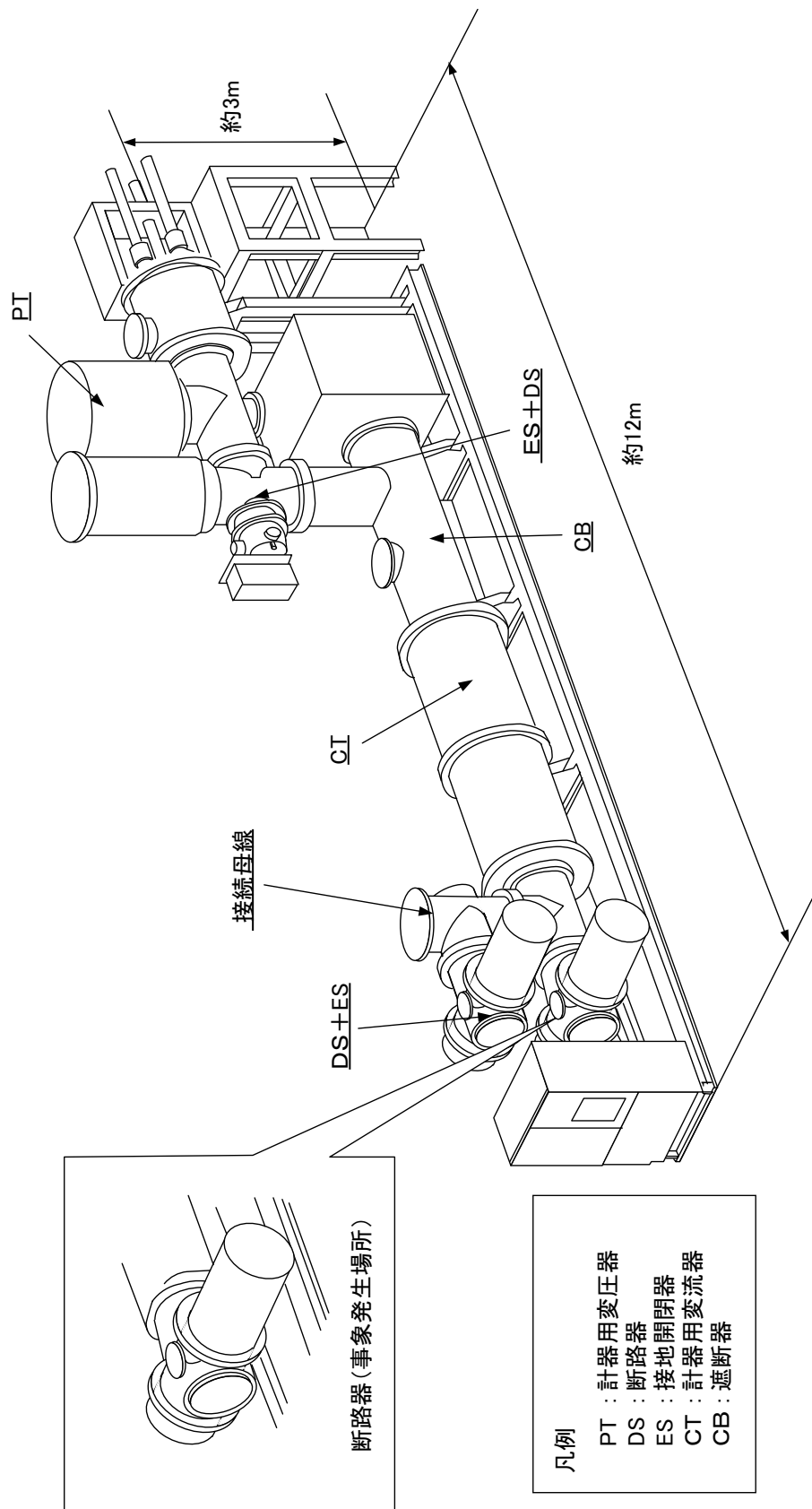


図2 ガス絶縁開閉装置概要図(送電線ユニット)

事象概要

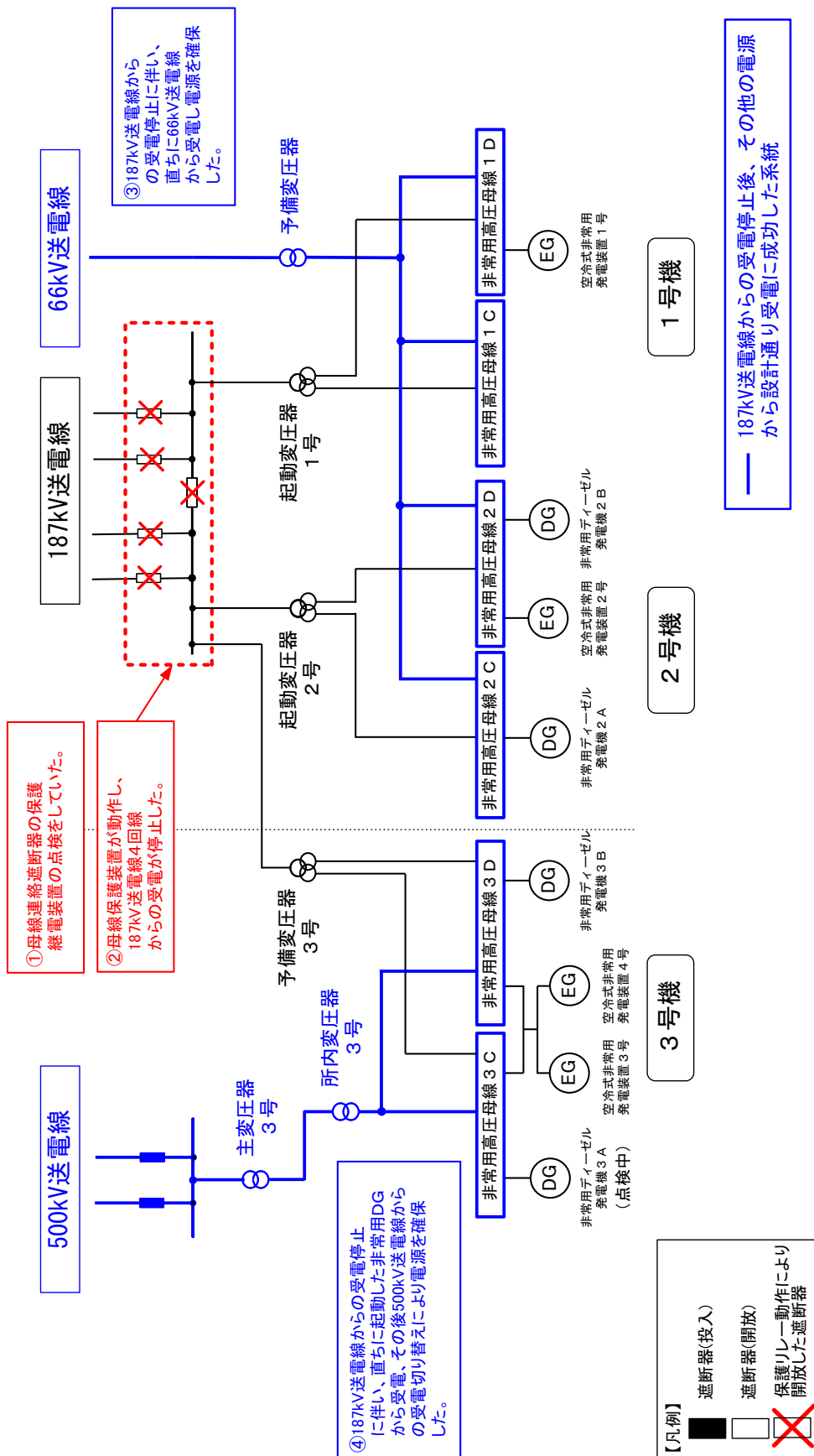


図 1 事象概要図 (全体系統図)

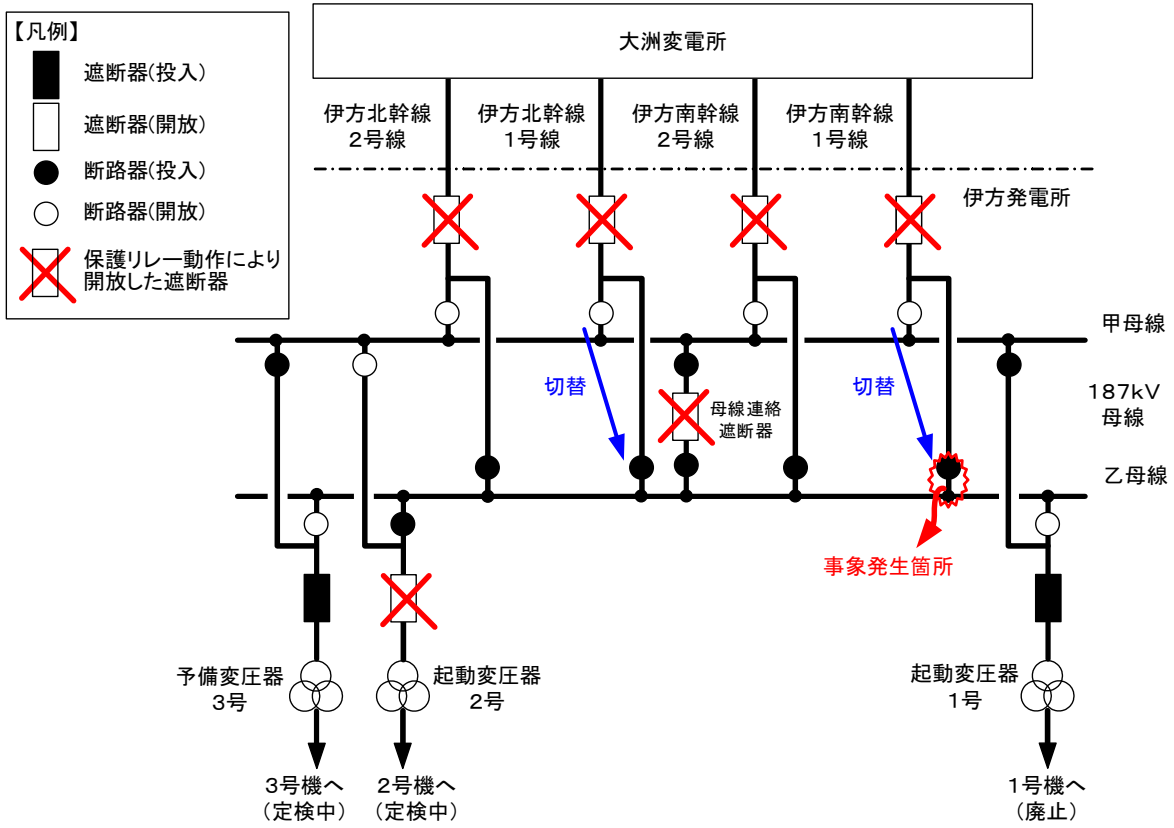


図2 事象概要図 (187kV系統図)

## 発電用原子炉施設への影響

事象発生時における伊方発電所１、２号機および３号機の電源確保状況、燃料の冷却状況およびその他設備の状況を確認した結果、異常がないことを確認した。

## １．電源確保状況

## (１) １、２号機

外部電源として、表１のとおり１８７ｋＶ送電線４回線、６６ｋＶ送電線１回および亀浦配電線（亀浦変電所からの配電線）から受電可能であり、非常用電源として、非常用ディーゼル発電機２Ａおよび２Ｂならびに空冷式非常用発電装置１号および２号から受電可能であった。また、号機間連絡ケーブルにより、３号機の外部電源または非常用電源からの融通も可能であった。事象発生前、１号機および２号機の所内電源は１８７ｋＶ送電線より受電していた。

事象発生後、１８７ｋＶ送電線４回線からの受電が停止したため、１号機および２号機の所内電源は設計どおり６６ｋＶ送電線（予備変圧器）からの受電に切替わった。また、２号機の非常用ディーゼル発電機も設計どおり１０秒以内で自動起動した。

表１ １、２号機 事象発生時の所内電気系統の概要

号機	受電		外部電源	非常用電源
	通常時	事象発生時		
１号機	甲母線	乙母線	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ １８７ｋＶ送電線（４回線）</li> <li>・ ６６ｋＶ送電線（１回線）</li> <li>・ 亀浦配電線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空冷式非常用発電装置１号</li> </ul>
２号機	乙母線			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 非常用ディーゼル発電機２Ａ、２Ｂ</li> <li>・ 空冷式非常用発電装置２号</li> </ul>

## (２) ３号機

外部電源として、表２のとおり５００ｋＶ送電線２回線、１８７ｋＶ送電線４回線および亀浦配電線から受電可能であり、非常用電源として、非常用ディーゼル発電機３Ｂおよび空冷式非常用発電装置３、４号から受電可能であった。また、号機間連絡ケーブルにより、１、２号機の外部電源または非

常用電源からの融通も可能であった。事象発生前、3号機の所内電源は、予備変圧器の点検終了後の健全性確認のため、187kV送電線より受電していた。

事象発生後、187kV送電線4回線からの受電が停止したため、設計どおり10秒以内で非常用ディーゼル発電機3Bが自動起動し、非常用高压母線3Dは非常用ディーゼル発電機3Bから受電した。また、非常用高压母線3Cは、非常用ディーゼル発電機3A点検中のため500kV送電線から受電した。その後、非常用高压母線3Dを非常用ディーゼル発電機3Bから500kV送電線からの受電に切替えた。

表2 3号機 事象発生時の所内電気系統の概要

受電		外部電源	非常用電源
通常時	事象発生時		
所内変圧器 <sup>※1</sup> または 予備変圧器 <sup>※2</sup>	予備変圧器 <sup>※2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 500kV送電線 (2回線)</li> <li>・ 187kV送電線 (4回線)</li> <li>・ 亀浦配電線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 非常用ディーゼル発電機3B<sup>※3</sup></li> <li>・ 空冷式非常用発電装置3号、4号</li> </ul>

※1：500kV送電線より受電

※2：187kV送電線より受電

※3：非常用ディーゼル発電機3Aは点検中

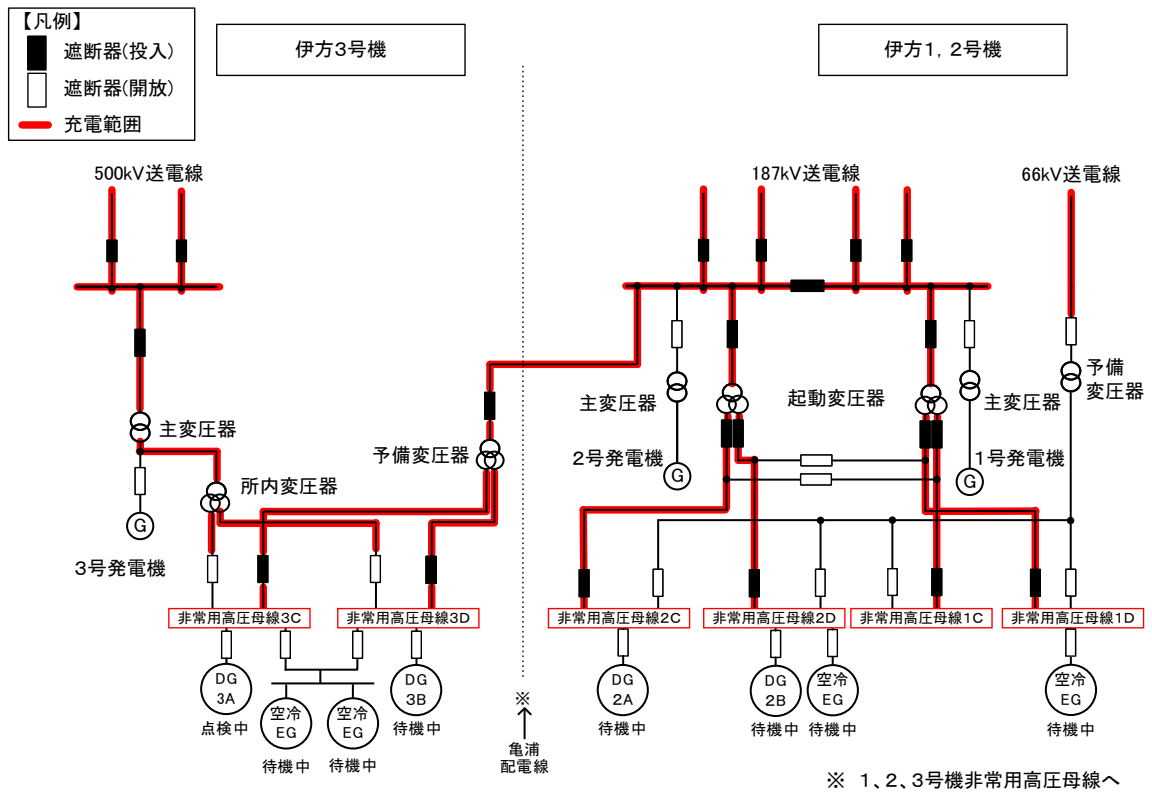


図1 伊方発電所の所内電気系統図 (事象発生前)

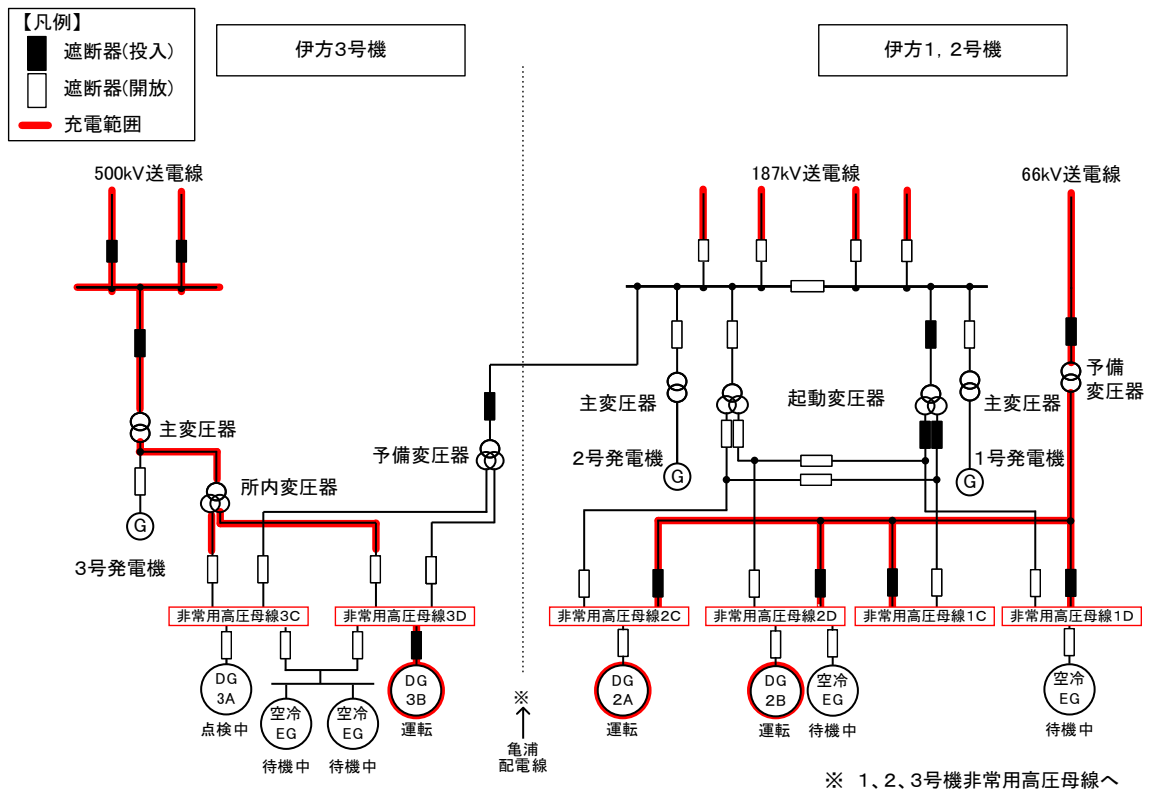


図2 伊方発電所の所内電気系統図 (事象発生後)



## 2. 燃料冷却状況について

### (1) 燃料冷却再開までの主な時系列

令和2年

1月16日

10時16分 3号機の燃料取出完了

1月25日

15時44分 187kV送電線4回線からの受電停止

(3号機)

15時44分 非常用ディーゼル発電機3B自動起動、非常用高压母線3D受電

海水ポンプ3C、3D自動起動

原子炉補機冷却水ポンプ3C、3D自動起動

15時51分 非常用高压母線3Cを外部電源(500kV送電線)から受電

16時11分 非常用高压母線3Dを外部電源(500kV送電線)からの受電に切替え

16時27分 使用済燃料ピットポンプ3B運転、冷却再開

(2号機)

15時44分 予備変圧器より受電(非常用高压母線2C、2D受電)  
海水ポンプ2A、2C自動起動

原子炉補機冷却水ポンプ2A、2C自動起動

17時19分 使用済燃料ピットポンプ2B運転、冷却再開

187kV送電線からの受電停止を受けて、中央制御室ではただちに使用済燃料ピットの温度および水位を確認し、異常がないことを確認した。

使用済燃料ピットについては十分な保有水を確保しており、冷却が一時的に停止したとしても急激には温度上昇しないことから、冷却再開までに十分な時間的余裕があった。

このため、あらかじめ定められた手順どおり、まず停電に伴う非常用ディーゼル発電機の自動起動、その後の原子炉の安全性を維持するための機器(海水ポンプ、冷却水ポンプ等)の自動起動の状態について確認を実施し、その後、現地にて使用済燃料ピットポンプを手動で起動し、冷却を再開した。

使用済燃料ピットの冷却を再開するまでの間においても、使用済燃料ピットの温度および水位については、中央制御室で連続して監視しており、有意な変化がないことを確認していた。

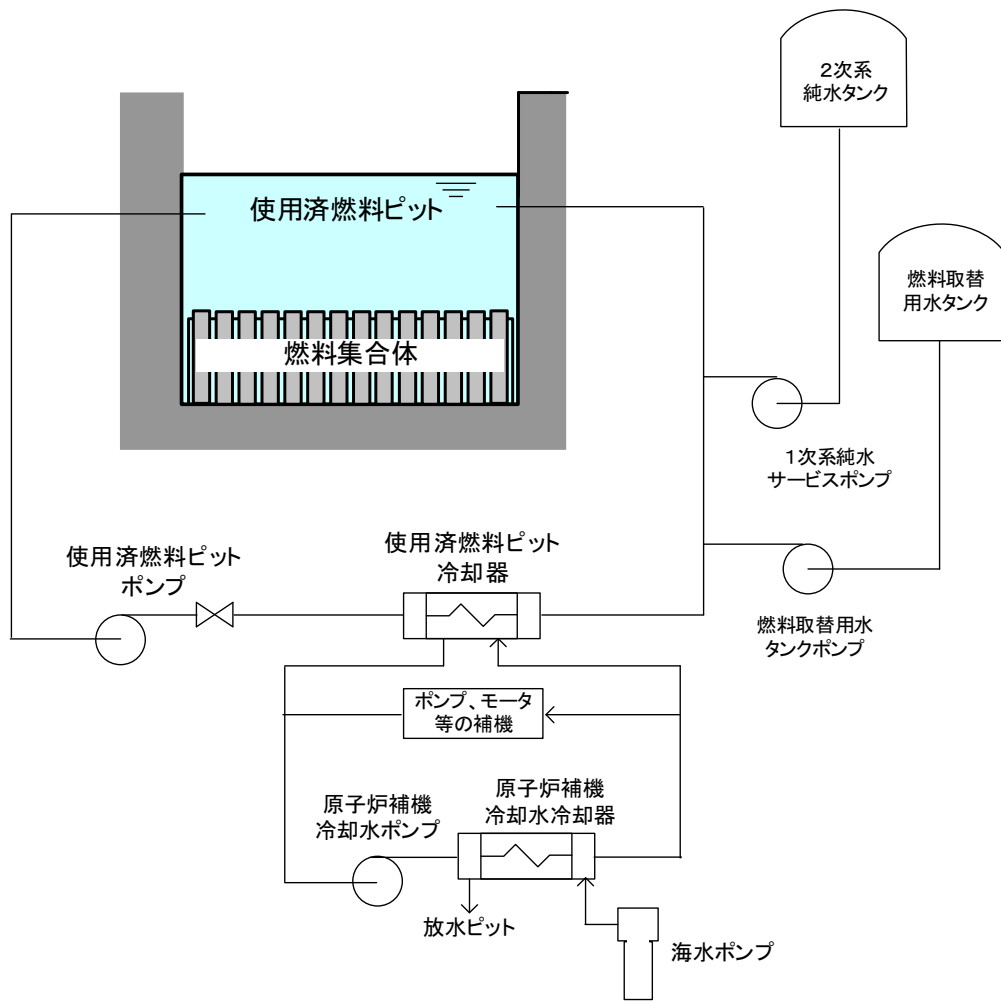


図3 使用済燃料ピット水浄化冷却系統等

(2) 使用済燃料ピットの燃料貯蔵体数および冷却状況

a. 使用済燃料ピットの燃料貯蔵体数

各号機における使用済燃料ピットの燃料貯蔵体数は下表のとおりであった。

表3 使用済燃料ピットの燃料貯蔵体数 (体)

燃料種別		号機		3号機	
		1号機	2号機	Aピット	Bピット
ウラン燃料 (照射済)		—	316	848	635
MOX 燃料	照射済	—	—	16	—
	新燃料	—	—	5	—

b. 使用済燃料ピットの冷却状況

非常用高圧母線の停電から使用済燃料ピットの冷却を再開するまでの温度上昇は最大1.1℃（3号機Aピット）であり、通常運転における温度変化の範囲であったこと、また保安規定に定める使用済燃料ピットの温度に係る制限値65℃に対して十分な余裕があったことから、使用済燃料の冷却状態に問題はなかった。また、2、3号機とも使用済燃料ピットの水位に有意な変動はなかった。

表4 使用済燃料ピット水温（℃）

時系列	号機 2号機	3号機	
		Aピット	Bピット
事象発生前(15時時点)	16.7	33.0	32.3
事象収束後(19時時点)	16.9	33.8	33.2
上記期間の最大値	16.9	34.1	33.3

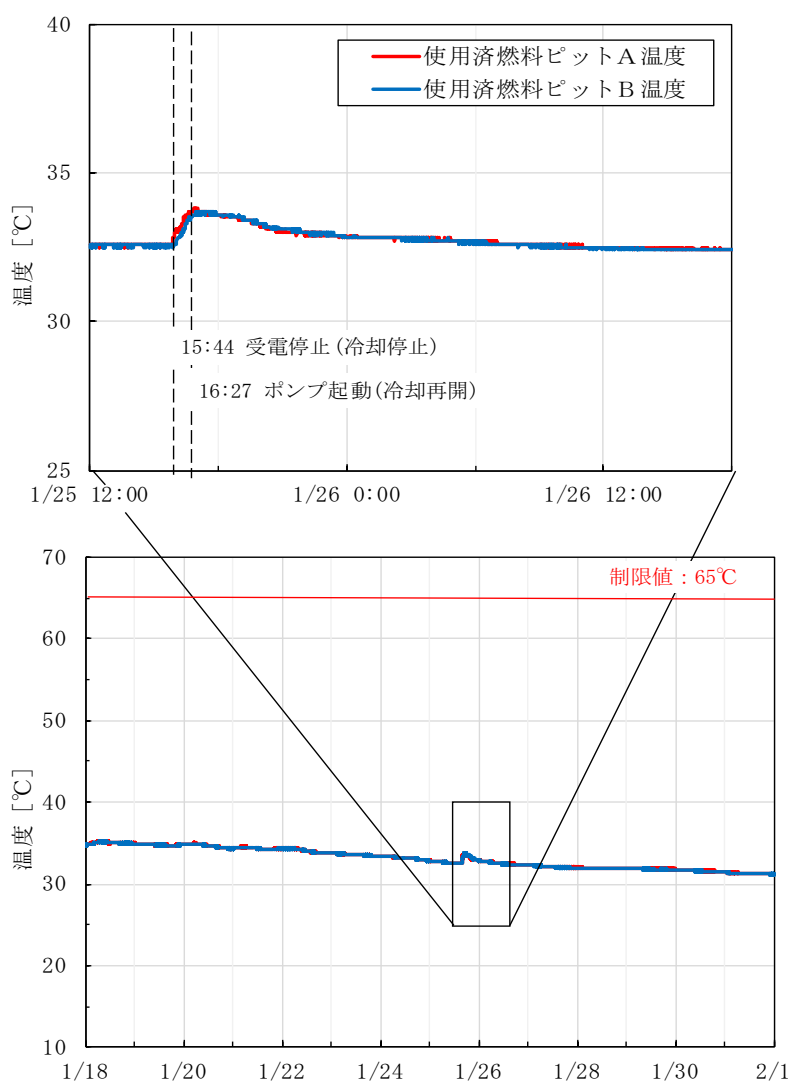


図4 3号機使用済燃料ピット温度

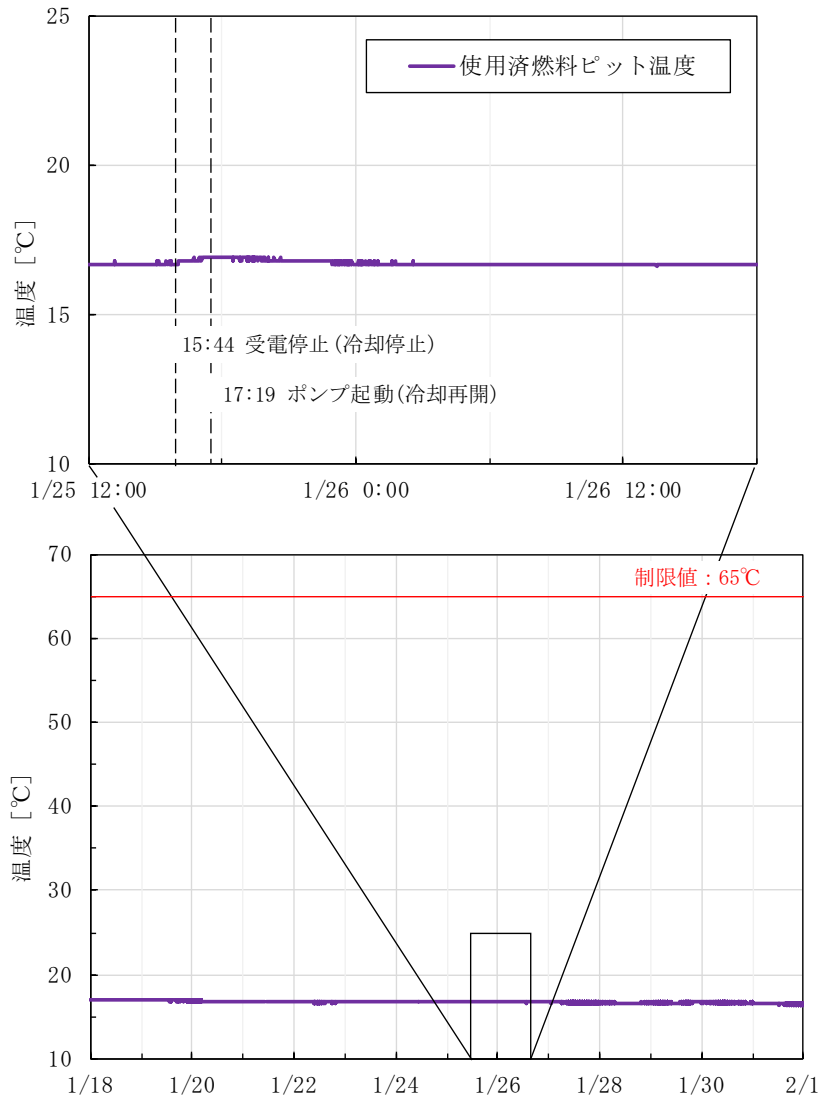


図5 2号機使用済燃料ピット温度

3. その他設備の状況

事象発生後の巡視点検および中央パラメータから、異常がないことを確認した。

## 電源系統の状況

### 1. 方向試験

187kV母線連絡遮断器について、保護リレーを取替えたことから、取替え後の健全性確認試験として、当該遮断器に対して一方向から所定の負荷電流を流し、通電状態に問題がないことを確認する必要があった。

### 2. 作業計画

方向試験前の電源系統構成について、1号機は187kV甲母線、2号機は187kV乙母線からそれぞれ受電する系統構成であった。

当該試験に必要な負荷電流を流すために、電力負荷を確保する必要があるが、1、2号機のみ在所内負荷では不足するため、3号機在所内電源について、500kV送電線から187kV送電線に切替えることで、当該試験に必要な電力負荷を確保する計画であった。

また、当該遮断器に対して一方向から所定の負荷電流を流すために、通常時は187kV送電線から2回線ずつ受電している母線の系統構成を、どちらか片方の母線で受電するよう切替える必要があったため、乙母線で187kV送電線4回線を受電することとし、甲母線で所内負荷である起動変圧器1、2号および予備変圧器3号を接続するよう計画した。

方向試験の実施にあたっては、試験のため通常時のような187kV母線の多重性が確保できない制約のなかで、各号機に必要な非常用ディーゼル発電機および空冷式非常用発電装置を確保するとともに他の外部電源（500kV送電線2回線、66kV送電線1回線および亀浦配電線）も確保しており、外部電源（187kV送電線）系統の事故に対して電源の多様性を確保するよう計画していた。

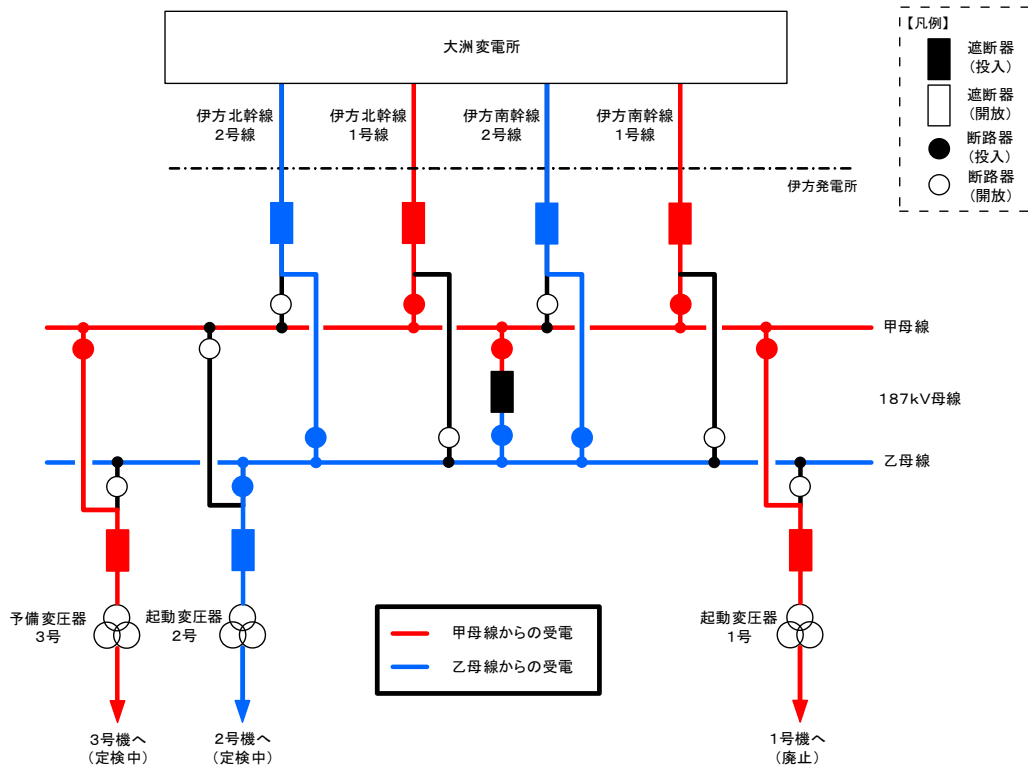


図1 方向試験実施前の系統構成

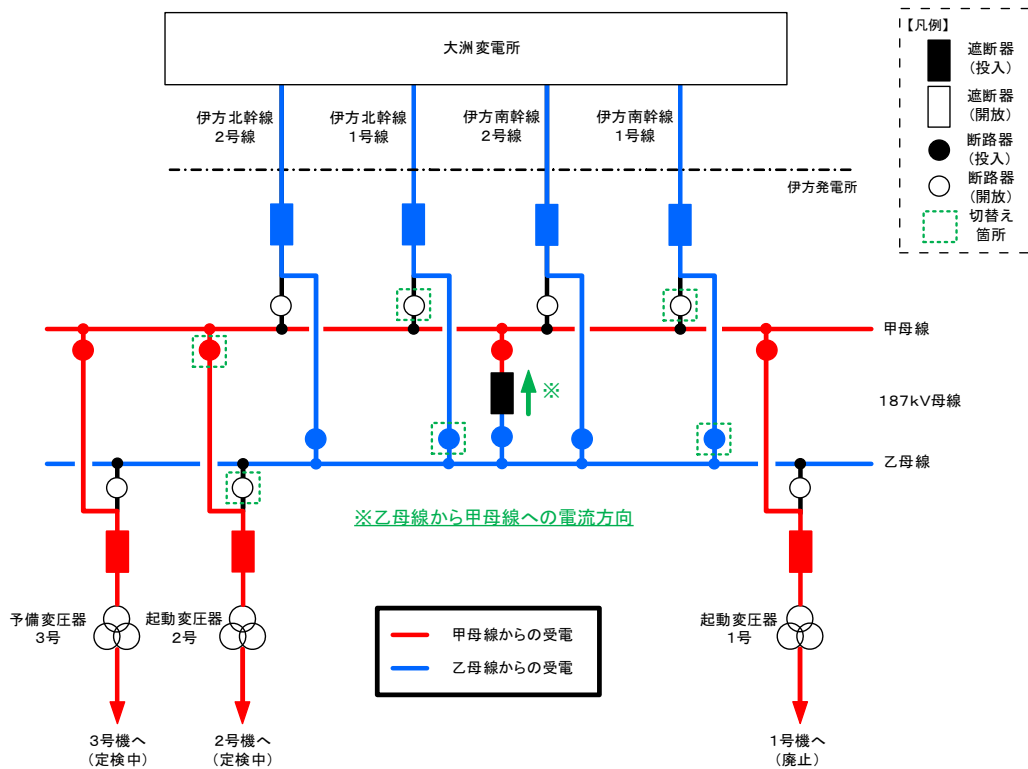
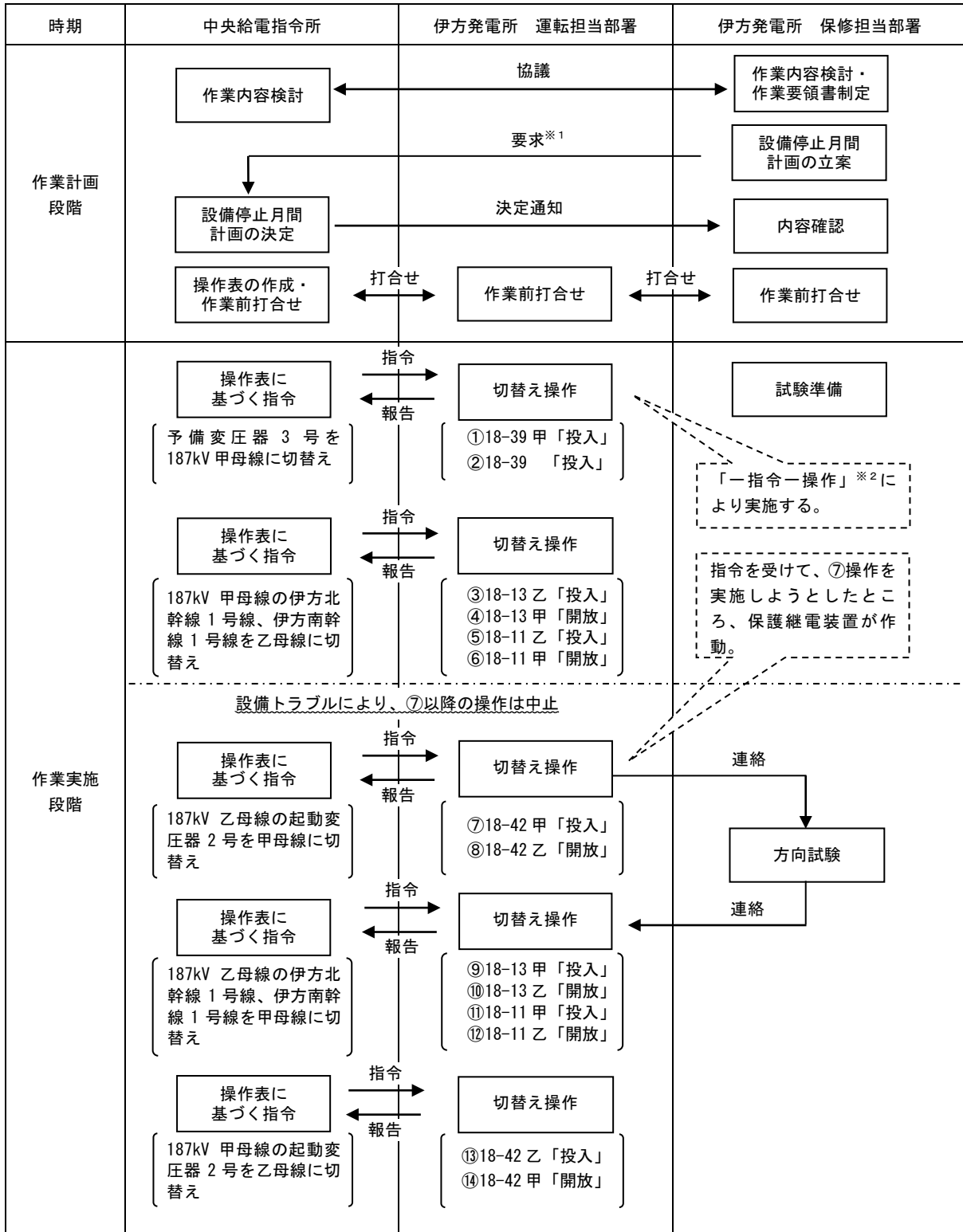


図2 方向試験における系統構成

### 作業内容および手順

「四国電力株式会社 系統運用指針」等の社内規定に基づき、作業が行われていることを確認した。



※<sup>1</sup> 工程管理の担当課より、担当部長の承認後に本店経由で提出  
 ※<sup>2</sup> 一指令ごとに一操作を行い、その都度確認を行う操作指令

### 自動オシロ装置の測定結果

事象発生時の自動オシロ装置によって測定された187kV送電線の電圧および電流の波形を確認したところ、V相－W相間の二相短絡（図1の①）から二相地絡（図1の②）を経て三相地絡（図1の③）に至ったものと推定した。事故電流測定結果は表1のとおり。

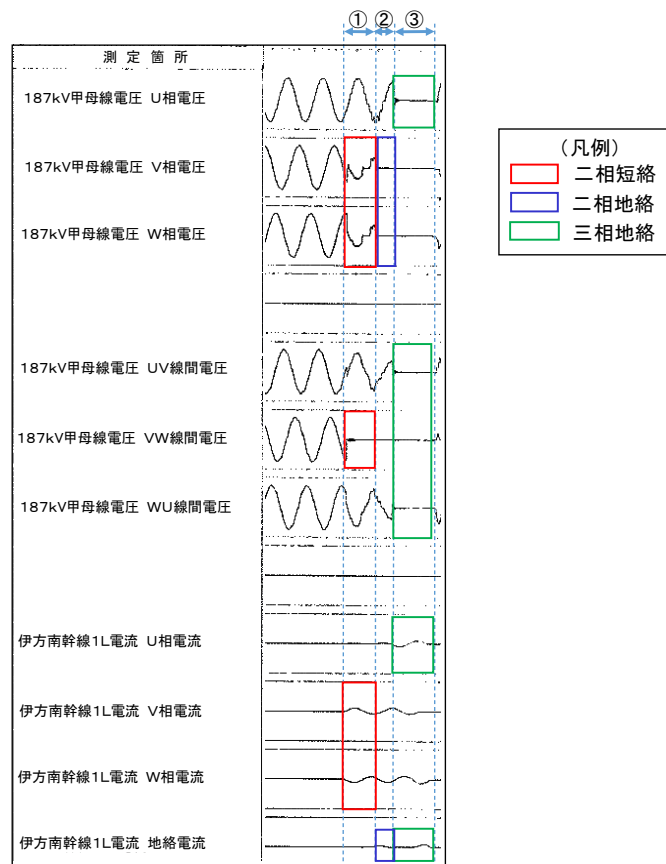


図1 自動オシロ装置の測定結果

表1 事象発生時の事故電流

対象	伊方北幹線 1号線	伊方北幹線 2号線	伊方南幹線 1号線	伊方南幹線 2号線	合計
U相電流	2 6 4 A	3 2 2 A	2 4 4 A	3 2 4 A	1, 1 5 4 A
V相電流	2, 2 4 8 A	2, 1 5 7 A	2, 3 1 7 A	2, 2 1 1 A	8, 9 3 3 A
W相電流	2, 1 6 5 A	1, 8 6 1 A	2, 2 2 2 A	1, 9 1 7 A	8, 1 6 5 A
地絡電流	4 2 8 A	4 4 2 A	4 7 9 A	4 9 2 A	1, 8 4 1 A



## ガス分析等の調査結果

自動オシロ装置の状況より、短絡および地絡の発生が推定されたことから、地絡等の発生個所を特定するため、ガス分析等の調査を行った。

### 1. ガス分析結果

図1に示すガス区分ごとにガス分析<sup>※1</sup>を実施した。その結果、伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットのガス区分(図1の③)にて検知剤の色が変わり、SO<sub>2</sub>およびHFガスの存在が確認された(図2)。その他のガス区分では、変色はなかった。これらは、地絡等によって発生するガスであることから、当該ガス区分において、地絡等が発生したものと推定した。

※1：ガス絶縁開閉装置内に絶縁体として封入されているガスを採取し、地絡等によって発生するガスの有無を確認することによって、地絡等の発生の有無を確認することができる。

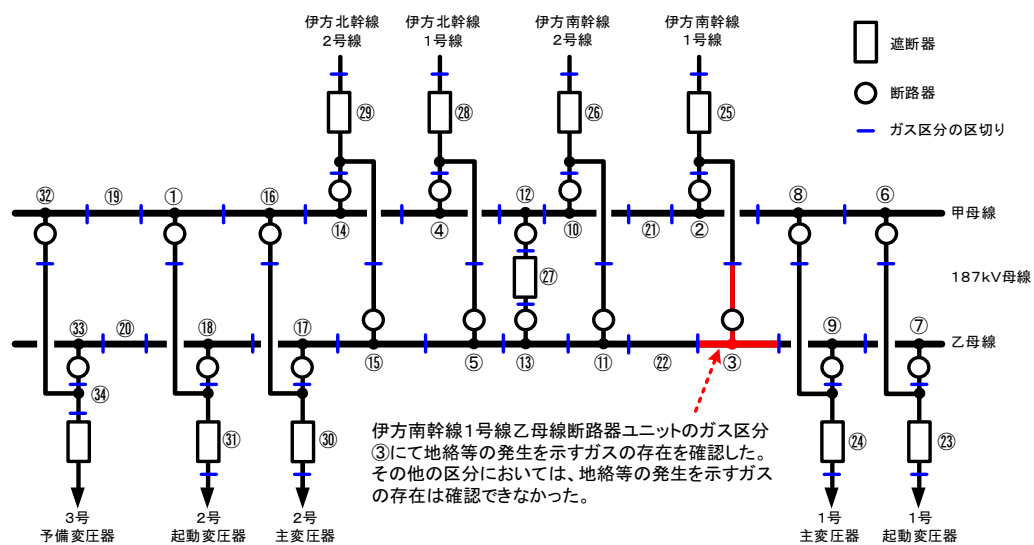


図1 187kV母線ガス区分

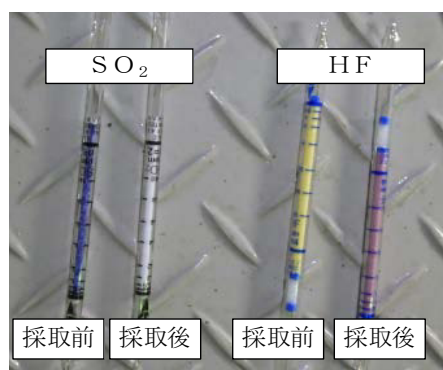


図2 伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットのガス分析結果

## 2. ガス圧力の確認

図1のガス区分ごとに設置されているガス圧力計によって確認した結果、すべて管理値以上であり、異常はなかった。確認結果を表1に示す。

表1 ガス圧力確認結果

ガス区分	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
ガス圧力(MPa)	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.62	0.62	0.64	0.63	0.62
管理値(MPa)	0.60以上											

ガス区分	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓
ガス圧力(MPa)	0.61	0.64	0.64	0.62	0.62	0.64	0.63	0.64	0.62	0.62	0.62
管理値(MPa)	0.60以上										

ガス区分	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚	㉛	㉜	㉝	㉞	
ガス圧力(MPa)	0.64	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.63	0.63	0.39	0.38	0.40	
管理値(MPa)	0.60以上								0.38以上 <sup>※</sup>			

※測定時の外気温(9℃)で換算した値

## 健全性確認結果

187kV甲、乙母線の健全性確認のため、187kV甲、乙母線の絶縁抵抗測定を実施し、主回路の対地間および相間に異常がないことを確認した。

187kV送電線3回線（伊方北幹線1、2号線、伊方南幹線2号線）の試充電、部分放電診断および内部異物診断を実施し、表1のとおり異常がないことを確認した。

表1 187kV甲母線の健全性確認結果

調査項目	結果
試充電 <sup>※1</sup>	異常なし
部分放電診断 <sup>※2</sup>	異常なし
内部異物診断 <sup>※3</sup>	異常なし

- ※1 伊方北幹線2号線、伊方北幹線1号線、伊方南幹線2号線、予備変圧器3号、起動変圧器2号、母線連絡、起動変圧器1号の順に試充電を実施。
- ※2 ガス絶縁開閉装置表面に取り付けたアンテナにより、部分放電により発生した電磁波を検出することで絶縁体の劣化状態を確認する。
- ※3 ガス絶縁開閉装置表面に取り付けたセンサにより、ガス絶縁開閉装置内の異物挙動による微小な超音波振動を検出することで内部異物の有無を確認する。

## 内部調査結果

伊方南幹線 1 号線乙母線断路器ユニットについて、開放して内部調査を実施した結果を示す。

### 1. 現地確認結果

ガス分析の結果、伊方南幹線 1 号線乙母線断路器ユニットのガス区分において地絡が発生したと推定されたことから、当該区分のガス絶縁開閉装置の開放を行い、内部の確認を行った。内部の写真を図 1 に示す。

確認した結果、タンク内に分解ガスによるフッ素化合物（白粉）が堆積しており、断路器の V 相－W 相間絶縁操作軸に黒色の炭化痕跡が見られたことから当該箇所では相間短絡が発生したと推定した。V 相－W 相間の短絡については、自動オシロ装置の記録と一致している。また、V 相可動接触子が W 相および U 相と不整合の位置であることを確認した。伊方南幹線 1 号線乙母線断路器ユニットの外観図および内部構造図を図 2 から図 5 に示す。



図 1 伊方南幹線 1 号線乙母線断路器ユニットの開放写真

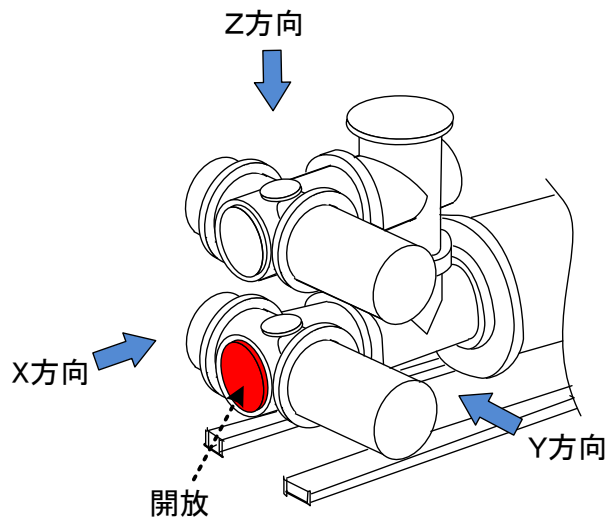


図2 断路器ユニット外観図

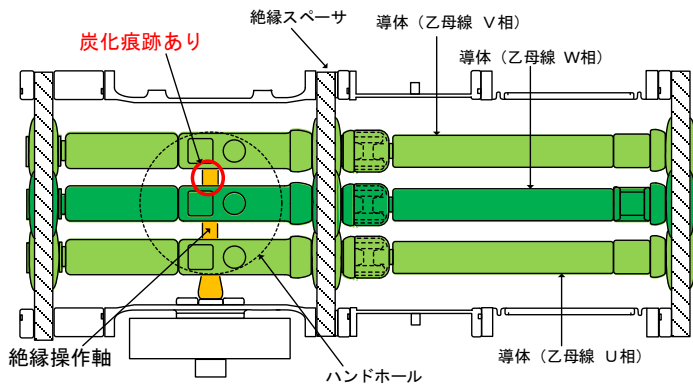


図3 断路器ユニット内部構造図 (X方向)

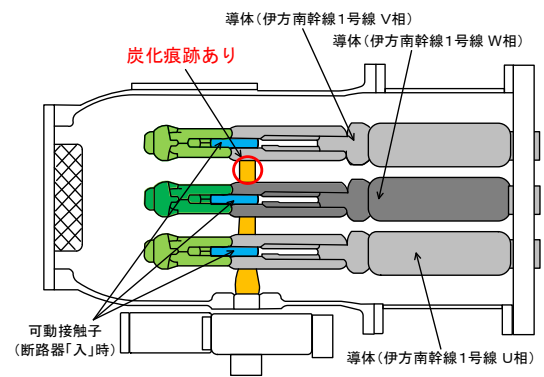


図4 断路器ユニット内部構造図 (Y方向)

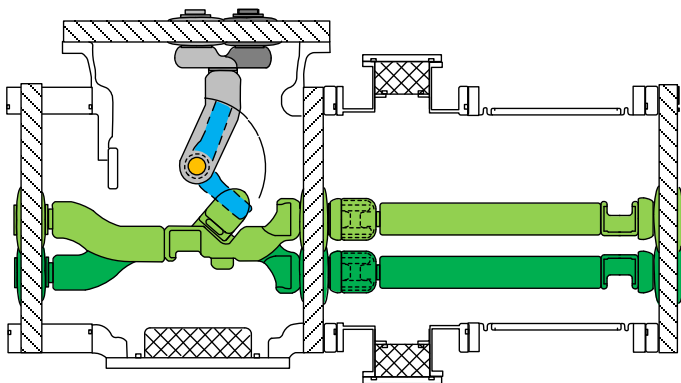


図5 断路器ユニット内部構造図 (Z方向)

## 2. 工場確認結果

### (1) 絶縁操作軸と可動接触子嵌合部の状況

メーカー工場にて当該断路器を分解し内部調査を実施した結果、V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部に損耗が見られた。

(図6)

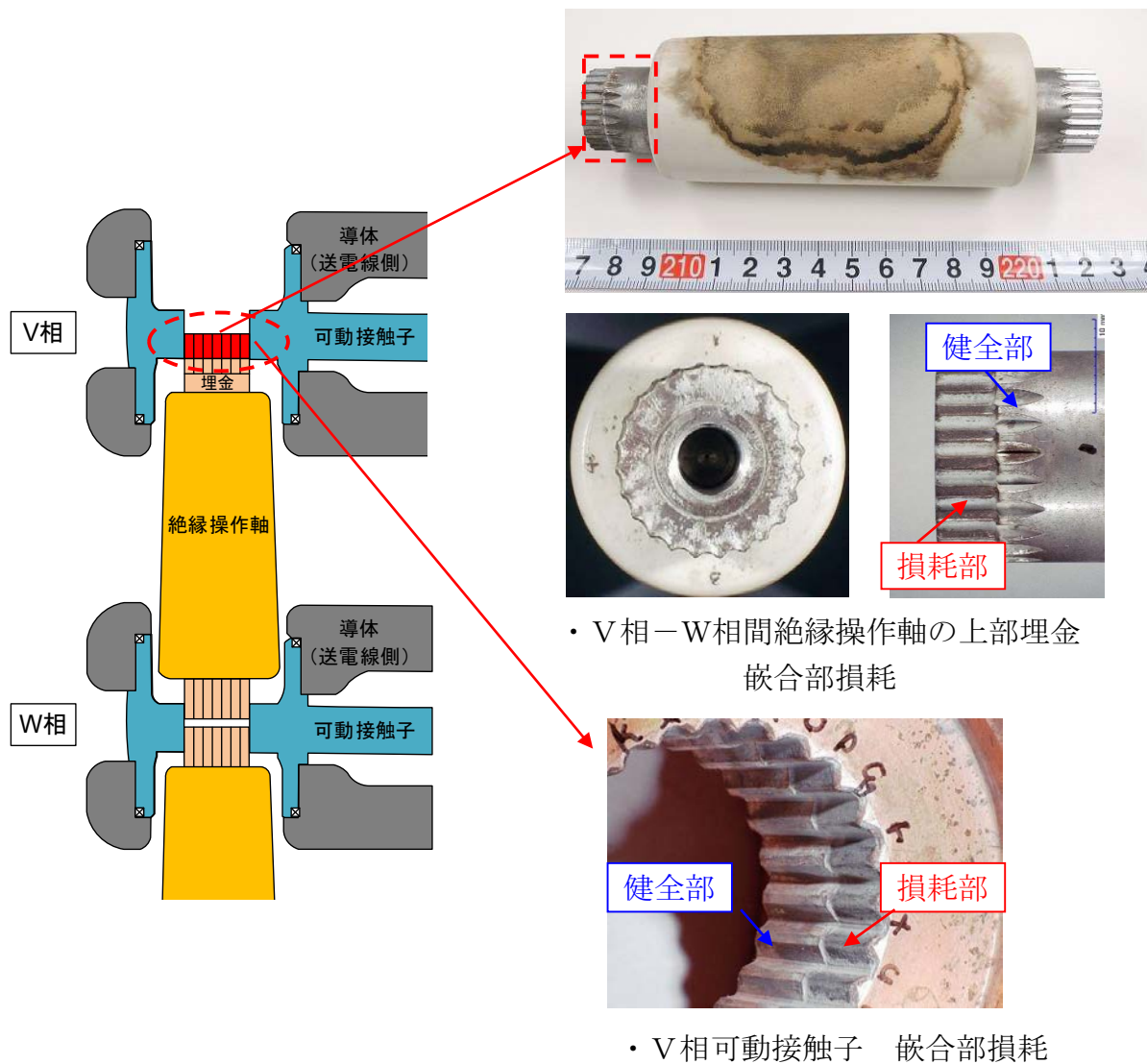


図6 嵌合部の損耗状況

(2) V相－W相間絶縁操作軸の状況

放電痕跡を確認した結果、絶縁操作軸の上下に向かう放電進展が見られることを確認した。(図7、8)

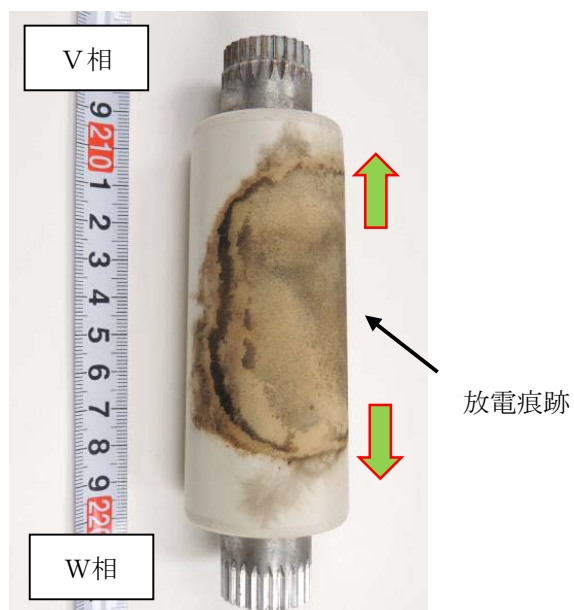


図7 絶縁操作軸放電痕跡

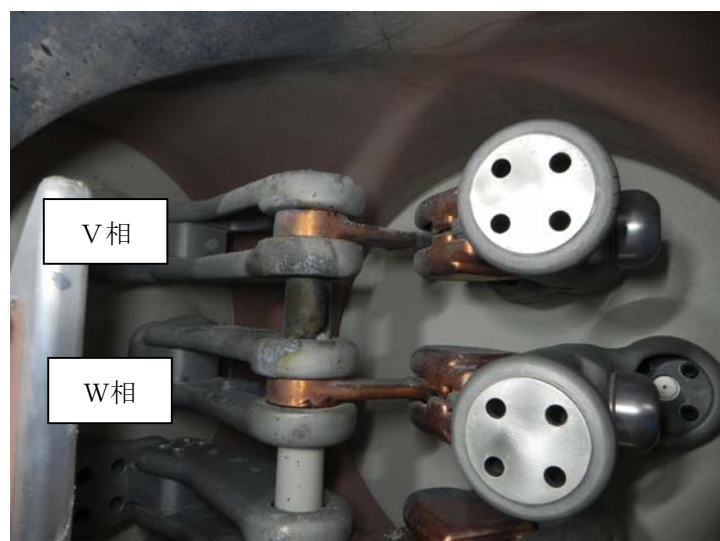


図8 解体前状況

(3) その他内部確認結果

断路器の各部品を解体し、外観確認等を実施した結果、タンク内の絶縁スペーサ部、導体表面等への分解ガスによるフッ素化合物（白粉）の堆積や放電痕は見られたものの、前述の（1）および（2）を除き、その他異常は見られなかった。



## 製造、点検履歴等調査結果

187kVガス絶縁開閉装置は、六フッ化硫黄（SF<sub>6</sub>）の優れた絶縁性能により、極間、相間および対地間距離が大幅に縮小されているとともに、機器の合理的な配置により従来形ガス絶縁開閉装置より、さらに縮小を図った装置であり、導電部、絶縁部、接触部等がすべてガス中に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性が高い装置となっている。

断路器ユニットの点検については、メーカー推奨に基づき定期的に開閉試験、絶縁抵抗測定、機構部の注油等を実施している。また、断路器ユニット内部については、長期的な劣化が無いことから、開放点検および部分放電等の設備診断についてこれまで実施していない。

上記の設計および保守管理を実施している一方で、本事象が発生したことを踏まえて当該断路器に係る製造履歴、点検履歴および運転履歴について、記録等を確認した。確認結果を以下に示す。

## 1. 製造履歴調査結果

当該断路器に関し、製造履歴を確認した結果、表1のとおり、電気規格調査会標準規格（JEC）の判定基準を満足していることを確認した。

表1 断路器の製造履歴

項目		判定基準	試験記録
構造検査		異常のないこと	良
開閉試験	手動開閉試験	支障なく開閉できること	良
	開閉特性試験	確実に動作すること	良
	連続開閉試験	制御電圧が定格値、最高値、最低値の条件で支障なく開閉できること	良
抵抗測定試験	U相	30 $\mu\Omega$ (設計値+20%以下)	28.0 $\mu\Omega$
	V相	28 $\mu\Omega$ (設計値+20%以下)	27.0 $\mu\Omega$
	W相	26 $\mu\Omega$ (設計値+20%以下)	26.0 $\mu\Omega$
商用周波耐電圧試験		定格ガス圧値で試験電圧を印加し、異状なく耐えること	良

## 2. 保守履歴調査結果

当該断路器の点検実績を確認した結果、表2のとおり、前回の点検は平成30年度に外観点検、絶縁抵抗測定等を実施していることを確認した。

当該断路器の点検については、メーカー推奨に基づき定期的に関閉試験、絶縁抵抗測定、機構部の注油等を実施しており、これまで異常は認められていない。

表2 保守履歴調査結果

実施時期	断路器点検実績	断路器点検内容
平成31年度	(今回点検なし)	-
平成30年度	点検実施	<ul style="list-style-type: none"><li>・外観点検</li><li>・絶縁抵抗測定</li><li>・タンク外操作機構の点検、注油</li><li>・開閉試験 他</li></ul>

(参考) 保全計画に基づく点検頻度：1回／3年

## 3. 運転履歴調査結果

当該断路器に動作回数カウンタが設置されていないことから、伊方南幹線1号線の遮断器と同程度の動作回数とした場合、約250回となる。ここに工場製作や据付時の試験等における動作回数(約100回)を加味しても約350回程度であり、メーカー動作確認回数である10,000回を十分に下回る使用状況であることを確認した。

## 類似事例調査結果

No.	ユニット名	件名	事象発生箇所	事象発生日
1	志賀発電所 1号	志賀原子力発電所1号機 275kV 志賀原子力線1号線の断路器不具合について	送受電系統	平成16年 6月 3日
2	伊方発電所 1, 2号	ガス絶縁開閉装置 (GIS) の不具合について	送受電系統	平成16年 6月 3日
3	泊発電所	テレメータ伝送データの欠測 (北海道胆振東部地震)	送受電系統	平成30年 9月 6日
4	女川発電所 1号	275kV母線保護装置更新工事における女川原子力発電所1号機所内電源の停電の発生について	所内交流電源系	平成27年 9月 29日
5	東通発電所 1号	【東日本大震災関連】東北地方太平洋沖地震 (余震) による外部電源喪失に伴う運転上の制限逸脱	送受電系統	平成23年 4月 7日
6	東通発電所 1号	【東日本大震災関連】東北地方太平洋沖地震による外部電源喪失に伴う運転上の制限逸脱他	送受電系統	平成23年 3月 11日
7	志賀発電所 1号	能登半島地震に伴う外部電源喪失時の運転上の制限逸脱について	送受電系統	平成19年 3月 25日
8	敦賀発電所 1号	送電線事故に伴う一時的な受電停止について	送受電系統	平成17年 12月 22日
9	大飯発電所 1, 2, 3, 4号	送電系統事故に伴う大飯1, 2号機原子炉停止及び大飯3, 4号機所内単独運転について	送受電系統	平成17年 12月 22日
10	敦賀発電所 1号	送電線事故に伴う一時的な受電停止について	送受電系統	平成17年 12月 15日
11	美浜発電所 3号	4-3C母線電圧低信号発信に伴うAディーゼル発電機の自動起動について	所内交流電源系	平成17年 4月 6日
12	東海第二 発電所	定期検査中の所内電源の一部停電について	所内交流電源系	平成16年 2月 10日
13	敦賀発電所 2号	6.9kVメタクラ2A母線低電圧による非常用ディーゼル発電機2Aの起動・給電について	所内交流電源系	平成10年 9月 24日

※原子力施設情報公開ライブラリー (ニューシア) 登録情報から、「ガス絶縁開閉装置」、「断路器」および「外部電源喪失 (信号含む)」に伴うディーゼル発電機起動に係る件名から、「トラブル情報」および「保全品質情報」を抽出

# 要因分析図

×：不具合要因の可能性が考えられないもの  
 △：不具合要因の可能性は否定できないもの  
 ○：不具合要因の可能性が考えられるもの

事象	要因	発生する現象	調査項目	調査・検討結果	判定	添付資料1.4	
絶縁操作軸 相間短絡	電界異常	絶縁設計不良	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 に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>電界/絶縁設計確認</li> <li>工場試験報告書確認</li> </ul>	×	1. (1) a. (a) 1. (1) a. (b)	
		製造不良	構成部品に製造上の形状異常が あると、電界異常となり、相間 短絡に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>寸法測定</li> </ul>	×	1. (1) b. (a)	
	絶縁性能異常	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、相間短絡に至 る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>外観確認</li> <li>寸法測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸の理金と可動接軸子の嵌合部に損耗及び機械的な損傷（擦過痕）が 見られたが、電界設計に影響を及ぼすような損傷でないことを確認した。</li> <li>部品の寸法測定を実施し、寸法公差内であることを確認した。</li> </ul>	×	1. (1) c. (a) 1. (1) c. (b)
		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、相間短絡に至る可能 性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>雷撃履歴確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事故時のオシロ、避雷器の動作状況を確認し、雷サージ等の異常電圧の侵入が なかったことを確認した。</li> </ul>	×	1. (1) d. (a)
絶縁性能異常	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 能異常となり、相間短絡に至る 可能性がある。	外観確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚損分析</li> <li>採取異物の分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸の理金と可動接軸子の嵌合部に損耗及び機械的な損傷（擦過痕）が 見られた。</li> <li>短絡が発生した絶縁操作軸の表面汚損分析をした結果、絶縁操作軸の理金と可動接 軸子に使用されている金属成分（アルミニウム合金、銅）が検出された。</li> <li>タンク内の採取物から短絡による溶融金属以外に箔状の金属が採取された。分析し た結果、アルミニウム合金、銅が検出された。</li> </ul>	△	1. (1) e. (a) 1. (2) a. (a) 1. (1) e. (b) 1. (2) a. (b) 1. (1) e. (c) 1. (2) a. (c)
			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 短絡に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>電界/絶縁設計確認</li> <li>工場試験報告書確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電界計算により電界/絶縁設計の妥当性を確認した。</li> <li>JECIに基づいた耐電圧性能検証試験に合格していることを確認した。</li> </ul>	×
	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 絡に至る可能性がある。	寸法測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>寸法測定</li> <li>外観確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸の寸法測定を実施し、寸法公差内であることを確認した。</li> <li>絶縁操作軸の外観確認を実施した結果、絶縁操作軸表面で短絡が発生しており、 内部短絡によって発生する亀裂がないことから、材料の絶縁不良による短絡は 発生していないことを確認した。</li> </ul>	×	1. (2) c. (a) 1. (2) c. (b)
			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に至る可 能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス圧力確認</li> <li>ガス純度測定</li> <li>ガス中水分測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現地開放前にガス圧力を確認したところ、規定値以上であることを確認した。</li> <li>現地にて採取したサンプリングガス进行分析した結果、SF6ガス純度は99.1%で 管理値(97%以上)を満足することを確認した。</li> <li>現地にて採取したサンプリングガス进行分析した結果、SF6ガスの水分量は127ppmで 管理値(150ppm以下)を満足することを確認した。</li> </ul>	×

図1 絶縁操作軸相間短絡 要因分析図

×：不具合要因の可能性が考えられないもの  
 △：不具合要因の可能性は否定できないもの  
 ○：不具合要因の可能性が考えられるもの

事象	要因	発生する現象	調査項目	調査・検討結果	判定	添付資料1.4
絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部損耗	機械的な摩擦	設計強度不足	工場試験報告書確認 設計強度評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>JRCの試験方法に基づき10,000回連続開閉試験に合格しており、設計上の機械強度に問題がないことを確認した。</li> <li>絶縁操作軸の嵌合部は、最大公差での隙間、至嵌合長さにおいても通常動作時および拘束時に想定される荷重に対して十分な設計強度を有していることを確認した。</li> </ul>	×	2. (1) a. (a) 2. (1) a. (b)
		製造不良による強度不足	製造履歴確認 材料分析 硬度測定 寸法測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造時の加工寸法は寸法公差内であることを確認した。</li> <li>絶縁操作軸の上部埋金および可動接触子の材料分析を行い、設計通りの材料が使われていることを確認した。</li> <li>絶縁操作軸の埋金および可動接触子の硬度測定の結果、規格値以上であることを確認した。</li> <li>絶縁操作軸の上部埋金のセレーション加工寸法を測定した結果、問題がないことを確認した。</li> </ul>	×	2. (1) b. (a) 2. (1) b. (b) 2. (1) b. (c) 2. (1) b. (d)
熱による溶損	嵌合部周辺からの熱影響	組立不良による強度不足	製造履歴確認 外観確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造履歴を確認した結果、組立状態の異常は認められなかった。</li> <li>外観を確認し、組立状態の異常は認められなかった。</li> </ul>	×	2. (1) c. (a) 2. (1) c. (b)
		操作装置（電動機）からの過大応力	製造履歴確認 開閉操作状況確認 操作装置特性確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造履歴を確認した結果、製造時の異常は認められなかった。</li> <li>当該断路器について、事象発生までの操作履歴を確認した結果、操作装置のモータ過電流警報発生等の異常履歴がないことを確認した。</li> <li>操作装置を取付けて開閉特性を測定した結果、動作時間および操作電流が管理値内であることを確認した。</li> </ul>	×	2. (1) d. (a) 2. (1) d. (b) 2. (1) d. (c)
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、溶損する可能性がある。	外観確認 表面観察 製造履歴確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24か所）を含め均一に損耗しており、山径、谷径とともに健全部より小さくなくっていることを確認した。また、嵌合部に熱的影響を与えると考えられる近隣部位には、異常は認められなかった。</li> <li>電子顕微鏡（SEM）を用いて損耗部を確認したところ、金属溶融している様相が確認された。</li> <li>製造履歴を確認した結果、主回路抵抗値は管理値内であったことから、嵌合部付近で通電による異常な発熱はないことを確認した。</li> </ul>	×	2. (2) a. (a) 2. (2) a. (b) 2. (2) a. (c)
		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嵌合部で放電が発生して溶損する可能性がある。	外観確認 表面観察 嵌合部の非接触状態継続有無確認 嵌合部の放電有無の確認 放電による溶融時間計算	<ul style="list-style-type: none"> <li>嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24か所）を含め均一に損耗しており、山径、谷径とともに健全部より小さくなくっていることを確認した。また、嵌合部に電子顕微鏡（SEM）を用いて損耗部を確認したところ、金属溶融している様相が確認された。</li> <li>操作装置によって駆動したところ、設計上考慮していない停止後の非接触状態が発生することを確認した。また、手で絶縁操作軸及び可動接触子を動かすことによって、非接触状態を継続させることができるところを確認した。</li> <li>嵌合部を非接触にした状態で運転電圧をかけたところ、嵌合部で部分放電の発生が確認された。</li> <li>放電が継続した場合に、今回の事象と同等の損耗にかかる時間を解析した結果、2.00日程度であった。</li> </ul>	△

図2 絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部損耗 要因分析図

## 詳細調査結果

## 1. 絶縁操作軸相間短絡

## (1) 電界異常

## a. 電界設計不良

## (a) 電界・絶縁設計確認

V相－W相間絶縁操作軸近傍（絶縁物沿面）の電界設計が、設計基準電界を下回っており、電界・絶縁設計が妥当であることを確認した。

表1 絶縁操作軸近傍（絶縁物沿面）の電界解析結果

電界値 (kV/mm)	2.1
設計基準電界 (kV/mm)	2.5

## (b) 工場試験報告書確認

当該断路器について、製作時にJECに基づく耐電圧試験を実施し、合格していることを確認した。

表2 工場試験結果

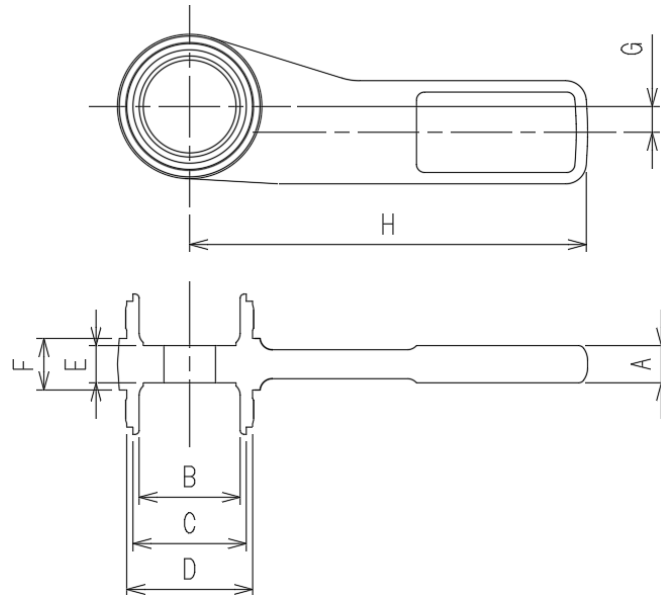
試験項目	結果
商用周波耐電圧試験 〔 短時間商用周波耐電圧試験 長時間商用周波耐電圧試験 〕	良
雷インパルス耐電圧試験	良

b. 製造不良

可動接触子および絶縁操作軸の寸法測定を実施し、寸法公差内であることを確認した。

(a) 寸法測定

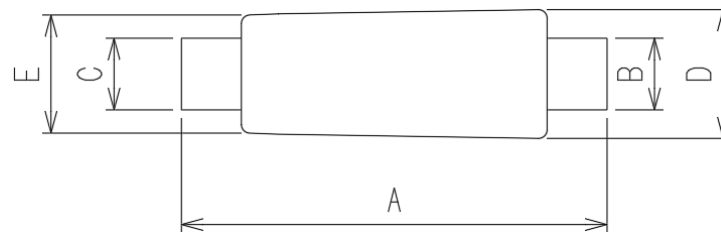
・可動接触子



(単位：mm)

符号	A	$\phi B$	$\phi C$	$\phi D$	E	F	G	H
図面寸法 (公差)	$\pm 0.3$	$\pm 0.8$	0 -0.08	0 -0.1	$\pm 0.2$	$\pm 0.1$	$\pm 0.5$	$\pm 1.2$
相								
U 相	0	0.25	0	-0.05	0.07	0.05	0.33	-1.20
V 相	0.05	0.04	-0.05	-0.05	0.05	0.05	-0.11	-1.18
W 相	-0.05	0.28	-0.05	-0.05	0.02	-0.05	0.48	-1.20

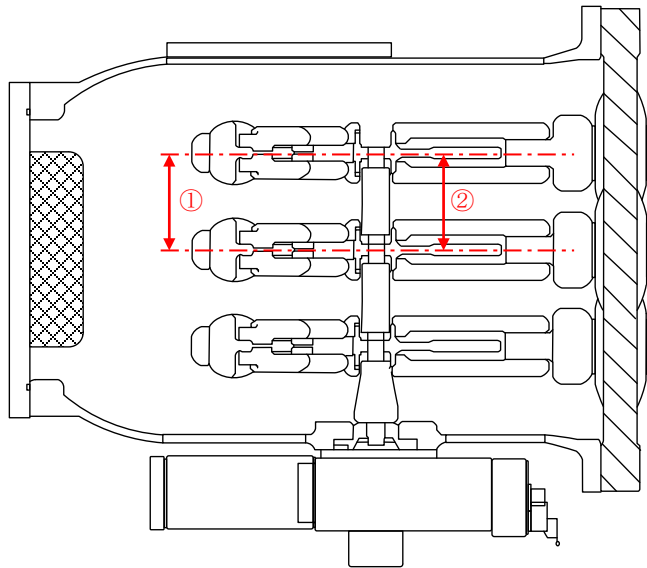
・絶縁操作軸 (相間)



(単位：mm)

符号	A	$\phi B$	$\phi C$	$\phi D$	$\phi E$
図面寸法 (公差)	$\pm 0.5$	-0.040 -0.092	-0.040 -0.092	$\pm 0.5$	$\pm 0.5$
相					
U 相-W 相	-0.48	-0.07	-0.07	0.30	0.10
W 相-V 相	-0.50	-0.07	-0.07	0.10	0

・相間寸法



(単位：mm)

	測定箇所	公差	測定値
①	固定側相間寸法 (V-W間)	±3	-0.03
②	可動側相間寸法 (V-W間)	±3	+0.8



c. 変形・損傷

(a) 外観確認

外観確認を行った結果、以下の構成品に変形・損傷があることを確認した。また、これ以外の構成品については、異常は認められなかった。

・可動接触子

V相可動接触子の嵌合部（24山）の状態を観察した結果、V相-W相間絶縁操作軸挿入側の全箇所において、山径、谷径ともに健全部より損耗している様相を確認した。また、一部の山について、擦過痕を確認した。

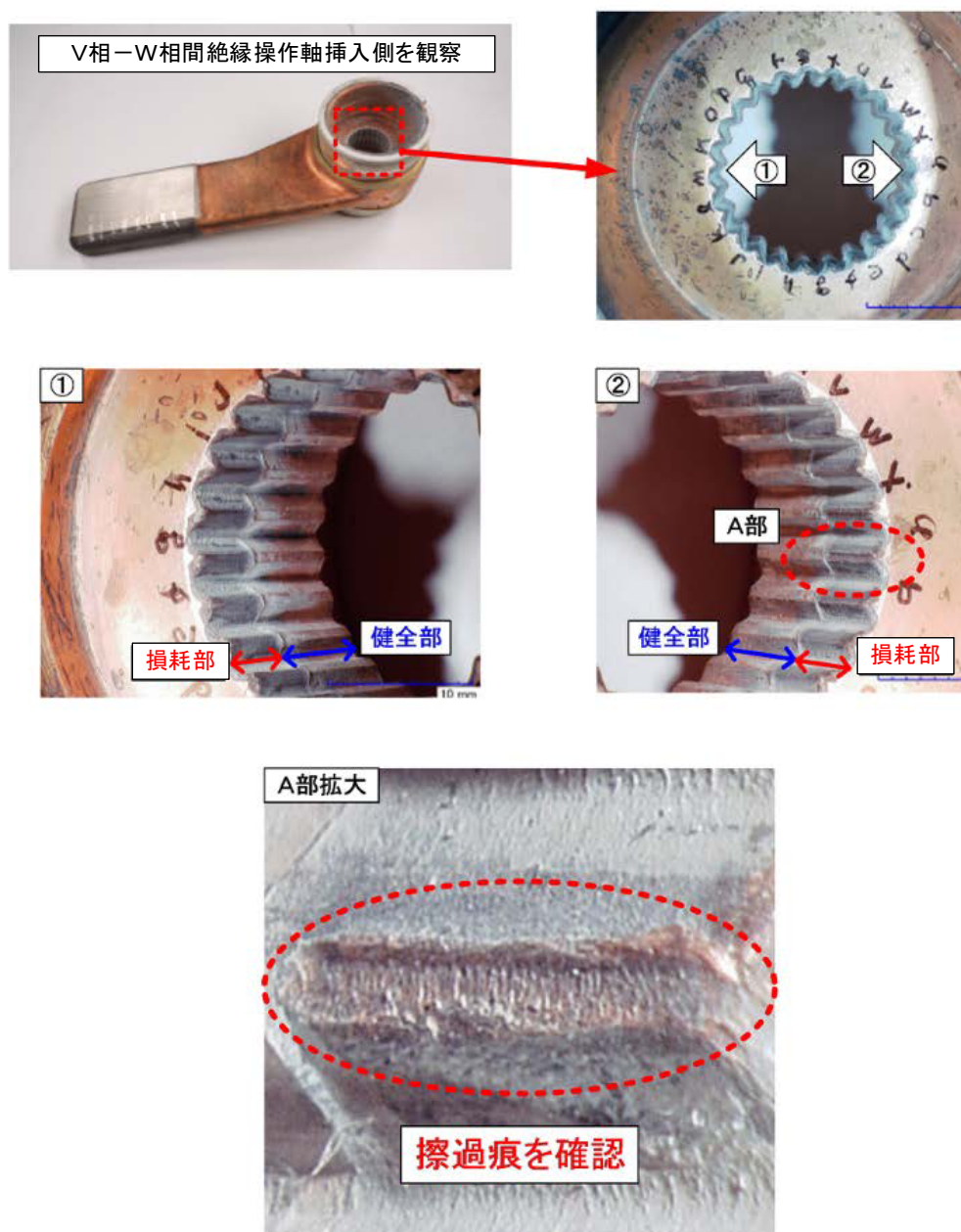


図1 可動接触子の外観確認結果

• 絶縁操作軸

V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金の嵌合部（24山）の状態を観察した結果、全箇所において、山径、谷径とも健全部より損耗している様相を確認した。また、絶縁体材料部には短絡痕跡が見られたが、亀裂等の異常は認められなかった。

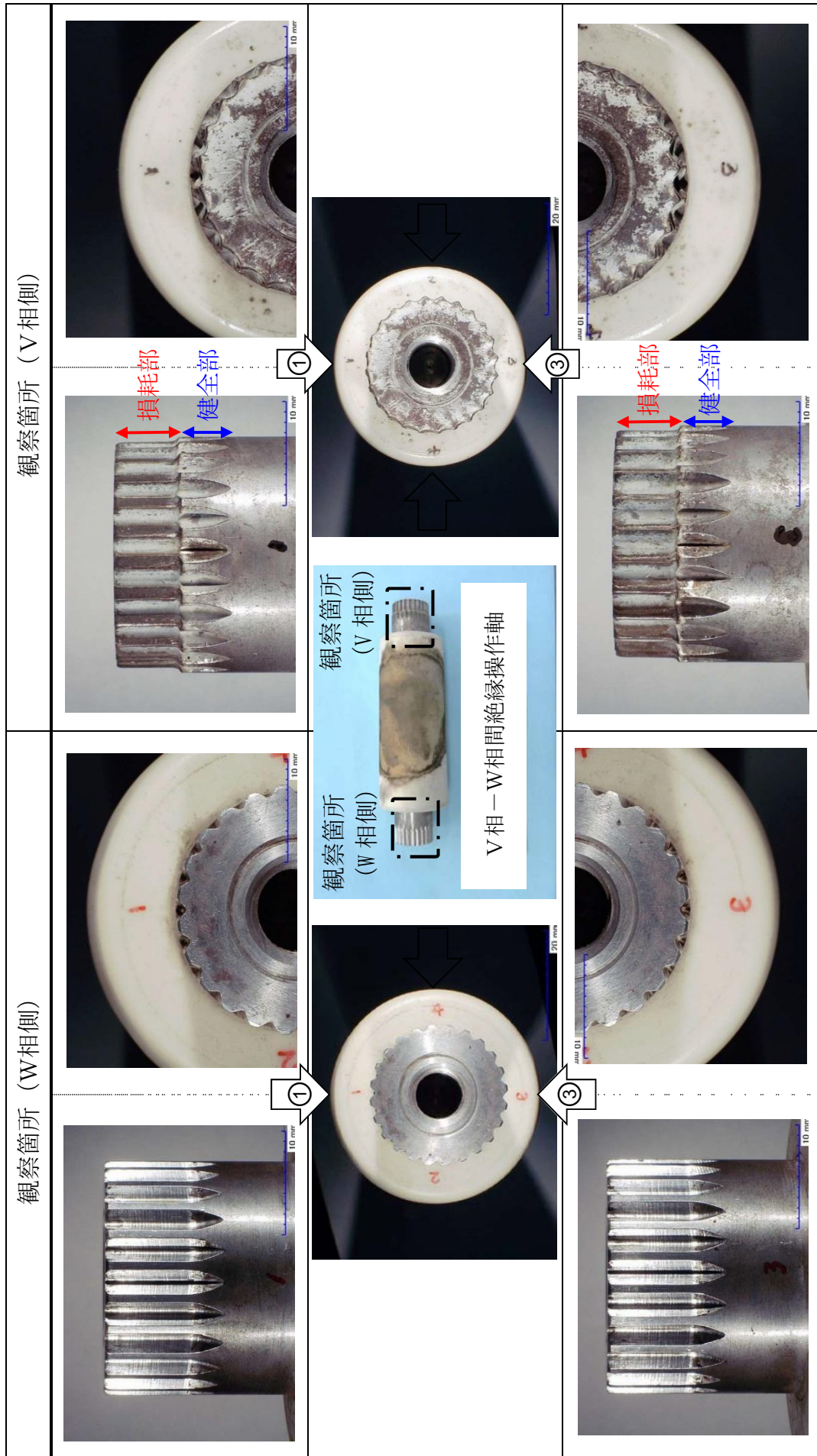
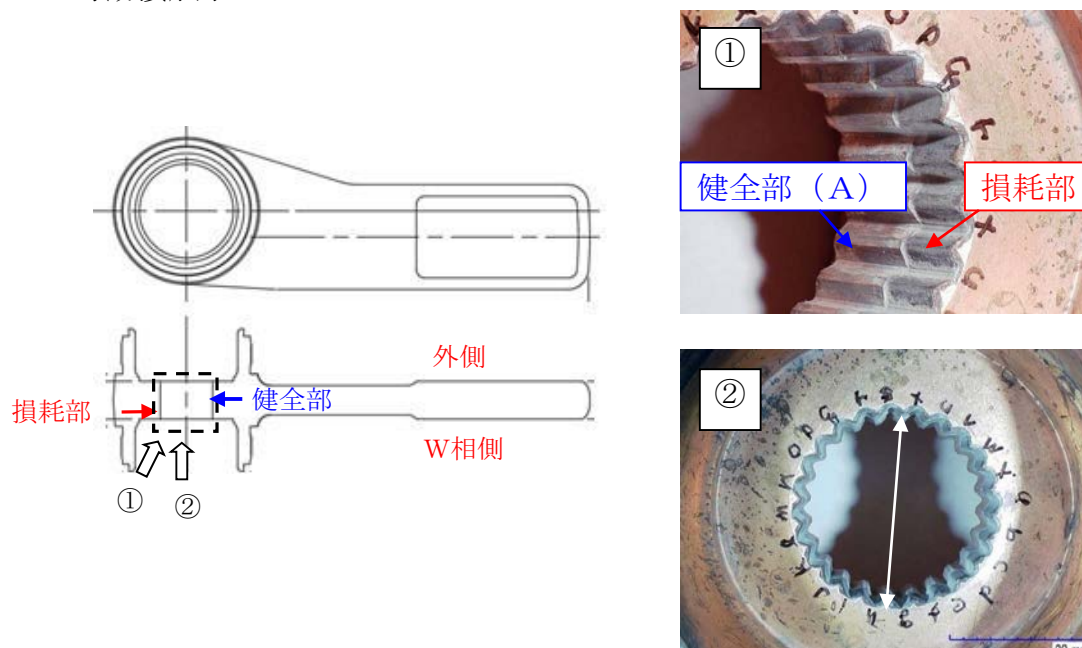


図2 絶縁操作軸埋金の外観確認結果

(b) 寸法測定

外観確認にて異常のあったV相可動接触子およびV相-W相間絶縁操作軸の埋金について、健全な嵌合部（写真①のA部）のセレーション加工寸法を測定した結果、寸法公差内であることを確認した。

- ・可動接触子

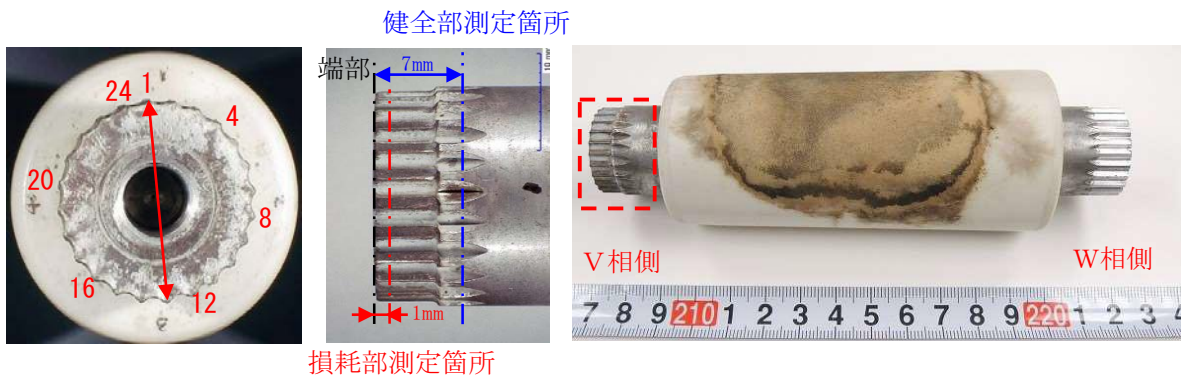


測定箇所	公差 (mm)	測定結果 (mm)	
		健全部 ※1	損耗部 ※2
a-m	+0.088/+0.046	+0.084	+0.494
f-r		+0.064	+0.474

※1：外側端部より 1mm 内側を測定

※2：W相側端部より 1mm 内側を測定

・絶縁操作軸



測定部	山—山間			谷—谷間		
	公差 (mm)	測定結果 (mm)		公差 (mm)	測定結果 (mm)	
		健全部 <sup>※1</sup>	損耗部 <sup>※2</sup>		健全部 <sup>※1</sup>	損耗部 <sup>※2</sup>
1-13	+0/-0.1	-0.07	-1.21	±0.5	0.02	-0.60
2-14		-0.08	-1.16		0.00	-0.62
3-15		-0.07	-1.10		-0.01	-0.62
4-16		-0.07	-1.11		0.00	-0.55
5-17		-0.07	-1.12		0.00	-0.52
6-18		-0.08	-1.11		-0.01	-0.51
7-19		-0.04	-1.12		-0.01	-0.54
8-20		-0.07	-1.11		-0.01	-0.52
9-21		-0.07	-1.14		-0.01	-0.49
10-22		-0.07	-1.18		-0.01	-0.47
11-23		-0.05	-1.12		0.00	-0.45
12-24		-0.07	-1.22		0.00	-0.52

※1：端部より7mm内側を測定

※2：端部より1mm内側を測定



d. 異常電圧の侵入

(a) 雷撃履歴確認

相間短絡発生時の電圧波形について確認し、自動オシロ装置の測定結果から、雷撃によるサージ電圧は確認されなかった。また、ガス絶縁開閉装置避雷器の動作も確認されなかった。

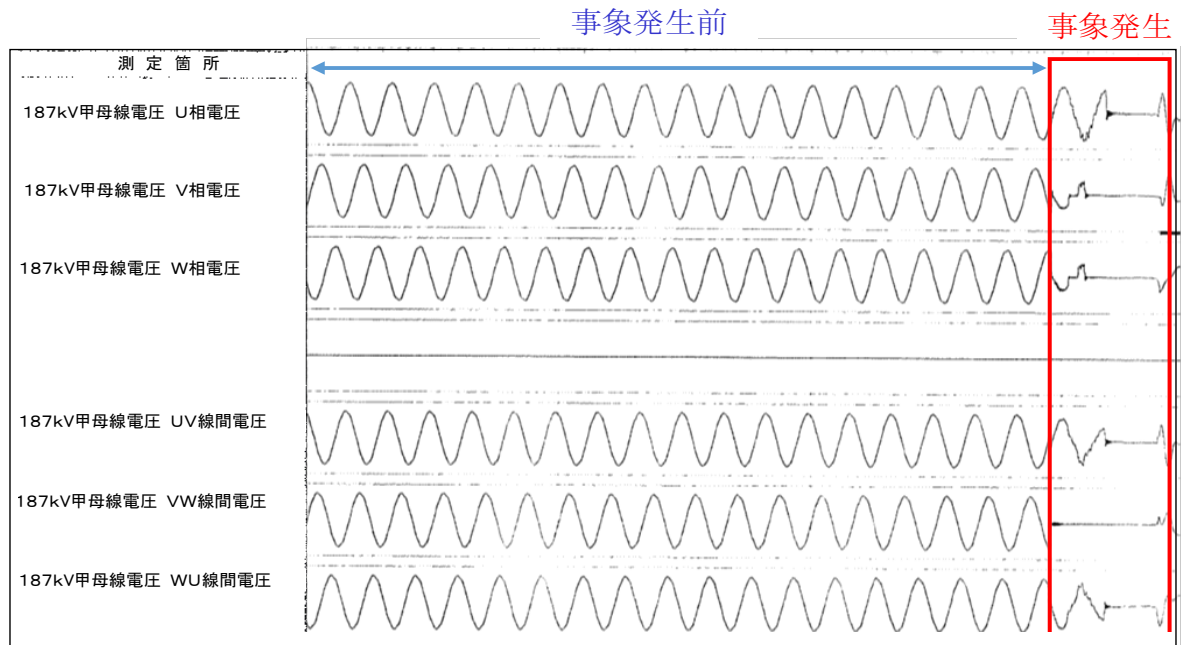


図3 自動オシロ装置測定結果

e. 異物の付着

(a) 外観確認

「1. (1) c. (a) 外観確認」のとおり、問題なかった。

(b) 表面汚損分析

絶縁操作軸の表面汚損分析を行った結果を表3に示す。短絡があったV相-W相間絶縁操作軸については、W相-U相間絶縁操作軸に比べて絶縁操作軸の埋金と可動接触子に使用されている金属成分であるAlおよびCuならびにSF<sub>6</sub>ガスの分解によって発生するFの成分を顕著に検出した。

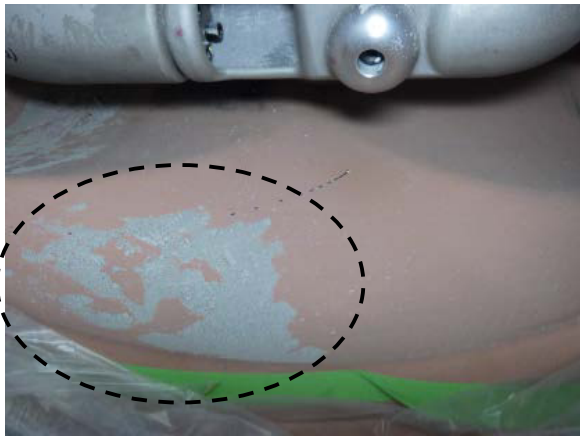

表3 表面汚損分析結果

試験項目	試料	V相-W相間 絶縁操作軸	W相-U相間 絶縁操作軸
pH		4.28	4.28
電導度	( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	11.94	5.50
等価塩分汚損密度	( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	0.0061	0.0015
F <sup>-</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	4.04	0.81
Cl <sup>-</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.06	0.08
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.02	0.01
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.11	0.02
Fe <sup>2+, 3+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.01	<0.01
Cu <sup>2+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	3.22	0.21
Zn <sup>2+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.06	0.01
Ca <sup>2+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.21	0.06
Mg <sup>2+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.12	0.02
Al <sup>3+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	6.72	0.60
Si <sup>2+, 4+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.03	0.01
Ag <sup>+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	<0.02	<0.01
Mn <sup>2+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.03	<0.01
W <sup>6+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.08	<0.01
Na <sup>+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.07	0.03
K <sup>+</sup>	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	0.07	0.03

(c) 採取異物の分析

タンク内の採取物から、短絡による溶融金属以外に箔状の金属が採取された。当該金属を分析した結果、絶縁操作軸の埋金および可動接触子に使用されている金属（アルミ合金、銅）であった。

表4 採取物の観察結果

採取物全景	フッ素化合物を除去した採取物
	

(2) 絶縁性能異常

a. 異物の付着

(a) 外観確認

「1. (1) e. (a) 外観確認」のとおり、問題なかった。

(b) 表面汚損分析

「1. (1) e. (b) 表面汚損分析」のとおり、絶縁操作軸の埋金および可動接触子に使用されているA lおよびC uならびにS F<sub>6</sub>ガスの分解によって発生するFの成分が顕著に検出された。

(c) 採取異物の分析

「1. (1) e. (c) 採取異物の分析」のとおり、タンク内の採取物から、絶縁操作軸の埋金および可動接触子に使用されている金属（アルミ合金、銅）が採取された。

b. 絶縁設計不良

(a) 電界・絶縁設計

「1. (1) a. (a) 電界・絶縁設計確認」のとおり、問題なかった。

(b) 工場試験報告書確認

「1. (1) a. (b) 工場試験報告書確認」のとおり、問題なかった。

c. 絶縁材料不良

(a) 寸法測定

「1. (1) b. (a) 寸法測定」のとおり、問題なかった。

(b) 外観確認

「1. (1) c. (a) 外観確認」のとおり、絶縁操作軸に亀裂等は発生しておらず絶縁材料に異常は認められなかった。

d. S F<sub>6</sub>ガス異常

(a) ガス圧力確認

添付資料－8「2. ガス圧力の確認」のとおり、全て管理値以上であり、異常はなかった。

(b) ガス純度測定

現地にて採取したサンプリングガスを分析した結果、S F<sub>6</sub>ガス純度は、99.1%であり、規定値（97%以上）を満足することを確認した。

(c) ガス中水分測定

現地にて採取したサンプリングガスを分析した結果、S F<sub>6</sub>ガスの水分量は127ppmであり、管理値（150ppm以下）を満足することを確認した。



## 2. 絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部損耗

### (1) 機械的な摩耗

#### a. 設計強度の確認

##### (a) 工場試験報告書確認

当該断路器について、JECに基づく、1,000回の連続開閉試験を実施し、合格していることを確認した。

また、メーカーとして自主的に10,000回の開閉試験を実施し、合格していることを確認した。

表5 連続開閉試験

操作方式	制御電圧の条件	開閉回数	判定
電気操作	定格値	900回	良
	最高値	50回	良
	最低値	50回	良

##### (b) 設計強度評価

当該断路器の絶縁操作軸の埋金および可動接触子の嵌合部について、最大公差での隙間および実嵌合長さにおける、通常動作時および拘束時に想定される荷重に対して、十分な設計強度を有していることを確認した。

表6 最大公差での隙間および実嵌合長さでの強度評価結果

部位 動作	可動接触子			絶縁操作軸の埋金		
	曲げ破壊 応力 (MPa)	発生曲げ 応力 (MPa)	裕度 <sup>※</sup>	曲げ破壊 応力 (MPa)	発生曲げ 応力 (MPa)	裕度 <sup>※</sup>
通常動作時	235	12.1	19.4	456	12.1	37.7
拘束時		56.6	4.2		56.6	8.1

※曲げ破壊応力の発生曲げ応力に対する裕度

#### b. 製造状態の確認

##### (a) 製造履歴確認

添付資料-11「1. 製造履歴調査結果」から、製造状態の異常は認められなかった。

(b) 材料分析

絶縁操作軸の上部埋金および可動接触子の材料分析を行い、設計通りの材料が使われていることを確認した。

(c) 硬度測定

硬度測定の結果、規格値（絶縁操作軸の埋金：74.8HRB、可動接触子：43HRB）以上であることを確認した。

(d) 寸法測定

「1. (1) c. (b) 寸法測定」のとおり、製造状態の異常は認められなかった。

c. 組立状態の確認

(a) 製造履歴確認

添付資料－1 1 「1. 製造履歴調査結果」から、組立状態の異常は認められなかった。

(b) 外観確認

外観を確認した結果、組立状態の異常は認められなかった。

d. 操作装置（電動機）からの応力確認

(a) 製造履歴確認

添付資料－1 1 「1. 製造履歴調査結果」から、製造履歴の異常は認められなかった。

(b) 開閉操作状況確認

当該断路器について、事象発生までの開閉操作履歴を確認した結果、操作装置のモータ過電流警報発生などの異常履歴がないことを確認した。

(c) 操作装置特性確認

事象発生後の詳細調査において、開閉時間および操作電流が管理値内であること、製造時から有意な差がないことを確認した。

## (2) 熱による溶損

### a. 嵌合部周辺からの熱影響の確認

#### (a) 外観確認

「1. (1) c. (b) 寸法測定」のとおり、嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24か所）を含め、均一に損耗しており、山径、谷径ともに健全部より小さくなっていることを確認した。また、嵌合部に熱影響を与えると考えられる近隣部位には、異常は見られなかった。

#### (b) 表面観察

V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部について、電子顕微鏡（SEM）による表面観察を行ったところ、熱による金属溶融の様相を確認した。観察結果を表7に示す。

#### (c) 製造履歴確認

添付資料-11「1. 製造履歴調査結果」より、主回路抵抗値は管理値内であり、嵌合部付近で通電による異常な発熱はないことを確認した。

### b. ギャップ放電による発熱の確認

#### (a) 外観確認

「1. (1) c. (b) 寸法測定」のとおり、嵌合部は、機械的に損傷しない谷間（全24か所）を含め、均一に損耗しており、山径、谷径ともに健全部より小さくなっていることを確認した。

#### (b) 表面観察

「2. (2) a. (b) 表面観察」のとおり、熱による金属溶融の様相を確認した。

表 7 (1 / 2) V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金の表面観察


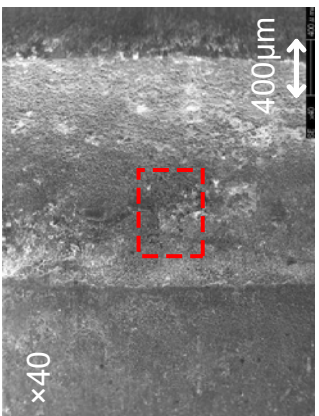
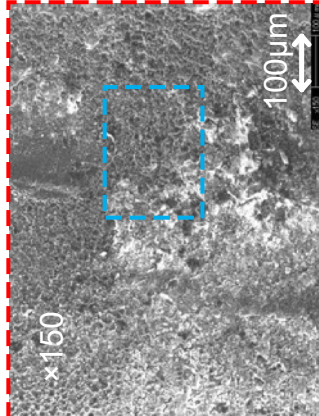
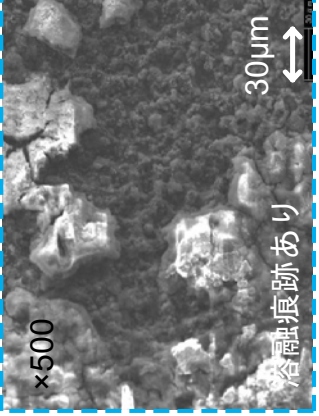
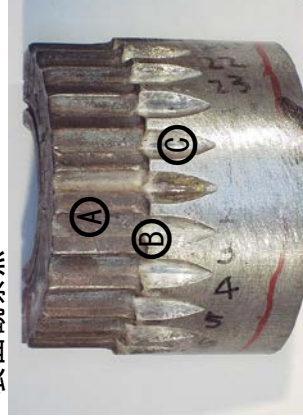
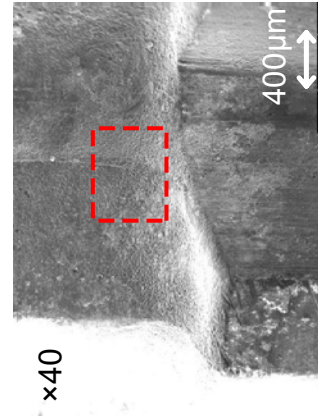
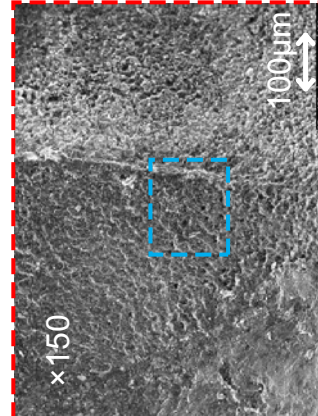
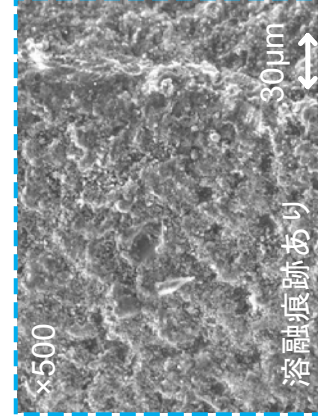
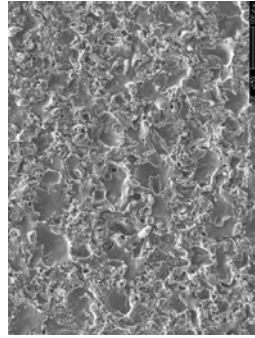
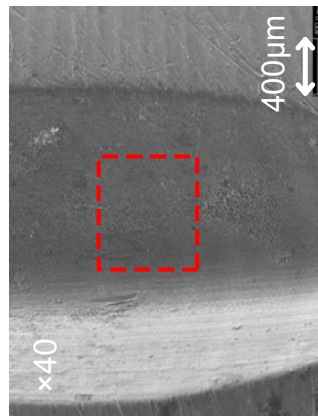
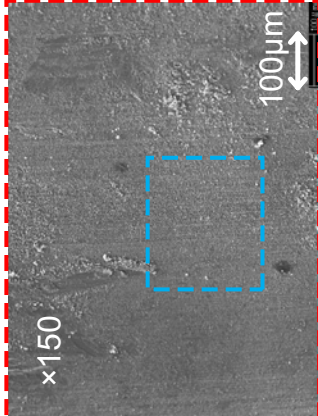
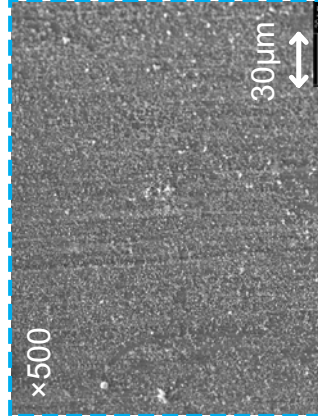

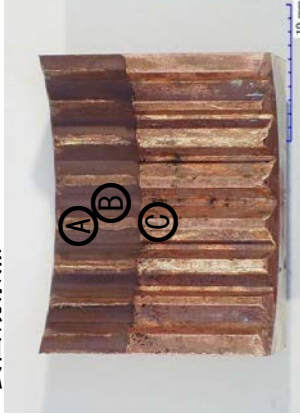
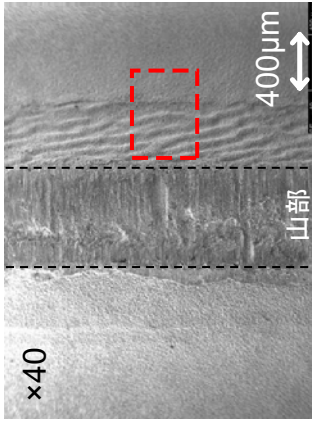
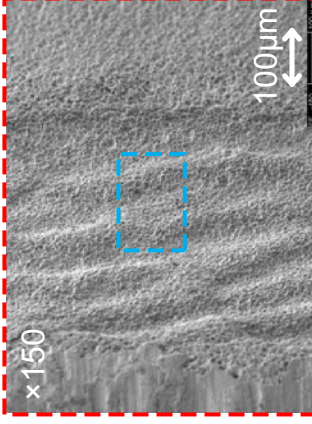
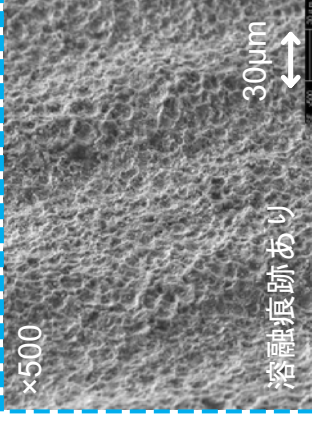
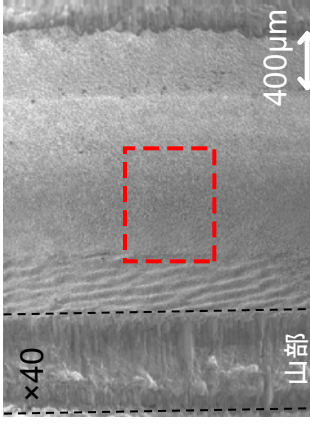
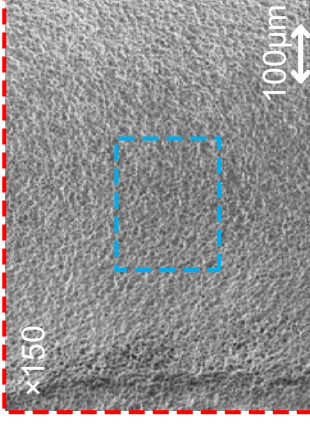
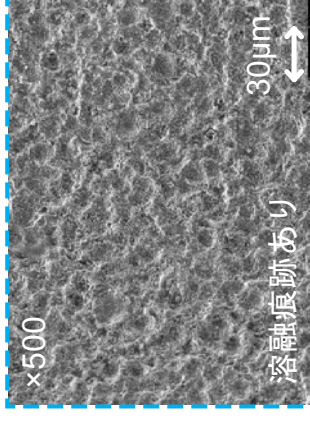
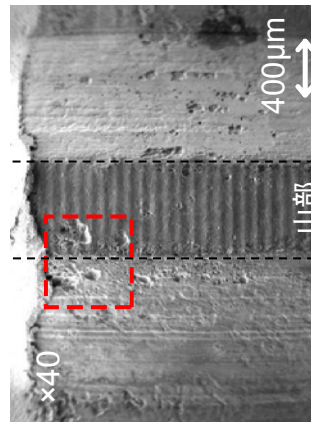
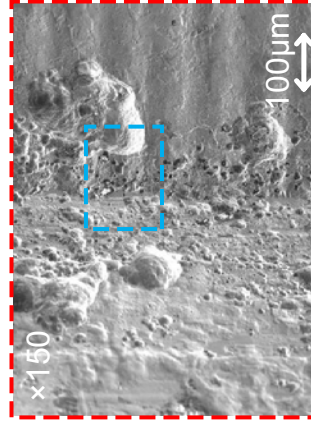
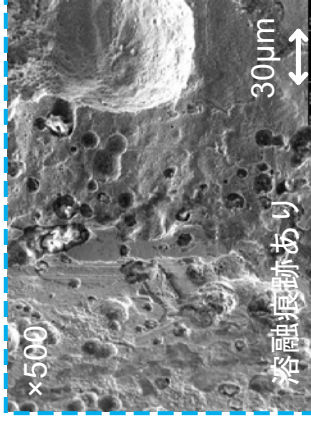
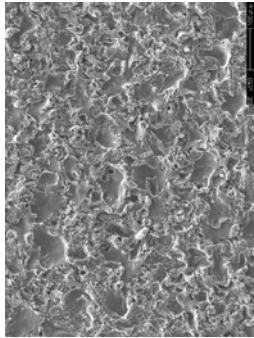
観察箇所	電子顕微鏡 (SEM) 画像						
<p>V相側埋金切断箇所</p> 	<p>x40</p>  <p>400μm</p>	<p>x150</p>  <p>100μm</p>	<p>x500</p>  <p>30μm</p> <p>溶融痕跡あり</p>	<p>表面観察点</p> 	<p>x40</p>  <p>400μm</p>	<p>x150</p>  <p>100μm</p>	<p>x500</p>  <p>30μm</p> <p>溶融痕跡あり</p>
<p>(参考) 放電加工の金属表面</p> 	<p>x40</p>  <p>400μm</p>	<p>x150</p>  <p>100μm</p>	<p>x500</p>  <p>30μm</p>				



表 7 (2 / 2) V相可動接触子の表面観察

観察箇所	電子顕微鏡 (SEM) 画像											
<p>可動側接触子切出箇所</p>  <p>表面観察点</p> 	A 部 (異常部)				B 部 (異常部)				C 部 (健全部)			
<p>(参考) 放電加工の金属表面</p> 												

(c) 嵌合部の非接触状態継続有無確認

設計上、嵌合部をセレーション構造としていることから、動作開始直後と動作停止直前は絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の嵌合部が瞬間的に非接触となる場合があるが、瞬間的な非接触では放電は発生しない。動作停止後に非接触状態が継続した場合、嵌合部の隙間で放電現象が発生する可能性があることから、当該断路器と同型式の断路器を用いて、絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の非接触状態の継続有無について確認した。断路器の投入、開放動作機構について図4に示す。

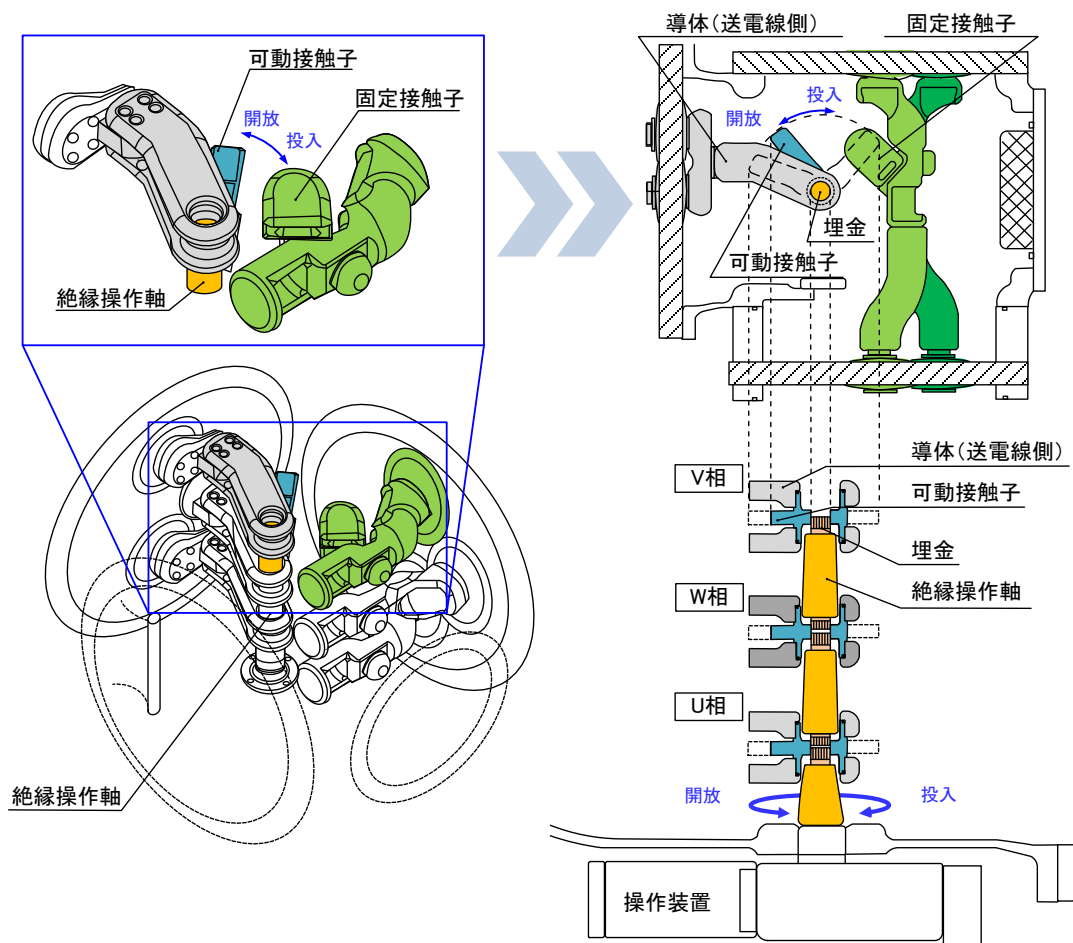
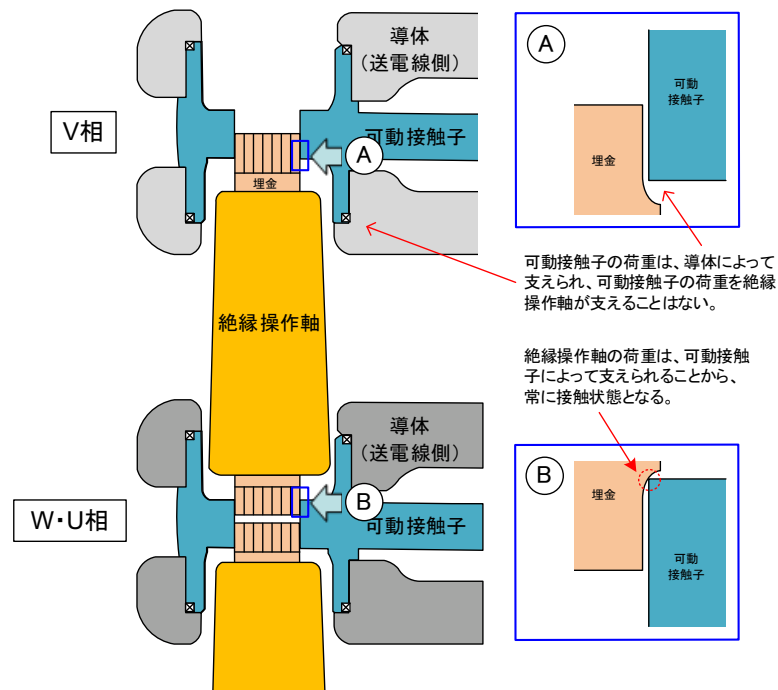


図4 断路器の動作機構

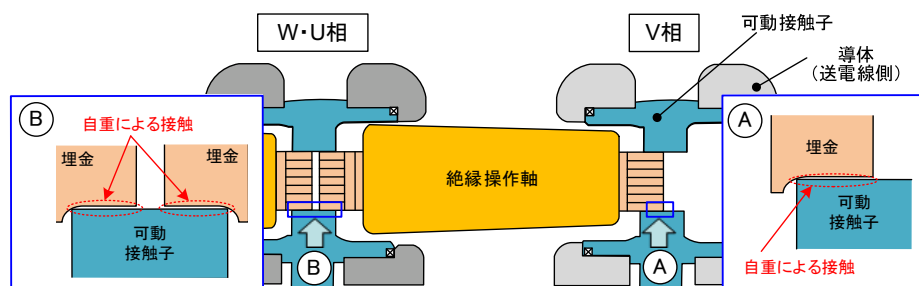
i. 操作装置による非接触状態継続有無の確認（通常）

運転時同様の操作装置を用いて絶縁操作軸および可動接触子を動作させ、非接触状態の継続有無を確認する試験を1,000回実施した。試験の結果、以下に示す挙動となることを確認した。その結果の一例を図5に示す。動作中は瞬間的な非接触状態が発生するが、1ms程度の瞬間的な非接触状態であることから、放電が発生することはない。

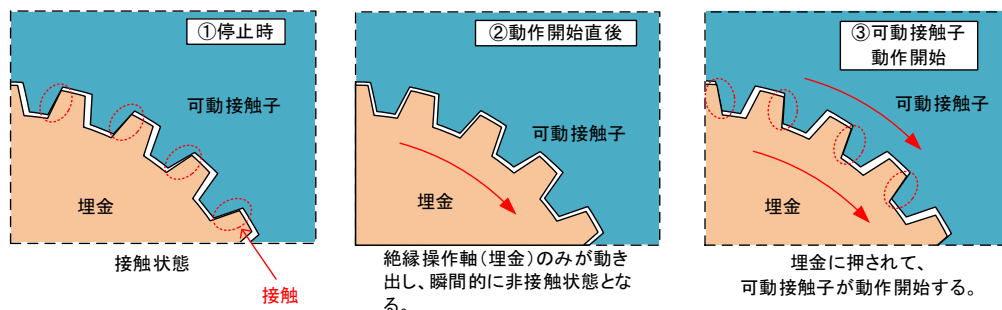
- 絶縁操作軸の下側の嵌合部は、構造上、可動接触子が絶縁操作軸の荷重を支えていることから常に接触状態となる。このため、動作中の瞬間的な非接触状態については、各絶縁操作軸の上側の嵌合部で発生し、下側の嵌合部においては発生しない。



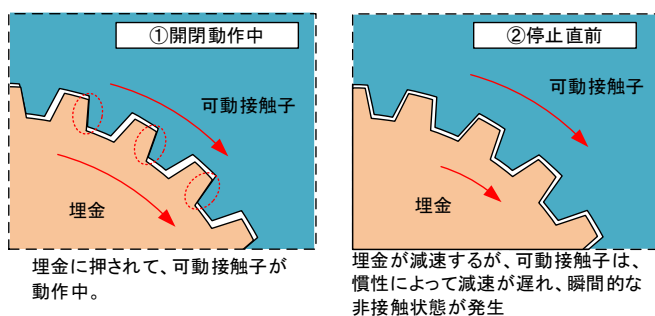
- 同様に絶縁操作軸の荷重を可動接触子が支える（絶縁操作軸が水平方向に配置される）構造となる断路器については、非接触状態は発生しない。



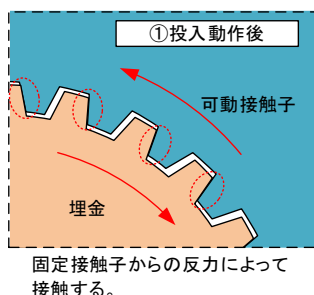
- 動作開始直後は、絶縁操作軸のみが動き出し、停止時に接していた面と逆の面に当たるまでの瞬間は、面での接触がなくなることから、各絶縁操作軸の上側の嵌合部において瞬間的な非接触状態が発生する可能性がある。(図5中のA)



- 開放動作時は、動作停止直前に絶縁操作軸の速度が徐々に低下するのに対して、可動接触子は慣性によって速度低下が遅れるため、各絶縁操作軸の上側の嵌合部の面が離れ、瞬間的な非接触が発生する。(図5中のB)



- 一方、投入動作時は、停止直前に可動接触子が固定接触子と嵌合するため、可動接触子は固定接触子から反力を受け、絶縁操作軸はねじりひずみによる回転力が加わることから、絶縁操作軸の埋金と可動接触子が接触した状態で停止する。(図5中のC)



- 前述した非接触状態は瞬間的なものであり、停止後は継続しない。
- W相可動接触子はV相-W相間絶縁操作軸の荷重を受け、U相可動接触子はW相-U相間絶縁操作軸の荷重を受けるのに対して、V相可動接触子は、上部から絶縁操作軸の荷重がかからないことから摩擦力が小さい。このためV相の嵌合部については、他部に比べて非接触状態となる可能性がある。



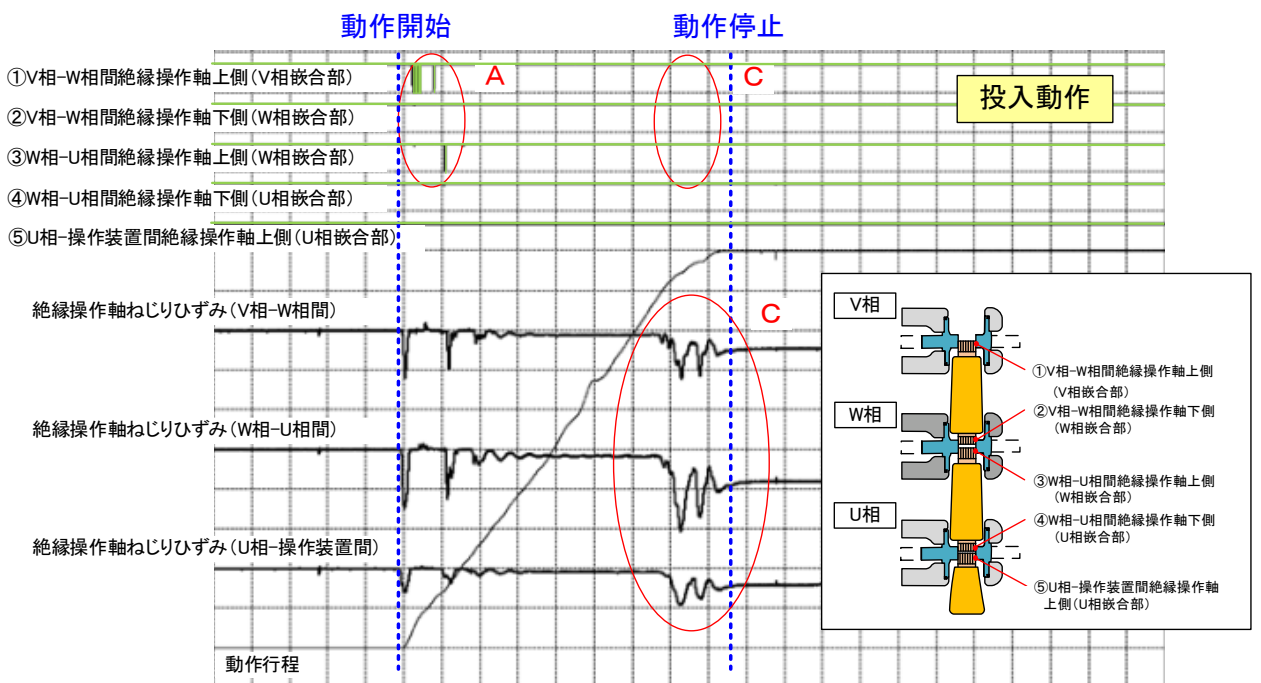
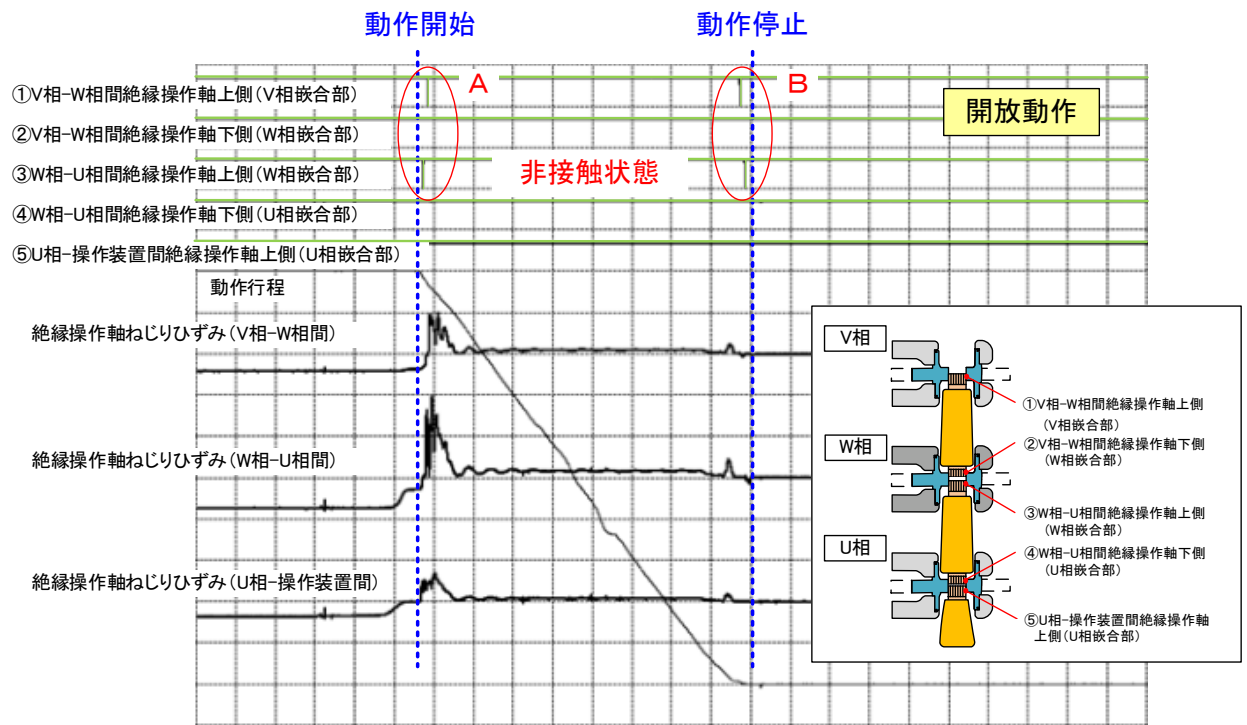


図5 操作装置による非接触状態継続有無の確認 (通常)

ii. 操作装置による非接触状態継続有無の確認（摩擦力調整）

「i. 操作装置による非接触状態継続有無の確認（通常）」のとおり、摩擦力の違いによって非接触状態となる頻度が異なることから、可動接触子と導体間の摩擦力を小さくして非接触状態の有無を確認する試験を1, 500回実施した。摩擦力の調整は、可動接触子と導体間に塗布するグリスの量を調整することによって行った。その結果の一例を図6に示す。

試験の結果、以下の挙動が見られた。

- ・ V相-W相間絶縁操作軸の上側の嵌合部は、動作停止直前に非接触状態となる回数が多くなることが確認され、動作停止後にも瞬間的に非接触状態となる状況が確認された。
- ・ その他の嵌合部の挙動については、変化がなかった。

動作停止後の継続的な非接触状態はなかったが、動作停止後に瞬間的であっても非接触状態が発生することがあった。これは、V相可動接触子が動作停止直前にチャタリングし、動作停止後まで継続することによるものと推定した。

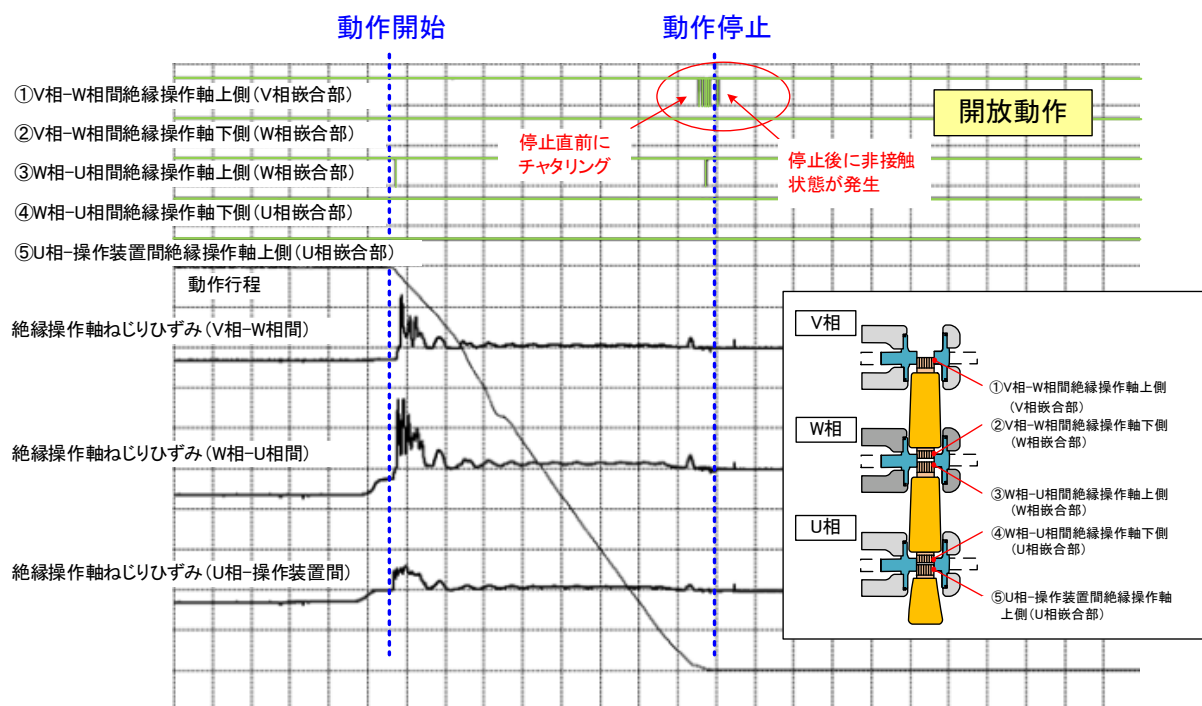


図6 操作装置による非接触状態継続有無の確認（摩擦力調整）

### iii. 手動による非接触状態継続有無の確認

「ii. 操作装置による非接触状態継続有無の確認（摩擦力調整）」の結果、摩擦力を小さくすることによって可動接触子が動作停止後もチャタリングする場合があることを確認したが、操作装置の動作停止後も非接触状態が継続することは確認できなかった。

このため、開放位置から手動で絶縁操作軸または可動接触子を微調整したところ、非接触状態が継続することが確認された。

以上のことから、可動接触子が動作停止時にチャタリングするような場合は、動作停止後も非接触状態が継続する可能性があることを確認した。

### (d) 嵌合部の放電有無の確認

絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部を「iii. 手動による非接触状態継続有無の確認」と同様の方法で非接触状態とした後に、主回路に187 kVを30分間連続的に印加した結果、放電（部分放電）が連続的に発生することを確認した。また、試験後に解体し、可動接触子と絶縁操作軸の埋金の嵌合部を確認した結果、一部に白色化（フッ素化合物の付着）した様相を確認した。

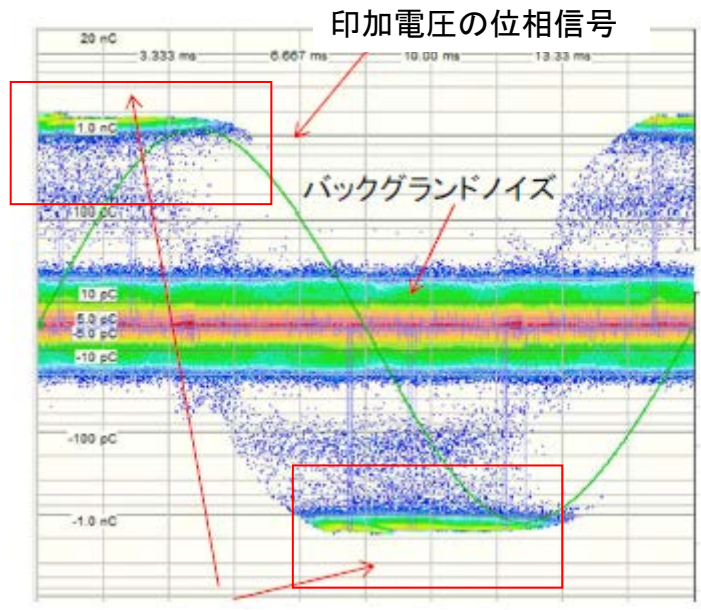
嵌合部に隙間があった場合、当該嵌合部の電位差（波高値）は8 kVであり、一方で平等電界におけるSF<sub>6</sub>ガスの火花電圧は7 kVであるため、理論上も放電は発生する。

また、本試験の結果から、嵌合部の部分放電の有無は、部分放電診断によって検知できるレベルであることを確認した。また、部分放電によって嵌合部が損耗している場合は、フッ素化合物が落下することから、開放点検時にフッ素化合物の有無を確認することが有用であることが分かった。

表8 部分放電の試験条件

項目	条件
印加電圧	交流187 kV r m s <sup>※</sup>
断路器状態	開放
ガス圧力	SF <sub>6</sub> ガス0.6 MP a

※ r m s : 実効値



部分放電の様相

図7 187kV部分放電測定データ



図8 放電試験後 解体品の確認結果

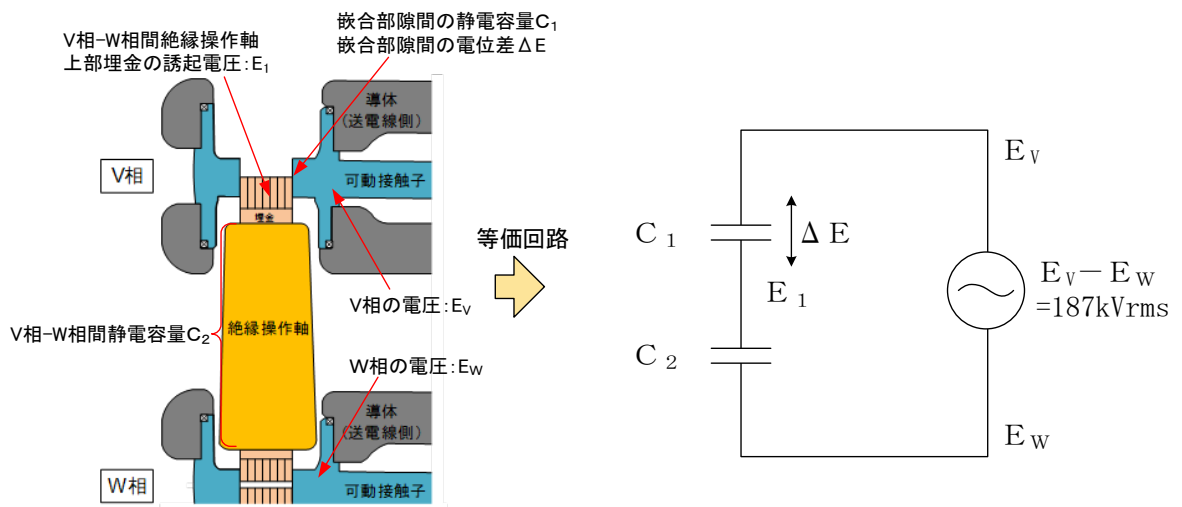


図9 等価回路

(e) 放電による溶融時間計算

可動接触子と絶縁操作軸の埋金の嵌合部に放電が継続した場合に、今回の事象と同等の損耗にかかる時間を推定した結果、200日程度であることが確認された。また、当該断路器の運転履歴を確認したところ至近に1年以上連続で開放状態となっている実績を確認した。

## 断路器内部確認結果

系統状態を変えずに点検可能な断路器3台（主変圧器1号乙母線断路器、起動変圧器1号乙母線断路器および伊方南幹線1号線線路側断路器）について、現地で開放し内部を確認した。内部の確認結果は以下に示すとおり、異常は認められなかった。

### 1. 外観確認結果

外観確認の結果、V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子の嵌合部に放電痕跡、損耗は見られなかった。また、断路器内部を目視にて確認した結果、導体表面やタンク底部等にフッ素化合物やその他異物の存在は認められなかった。

### 2. 通電状態確認結果

V相－W相間絶縁操作軸の上部埋金とV相可動接触子とは接触状態（テスターで導通を確認）であることを確認した。

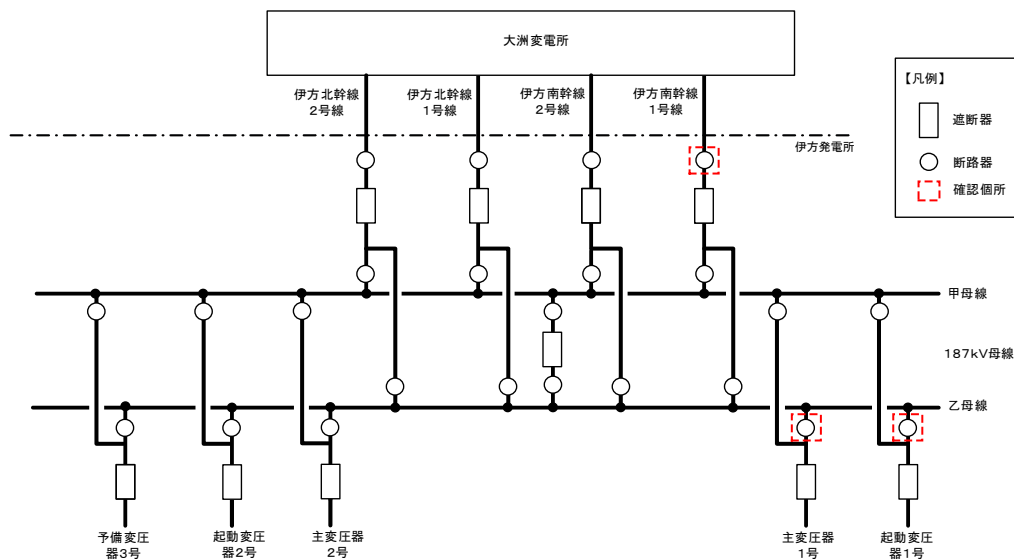

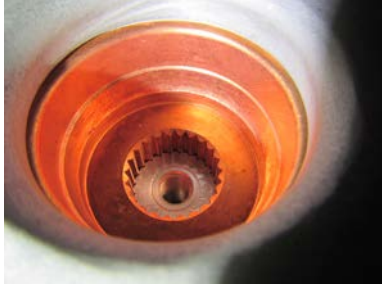
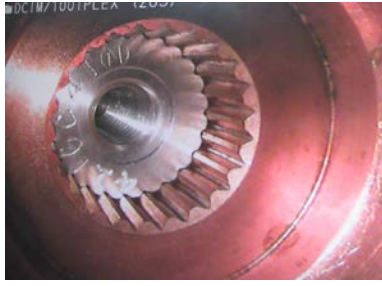





図1 断路器内部確認箇所



表1 断路器内部確認結果

	主変圧器1号 乙母線断路器	起動変圧器1号 乙母線断路器	伊方南幹線1号線 線路側断路器
V相可動接触子の嵌合部			
断路器内部			

## 試験用系統構成、手順等の評価

## 1. 今回の試験系統構成、手順等の評価

今回の187kVブスタイ保護リレーの方向試験の計画に当たっては、以下の検討を実施しており、その検討内容について評価した。

## (1) 送電系統についての検討（原子力部門、系統運用部門）

「四国電力株式会社 系統運用指針」に従い、原子力部門にて今回の試験におけるリスクおよびその対策について検討し、系統運用部門とも協議のうえ試験系統構成等を計画した。

## a. 187kVブスタイ保護リレーの方向試験に伴う187kV系統構成検討

過去に実施した同様の方向試験の実績を参考として、今回の試験における変電所側や送電線側の現場状況等も踏まえ、187kVブスタイ保護リレーの方向試験に必要な設備の利用範囲および負荷条件の電流等の検討を行い、系統構成を決定した。

具体的には、

- ・ 方向試験では、母線連絡遮断器に電流を流すため、甲母線に所内負荷、乙母線に電源（送電線）を接続、または甲母線に電源（送電線）、乙母線に所内負荷を接続する必要があること
- ・ 方向試験は、実際に使用する187kV送電線、母線、遮断器等を使用して確認する試験のため、仮設備ではなく実系統での試験を実施する必要があること

から、方向試験の系統構成として、甲母線に所内負荷（1号起動変圧器、2号起動変圧器、3号予備変圧器）、乙母線に電源（送電線：伊方北幹線1L・2L、伊方南幹線1L・2L）を接続することとした。

## b. 電気事故を局所化するための保護対策の検討

送電線事故や母線事故が発生した際に、事故範囲を局所化できるよう、保護リレーの保護する範囲を調整する場合もあるが、今回試験対象の187kVブスタイ保護リレーについては、常時作動しない運用（ロック運用）のため、試験時も通常時と保護リレーの状態が変わらないことから、特段の保護範囲の調整が不要であることを確認した。



c. 実施時期の検討

重負荷期や雷・雪・台風などの災害が予想される時期の回避など、天候条件を考慮して、試験の実施時期を計画した。

d. 天候条件の考慮

試験においては、天候条件を考慮した試験計画とした。

- ・雷や台風等の悪天候の場合には、試験の中止、延期を検討する。
- ・試験中に、天候の状況が悪化した場合には、試験を中止する。

(2) 所内系統についての検討（原子力部門の発電所内関係箇所）

a. 試験の実施時期

原子力安全に係るリスクを考慮し、3号機のプラント停止時期を選定し、その中でも燃料取出後の十分冷却され、所内負荷も少ない運転モード外（キャビティ全ブロー中）の時期での実施を計画した。

b. 電源の確保（外部電源、非常用電源）

試験中に送電線事故等が発生した場合でも、電源供給に支障のないように、試験に用いる外部電源以外の電源（外部電源、非常用電源）を複数確保するよう計画した。

○ 試験に用いる外部電源以外の外部電源

- ・500kV送電線
- ・平ばえ支線（66kV）
- ・亀浦変電所からの給電（6.6kV）

○ 非常用電源

- ・非常用ディーゼル発電機3B 1基（3Aは点検中）
- ・非常用ディーゼル発電機2号 2基
- ・空冷式非常用発電装置 4台

c. 試験用負荷の検討

187kVブスタイ保護リレーの方向試験においては、方向試験で使用する測定装置が検知できる電流（約7MWに相当する電流）を母線連絡遮断器に流す必要があった。今回、1、2号機は廃止決定しており所内負荷が少なく、1、2号機の所内負荷（約4MW）だけでは試験に必要な電流を確保することができないことから、試験に必要な電流を確保するため、過去に実施した同様の方向試験の実績も踏まえ、1、2号機に加え既設設備の実負荷である3号機の所内負荷（約3MW）を使用した。

d. 系統構成のための操作回数・順序の評価

通常、伊方発電所の187kV送電線、負荷は1甲2乙<sup>※2</sup>の接続となるよう運用している。

このため、方向試験の系統構成のための操作においては、不要な操作が生じないように、送電線を乙母線に、負荷を甲母線に接続することとした。また、上流の送電線側を切替えた後に下流の負荷側を切替える一般的な順序であることから、送電線側を切替えた後に、負荷側を切替えることとした。

- ※2 甲母線：1号負荷、伊方北幹線1号線、伊方南幹線1号線
- 乙母線：2号負荷、伊方北幹線2号線、伊方南幹線2号線
- 3号負荷は甲母線に接続

e. 3号機所内負荷の切替え時期の評価

方向試験では、3号機所内負荷を使用することとしており、187kV送電線から3号機所内負荷を給電するには、点検していた予備変圧器3号を復旧する必要があった。

このため、方向試験に必要な系統構成とする前に予備変圧器3号を無負荷受電し、その後、所内電源を切替え、負荷運転により予備変圧器3号の健全性を確認した後に187kV送電線の系統切替えを行うこととした。予備変圧器3号の健全性を確認した直後に187kV送電線の系統切替えを実施することは、187kV送電線の片母線接続時間を最小限にすることができ、また、点検後のインサービスのための確認行為としては一般的であった。

(3) 今回の試験系統構成、手順等の評価結果（まとめ）

(1)、(2)に示す通り、今回の方向試験の計画に当たっては、関係部門において必要な系統構成の立案を行うとともに、原子力安全に係るリスクを最小化するために実施時期の選定、天候条件の考慮など、想定されるリスクの特定、分析評価を行い、試験中止条件の設定、万が一のトラブルを想定した外部電源、非常用電源の電源確保対策など、リスクを緩和するための必要な措置を講じていた。

2. 更なるリスク低減に係る検討

今回、1、2、3号機の所内負荷が数秒間同時に停電したことから、他の作業手順の可能性を踏まえ、原子力安全に係るリスクを更に低減するため、3号機所内負荷の切替え時期および試験用負荷の使用について、更なる検討を実施した。

また、過去の同様な試験についても試験系統内の事故発生時の影響について同様に評価を実施した。

(1) 3号機所内負荷の切替え時期の再評価

ここでは、「ケース① 3号所内負荷を187kV側に切替え後に送電線4回線を片母線へ接続する場合（今回のケース）」と「ケース② 送電線4回線を片母線へ接続した後に3号所内負荷を187kV側に切替える場合」について評価した。

a. 送電線および母線事故時の停電評価

(a) 187kV送電線および母線事故時の停電評価

187kV送電線事故および母線事故が発生した場合、停電となる範囲について、評価した結果を表2に示す。

送電線事故の場合、2回線事故を想定しても、所内負荷が停電となることはない。

1母線事故の場合、ケース①（今回のケース）では、1、2、3号機の所内負荷が停電となる。ケース②では、1、2号機の所内負荷は停電となるが、3号機所内負荷は、500kV送電線から受電している状態を継続することから停電せず、1、2、3号機の所内負荷が同時停電することはない。

表2 187kV事故時の停電評価<sup>※1</sup>

事故種別 受電状態	送電線事故		1母線（乙母線） 事故
	1回線事故 （全4回線）	2回線事故 （全4回線）	
ケース① （今回のケース）	○ 影響なし 〔187kV送電線残り3回線より受電継続〕	○ 影響なし 〔187kV送電線残り2回線より受電継続〕	× <sup>※2</sup> 1、2、3号機 所内負荷停電 〔187kV母線停止〕
ケース②	○ 影響なし 〔187kV送電線残り3回線より受電継続〕	○ 影響なし 〔187kV送電線残り2回線より受電継続〕	× <sup>※3</sup> 1、2号機 所内負荷停電 〔187kV母線停止〕 ○ <sup>※3</sup> 3号機 影響なし 〔500kV送電線より受電継続〕

※1 故障発生時の影響度は、所内負荷停電（＝使用済燃料冷却設備の停止）の有無で評価

※2 1、2、3号機所内負荷は甲母線に接続し、187kV送電線は4回線全て乙母線に接続とする。

※3 3号機所内負荷は500kV送電線から受電。それ以外は※1に同じ。

(b) 500 kV送電線および母線事故時の停電評価

今回の事故は、187 kV送電線が遮断される事故であったものの、仮に今回の試験系統において500 kV送電線または母線の事故が発生した場合の停電範囲について評価を実施した。結果を表3に示す。

送電線1回線事故の場合、1、2、3号機の所内負荷が停電となることはない。

送電線2回線事故または母線事故の場合、ケース①（今回のケース）では、1、2、3号機いずれも187 kV送電線から受電している状態を継続することから所内負荷は停電しない。ケース②では、187 kV送電線からの受電継続により、1、2号機所内負荷は停電することはないが、500 kV送電線から3号機所内負荷を受電時に、500 kV送電線2回線または母線事故の発生により、3号機所内負荷は数秒間停電する。

表3 500 kV事故時の停電評価※

事故種別 受電状態	送電線事故		母線事故
	1回線事故 (全2回線)	2回線事故 (全2回線)	
ケース① (今回のケース)	○ 影響なし  〔187 kV送電線より受電継続〕	○ 1、2、3号機所内負荷影響なし  〔187 kV送電線より受電継続〕	○ 1、2、3号機所内負荷影響なし  〔187 kV送電線より受電継続〕
ケース②	○ 影響なし  〔1、2号機 187 kV送電線より受電継続〕  〔3号機 500 kV送電線より受電継続〕	○ 1、2号機所内負荷影響なし  〔187 kV送電線より受電継続〕  × 3号機所内負荷停電  〔500 kV送電線より受電時、500 kV送電線2回線停止〕	○ 1、2号機所内負荷影響なし  〔187 kV送電線より受電継続〕  × 3号機所内負荷停電  〔500 kV送電線より受電時、500 kV母線停止〕

※故障発生時の影響度は、所内負荷停電（＝使用済燃料冷却設備の停止）の有無で評価

b. 系統故障率の評価

次に、「ケース① 3号所内負荷を187kV側に切替え後に送電線4回線を片母線へ接続する場合（今回のケース）」と「ケース② 送電線4回線を片母線へ接続した後に3号所内負荷を187kV側に切替える場合」において、系統の故障について故障率の観点から、定性的な評価を実施した。結果を表4に示す。なお、本評価では、試験系統内の送電線、母線、断路器等の機器故障率は、一定との前提で評価を実施した。

図1に示すとおり、ケース②はケース①に比べて3号機所内負荷を187kV側へ切替える時間が含まれるため、送電線片母線接続となる時間が長くなり、系統全体としての故障率は上昇する。

ケース①およびケース②とも、操作対象、操作回数が同じことから、設備操作に係る故障率は同じである。

表4 系統故障率の評価※

	ケース① (今回のケース)	ケース②
187kV送電線4回線を乙母線接続時の機器故障率	○	△
	試験時のみ	試験時に加え3号機所内負荷を187kV側へ切替える時間を含む
方向試験時の機器故障率	○	○
	方向試験に要する時間は同じため 時間故障率は同じ	
一連の操作回数を踏まえた機器故障率	○	○
	機器操作回数を最小限にすることで故障率を抑えている。	機器操作回数を最小限にすることで故障率を抑えている。

※系統内の送電線、母線、断路器等の機器故障率は、一定との前提で評価

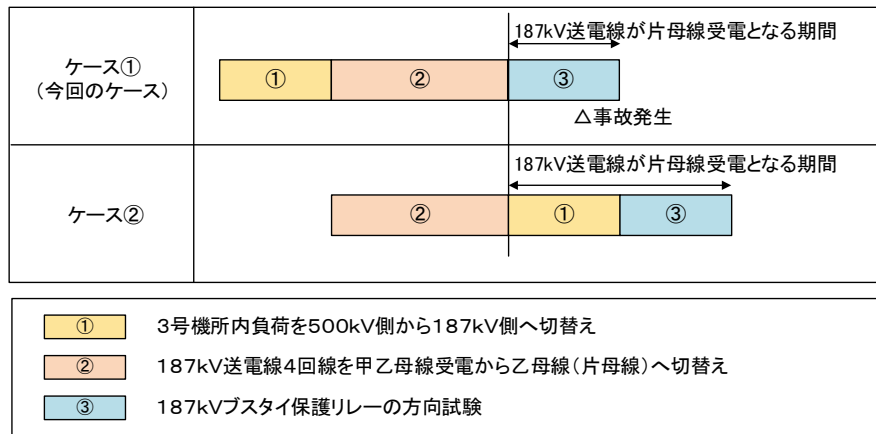


図1 各ケースでの操作順序 (イメージ)

## (2) 試験用負荷の検討

今回の187kVブスタイ保護リレーの方向試験においては、方向試験で使用する測定装置が検知できる電流(約7MWに相当する電流)を母線連絡遮断器に流す必要があった。ただし、1、2号機は廃止決定しており所内負荷が少なく、1、2号機の所内負荷(約4MW)だけでは試験に必要な電流を確保することができないことから、1、2号機に加え既設設備の実負荷である3号機の所内負荷(約3MW)を使用した。

今回の方向試験では、試験に必要な負荷が3MW程度であり、仮設備(模擬負荷)の使用が可能であると考えられることから適用可能性について検討を行った。

仮設備(模擬負荷)の使用は、仮設のケーブル敷設・接続作業等を伴うことから、既存の常設設備を使用する場合と比べて電気事故、作業安全上のリスクを伴う。一方、TBM(作業前のミーティング)ーKY(危険予知)の充実等により、作業安全上のリスク低減対策を講じれば、仮設備(模擬負荷)も有用な手段のひとつである。一方で、試験用負荷に仮設備(模擬負荷)を使用した場合でも、500kV母線事故が発生した場合には、500kV送電線から受電している3号機所内負荷は停電する。

今回の方向試験においては、3号機所内負荷の代わりに仮設備(模擬負荷)を使用した場合、3号機所内負荷への影響はなく、1、2、3号機の所内負荷が同時に停電することはなかった。

## (3) 過去の試験系統の評価

今回の事象との比較として、今回方向試験を行った187kVブスタイ保護リレーの前回方向試験および電源構成が現在と概ね同じとなっている平成23年3月以降の187kV母線関係の方向試験を抽出し、それぞれの試験における運転プラントへ電源供給停止等の影響を比較した。比較結果を表5に示す。

確認した結果、過去の試験については、一部の試験において、1、2、3号機所内電源の全てが供給停止となる可能性が否定できない系統構成であったことを確認した。

表 5 過去の方向試験の比較

対象工事	日時	試験対象	試験用 負荷	プラント状態			停電の影響 (試験系統内の事故時)			系統構成図
				3号機	2号機	1号機	3号機	2号機	1号機	
187kV 母線連絡保護リレー更新	平成 7 年 5 月 27 日	母線連絡保護リレー	2 号機 発電電力	運転中	運転中	定検中 (1-15 定検)	無し	影響あり	無し (定検中)	図 2-1
3号機発電機 変圧器保護盤更新	平成 29 年 10 月 24 日	予備変圧器 3 号 保護リレー	3 号機所内 負荷	定検中	定検中 (長期停止中)	廃止措置中	影響あり	無し	無し	図 2-2
187kV 母線保護リレー更新	平成 29 年 12 月 15 日	母線保護リレー	1、2、3 号機 所内負荷	定検中	定検中 (長期停止中)	廃止措置中	影響あり	影響あり (定検中)	影響あり (廃止中)	図 2-3
【今回】 187kV 母線連絡保護リレー更新	令和 2 年 1 月 25 日	母線連絡保護リレー	1、2、3 号機 所内負荷	定検中	定検中 (長期停止中)	廃止措置中 (使用済燃料 取出済)	影響あり	影響あり (定検中)	影響あり (廃止中)	-



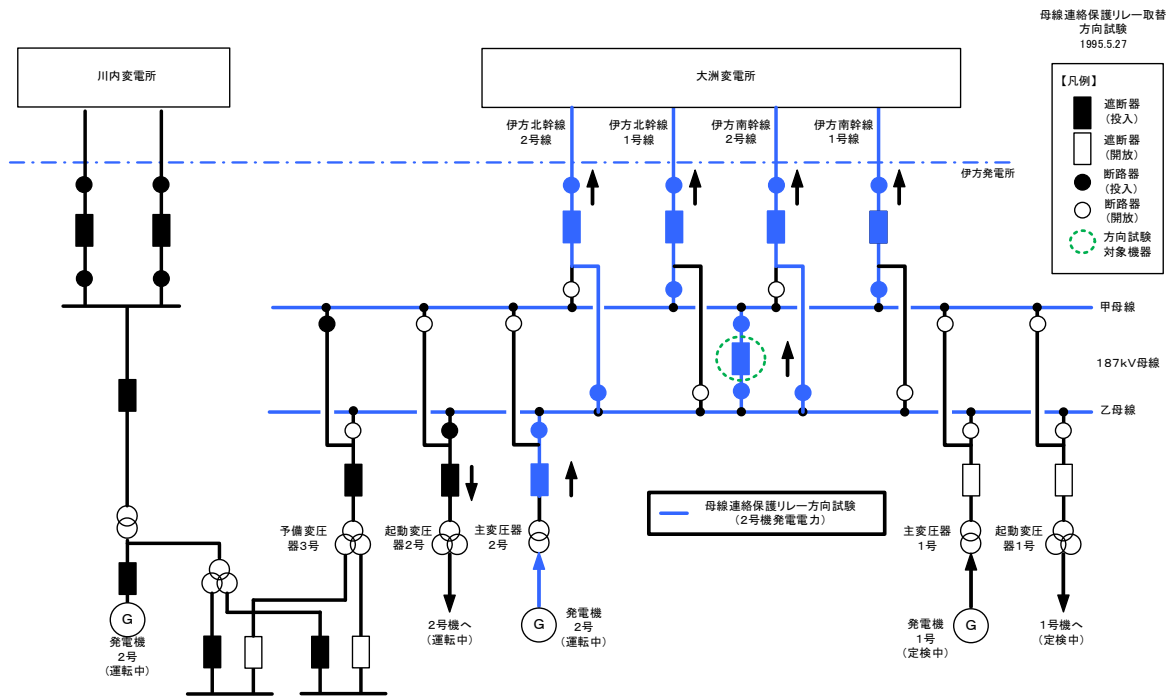


図 2 - 1 試験時系統構成 (187kV母線連絡保護リレー更新)

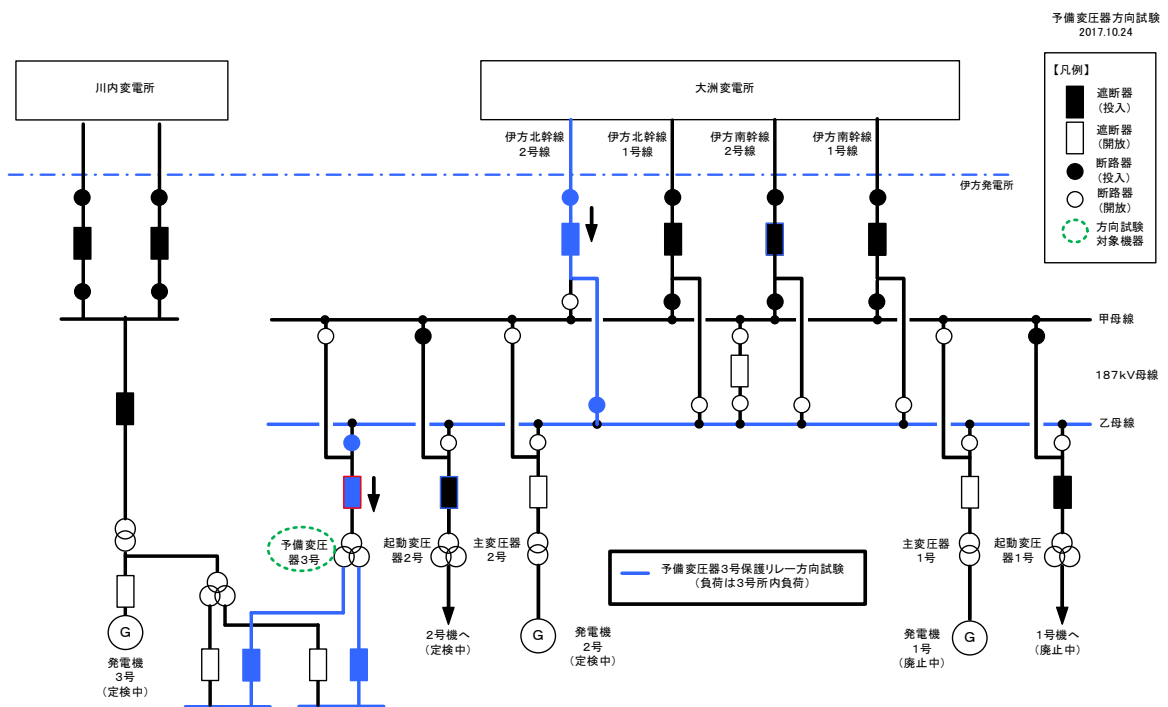


図 2 - 2 試験時系統構成 (3号発電機変圧器保護盤更新)

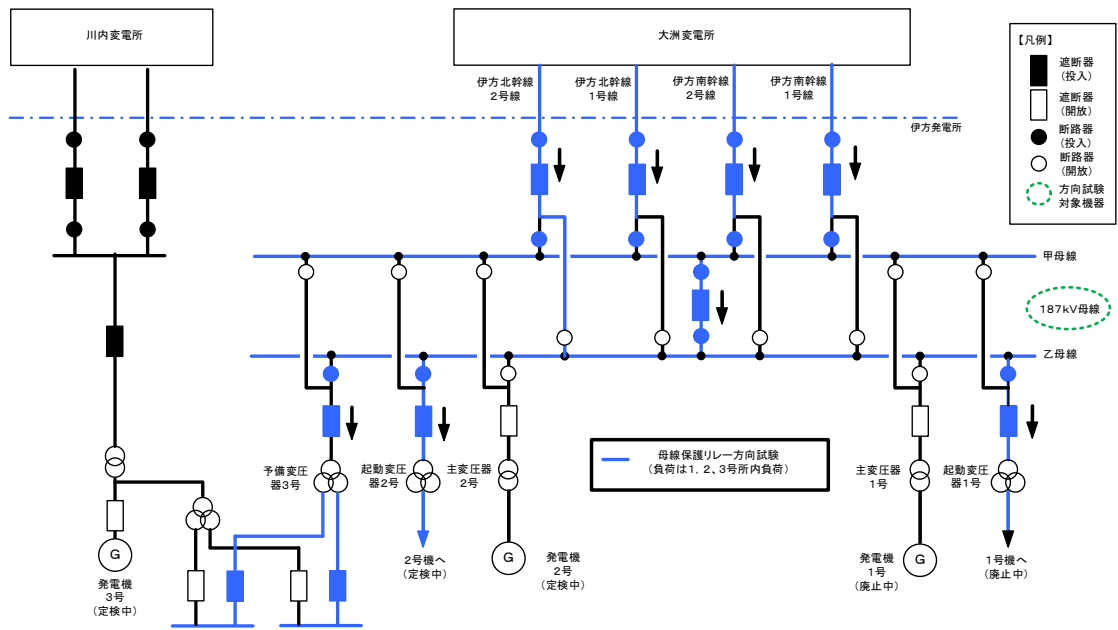


図 2 - 3 試験時系統構成 (187kV母線保護リレー更新)

#### (4) 更なるリスク低減に係る検討結果

2. (1) で実施した、3号機所内負荷の切替え時期による試験系統の影響評価結果について表6にまとめた。

表6のとおり、3号機の所内負荷切替時期は、187kV片母線接続前後のいずれにおいても、機器故障発生確率の観点では有意な差はなく、故障発生時の影響度の観点でも、故障の発生箇所によっては、それぞれ一長一短あり、一概にどちらが有用とは言えない。

また、試験用負荷について、仮設備（模擬負荷）の使用を検討した結果、ケーブル敷設・接続作業等に伴う電気事故・作業安全上のリスクを伴うものの、TBM-KYの充実等によるリスク低減を図ることにより、有効な手段のひとつである。

今回のブスタイ保護リレー方向試験において、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を試験系統構成から切り離すことで、1、2、3号機の所内負荷が同時に停電することはなかった。

1、2、3号機所内負荷の同時停電を回避する手段の検討など、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、より幅広い観点から、特定、分析評価することが重要である。

表6 3号機所内負荷切替時期による試験系統の影響評価※

評価項目		系統状態	3号機所内負荷切替時期	
			187kV4回線 片母線へ接続前に 切替え (今回のケース)	187kV4回線 片母線へ接続後に切替 え
故障 確率	187kV片母線受電時間 による故障確率		○ 試験時のみ	△ 試験時に加え3号機所内 負荷を187kV側へ切 替える時間を含む
	方向試験時の機器故障率		○ 方向試験に要する 時間は同じ	○ 方向試験に要する 時間は同じ
	一連の操作を踏まえた 機器故障発生確率		○ 最小限の操作回数	○ 最小限の操作回数
故障発生時の影響度	保護対策	事故範囲の 局所化	○ 保護リレーによる 適切な保護対策	○ 保護リレーによる 適切な保護対策
		バックアッ プ電源	○ 外部電源、非常用電源	○ 外部電源、非常用電源
	187kV 乙母線事故 (送電線は全 て乙母線接 続)	1、2号機	× 187kV母線停止	× 187kV母線停止
		3号機	× 187kV母線停止	○ 500kV送電線 より受電継続
	187kV 送電線 2回線事故 (送電線は全 て乙母線接 続)	1、2号機	○ 187kV送電線 残りの2回線維持	○ 187kV送電線 残りの2回線維持
		3号機	○ 187kV送電線 残りの2回線維持	○ 500kV送電線 より受電継続
	500kV 母線事故 または 送電線 2回線事故	1、2号機	○ 187kV送電線より 受電継続	○ 187kV送電線より 受電継続
		3号機	○ 187kV送電線より 受電継続	× 500kV母線または 送電線2回線停止

※系統内の送電線、母線、断路器等の機器故障率は、一定との前提で評価

故障発生時の影響度は、所内負荷停電(=使用済燃料冷却設備の停止)の有無で評価

影響評価 大:× 中:△ 小:○

### 3. 今後の対応

今回1、2、3号機所内負荷が数秒間同時停電したことを踏まえ、今回の187kVブスタイ保護リレーの試験再開に際しては、3号機所内負荷を接続しない試験系統構成（模擬負荷を使用）にて実施する。

また、保護リレーの方向試験を実施する場合、最適な系統構成、負荷の状況は、各プラント状態に大きく依存することから、過去の方向試験の状況と必ずしも同じとは限らない。

従って、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、より幅広い観点から、特定、分析評価することが重要である。

今後実施する保護リレーの方向試験においては、試験の都度、今回の再分析・評価を踏まえたより幅広い観点から検討を実施することとする。また、必要に応じ、確率論的リスク評価等のリスク情報を活用するとともに、関係する主任技術者も含めた意思決定を行う。

なお、現在当社では、発電所のマネジメントに対し、今回の事例のようにリスク情報を活用した意思決定を導入するための活動を推進している。

推定メカニズム

	①非接触状態の継続／嵌合部の隙間拡大	②金属くずの発生	③金属くずの付着	④相间短絡
<p>概要図</p>	<p>嵌合部の非接触状態が継続 可動接触子 埋金</p> <p>放電溶融により損耗し、隙間が拡大</p> <p>埋金</p> <p>嵌合部損耗</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子 絶縁操作軸</p> <p>V相</p>	<p>金属くずが発生</p> <p>金属くずが発生</p> <p>埋金</p> <p>絶縁操作軸</p> <p>金属くず</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子 絶縁操作軸</p> <p>V相</p>	<p>金属くずの付着</p> <p>金属くずが付着</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子</p> <p>V相</p> <p>絶縁操作軸</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子</p> <p>W相</p>	<p>相间短絡</p> <p>相间で短絡が発生</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子</p> <p>V相</p> <p>絶縁操作軸</p> <p>導体 (送電線側) 可動接触子</p> <p>W相</p>
<p>観察事実</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸と埋金と可動接触子の嵌合部が損耗</li> <li>電子顕微鏡観察によって、金属溶融の様相を確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>損耗した嵌合部の山頂部に擦過痕を確認</li> <li>タンク内から絶縁操作軸の埋金および可動接触子に使用されている金属の箔状の異物を採取</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸の表面汚損分析を実施した結果、絶縁操作軸の埋金および可動接触子に使用されている金属成分が他の絶縁操作軸に比べて多いことを確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁操作軸表面の炭化痕跡を確認</li> </ul>
<p>推定メカニズム</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>断路器の開放位置において、絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子の嵌合部の非接触状態が継続し、放電によって、嵌合部隙間が拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>嵌合厚さが薄くなったことから動作時の嵌合部の擦れによって金属くずが発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生した金属くずが絶縁操作軸または導体表面に付着</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高電界部に付着した金属くずを起点にV-W相間で短絡が発生</li> </ul>
<p>検証</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>嵌合部の非接触状態継続の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電有無の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生した金属くずが絶縁操作軸または導体表面に付着</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生した金属くずが絶縁操作軸または導体表面に付着</li> </ul>

## 対策要否検討結果および対策内容

### 1. 対策要否検討結果

伊方1、2、3号機の高圧絶縁開閉装置について、対策要否を検討した。

その結果、伊方3号機の高圧絶縁開閉装置（500kV、187kV）の断路器については、同様のセレーション構造でないことから同様の事象は発生せず、対策は不要である。

さらに、伊方3号機の高圧絶縁開閉装置（500kV、187kV）については、これまでの定期点検結果に異常がないこと、現在の使用状態においてガス圧等が正常であることを確認するとともに、内部診断（部分放電診断および内部異物診断）を実施し異常がないことを確認した。

一方、伊方1、2号機の高圧絶縁開閉装置（187kV、66kV）の断路器については、図1の①～⑳の断路器について、同様のセレーション構造を有することから、その対策要否を表1のとおり検討した。

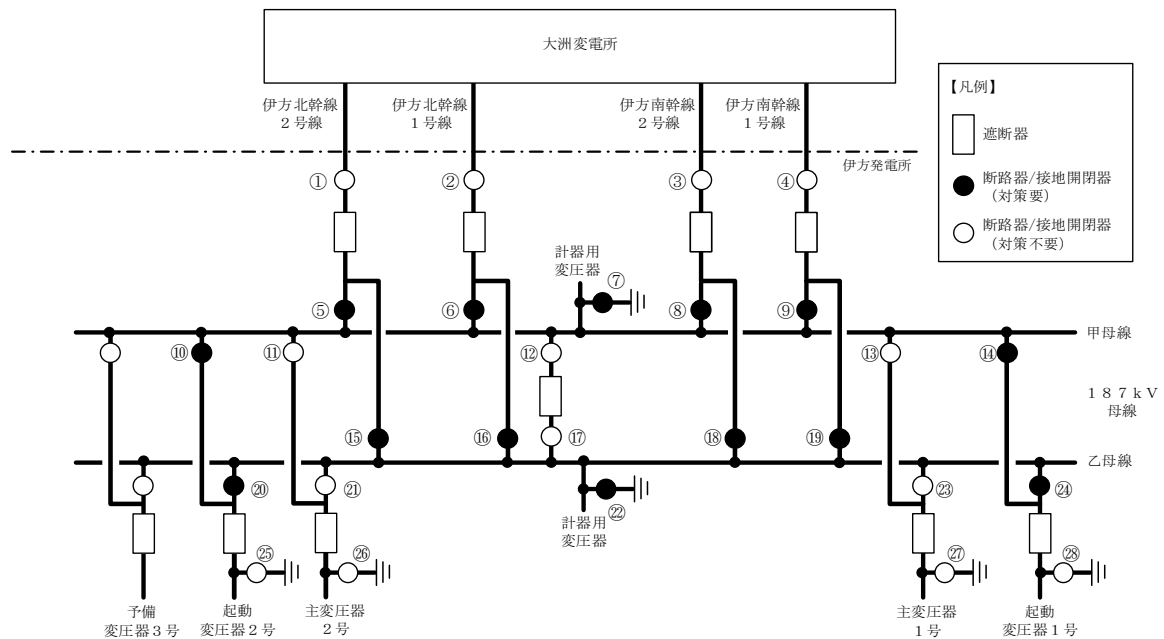


図1 対策要否検討結果 概要図

表1 対策要否検討結果

○：対象、×対象外

番号	名称	(1)絶縁操作軸が垂直配置 <sup>※1</sup>	(2)開放状態時に嵌合部に電圧が課電 <sup>※2</sup>	対策対象 <sup>※3</sup>	備考
①	伊方北幹線2号線線路側断路器	×	—	×	
②	伊方北幹線1号線線路側断路器	×	—	×	
③	伊方南幹線2号線線路側断路器	×	—	×	
④	伊方南幹線1号線断路器	×	—	×	
⑤	伊方北幹線2号線甲母線断路器	○	○	○	
⑥	伊方北幹線1号線甲母線断路器	○	○	○	
⑦	計器用変圧器甲母線接地開閉器	○	○	○	
⑧	伊方南幹線2号線甲母線断路器	○	○	○	
⑨	伊方南幹線1号線甲母線断路器	○	○	○	
⑩	起動変圧器2号甲母線断路器	○	○	○	
⑪	主変圧器2号甲母線断路器	○	×	×	※4
⑫	母線連絡甲母線断路器	○	×	×	
⑬	主変圧器1号甲母線断路器	○	×	×	※4
⑭	起動変圧器1号甲母線断路器	○	○	○	
⑮	伊方北幹線2号線乙母線断路器	○	○	○	
⑯	伊方北幹線1号線乙母線断路器	○	○	○	
⑰	母線連絡乙母線断路器	○	×	×	
⑱	伊方南幹線2号線乙母線断路器	○	○	○	
⑲	伊方南幹線1号線乙母線断路器	○	○	○	当該品
⑳	起動変圧器2号乙母線断路器	○	○	○	
㉑	主変圧器2号乙母線断路器	○	×	×	※4
㉒	計器用変圧器乙母線接地開閉器	○	○	○	
㉓	主変圧器1号乙母線断路器	○	×	×	※4
㉔	起動変圧器1号乙母線断路器	○	○	○	
㉕	起動変圧器2号接地開閉器	×	—	×	
㉖	主変圧器2号接地開閉器	×	—	×	
㉗	起動変圧器1号接地開閉器	×	—	×	
㉘	主変圧器1号接地開閉器	×	—	×	

※1：絶縁操作軸が水平配置であれば、絶縁操作軸の荷重を嵌合部で支えるため非接触状態となることはない。

※2：嵌合部の非接触状態が発生するのは、構造上、断路器が開放状態のときだけであり、開放状態で電圧がかからなければ放電は発生しない。

※3：⑲の当該品1台を除き、対策対象は13台。

※4：1、2号機の廃止に伴い主変圧器を使用することはなく、嵌合部に電圧がかかることはない。



## 2. 対策内容

### (1) 内部開放点検

現状に異常がないことを確認するため、「1. 対策要否検討結果」で対象として選定された同一構造および使用状態が同じ断路器（13台）については、計画的に断路器の内部開放点検を行い、嵌合部の外観およびフッ素化合物の有無を確認する。

### (2) 部分放電診断および内部異物診断

放電の発生有無を監視するため、当該断路器（1台）および同一構造および使用状態が同じ断路器（13台）について部分放電診断による監視強化を行う。部分放電診断については、内部開放点検の終了までは週に1回の測定を行い、内部開放点検終了後は、点検結果を踏まえて診断の頻度を決定する。さらに、内部異物診断を行うことによって、嵌合部の損傷に伴い発生する内部異物の有無を確認する。

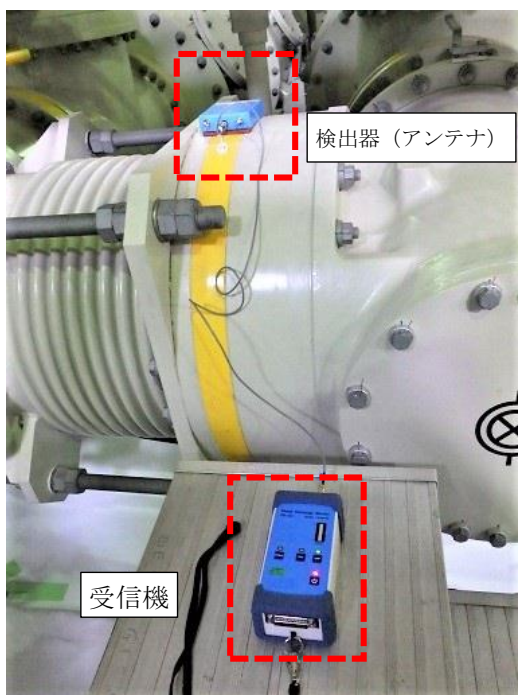


図2 部分放電診断（イメージ）

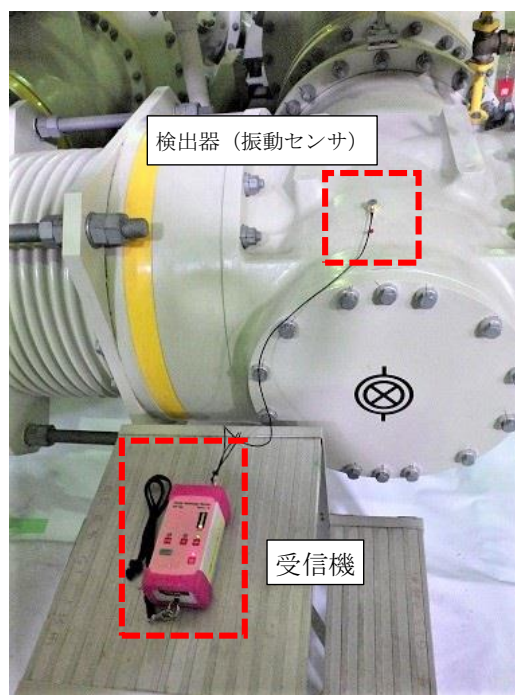


図3 内部異物診断（イメージ）

### 3. ブスタイ保護リレー試験

1、2、3号機の電源が数秒間同時に停電したことから、今回の187kVブスタイ保護リレーの試験再開に際しては、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成（模擬負荷を使用）にて実施する。

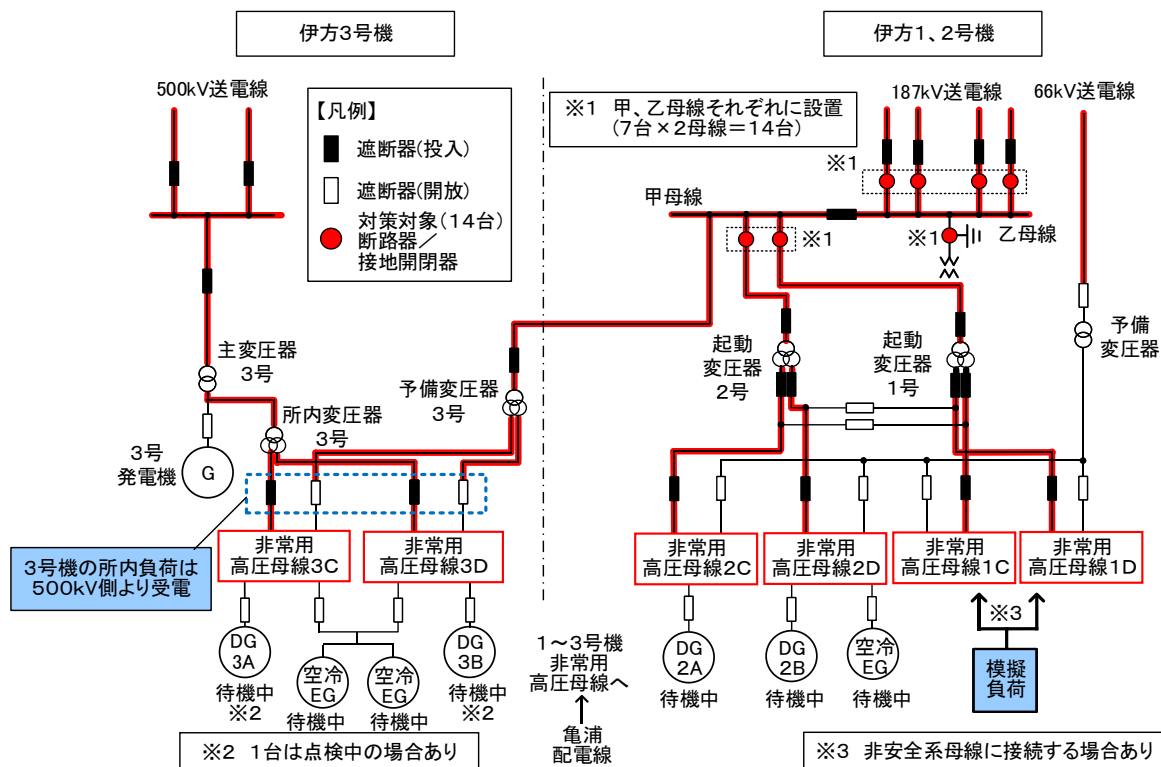


図4 保護リレー試験時の系統構成（改善策）

## 用語解説

### ○ガス絶縁開閉装置

絶縁特性に優れたSF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）ガスを用いて、遮断器、断路器等を一体に収納した開閉装置。

### ○保護継電装置（保護リレー）

電力系統で発生した地絡や短絡などの電気事故を検出し、事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。

### ○遮断器

電力系統で地絡や短絡などの電気事故が発生した場合に電流を遮断する装置。

### ○母線連絡遮断器

2つの母線を選択・区分するために設けられている遮断器。

### ○断路器

回路を選択・区分するための装置。

### ○187kV母線保護リレー

187kV母線内で発生した地絡や短絡などの電気事故を検出し、187kV母線を保護するため、遮断器へ事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。

### ○母線連絡保護リレー

187kV母線から送電線を含む区間で発生した地絡や短絡などの電気事故を検出し、当該区間を保護するため、遮断器へ事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。

### ○断路器ユニット

ガス絶縁開閉装置のうち断路器および導体を内包した箇所。

○自動オシロ装置

電気事故時における電圧・電流波形をモニタするための装置。

○短絡

電位差のある2点間が導通状態になること。なお、U相、V相、W相のいずれか二相で起きる短絡を二相短絡、三相すべてで起きる短絡を三相短絡という。

○地絡

電気回路と大地が導通状態になること。

○試充電

負荷のない状態で電圧を印加して、受電状態に異常がないことを確認すること。

○方向試験

電力潮流により、方向性、極性などが正常であることの確認を目的として、試験対象の保護リレーをロック（隔離）した状態で実際の電気システムを使用し、試験装置にて電圧および電流の位相差を確認する試験のこと。

○SEM（Scanning Electron Microscope、走査型電子顕微鏡）

電子線を試料に照射して表面を観察する装置。

○セレーション

軸のまわりに山と谷を、のこぎり歯状に等間隔につけたもの。

○フッ素化合物

フッ素（F）とアルミニウム（Al）や銅（Cu）が化合してできた物質。

○主変圧器

3号：発電機から500kV送電線へ電力を供給するための変圧器

発電機停止中は500kV送電線より受電し、所内へ電力を供給する。

1、2号：発電機から187kV送電線へ電力を供給するための変圧器、運転終了に伴い使用していない。

○所内変圧器

3号：所内へ電力を供給するための変圧器。

発電機停止中は主変圧器より電源を受電している。

1、2号：運転終了に伴い使用していない。

○予備変圧器

3号：所内変圧器が使用できない場合、187kV送電線から受電し所内へ電力を供給する変圧器。

所内変圧器が使用できる場合は基本的に待機状態となっている。

1、2号：起動変圧器が使用できない場合、66kV送電線から受電し所内へ電力を供給する変圧器。

起動変圧器が使用できる場合は基本的に待機状態となっている。

○起動変圧器

1、2号：187kV送電線から受電し、1、2号機所内へ電力を供給する変圧器。

○所内電源

伊方発電所内の設備に必要な電源。

以 上

伊方発電所3号機第15回定期検査中に  
連続発生したトラブルに関する報告書

令和2年7月

伊方原子力発電所環境安全管理委員会  
原子力安全専門部会

## 伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 名簿

部会長：	もあづき 望月	てるひと 輝一	愛媛大学名誉教授	(放射線医学)
部会長代行：	うねさき 宇根崎	ひろのぶ 博信	京都大学複合原子力科学研究所教授	(原子炉工学)
委員：	きしだ 岸田	きよし 潔	京都大学大学院工学研究科教授	(地盤工学・岩盤工学)
	たかはし 高橋	じろう 治郎	愛媛大学名誉教授	(構造地質学)
	なかむら 中村	ひでお 秀夫	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 原子力緊急時支援・研修センター兼安全研究 センター 特命専門職	(原子炉工学・原子炉安全工学)
	むらまつ 村松	けん 健	東京都市大学工学部客員教授	(原子力安全工学(リスク評価))
	もり 森	しんいちろう 伸一郎	愛媛大学大学院理工学研究科准教授	(地震工学)
	わたなべ 渡邊	ひでお 英雄	九州大学応用力学研究所准教授	(原子炉材料)

(注) 委員の表記は 50 音順

## 目 次

はじめに.....	1
審議の経緯.....	2
1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	3
2 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.....	9
3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について .....	16
4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について .....	22
5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について .....	29
審議結果.....	37
参考資料 伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧	



## はじめに

伊方発電所では、令和元年12月26日から開始した伊方発電所3号機の第15回定期検査において、

【事象1】令和2年1月6日

伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱

【事象2】令和2年1月12日

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

【事象3】令和2年1月20日

伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信

【事象4】令和2年1月25日

伊方発電所における所内電源の一時的喪失

と4件の重大なトラブルが連続して発生した。このため、四国電力株式会社（以下「四国電力」という。）は、1月25日から定期検査を中断した上で、愛媛県からの要請も踏まえ、各事象の原因と再発防止策に係る報告書に加えて、一連のトラブルが発生した背景についても調査・分析し、総括評価として取りまとめ、3月17日に愛媛県に提出するとともに、原子力規制委員会に対しては、国への報告対象事象である【事象2】のほか、【事象3】及び【事象4】（以下「3事象」という。）に係る報告書についても参考として提出した。

愛媛県においては、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会で、各事象の原因究明と再発防止策の妥当性に加え、一連のトラブルが発生した背景にも注目し、実効性ある再発防止策の確実かつ継続的な実施に向けた取組みについて審議を行った。

本報告書は、原子力安全専門部会における審議内容とトラブルの再発防止のため、四国電力に求める事項を取りまとめたものである。

## 審議の経緯

原子力安全専門部会においては、2月18日、四国電力から各事象の概要と原因究明に係る中間報告を受けた後、3月17日に四国電力から愛媛県に提出のあった事象1～4の4件と総括評価の報告書について、6月4日にその内容を聴取するとともに、特に原因究明の妥当性や再発防止策の実効性・有効性等について審議を行った。

その後、7月16日に、これまでの原子力安全専門部会における審議内容について整理し、部会報告書として取りまとめた。

一方、国では【事象2】について、2月12日及び3月26日の原子力規制委員会の事故トラブル事象への対応に関する公開会合における審議等を経て、4月8日の原子力規制委員会において、原因と再発防止策が検証され、四国電力の原因を断定することはできないが調査結果の説明は整合性が取れるものであり、再発防止策は適当として了承された。また、【事象3】及び【事象4】についても、原因と再発防止策の報告がなされ、確認された。

### 原子力安全専門部会等の開催状況一覧

開催日	会議	内容
令和2年2月18日	原子力安全専門部会	四国電力から、各事象の概要と原因究明に係る中間報告について聴取
令和2年3月24日	環境安全管理委員会	報告書の概要について聴取
令和2年6月4日	原子力安全専門部会	四国電力から、報告書の内容について聴取 各事象の原因究明と再発防止策及び総括評価の妥当性・実効性等について審議
令和2年7月16日	原子力安全専門部会	前回部会における委員意見に対する対応等の説明 部会報告書の取りまとめ

### (参考) 国における検証経緯

開催日	会議	内容
令和2年2月12日	原子力規制委員会 事故トラブル事象への 対応に関する公開会合	3事象の概要について報告
令和2年3月26日		3事象の原因と再発防止策について報告し、審議等を実施
令和2年4月8日	原子力規制委員会	国への報告対象である【事象2】の原因と再発防止策について検証し、了承されるとともに、INES（国際原子力・放射線事象評価尺度）レベル0の「安全上重要でない事象」と評価 【事象3】、【事象4】の原因と再発防止策について報告・確認

# 1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

## (1) 事象概要

四国電力は、原子炉施設の安全機能を確保するため、伊方発電所原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、原子炉施設の運転モード<sup>※1</sup>に応じ、安全機能を確保するために必要な機器の台数等を「運転上の制限」として定めるとともに、機器の点検・保守のために計画的に運転上の制限外に移行するための措置についても定めている。

四国電力は、伊方発電所3号機の第15回定期検査において、1月6日から中央制御室非常用循環系<sup>※2</sup>の点検を行うため、第14回定期検査（平成29年10月3日～平成30年11月28日）と同様の手順により、保安規定第84条に定める運転上の制限である「中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること」を満足した状態から、計画的に運転上の制限外に移行しようとしたところ、当直長が計画的に運転上の制限外に移行できる時期ではないと判断し、作業を中止した。

保安規定第84条抜粋  
 3号炉について、次の各号の重大事故等対処設備は、表84-1で定める事項を運転上の制限とする。  
 (16) 中央制御室  
 表84-17 中央制御室  
 84-17-1 居住性の確保及び汚染の持ち込み防止  
 (1) 運転上の制限

項目	運転上の制限
中央制御室非常用循環系	中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること

保安規定第88条では、中央制御室非常用循環系の点検のため、運転上の制限外に移行する場合は、原子炉容器内から燃料体を全て取出してあり、かつ使用済燃料ピットでの照射済燃料<sup>※3</sup>を移動していない時期に、実施しなければならない旨を定めているが、今回点検のために運転上の制限外に移行しようとした際の原子炉施設は、原子炉容器内に燃料体が装荷されている運転モード5の状態であった。

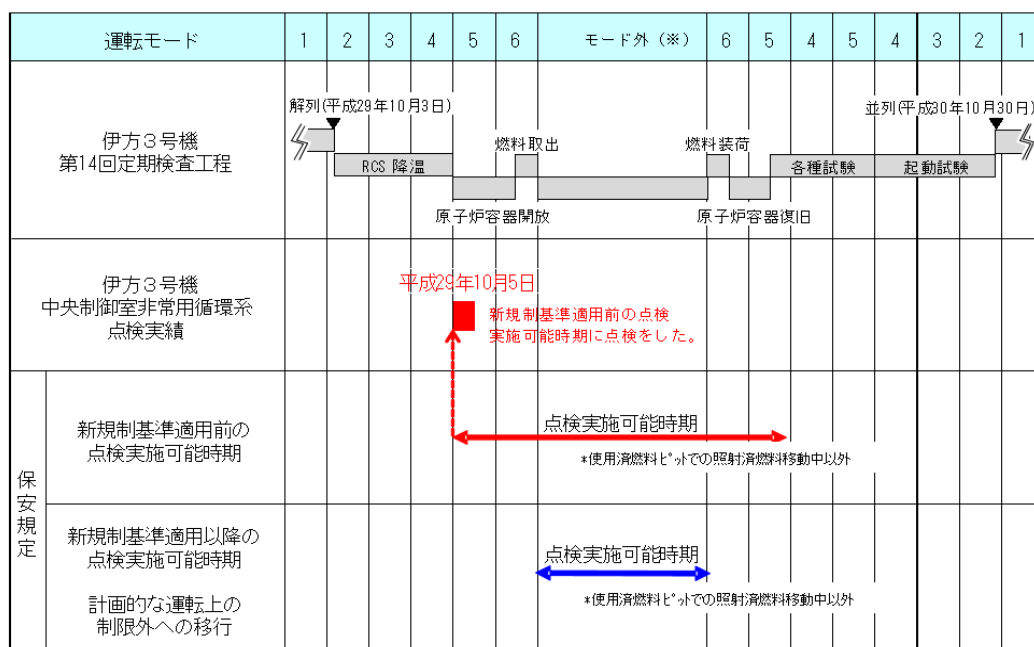
保安規定第88条抜粋  
 3 各課長は、表88で定める設備について、保全計画等に基づき定期的に行う点検・保守を実施するため、計画的に運転上の制限外に移行する場合は、同表に定める定検時の措置を実施する。

表88

点検対象設備	第88条適用時期	点検時の措置	実施頻度
中央制御室非常用給気ファン 中央制御室空調ファン 中央制御室再循環ファン 中央制御室非常用給気フィルタユニット	モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外	使用済燃料ピットの水位がE L 31.7m以上および水温が65℃以下であることを確認する。	点検前 その後の1週間に1回

このため、平成 29 年 10 月 5 日に実施した前回第 14 回定期検査の中央制御室非常用循環系の点検作業について確認したところ、今回実施しようとしていた原子炉施設が運転モード 5 の状態において点検作業を実施しており、運転上の制限を満足していない期間があったことを確認した。今回確認された運転上の制限の逸脱に関する保安規定第 84 条及び第 88 条第 3 項の規定は、平成 25 年 7 月の新規制基準施行により新たに設けられ、第 14 回定期検査で初めて適用された規定であり、第 13 回定期検査までは、原子炉施設の運転モード 5 における中央制御室非常用循環系の点検作業は適切な作業であった。

なお、当該設備に異常はなく、点検作業期間中は、原子炉容器内は満水を維持しており、使用済燃料ピットでの照射済燃料移動作業も行っておらず、安全は確保されている状態であった。また、本事象による環境への放射能の影響はなかった。



※すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合

図 1-1 第 14 回定期検査における点検工程

※ 1 原子炉施設の運転モード

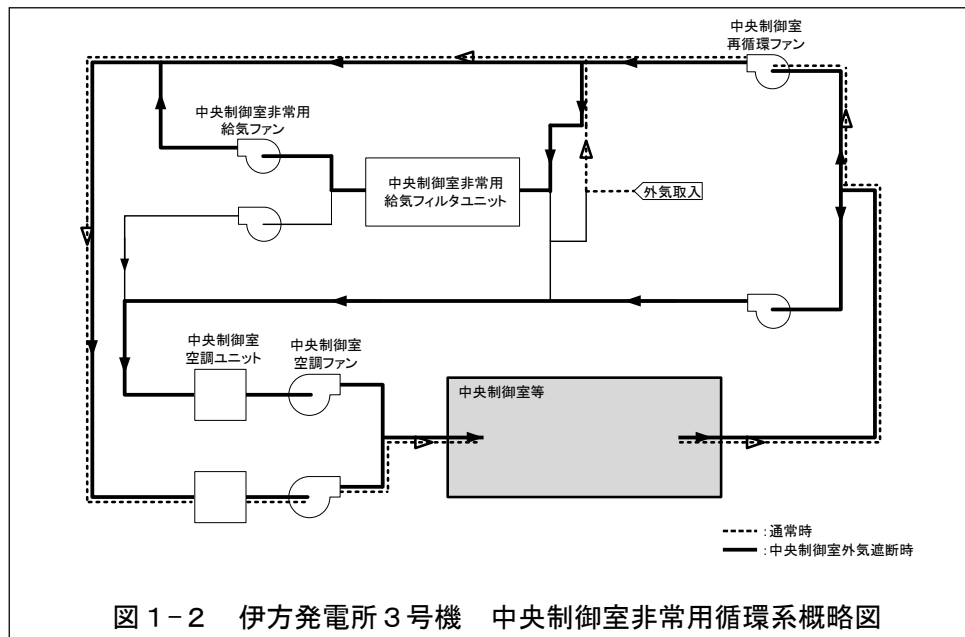
モード	原子炉の運転状態	原子炉容器スタッド ボルトの状態
1	出力運転(出力領域中性子束指示値 5%超)	全ボルト締付
2 (停止時)	出力運転(出力領域中性子束指示値 5%以下)～ 制御グループバンク全挿入 <sup>注1</sup> による原子炉停止	全ボルト締付
2 (起動時)	臨界操作のための制御グループバンク引抜操作開始 ～出力運転(出力領域中性子束指示値 5%以下)	全ボルト締付
3	1次冷却材温度 177℃以上	全ボルト締付
4	1次冷却材温度 93℃超 177℃未満	全ボルト締付
5	1次冷却材温度 93℃以下	全ボルト締付
6 <sup>注2</sup>		1本以上が緩められている

注 1：挿入不能な制御棒を除く。

注 2：すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合を除く。

※2 中央制御室非常用循環系

放射性物質が放出されるような重大事故時に、中央制御室への放射性物質の流入を防ぐため、外気を遮断して中央制御室の空気をフィルタを通して循環させる空調装置。



※3 照射済燃料

原子炉容器内で使用した実績がある燃料集合体

(2) 推定原因

①作業担当課は、保安規定に関する理解が不足し、記載事項の一部について解釈を誤った状態であった。また、関連する社内規定記載事項についても、十分な確認を行わなかった。

- 作業担当課の複数の者が、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期として保安規定で定めている「モード1, 2, 3, 4, 5, 6 及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」を、「モード1, 2, 3, 4, 5, 6」の時期及び「使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期と誤って解釈していた。
- 社内規定の伊方発電所 3 号機原子炉施設停止時保安管理内規には、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期を記載した図面を掲載しているが、保安規定を誤って解釈していたことにより、保安規定上問題ない作業計画と思い込んでいたため、当該社内規定の十分な確認を行わなかった。

②作業担当課は、関係課長、各主任技術者及び所長への申請の際、申請内容を確認できる資料等を示しておらず、申請を受けた者が確実にチェックできる仕組みが構築できていなかった。

- 作業を実施するに当たっては、事前に作業票により、作業計画の承認及び作業実施許可等を受ける必要があるが、作業票に参考資料等を添付していなかった。

③今回の事象に関わった関係者は、「問いかける姿勢」が欠けていたため、掘り下げた質問を行わず、組織として十分なチェック機能が働いていなかった。

- 申請を受けた関係課長及び各主任技術者は、事前に作業担当課が確認していること、所長は、作業担当課長、関係課長及び各主任技術者が確認していることから問題ないと思い込み、承認した。

### (3) 再発防止策

①令和2年1月7日、今回の事象及び保安規定遵守について全所員及び関係会社作業員に対し、周知徹底を図った。

②計画的に運転上の制限外に移行する場合の運用に関する次の事項を社内規定に反映するとともに、関係者への周知徹底を図った。

- 計画的な運転上の制限外への移行に係る適用可能時期を新たに追記することにより、保安規定の解釈を明確化。
- 計画の妥当性を明確に確認できるチェックシート（作業票の確認に際して参考となる資料を含んだもの）を作成するとともに、社内関係者に連携の上、確認又は承認を受ける運用。

③技術系所員に対する教育を、次のとおり実施する。

- 保安規定が改定された際は、周知に加え、改定内容に関する教育を実施。
- 保安規定第88条の運用に関する追加の教育を実施。
- 重要な社内規定類の確実な確認について、定期的な教育を実施。

④「問いかける姿勢」の定着を確実なものにするため、次の事項を実施する。

- 今回の事象を毎年実施している「安全文化の教育」内容に反映することにより、長期的に「問いかける姿勢」が定着するよう全所員に繰り返し意識付けを実施。
- 上記取組みを新規制定する社内規定に定め、安全文化醸成活動に関する計画に反映し、PDCAサイクルとして継続的に実施。
- 作業担当課が、作業について関係者に確認し、承認又は許可を申請するときは、相互にコミュニケーションをとり、お互いに認識不足や解釈の誤りがないことを確認し合える環境となるよう、関係者へ周知。

#### (4) 審議内容

##### ①保安規定の改定内容の教育

保安規定を改定した際に実施する社員教育は、改定内容だけでなく、改定理由についても教育するとともに、双方向のコミュニケーションを取り入れ、教育する側も含めて、参加者全員が様々な角度から議論できる体制としてもらいたい。

##### 【四国電力回答】

保安規定を改定した場合は、従来の周知のみでなく、改定に携わった者が、改定の趣旨も含めて教育することとしており、教育に際しては、双方向のコミュニケーションによる互いに学び合える風土の育成にも努めてまいりたい。

##### ②「問いかける姿勢」の醸成

「問いかける姿勢」については、社員の意識改革をするとともに、問いかけるべきことを理解しなければ定着しないが、今後どのように取り組んで行くのか。

##### 【四国電力回答】

安全文化を醸成するのは長期的・継続的な取り組みが必要であり、新規制定した社内規定において、安全文化醸成活動の目標として「問いかける姿勢」も含めた10の健全な安全文化の特性を定め、安全文化醸成活動をPDCAサイクルとして継続的に改善を行いながらしっかりと取り組んでいく。

定型的な取り組みとしては、関係者が出席するスクリーニング会議で10の健全な安全文化の特性を毎週唱和することによる「問いかける姿勢」の定着活動を行うとともに、毎年実施している安全文化の教育のテキストに本事象を追加し、繰り返し教育することで「問いかける姿勢」の重要性を認識させていくが、このような教育や日々の業務においては双方向コミュニケーションを工夫しながら取り入れていくことで、より良い活動となることを目指すとともに、互いに自発的に学び合える風土を育むよう努めていく。

以上のように、今後の取り組みに当たっては、形式的にならないように心掛けながら、継続的に取り組んでいくこととしている。

### ③四国電力社員による重要作業の実施

原子炉施設の運転に当たっては、協力会社を含め様々な関係者が作業を実施しているが、安全上重要な作業については、全て、四国電力の社員が携わる体制を整えてもらいたい。

#### 【四国電力回答】

安全上重要な作業については、工程管理も含め、全て、四国電力社員が主体となって実施している。

また、本事象の再発防止策として、社員教育の充実・強化を図り、保安規定の理解促進や「問いかける姿勢」の定着を図るとともに、チェックシートを作成するなど確実にチェックできる仕組みを構築しており、しっかりと運用していくこととしている。



## 2 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

### (1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、令和2年1月12日、原子炉からの燃料取出の準備作業として、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し※<sup>1</sup>を行い、原子炉容器の上部炉心構造物を取り外すために吊り上げていたところ、制御棒クラスタ1体が意図せず、上部炉心構造物とともに引き上げられていることを水中カメラで確認した。

このため、上部炉心構造物を吊り下ろして、当該制御棒の切り離し操作を実施した後、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っていないことを確認し、1月13日、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。また、燃料取出に備えて、あらかじめ原子炉容器内の1次冷却材の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。

四国電力は、1月15日、本事象が国への報告事象を定めた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、原子力規制委員会に報告した。

※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。



図2-1 事象概要図

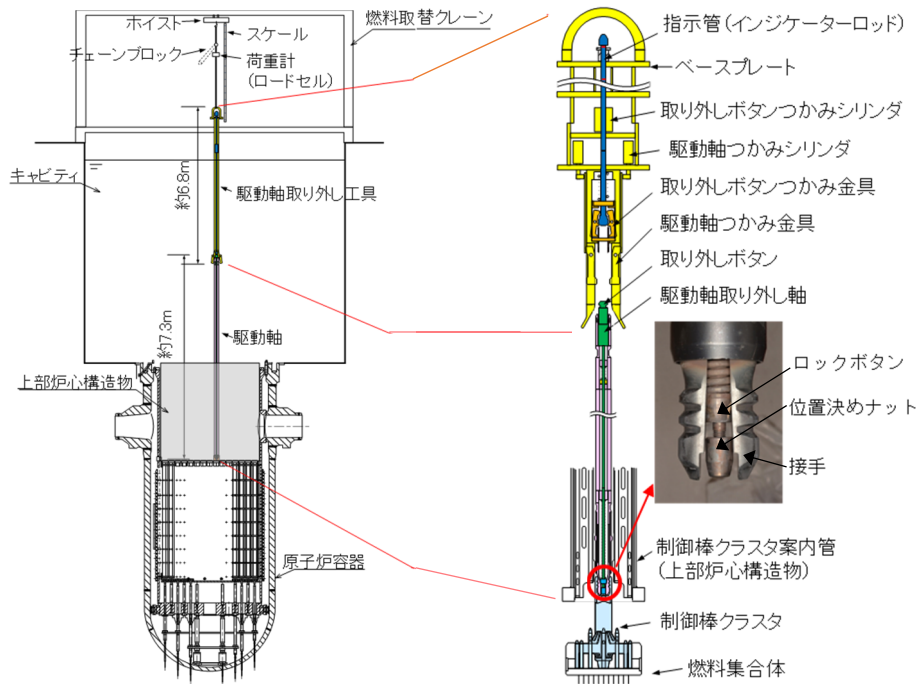


図 2-2 制御棒クラスタ切り離し図

## (2) 推定原因

- ① 制御棒クラスタと駆動軸との切り離しを行った後、再結合を防止するため、駆動軸取り外し軸を下降させた際、ロックボタン廻りに付着した堆積物（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詰まった。

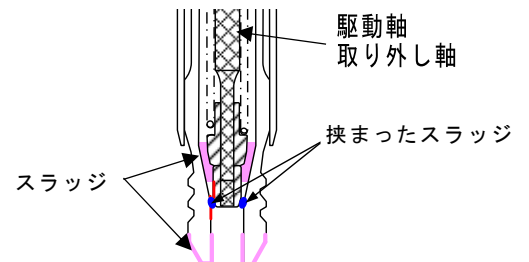
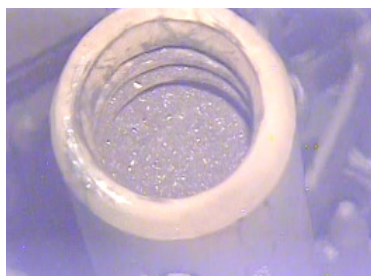


図 2-3 駆動軸取り外し軸の状態

- 制御棒クラスタのスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）で確認された堆積物を調査した結果、当該堆積物は、駆動軸内表面や1次冷却系統内で生成したマグネタイトが剥離し、堆積したものと推定され、他の制御棒でも確認された。なお、当該制御棒クラスタスパイダ頭部内の堆積量は約 20 cc と推定された。



【使用済燃料ピット内での撮影写真】

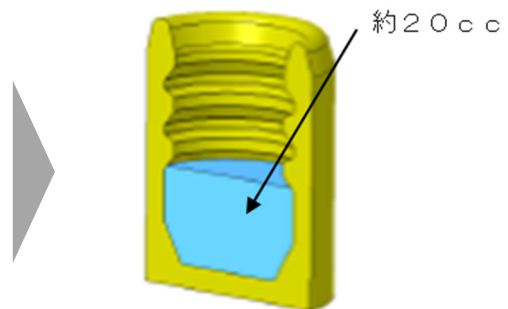


図 2-4 堆積物調査結果

② 駆動軸取り外し軸を完全に下降させ、  
 接手を押し広げていない①の状態  
 で制御棒クラスタに駆動軸を着座させ  
 たことにより、その後の駆動軸取り  
 外し工具の切り離し作業に伴う振  
 動で、駆動軸が制御棒クラスタの  
 スパイダ頭部内へ沈み込み、駆  
 動軸接手外面直線部と制御棒クラ  
 スタのスパイダ頭部1山目の接触  
 による不完全な結合状態が形成さ  
 れ、上部炉心構造物を吊り上げた  
 際、制御棒クラスタも引き上がった。

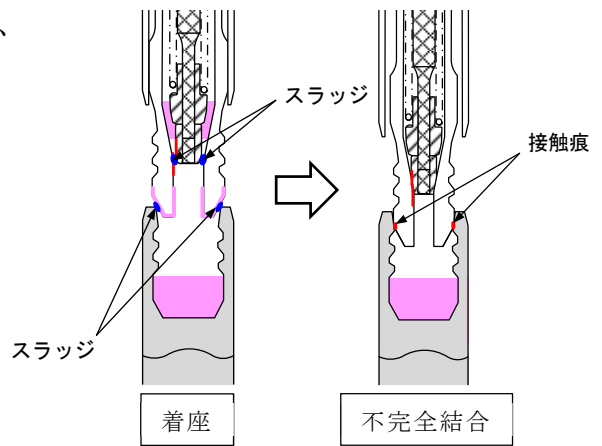


図 2-5 不完全結合図

- 当該制御棒クラスタの外観確認において、スパイダ頭部の円環部上面及び内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認されるとともに、当該駆動軸の外観確認の結果、接手外面及び接手内面に今回生じた可能性のある金属光沢を有する接触痕を確認した。

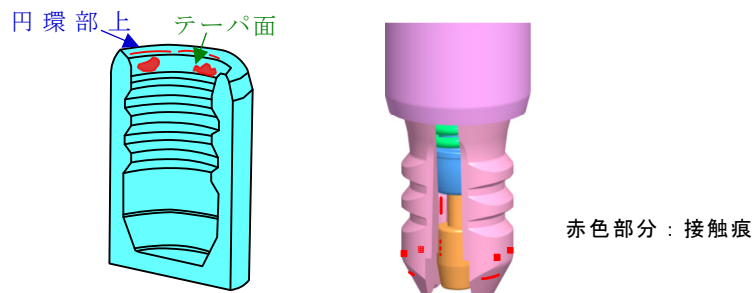


図 2-6 制御棒クラスタスパイダ頭部及び駆動軸の接触痕

- 7 ケースの不完全な結合状態について、幾何学的な整合、外観確認結果との整合及び手順との整合の観点で検討した結果、ケース 1 から 4<sup>※2</sup>については、全ての観点で整合し、不完全な結合状態が形成される可能性があることを確認した。

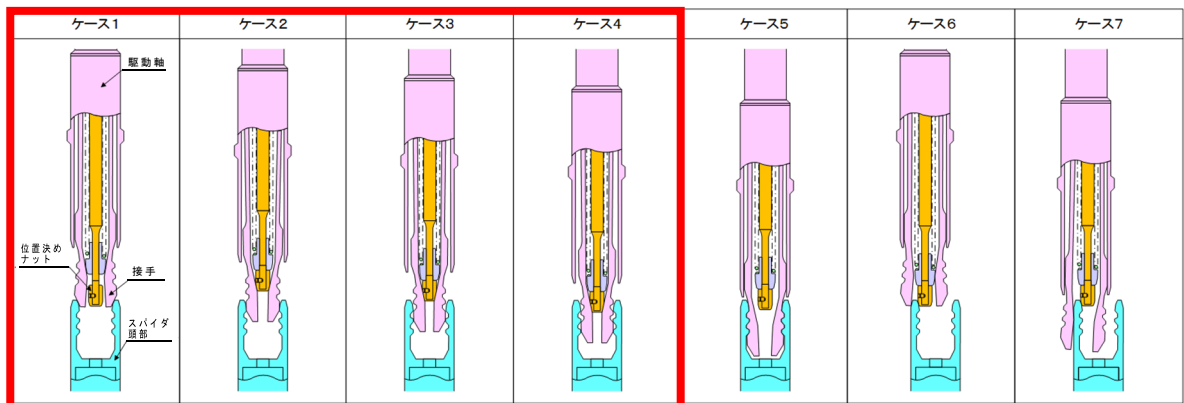


図 2-7 各ケースの概要図

※2 ケース 1 は仮置き状態で、ケース 2～4 はスパイダ頭部にそれぞれ 1～3 山目位置で、不完全に結合している状態。

- 不完全な結合状態として発生する可能性があるケース1から3について、駆動軸と制御棒クラスタを部分的に模擬した供試体を用いて引き上げ荷重に係る実証試験を実施した結果、ケース1では引き上げ荷重は発生せず、また、ケース3では、試験機の計測範囲を超える大きな引き上げ荷重が計測されたため、これらのケースは、意図せず引き上げられたものの、特別な操作を実施することなく自然に切り離された今回の事象とは整合しない結果となった。

ケース2については、制御棒クラスタの水中重量相当の引き上げ荷重が計測されたこと及び接触痕の発生状況から、当該状態で本事象が発生した可能性が高いことを確認した。

なお、ケース4の実証試験については、より引き上げ荷重が小さいと想定されるケース3で代表できるため実施していない。

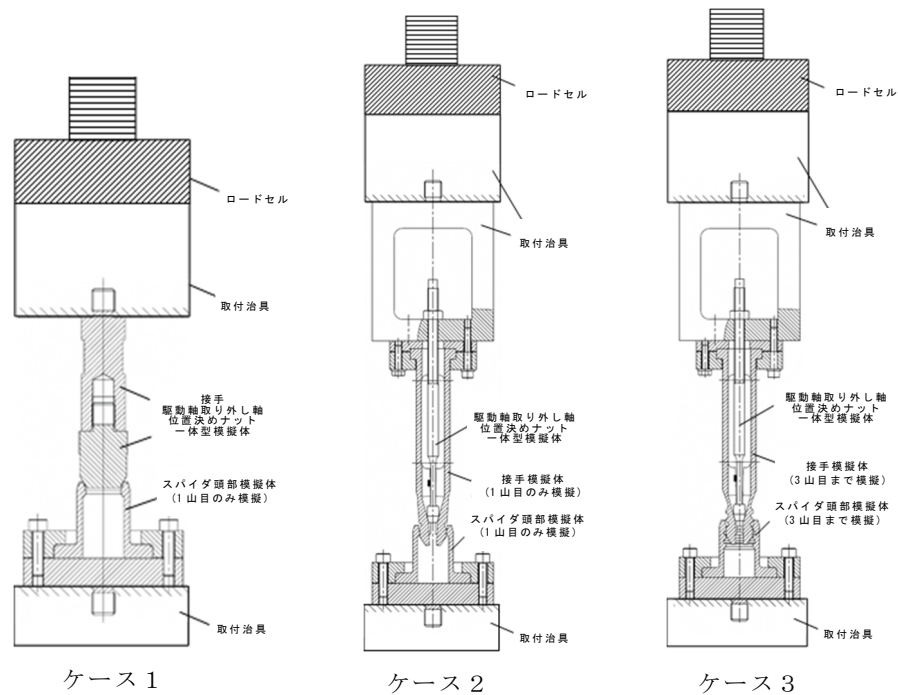


図2-8 部分モデルによる実証試験

- ③ 作業手順書には、駆動軸着座前に駆動軸取り外し軸が正規の位置まで下降したことを確認する手順がなく、駆動軸取り外し軸の詰まりを確認することができなかった。

- 作業手順書は、駆動軸吊り上げ時の重量及び寸法確認により制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確実に確認できる手順であったが、切り離し確認以降、不完全な結合状態に至る可能性がある駆動軸取り外し軸が下降した際の、駆動軸内の詰まりを確認できる手順とはなっていなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 制御棒クラスタと駆動軸の切り離し後、再結合を防止するために実施する駆動軸取り外し軸の下降作業が、堆積物で詰まることなく、確実に完了したことを確かめるため、作業手順書に駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）のマーキング位置を確認する手順を追加する。
- ② さらに、意図しない制御棒の引き上がりより確実に防止するため、作業手順書に駆動軸着座後に再度、駆動軸の吊り上げ作業による重量確認等を実施する手順を追加する。
- ③ また、本事象の原因となった堆積物はプラント運転に伴い発生することから、定期検査毎に使用済燃料ピット内において、次サイクルで使用する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。

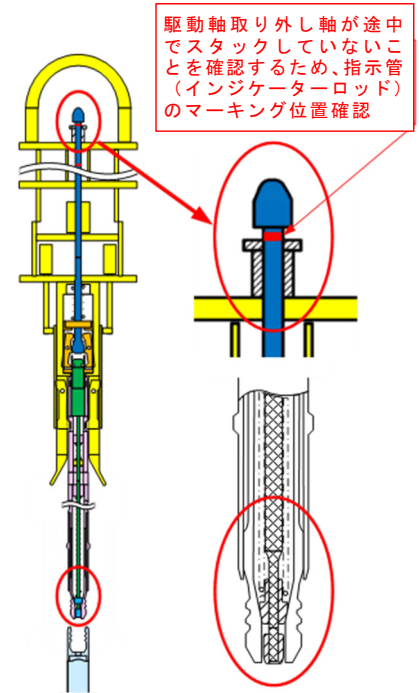


図 2-9 マーキング位置確認

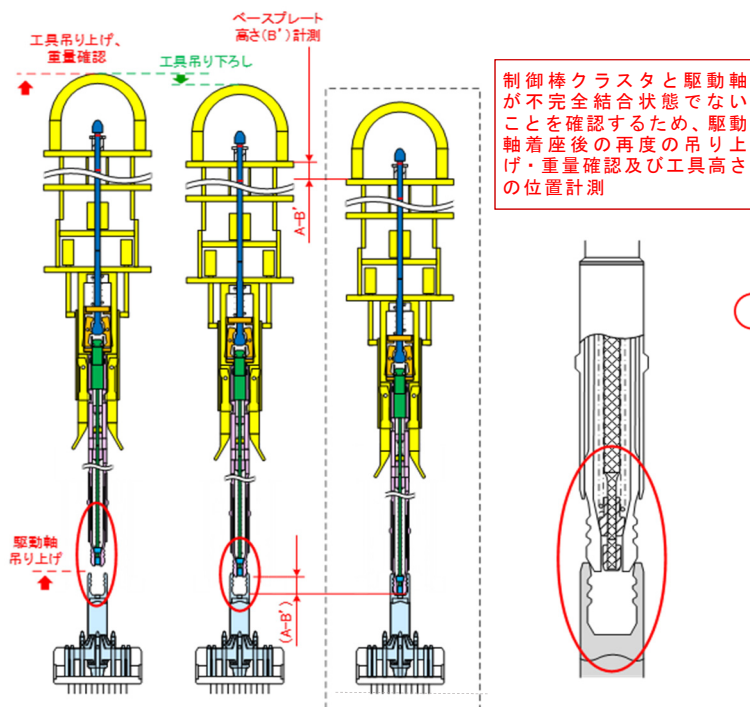


図 2-10 重量確認および位置計測

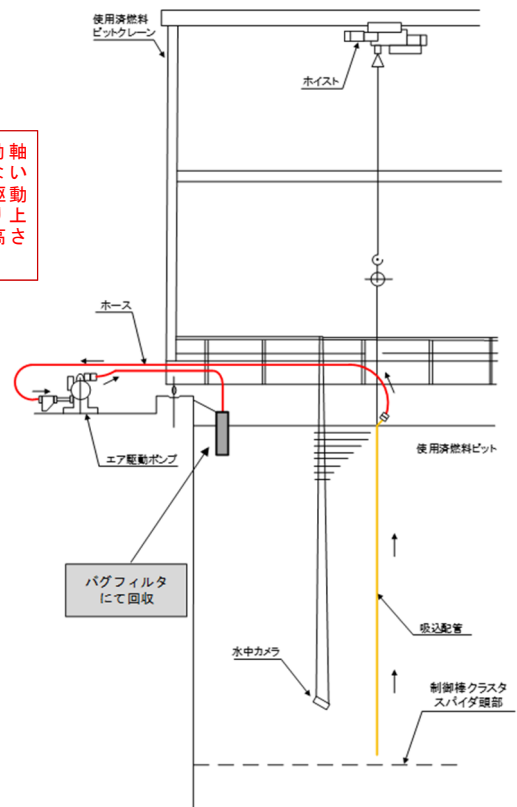


図 2-11 堆積物除去概要



#### (4) 審議内容

##### ①スラッジ（マグネタイト）発生のメカニズムの解明と発生量低減に係る要望

推定原因どおりかどうかにかかわらず、再発を防止できる対策であると認められるが、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上のためにも、スラッジの発生メカニズム解明や発生量低減について詳細調査を継続的に実施してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

本事象の発生メカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタのスパイダ頭部へのスラッジの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も実施した上で特定している。また、今回講じることとした再発防止策である重量確認と位置確認により、駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離しの状態を確実に確認できるため、スラッジの影響の有無にかかわらず、今後、同様事象を確実に防止することができる。

本事象に影響したと推定しているスラッジについては、一次冷却系統の水質や温度等の環境下において、一般的な化学反応により生成し、安定的に存在することが知られている鉄の酸化物（マグネタイト）であることを分析結果から確認するとともに、制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積する現象についても、駆動軸内表面や一次冷却系統内で生成されたスラッジが堆積するメカニズムであると推定している。伊方発電所では、一次冷却系統への補給水中の鉄濃度を低く管理するなどできる限りスラッジの発生を抑制する措置を講じているが、一次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となり、PWRの運転環境下で生成されるため、発生しないようにすることは困難である。

また、スラッジの発生メカニズムは実機の設備構成を踏まえ、高い確度で理解しているものの、発生量等の詳細な調査は実施していないことから、今後は、定期検査ごとに堆積物を除去するとともに、堆積状況の観察・記録や他プラントの状況について情報収集・交換を行い、長期的なスラッジの低減に向けて、実験等で効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充に取り組みながら、さらなる安全性の向上に努めていく。

また、今後の研究により得られた知見については、学会や専門誌等で公表することについても検討していく。

## ②スラッジ（マグネタイト）による制御棒動作への影響

発生したマグネタイトの薄片が磁化して駆動軸接手に付着したと推定しているが、一定の大きさがあるマグネタイトの薄片が駆動軸の内部に付着することにより、制御棒駆動軸の動作に大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。

### 【四国電力回答】

磁性材料を使用する設備は限定的であるため、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全性に悪影響を与える可能性は低く、これまでの運転においても特に制御棒駆動軸の動作に異常が認められたことはない。

また、従来から、「1次冷却システムの浄化流量を可能な限り最大としたクラッド低減」や「プラント起動時等に制御棒動作によるクラッドの排出促進」といった対策を講じているが、さらに、今回の再発防止策として、駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業においては、重量確認及び位置確認を実施することとしており、これにより、磁化したマグネタイトの薄片が駆動軸内部に付着していたとしても確実に切り離しの確認ができることから、スラッジが制御棒駆動軸の動作に悪影響を及ぼす可能性はない。

## ③設備の腐食による影響

制御棒クラスタのスパイダ頭部にスラッジが溜まっているが、設備の腐食という面から安全性への影響はないのか。

### 【四国電力回答】

スラッジが堆積する現象は、

- ・ 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
- ・ 一次冷却システム内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したもの

の2つのケースがあると推定しているが、設備の構造上、スパイダ頭部に溜まったスラッジは、駆動軸内表面で生成したものの割合が大きいと考えている。

また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却システム設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態被膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。

仮に今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、全て駆動軸内表面から析出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、鉄の溶出量は微量であり、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。

### 3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

#### (1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、燃料集合体の点検<sup>※1</sup>をするため、燃料集合体を使用済燃料ピット内で移動させていたところ、1月20日に燃料集合体の落下を示す信号<sup>※2</sup>が発信した。

本事象は、使用済燃料ピットクレーンを使用して、燃料集合体を使用済燃料ラック上に設置した点検装置ラックに挿入していたところ、燃料集合体がラック枠に乗り上げたことにより、クレーンの吊り上げ荷重が減少したため、落下信号が発信したものであり、燃料集合体は落下していない。

その後、燃料集合体を使用済燃料ピット内の所定の保管位置に戻すとともに、落下信号の発信に伴い、設計どおり使用済燃料ピットエリアの排気系統が、核分裂生成ガスを除去する系統に切り替わっていることを確認して同信号をリセットした。

なお、本事象によるプラントへの影響及び環境への放射能の影響はなかった。

また、燃料集合体、点検装置ラック及び使用済燃料ラックについては、外観確認及び荷重・応力評価により、それぞれの健全性に問題がないことを確認した。

※1 使用済燃料ピットクレーンにより、約11m下に設置した点検装置ラックに燃料集合体を挿入し、ファイバースコープで燃料集合体内部（燃料棒の支持部と燃料棒の間の隙間等の有無）を点検。なお、点検は、燃料集合体をA面、B面、C面、D面の順に回転させて点検装置ラックに挿入し直すことにより、全4面で実施。本事象は、D面を観察しようとした際に発生したものの。

（国内で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、漏えいが発生したものと同設計の燃料集合体を対象とした点検であり、第15回定期検査では5体の燃料集合体を対象に点検を行う予定であった。）

※2 使用済燃料取扱作業時における万一の燃料集合体の落下に備え、使用済燃料ピットクレーンの吊り上げ荷重が設定値（300 kg）以下になった場合に燃料集合体が落下したと判断して、アニュラス排気ファンを起動し、使用済燃料ピットエリアの排気を通常排気系統から核分裂生成ガスを除去する系統に切り替えるための信号。

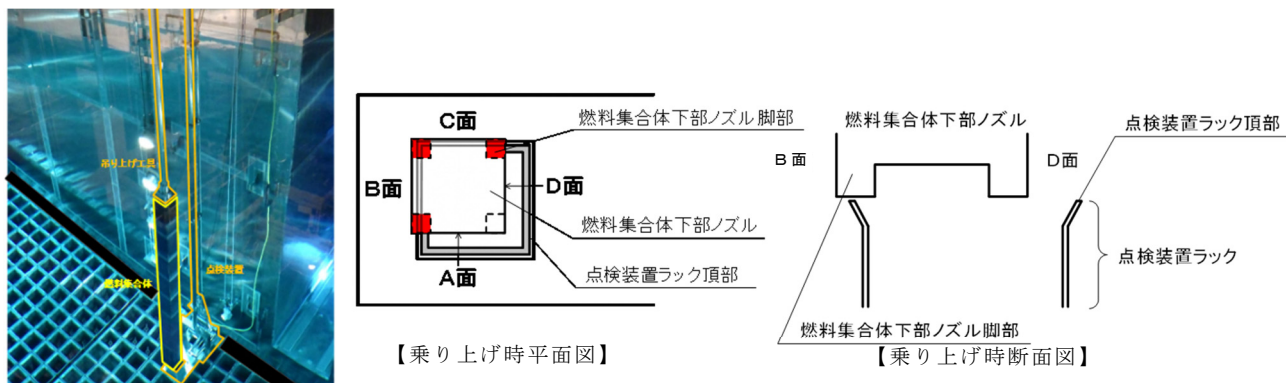


図3-1 事象発生概要



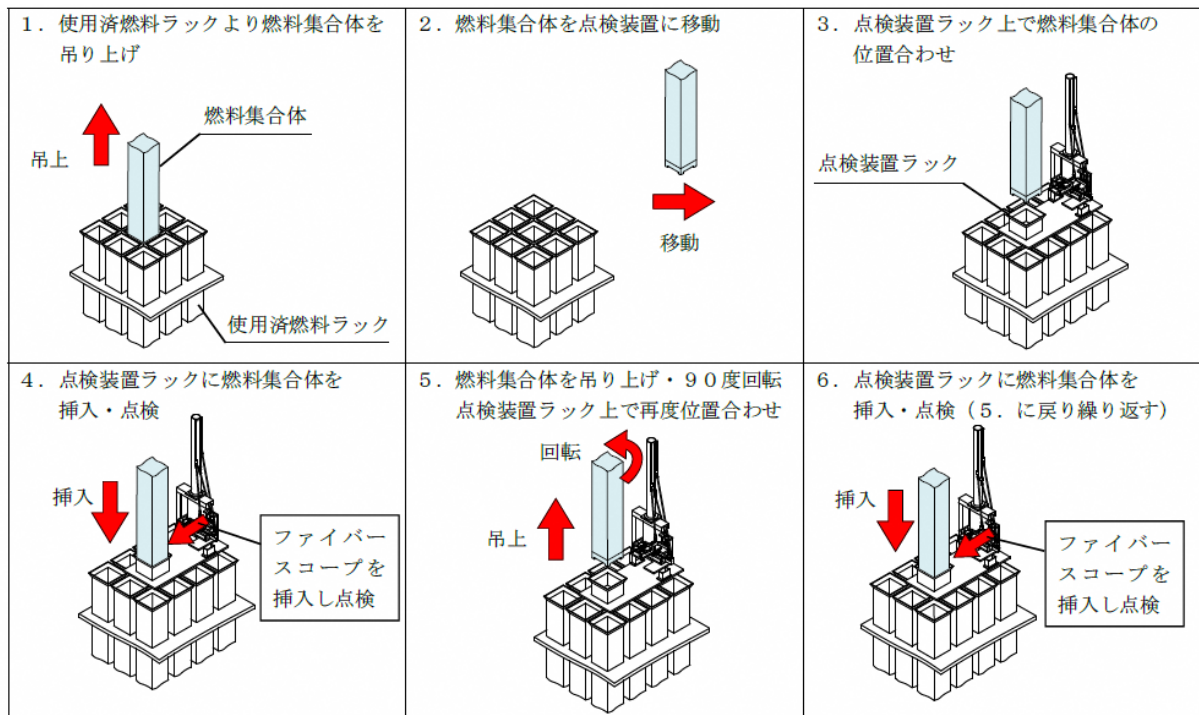


図 3-2 燃料集合体点検作業要領

(2) 推定原因

① 点検装置ラック開口寸法 (248.5mm) が使用済燃料ラックの開口寸法 (259mm 及び 272mm) よりも小さいため、使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難度が高い作業となっていた。

- 作業員への聴き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、点検装置ラックの開口寸法が使用済燃料ラックの開口寸法よりも小さいことから、燃料集合体と点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。
- 使用済燃料ラックの内寸法は、燃料集合体の外寸法 (214 mm) に対して片側 7 mm の隙間を有する値 (228 mm) に設定しているが、点検装置ラックの内寸法については、点検中の燃料集合体の揺れ、回転等を防止するため、片側 2 mm の隙間に制限した値 (218 mm) としており、開口寸法も点検装置ラックの方が小さく設計されている。

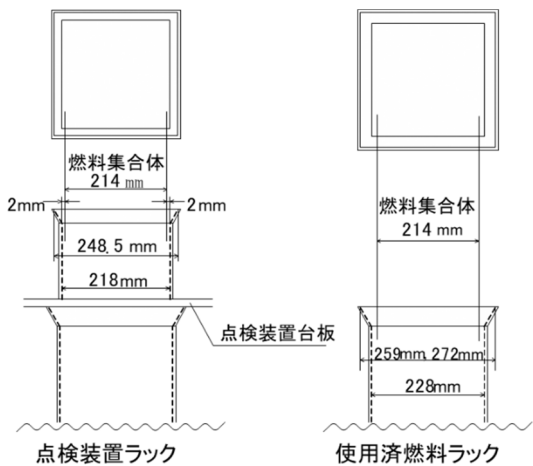


図 3-3 点検装置ラックと使用済燃料ラックの寸法比較

② 使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明によって点検装置ラックにできる影により、点検装置ラック開口部の視認性が低下しており、点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難しい状況となっていた。

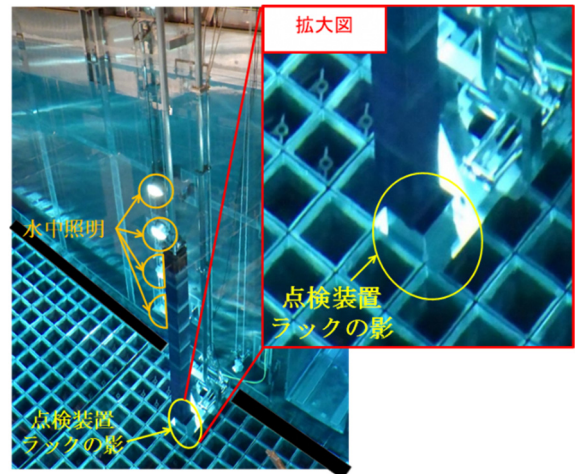


図 3-4 点検装置ラックの視認性

➤ 作業員への聴き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明が点検装置ラックに当たって影ができ、使用済燃料ラックに比べて点検装置ラック開口部が見え難かったことから、燃料集合体の下部ノズルと点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

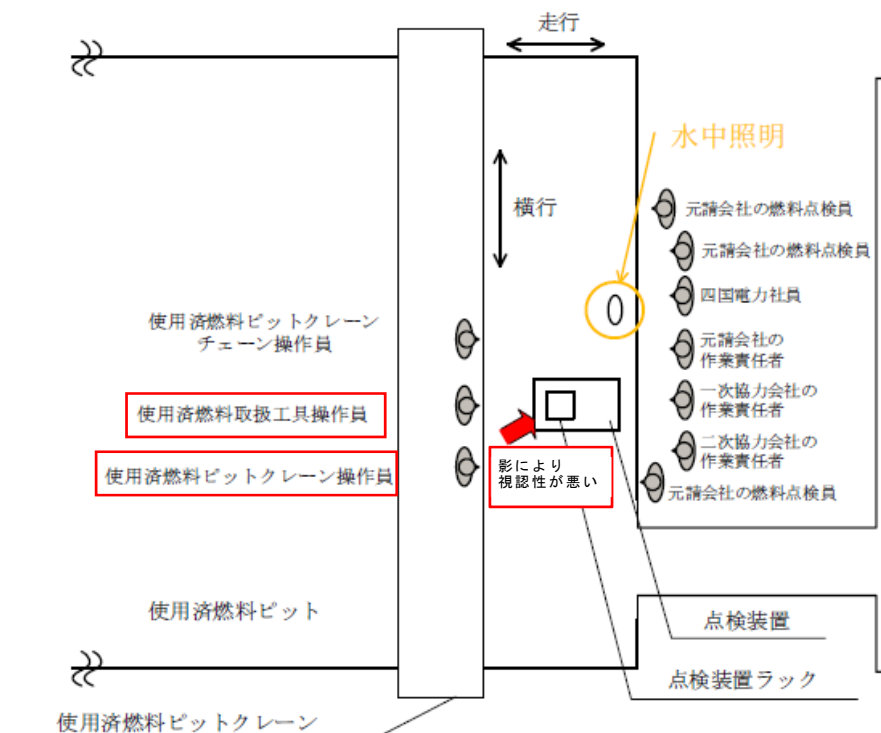


図 3-5 作業員による点検装置ラックの確認状況

③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は難度の高い作業であったが、これらの確認は操作員のみで実施しており、作業責任者による確認が行われていなかった。

- 点検作業全体を通じて、燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の最終的な確認は、燃料集合体及びラックの上方から行う必要があることから、クレーン上で操作している操作員のみが実施しており、使用済燃料ピットの脇にて作業全体を監視している元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者は、直接確認できない状況であった。
- ④ 本事象発生の直前に燃料集合体と点検装置ラック内面が接触したことにより、荷重急変減少警報<sup>※3</sup>が発信した際、続く作業を確実に進めるため、一度作業の手を止め、四国電力社員及び元請会社等の作業責任者を含めた作業員全員で次の対応についての認識を共有し合う等の通常の燃料取扱作業時とは異なる対応が必要であったが、実施できていなかった。
- 作業要領書には、燃料集合体取扱作業中に荷重急変減少警報が発信した場合の措置の記載はなかった。
  - 荷重急変減少警報自体は、通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時にも発信しうるものであることから、四国電力社員並びに元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者が注意喚起をする等の積極的な対応をとらなかった。
- ※3 燃料集合体の側面に設置されている支持格子の破損を防止するため、燃料集合体と使用済燃料ラックとの接触などにより、クレーンの吊り上げ荷重が-65 kg以上変動すると燃料集合体の下降を自動停止するインターロックが設けられている。本警報は、当該インターロックが作動したことを作業員に認知させる目的で設置されており、接触が燃料集合体の健全性に影響するものでないことを確認するとともに、接触の原因を確認して必要な措置を講じることとしている。
- ⑤ 点検装置ラックの開口寸法及び視認性の問題により、点検装置ラックへの燃料集合体の挿入は使用済燃料ラックへの挿入に比べて難度が高い状況となっていたが、四国電力社員等の関係者はその状況に気付くことができず、操作員への問いかけや、点検装置改善の検討、要領書への荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順の追記等の対応をしてこなかった。
- プラントメーカーが設計した装置であること、先行プラントで使用実績があったこと及び過去の定期検査等において問題なく操作できていたことなどから、難度が高い操作であることに気付かなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 点検装置ラック開口寸法を拡大して、使用済燃料ラックと同等の開口寸法とする。
- ② 本点検作業時には、使用済燃料ピット内の常設の水中照明に加え、燃料集合体のセンタリングと点検装置ラックへの挿入状況を作業員が確認するための水中テレビカメラ及びディスプレイ、作業中の視認性向上を図るため点検装置ラックを照らす水中照明をそれぞれ2台設置する。

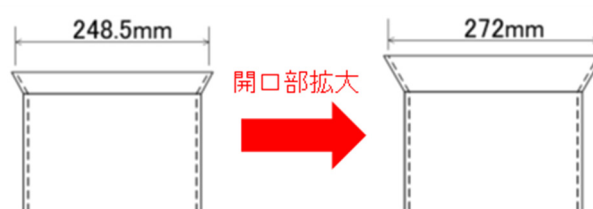


図3-6 点検装置ラックの開口寸法拡大

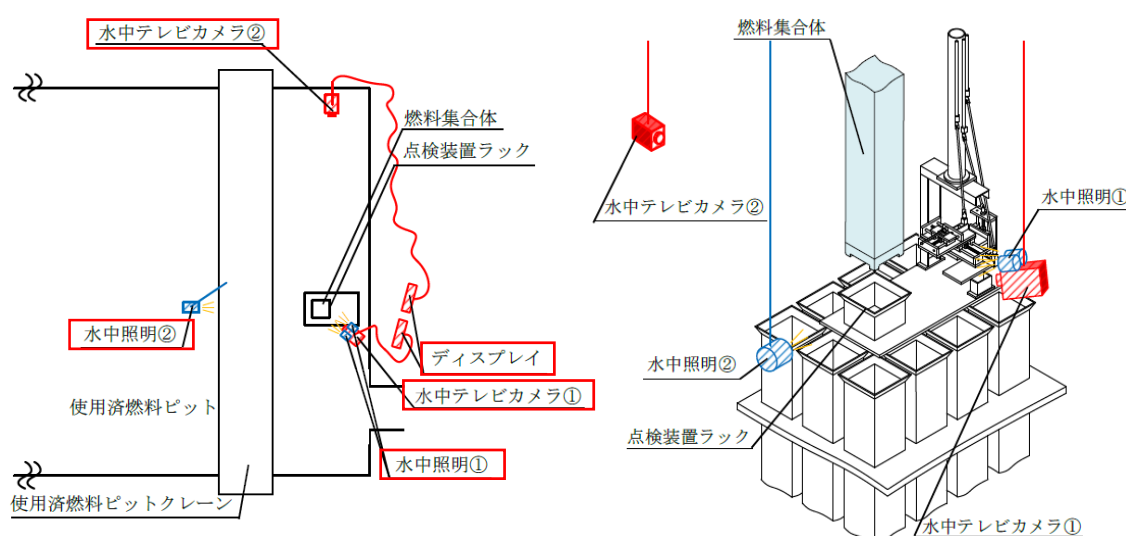


図3-7 点検装置ラックの視認性向上のため点検作業時に設置する設備

- ③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況は、操作員に加えて、元請会社の作業責任者が水中テレビカメラの映像によるダブルチェックを行うこととし、当該手順を作業要領書に追記する。
- ④ 作業要領書に荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順及び点検装置ラックに挿入する際の注意事項を追記し、作業開始前の読み合わせにおいて作業員全体に周知する。
- ⑤ 本事象と同様に難度が高く、燃料集合体への接触や干渉等の可能性がある作業について、作業員への聞き取り等を行い、作業要領書の作業手順が適切であることや、記載漏れがないこと等を確認した。

また、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・作業環境にすることが作業要領書に反映できる体制とする。

#### (4) 審議内容

##### ①ラックに乗り上げた燃料集合体の健全性評価

燃料集合体がラックに乗り上げた際の荷重が、燃料棒全 264 本に均一に加わったと仮定して健全性を評価しているが、荷重が均一に加わる根拠を示すとともに、必要に応じて、燃料棒のたわみや照射による脆化等も考慮して、健全性を総合的に評価してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料棒に概ね均等に荷重がかかったと考えている。ある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定はできないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力は約 3 MPa であり、未照射燃料の耐力約 600MPa に対して十分に小さいことから、燃料集合体の健全性に問題はない。

なお、燃料集合体の強度に関係する部材（ステンレス鋼、ジルカロイ）は、照射により耐力等の材料強度は増加する方向であることから、照射済燃料に対する荷重評価結果（約 1,100 kg）を未照射条件で健全性が確認された荷重（約 4,100 kg）と比較することは、より厳しい評価となることに加え、ラック乗り上げ前後の当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化がなかったことも確認している。

##### ②技術的な改善要望

再発防止策として講じる点検装置ラック開口寸法の拡大等は、極めて原始的な対策であり、燃料集合体の移動操作の技術的改善にも取り組んでももらいたい。

##### 【四国電力回答】

技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決め自動化等が考えられるが、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体には、僅かな揺れや振動等が発生するため、目視で挿入状況を確認しながら、手動によりセンタリングの微調整を行う必要があり、全工程を自動化することは困難である。

このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点から、点検装置ラック開口寸法の拡大と水中照明の設置により作業環境を改善するとともに、水中カメラの設置により、ダブルチェック体制を構築することとしている。

これらは、作業内容から判断して、最も有効な対策である。

## 4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

### (1) 事象概要

1月25日、伊方発電所1、2号機開閉所において、187kV母線（甲・乙）連絡遮断器<sup>※1</sup>を動作させる保護リレー<sup>※2</sup>の取替え工事完了後の当該保護リレーの健全性確認試験を行うことから、当該試験に必要な量の電流を流すため、3号機を常用の500kV送電線から、3号機の予備電源である1、2号機常用の187kV送電線からの受電に切替えるとともに、通常は甲・乙の別母線から受電している1、2号機を、全て乙母線からの受電に切替えたところ、伊方南幹線1号線乙母線断路器<sup>※3</sup>の故障により、187kV送電線4回線全ての遮断器が開放して受電が停止した。

- ※1 2つの母線（甲母線・乙母線）を選択・区分するために設けられている遮断器。なお、遮断器とは系統内で電気事故が発生した場合に、電流を遮断する装置。
- ※2 系統内で発生した電気事故を検出し、当該事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。
- ※3 回路を選択・区分するための装置。

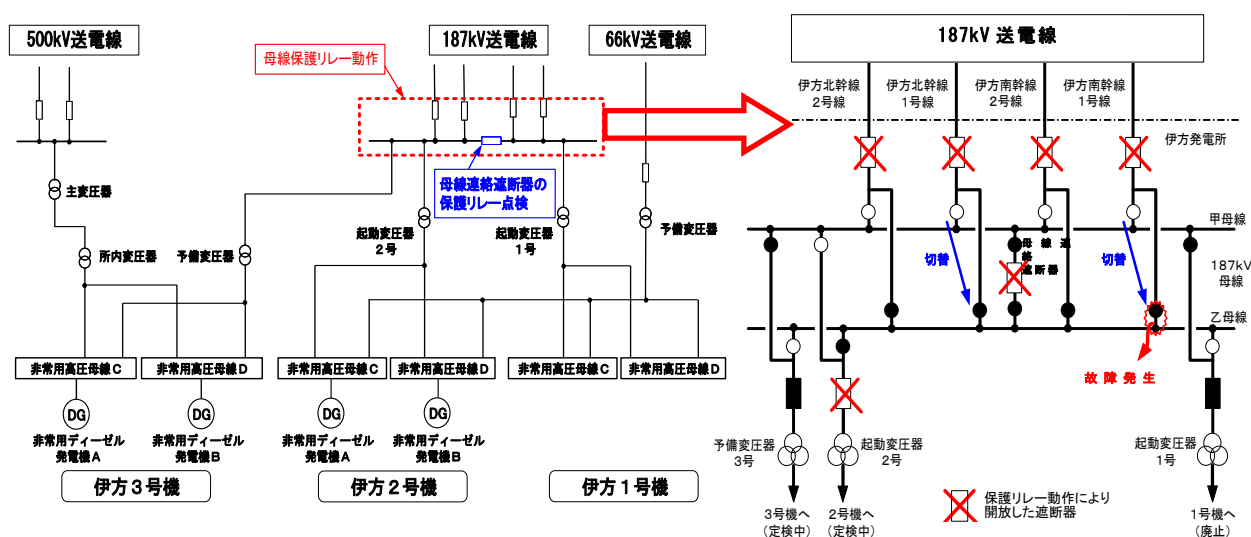


図 4-1 事象発生時の所内電源系統図

このため、直ちに、1、2号機は予備系統である66kV送電線、3号機は起動した非常用ディーゼル発電機（DG）からの受電に自動で切り替わった。その後3号機については、試験のために待機状態としていた常用の500kV送電線からの受電に手動で切替え、1～3号機ともに外部からの受電に復旧した。1月27日には、1、2号機常用の187kV送電線4回線のうち故障した断路器を設置している1回線を切り離し、187kV送電線3回線からの受電に回復した。

なお、常用の外部電源が喪失した場合は、自動で予備の外部電源に切替わり、予備の外部電源が使用できない場合には、非常用ディーゼル発電機から自動で受電するよう設計しており、今回は設計どおりに自動で切り替わった。



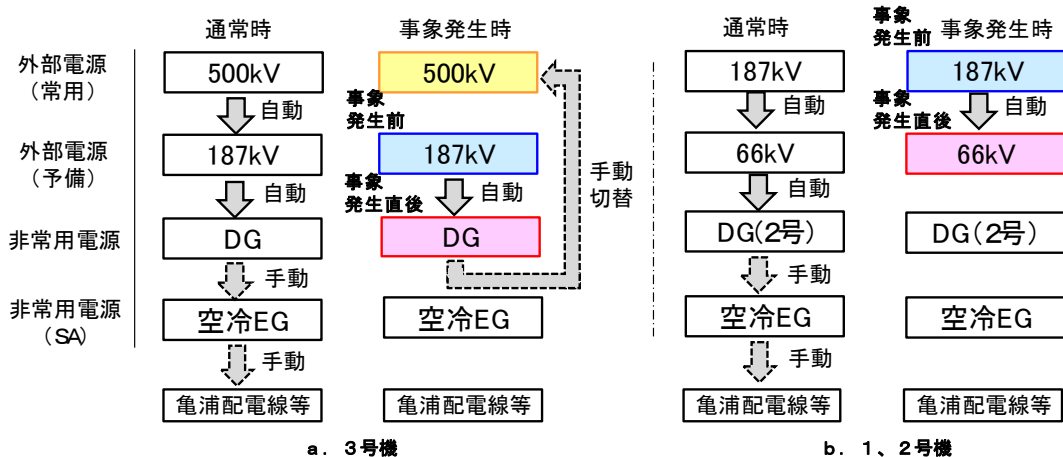


図 4-2 事象発生時の所内電源系統状況変化

また、予備電源又は非常用ディーゼル発電機に切り替わった後、使用済燃料ピットの冷却に必要な冷却ポンプ等の補機が設計どおり自動起動していることが確認できたため、現場で使用済燃料ピットポンプを手動で起動し、使用済燃料ピットの冷却を再開した。

冷却再開までの対応は、あらかじめ定められた手順どおりであり、その間は、使用済燃料ピットの温度及び水位を中央制御室で連続監視し、有意な変化がないことを確認していた。

事象発生に伴う使用済燃料ピット水温の上昇は、最大 1.1℃（水温 33.0℃→34.1℃）であり、通常運転における温度変化の範囲であったこと、また保安規定に定める使用済燃料ピットの温度に係る制限値 65℃に対して十分な余裕があったことから、使用済燃料の冷却状態に問題はなかった。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

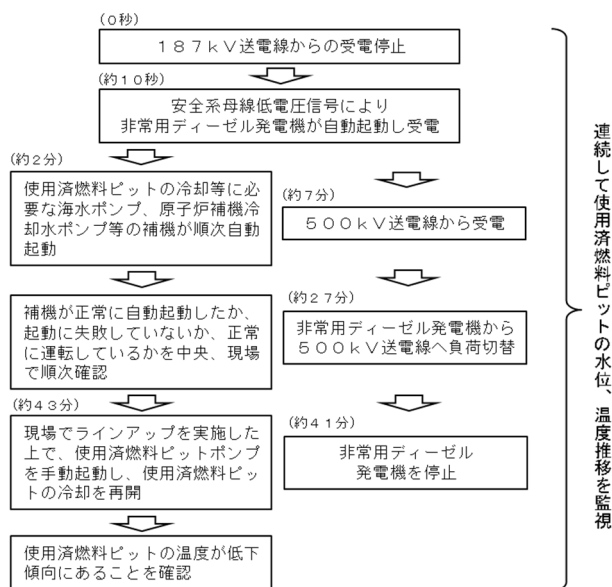
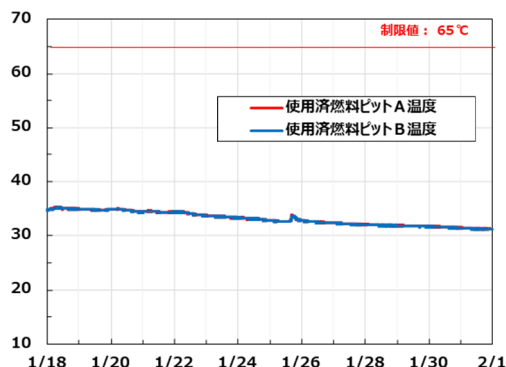


図 4-3 3号機の使用済燃料ピット冷却再開までの対応

時系列	号機	3号機	
		2号機	Aピット
事象発生前 (15時時点)	16.7	33.0	32.3
事象収束後 (19時時点)	16.9	33.8	33.2
上記期間の最高値	16.9	34.1	33.3

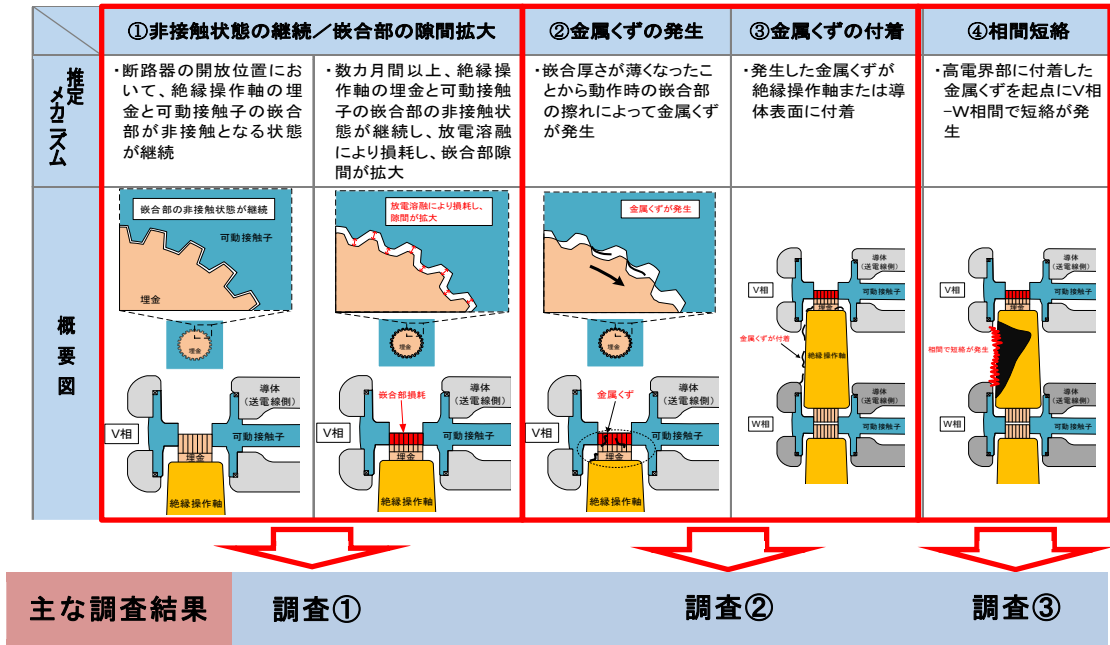
図 4-4 使用済燃料ピットの水温記録  
(右のグラフは3号機使用済燃料ピット)



## (2) 推定原因

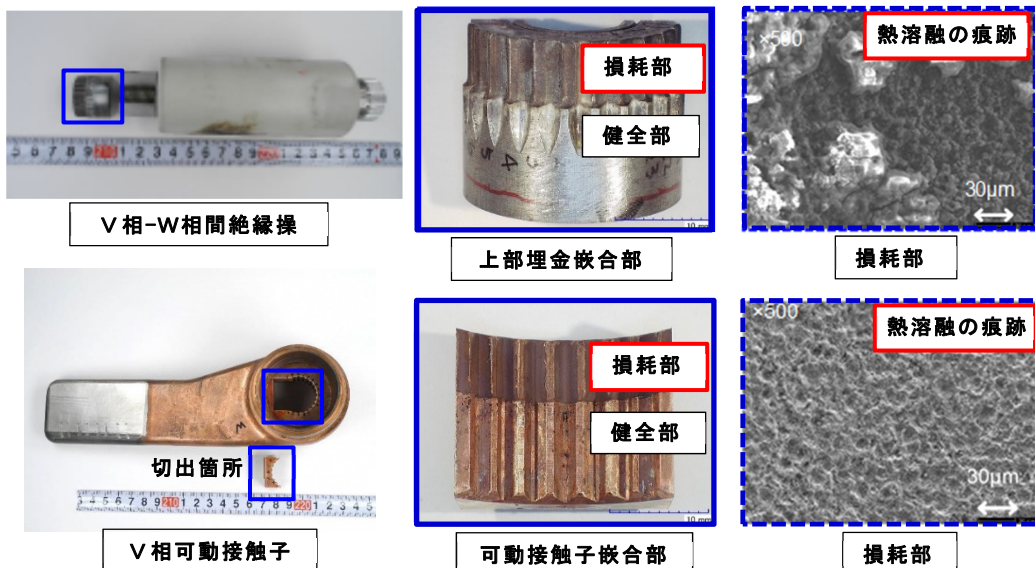
- ① 構造上生じる断路器内部の絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより短絡が発生した。

➤ 内部確認等の調査結果から以下のメカニズムにより短絡に至ったものと推定した。



### 【調査①】 外観確認及び電子顕微鏡による表面観察結果

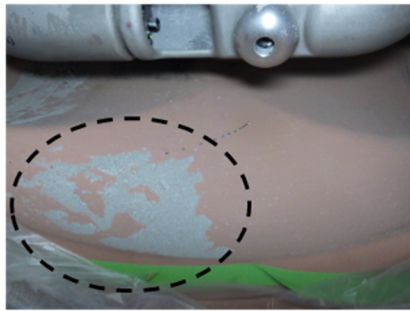
V相-W相間絶縁操作軸上部埋金及びV相可動接触子の嵌合部の外観を確認をした結果、均一に損耗しており、健全部より小さくなっていた。また、電子顕微鏡で当該損耗部の表面を観察したところ、熱影響による金属溶融の痕跡を確認した。その後、構造上、当該嵌合部では非接触状態が発生することが判明し、非接触状態が継続することで放電が発生することも実証試験で確認できた。





### 【調査②】 断路器の内部調査結果

断路器ユニットの内部調査によって確認された堆積物から、放電に伴って発生するフッ素化合物（断路器内に充填している六フッ化硫黄ガスの分解により発生）とともに、箔状の金属（最大で約4mm）が採取された。当該金属を成分分析した結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。また、当該金属成分については、短絡が発生したV相－W相間絶縁操作軸の表面においても顕著に検出された。



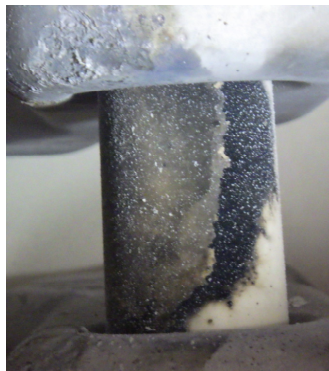
フッ素化合物等の堆積物



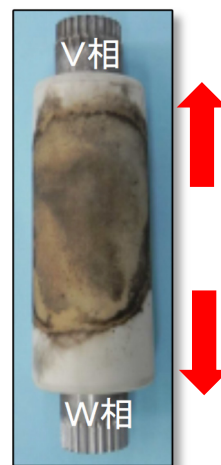
箔状の金属  
堆積物から採取された金属

### 【調査③】 絶縁操作軸表面の外観結果

V相－W相間絶縁操作軸表面の外観確認の結果、相間短絡により発生したと推定される炭化痕跡（放電痕跡）を確認した。



炭化痕跡



放電痕跡

- ② 今回の187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験においては、必要な電力負荷を確保するため、3号機の電源を常用の500kV送電線から1、2号機常用の187kV送電線に切り替えていたことから、187kV送電線からの受電が停止したことにより、1～3号機の所内電源が数秒間同時停電した。

試験計画にあたってはリスクを緩和するための必要な措置を講じていたが、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を接続しない試験系統構成にしていれば、3号機所内電源も同時に停電することはなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 故障した断路器の絶縁操作軸、可動接触子等の損耗した部品については、新品に交換した。
- ② 当該断路器と同一構造及び使用状態が同じ断路器計 13 台について、嵌合部の外観及びフッ素化合物の有無を確認する内部開放点検を行ったところ、2 台で絶縁操作軸埋金嵌合部に放電による損耗を確認したことから、絶縁操作軸等の部品を新品に交換した。

- ③ 同一構造及び使用状態が同じ断路器（計 14 台）について、嵌合部の放電の有無を確認する部分放電診断の常時計測・常時記録及び金属くず等による振動を確認する内部異物診断の定期的な実施により状態監視を強化するとともに、恒常的な対策についても検討していく。

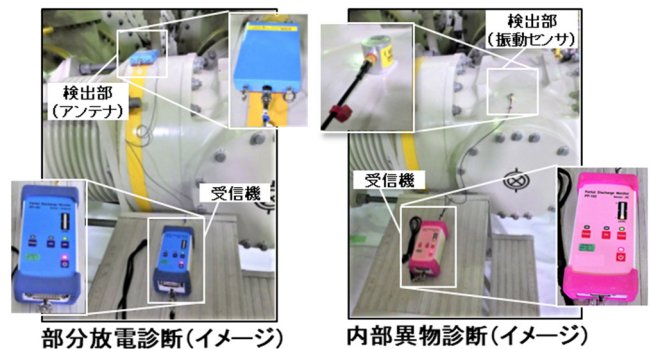


図 4-5 状態監視強化対策

- ④ 187kV 母線連絡遮断器の保護リレーの試験再開にあたっては、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統を構成するとともに、今後実施する保護リレーの試験においては、リスク低減に係る取り組みを実施する。

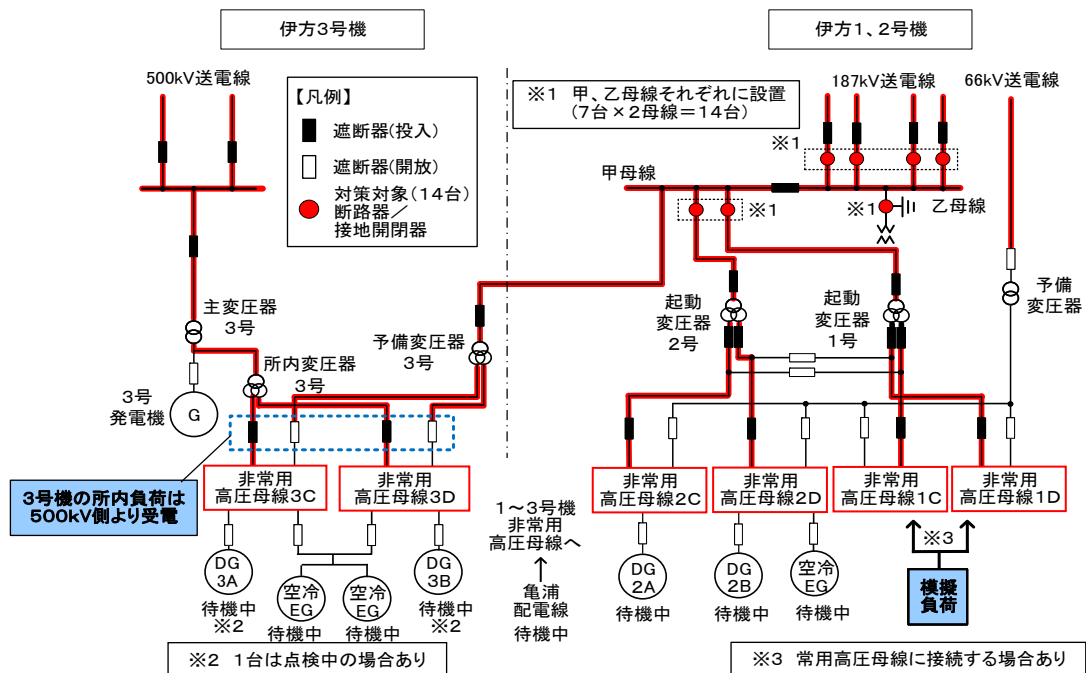


図 4-6 試験再開時の試験系統

#### (4) 審議内容

##### ①故障した機器と同一構造の断路器に対する対応

断路器の嵌合部の損耗等による短絡はめったに起こらない事象だと考えられるが、故障した機器と同一構造の断路器を調査した結果、更に2台の断路器において、短絡につながる放電の影響（フッ素化合物及び嵌合部の損耗）が確認されたことから、断路器の構造的に、本事象と同様の事象が起り得る可能性もあるのか。

##### 【四国電力回答】

故障した機器と同一構造の断路器について、メーカーに故障実績等を確認したところ、本事象と同様の短絡が起こった事例はないとのことであったが、故障した断路器の内部調査で採取された金属の成分分析や電子顕微鏡による嵌合部の表面観察等といった原因調査及びその調査結果を踏まえた実証試験（非接触状態の確認、放電試験）の結果、構造上、ごく稀に生じる嵌合部の隙間が放電溶解で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより、短絡が発生したと推定している。

このため、これまでのメーカー推奨に基づく定期的な開閉試験や絶縁抵抗測定等の点検に加え、今後は、同一構造の断路器については、同様のメカニズムによる故障が起り得るという前提で、短絡につながる部分放電を検知するため、新たに部分放電診断を常時計測・常時記録するとともに、金属くず等の振動を確認するため、定期的に内部異物診断を実施することにより、異常の兆候の早期検知のため監視強化を行う。

また、当該断路器については、導電部、絶縁部、接触部等は優れた絶縁性能を有する六フッ化硫黄ガスを封入したユニット内に全て密閉し、外部雰囲気の影響を遮断していることから、長期間劣化せず、耐環境性に優れた信頼性の高い装置となっているものの、今回の原因調査で推定したメカニズムにより、故障が起り得ることが判明したことから、今後、メーカーとも協議しながら、恒常的な対策についても検討することとしている。

## ②試験系統構成の見直し

本事象においては、試験中の断路器の故障が原因で一時的に所内電源が喪失したが、今後は、機器の故障があっても、一時的にしる1～3号機すべての電源が喪失しないように、試験方法や点検体制を見直してほしい。

### 【四国電力回答】

電源の確保は発電所の安全上非常に重要であることから多重化・多様化しており、66kV、187kV及び500kVの送電線並びに亀浦変電所からの配電線といった外部電源に加え、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置などの非常用電源設備を確保している。

今回の事象では、設計どおりに1、2号機は予備系統である66kV送電線、また3号機は起動した非常用ディーゼル発電機からの受電に自動で切り替わったが、一時的とはいえ、1～3号機が同時に停電してしまったことから、今後、同試験を実施する際には、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統にすることとする。また、最適な試験系統構成や負荷の状況は、プラント状態に大きく依存することから、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、確率論的リスク評価等のリスク情報を活用するなど、より幅広い観点から特定、分析評価を行い、リスク低減に係る取組みを実施していく。

## 5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

### (1) 調査内容

四国電力では、4事象個々の原因（直接原因）等を踏まえた視点に加え、4事象の背後に存在する要因（以下「背後要因<sup>※1</sup>」という。）や社外からの意見<sup>※2</sup>を踏まえた視点、更には、3号機一基体制となった伊方発電所の環境変化などの視点から検討した結果、次の10件の調査項目を網羅的に設定した。

- ※1 直接原因の深掘りを行うため、関係者へのインタビュー等を基に、発生したトラブルを様々な角度から分析し再発防止策を提案する手法等を参考にして、想定される背後要因5つを抽出  
 (H-1)確認・承認プロセスの問題：作業実施時期・要領のチェック不足  
 (H-2)改善プロセスの問題：作業の振り返り不足、改善業務プロセス不十分 等  
 (H-3)安全文化の問題：「問いかける姿勢」の意識低下  
 (H-4)人的リソース不足：余裕のない業務の継続、重要度に応じたリソース配分  
 (H-5)リスク確認不足：設備導入時の検討の問題

- ※2 社外からの意見を基に、調査が必要な5項目を設定  
 (S-1)背景、(S-2)組織、(S-3)気の緩み、(S-4)技術力、(S-5)保守管理

①	4事象の対策の水平展開に係る調査 4事象の対策について、他の設備・作業に幅広く水平展開すべき事項を調査。	【直接原因】
②	定期検査プロセスの妥当性調査 4事象の発生に鑑み、定期検査プロセスについて、発生原因との関連等を調査。	【直接原因、背後要因等 (H-1, H-2)】
③	包括的な改善活動の仕組みの調査 改善事項を広く吸い上げ対応する包括的な改善活動の仕組みの整備状況を調査。	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4)】
④	安全文化・モチベーションの調査 伊方発電所の環境変化等が安全文化やモチベーションに与える影響を調査。	【背後要因等 (H-3, H-4, S-1, S-3)】
⑤	技術力の調査 3号機一基体制等伊方発電所の環境変化が作業員の技術力に及ぼす影響を調査。	【背後要因等 (H-4, S-1, S-4)】
⑥	組織体制の在り方の調査 大規模工事や3号機一基体制等を踏まえ、要員数、組織・体制の状況を調査。	【背後要因等 (H-4, S-1, S-2)】
⑦	リスクマネジメント活動の調査 作業単位における取組みも含め、リスクマネジメント活動の取組状況を調査。	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4, H-5)】
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査 保守管理プロセスについて、発生原因との関連及び改善すべき事項を調査。	【背後要因等 (H-2, S-5)】
⑨	職場環境の調査 安全・安定運転に必要な良好な職場環境の維持・向上に係る施策実施状況を調査。	【背後要因等 (H-2)】
⑩	外部組織等によるレビューの調査 保安活動に係る外部組織等によるレビューや改善活動の状況を調査。	【背後要因等 (H-4)】

## (2) 調査結果

### ① 4 事象の対策の水平展開に係る調査

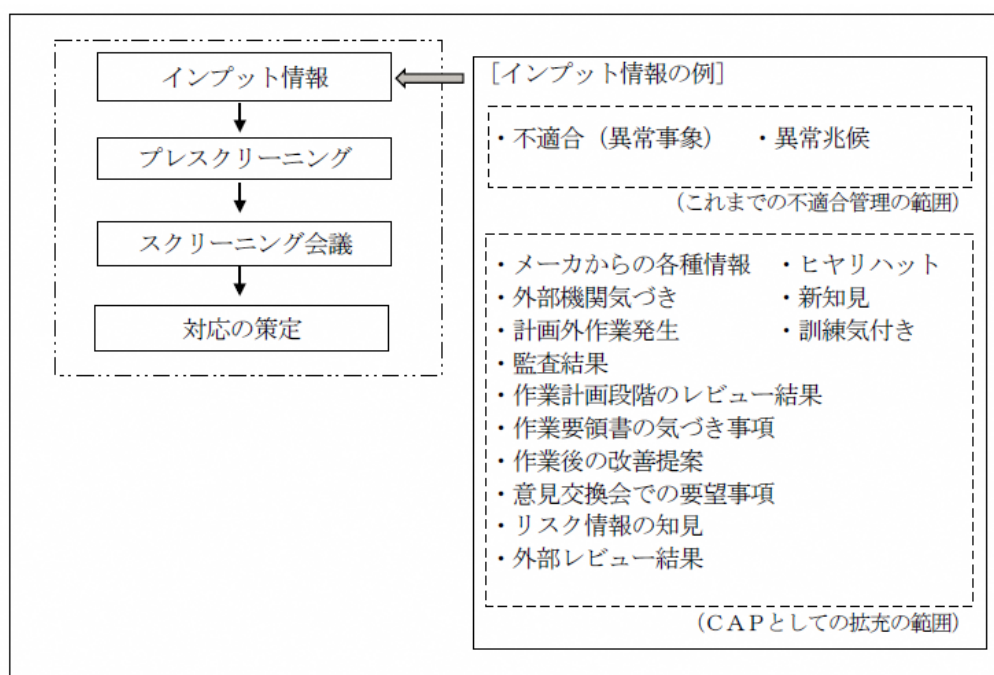
- ・ 4 事象の対策は、各事象固有の改善策であるが、事象 2 の「見直し確認ステップの追加」、事象 3 の「作業環境の改善」及び事象 4 の「計画段階でのリスク低減」については、同様の観点から幅広く他の作業に水平展開することにより、不具合発生リスクを低減できる可能性がある。

### ② 定期検査プロセスの妥当性調査

- ・ 前回の第 14 回定期検査において事象 1 が発生し、今回の第 15 回定期検査においても、同様の作業計画をしていたことから、作業計画の妥当性確認が不十分であったと考えられる。
- ・ ヒューマンファクターに起因する事象 3 が発生するとともに、想定されるリスクの特定、分析評価等を行い、必要な緩和措置を講じていたにも関わらず事象 4 が発生したことから、定期検査工程全般のみならず、個々の点検作業についてのリスク評価も実施するなど、過去の実績等にとらわれることなく、より幅広い観点からリスクを特定、分析する必要があったと考えられる。

### ③ 包括的な改善活動の仕組みの調査

- ・ 従来、不適合や異常兆候を示す事象を基に不適合管理を行い、是正処置を講じてきたが、昨年 8 月からは、包括的な改善活動の仕組み（CAP）の試行を開始し、より幅広く収集した情報について対応しているところであり、この仕組みを適正に運用することで、改善活動の基盤が構築できることを確認した。



包括的な改善活動の仕組み

#### ④安全文化・モチベーションの調査

- ・「(一社)原子力安全推進協会による意識調査結果」やトラブル発生後に実施した「社長と発電所員の意見交換」及び「原子力本部長と関係会社等との意見交換」において、原子力に対する将来への不安や業務量の多さの指摘などもあったが、モチベーションの低下等は見られず、安全意識も高く維持されていることが確認できた。

#### ⑤技術力の調査

- ・4事象については、技術力不足が要因で発生したものではなく、原子力保安研修所における教育訓練及び伊方発電所における現場技術力の習得・維持など、ベテラン社員や作業員からの技術伝承等の取組みにより、従来と同じレベルの技術力を保有していると判断できた。
- ・一方、3号機一基体制となったことや3号機建設中から作業に携わってきた社員や作業員が定年退職する時期を迎えていることから、ベテラン社員や作業員の経験すべてを確実に伝承することは困難であることも考えられる。

#### ⑥組織体制の在り方の調査

- ・原子力本部全体の要員数は、ここ数年減少傾向にあるが、組織・体制の見直しや繁忙期の応援体制の構築などにより、働き方改革も推進しながら、社員の勤務時間を適切に管理した上で発電所の運営体制を整えており、組織体制に問題はないと考えられる。

#### ⑦リスクマネジメント活動の調査

- ・福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、平成26年からの地震や津波などの確率論的安全評価を活用したリスク評価の実施を皮切りに、リスク情報を活用した意思決定を発電所の業務プロセスのなかに取り組み、工事計画、予防処置としての改善策の検討等にリスク情報を参照する実績を積み重ねており、リスクマネジメントという考え方が浸透しつつあると評価しているが、過去のトラブルの発生状況を鑑みれば、危険予知に対する感受性を高め、常にアンテナを張り巡らせておくことが重要である。

#### ⑧保守管理プロセスの妥当性調査

- ・4事象について、保守管理プロセスに起因するものではないことを確認した。
- ・保守管理プロセスのベースとなっている品質マネジメントシステム(QMS)文書は、遅滞なく整備されており、保守管理の有効性評価において抽出された事項は、保守管理プロセスというPDCAサイクルを回して改善していく仕組みが規定されていることが確認できた。

#### ⑨職場環境の調査

- ・従来から実施している種々の活動<sup>※3</sup>により職場環境改善に一定の成果を上



げていることを確認したが、今回のトラブル発生を踏まえて実施した「社長と発電所員の意見交換」や「原子力本部長と関係会社等との意見交換」では、工事報告資料の合理化や発電所入構時の手続きの迅速化等、これまでに社内では意識していなかった改善要望や、以前から関係会社からは要望を受けていたが十分に改善できていなかった課題が認められた。

- ※3 ・伊方発電所フォーラム：発電所幹部層と発電所員による意見交換
- ・定検反省会：定検終了後、四国電力と元請会社関係者で実施
- ・安全推進委員会：月1回、災害防止協議会メンバー（関係会社含む）が意見交換
- ・伊方ネット21：関係者が一丸となってボランティア活動、機関紙発行等を実施

#### ⑩外部組織等によるレビューの調査

- ・社外組織である、世界原子力発電事業者協会、（一社）原子力安全推進協会及び他電力、社内組織の四国電力本店などからのレビューを受けており、当該レビューにおいて抽出された改善要望事項については、対応方針、対応箇所及び完了目標時期を定めたアクションプランを策定し、社内ルールの見直し等の改善活動が実施されていることを確認した。

### （3）改善策

四国電力は、10件の項目について調査した結果、次のとおり改善策を講じることとしている。

	調査項目		改善策	
①	4事象の対策の水平展開に係る調査		新たな対策を実施	作業要領書の充実
②	定期検査プロセスの妥当性調査			作業計画段階におけるレビュー強化
③	包括的な改善活動の仕組みの調査			包括的な改善活動の推進
④	安全文化・モチベーションの調査			安全意識共有の充実
⑤	技術力の調査			技術力・現場力の維持・向上
⑥	組織体制の在り方の調査		従来の対策を継続	従来進めてきた保安活動の一層の推進
⑦	リスクマネジメント活動の調査			
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査			
⑨	職場環境の調査			
⑩	外部組織等によるレビューの調査			

#### ①作業要領書の充実

3事象において実施した作業要領書に係る対策と同様の観点（「見直し確認ステップの追加」、「作業環境の改善」及び「計画段階でのリスク低減」）で、3号機第15回定期検査で実施する作業の作業要領書全数について確認し、必要箇所の充実等を図った。



全要領書（1,158件）について、個々に記載内容の確認を実施した結果、144件の要領書（426箇所）を抽出し、記載の充実等を実施した。

また、今回の確認以降、新たに制定する作業要領書についても、同様に記載内容の充実が図られるよう、要領書作成要領を定めた社内規定に今回の確認の観点を追加した。

## ②作業計画段階におけるレビューの強化（新チームの設置）

作業計画段階において、作業担当部門が策定した作業計画を独立した立場からレビューし、妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図ることを目的として、次の業務を実施する新チームを設置する。

### ▶ 作業要領のレビュー

作業担当課が策定した作業要領書について、「品質確保・安全確保に向けた取組内容」や「これまでのヒューマンエラー対策の確実な反映」などについて確認し、作業要領の充実・改善を図る。

### ▶ 作業実施時期のレビュー

作業担当課が策定した点検工程について、「運転上の制限に係る作業時期」や「安全上重要な機器の作業時期」など作業計画の妥当性について確認し、必要に応じて改善を図る。

## ③包括的な改善活動の推進

「作業計画段階のレビュー結果」、「作業要領書の気付き事項」、「意見交換会での要望事項」、「他部門や外部機関のレビュー結果」及び「新技術に対するメーカーからの各種情報」のほか、作業後の振り返りでの改善提案等を漏らすことなく反映するため、CAPのインプット情報とすることにより、CAPの充実を図るとともに、これを確実に対応することで、伊方発電所としての包括的な改善活動を強力に推進していく。

## ④安全意識共有の充実

伊方発電所関係者のモチベーションの維持・向上、安全意識の共有並びに原子力の将来への不安払しょくのため、双方向コミュニケーション形式で実施する四国電力幹部と発電所員、関係会社等との意見交換を充実していくとともに、業務効率化の推進、働き方改革の意識浸透に向けた取組みも継続していく。

## ⑤技術力・現場力の維持・向上

3号機一基体制やベテラン社員の退職等伊方発電所の環境変化を踏まえ、次の対策により、技術力・現場力の維持・向上を図る。

### ▶ 教育訓練機会の増加

燃料取扱作業などの特殊な作業に限定せず、実施頻度が少ない作業についても技術力を継続的に維持するために、作業班が自主的に訓練内容

を設定し、教育訓練を実施する仕組みを作る。

➤ ベテラン社員・作業員からの技術継承

伊方発電所内で使用する点検作業要領書について、特にベテラン社員・作業員の視点から追記・修正すべき箇所を確認し反映したところであり、今後も、確実な技術継承のため、この取組みを継続していく。

⑥従来進めてきた保安活動の一層の推進

伊方発電所において、安全運転及び設備保全に万全を期すとともに、更なる安全性向上のために取り組んできた次の活動を引き続き推進していく。

➤ 適切な組織・体制の維持

3号機一基体制となった現在及び将来においても人的リソースを確実に確保することはもとより、状況変化に応じ組織・体制を柔軟に対応させ、伊方発電所の運営に必要な組織・体制を維持していく。

➤ リスク情報活用の推進

リスク情報を活用した意思決定に係る活動を着実に実践するとともに、適用範囲の拡大、社外教育を有効に活用したリスク情報活用に係る教育等の実施など、効果的にリスク情報の活用の取組みを推進していく。

➤ 保守管理プロセスの着実な運用

これまで有効に機能している保守管理プロセスについて、今後も同プロセスのPDCAサイクルを着実に回していくことにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。

➤ 職場環境の改善活動

引き続き、四国電力と関係会社等がコミュニケーションを緊密に取り、幅広く情報を収集する活動を継続的に実施し、より良い職場環境づくりを推進していくとともに、他社のベンチマーク調査を行い、良好事例を積極的に取り入れる。

➤ 外部組織によるレビュー

世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会、他電力及び四国電力本店などによるレビューを活用し、多様な立場、観点から原子力発電所の安全性・信頼性を向上させる取組みを推進し、より高い安全性・信頼性を求めていく。

#### (4) 審議内容

##### ①保守管理について

トラブルが連続したことから、要因の一つとして懸念していた保守管理プロセスの劣化はなかったとのことであるが、トラブルの未然防止に向け、発電所の停止時だけでなく、運転中でも可能な点検については、こまめに実施するなど、適宜、保守管理プロセスの見直しも実施してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

一連のトラブルについて調査した結果、事象1～3については、設備故障が発生した事象ではなく、事象4については、過去に経験のない故障によるもので、保守管理プロセスにおける劣化に起因するものではないことを確認しており、今後とも、

①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったPDCAサイクルにより、しっかりと保守管理していくこととしている。

また、設備点検については、故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて、保全方式や点検計画を定めて実施しているが、停止時にしか点検できない設備についても、運転中から状態監視を行うなど、トラブルの未然防止に努めており、今後とも、PDCAサイクルの中で、適宜、改善を図っていく。

##### ②リスク評価について

定量的リスク評価には、事前のリスク評価と起こった事象についての重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、現時点で、それぞれどのような取組みを実施しているのか。

##### 【四国電力回答】

事前のリスク評価については、従来から、定期検査時の作業計画段階において、停止時リスクの定量評価を確認するとともに、自主的な安全性向上のほか、原子力規制委員会において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。

さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。

事象の重要度評価については、新検査制度においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。

定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。

### ③安全文化について

海外における取組みを参考にするとともに、双方向のコミュニケーションなど、日本の文化に即した方法を取り入れることにより、安全文化の醸成に努め、自律的に問題点を見出し、議論できる組織を育んでもらいたい。

#### 【四国電力回答】

海外の発電所に勤務する者からレビューを受けるとともに、定期的に海外の良好事例の紹介を受ける体制を整えるなど、海外の取組みについても、積極的に情報収集し、安全性向上に向けた取組みに反映している。また、今回の一連のトラブルを踏まえ、幹部と発電所員等との双方向コミュニケーション形式による意見交換を新たに実施した結果、有効であることが確認できたため、今後とも、継続的に実施していくこととしている。安全文化を醸成するためには、これらの取組みを長期間継続して実施していくことが必要と考えており、「問いかける姿勢」も含めた安全文化の10の特性の定着に向けた教育等の取組みを繰り返し実施していくこととしている。

### ④新チームの設置について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであり評価できるが、CAP制度やリスク評価の効果的な活用などにより、研鑽を重ねながら、実効性のある運営をしてもらいたい。

#### 【四国電力回答】

新チームによる作業要領書や作業計画等のレビュー業務については、試行を重ねつつ、チームとしての技量を向上させていく。

また、新チームの活動は、作業担当課が作成した作業要領書等について協議・確認するものであり、この活動を通じて、関係者間での十分なコミュニケーションが図られるとともに、「問いかける姿勢」に対する理解が深まるなど、トラブルの未然防止・伊方発電所の安全確保に重要な役割を果たすものと考えている。

## 審議結果

四国電力が令和2年3月17日に愛媛県に提出した、伊方発電所3号機第15回定期検査で連続発生した4件の重大なトラブル及びその総括評価に係る報告書については、四国電力から内容の説明を受けるとともに、推定原因の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性等について審議した結果、個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、また、トラブルが連続した背景については、組織体制面、技術面など様々な視点から調査・検証がなされ、新チームの設置やCAP（包括的な改善活動の仕組み）等の新たな仕組みを整備したほか、社員教育や幹部と発電所所員等との意見交換など安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており、適当であると判断した。

ただし、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び伊方発電所の更なる安全性向上につながる取組みとして、次のとおり、部会としての四国電力に対する要望事項を取りまとめた。

については、下記部会意見が確実に実行されるよう、県から四国電力に対し、要請することを求めるものである。なお、その取組状況については、適宜、県において確認いただきたい。

### 【要望事項】

#### 1. 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 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」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ（マグネタイト）の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

#### 2. 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

### 3. 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取り組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取り組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不断に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問いかける姿勢」の定着のみならず、「問いかける能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

### 4. 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもCAP制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

### 5. 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、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ため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカーなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。

また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

目次（項目）

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	参考-1
2. 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.....	参考-3
3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について...	参考-9
4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について.....	参考-13
5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について.....	参考-15
6. 全般.....	参考-20

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント委員
1	運転に当たっては、四国電力の正規の職員が皆当たるようなシステムにしてもらいたい。	運転に当たっては、四国電力社員が対応している。また、安全上重要な作業や工程管理等も四電社員が携わっており、今後も中心となって対応していく。	R02 2/18	高橋
2	「問いかける姿勢」について、意識改革にどう取り組んでいくのか。	「問いかける姿勢」を定着させるため、毎年度実施している安全文化の教育テキストに今回の事象を追加し、繰り返し教育することで、このトラブルを忘れずに「問いかける姿勢」の重要性を認識させる。 R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」では、安全文化の育成・維持活動の目標として「健全な安全文化の特性」を定めており、これら10特性の一つに「問いかける姿勢」が含まれている。「健全な安全文化の特性」の定着を図るため、関係者が出席するスクリーニング会議で毎週唱和しているが、今後もこの取り組みを継続していく。 (6月4日 資料1-1 P5)	R02 3/24	池内
3	作業計画の立案等は重要な作業である。四国電力社員がすべての工程に携わるようにしてほしい。	重要な工程等には全て四国電力社員が携わっており、今後とも中心となり対応していく。 なお、今回の作業は、福島事故後、新規制基準が施行されて保安規定を変更したが、変更した内容の理解が不足していたものであり、保安規定改定時には、周知に加え内容に関する教育を技術系所員に対し実施するなどの改善を行う。 (6月4日 資料1-1 P4,5)	R02 3/24	高橋
4	再発防止策として実施する保安規定が改定された際の所員教育では、改定内容だけでなく、改定理由についても教育してほしい。	今回、保安規定を改定した場合は、従来の周知だけではなく、教育もするよう改めた。また、その教育に際しては改定に携わった者により改定の趣旨も含めた教育を実施することとしている。	R02 6/4	村松
5	何を問いかけるべきか分からなければ、問いかけるモチベーションが生じないが、「問いかける姿勢」の定着に向けた教育についてはどのように考えているのか。	「問いかける姿勢」の浸透については、安全文化の教育などを繰り返し実施していくこととしている。	R02 6/4	中村
6	理解が不足しているか分からない状況だと、結局、「問いかける姿勢」がいくら醸成されていても、問いかけるべき問題があるかどうか分からないので、それにより本事象を防ぐのは難しいのではないか。	「問いかける姿勢」が欠けていたことだけでなく、保安規定の理解不足も原因であるため、今後は、双方向のコミュニケーションを図りながら、保安規定に係る教育を実施することとしている。	R02 6/4	森



番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	分からないことも聞きやすい環境を作ることが大事であるが、どのように取り組むのか。	安全文化を醸成するのは、長期的・継続的な取り組みが必要であり、PDCAサイクルを繰り返し継続的に回しながらしっかりと取り組んで行く。	R02 6/4	森
8	教育も重要であるが、保安規定を遵守した作業であることが、書類上、物理的に確認できるシステムとしていくことが重要ではないか。	本事象については、保安規定の理解が不足していたこと、保安規定第88条への適合を確認できていなかったというシステム的な問題、及び「問いかける姿勢」が欠けていたことの3点が原因であったと考えており、確認するシステムに改善の余地があったことから、作業計画の妥当性を明確に確認できるチェックシートを作成し、社内関係者が確認又は承認する体制とした。	R02 6/4	宇根崎
9	システムの改善、教育の徹底及び意識(問いかける姿勢)の向上という改善策をバランスよく組み合わせることで講じてほしい。また、教育や意識の向上は保全活動全般の質を上げていくことにつながるため、長期的な取り組みになると思われるが、教育などの改善による効果の把握に取り組むながらより改善に努めてほしい。	改善した保安規定第88条への適合を確認するシステムを確実に運用していくとともに、追加した教育及び安全文化の醸成活動を継続的に実施していくこととしており、これらを必要に応じて改善しながらバランスよく取り組んでまいりたい。 また、不適合の発生状況等はCAPを用いて傾向を把握することとしており、教育などの改善策の効果の把握にも活用して、継続的な改善に努めてまいりたい。	R02 6/4	宇根崎
10	「問いかける姿勢」の定着への取り組みは、形式的になりすぎることなく、双方向のコミュニケーションを、組織の中でうまく運用されるよう努めてほしい。	「問いかける姿勢」の定着は一朝一夕に達成できるものではないが、今回策定した改善策を着実に進め継続的に取り組んでいく。 また、取り組みが形式的になりすぎないよう心掛けるとともに、教育や日々の業務において双方向のコミュニケーションを工夫しながら推進していくことで、互いに学び合える風土を育むよう努めてまいりたい。	R02 6/4	中村
11	双方向のコミュニケーションを図りながら教育に取り組むとの方針は是非お願いする。さらに、問答を通じて受講者、説明者双方の学び、気付きにつながるよう、様々な角度から議論できる社風を育ててほしい。		R02 6/4	岸田

2. 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

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	制御棒の引き上がり事案については、国内でも例がないとのことであるから、しっかりと原因究明をしてもらい、今後の安全運転につなげてもらいたい。また、調査結果等については、適宜、報告をお願いしたい	各事象については、しっかりと原因究明を行うとともに再発防止に努めていく。 (原因と再発防止策をとりまとめた報告書を提出済み。)	R02 2/18	宇根崎
2	制御棒クラスタの切り離しの作業で、駆動軸着底の確認はどのように確認しているのか。	ベースプレートの高さを計測し、計画値の範囲内であることを確認している。 (6月4日 資料1-2 P32のステップ⑩)	R02 2/18	中村
3	制御棒クラスタ頭部に溜まっている堆積物は何か。なぜこのように溜まるか総合的に調査してほしい。	堆積物を分析した結果、マグネタイト( $Fe_3O_4$ )であることを確認した。 堆積物は過去の定期検査でも確認されており、スパイダ頭部にスラッジが堆積する現象には、 ・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 ・1次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したものの2つのケースがあると推定している。 (6月4日 資料1-2 P9～12)	R02 2/18	中村
4	結合部分だけでなく駆動軸取り外し工具についても念のため調べておくべき。	駆動軸取り外し工具についても調査を実施し問題がないことを確認した。 (6月4日 資料1-2 P35)	R02 2/18	中村
5	制御棒引き上がりは推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	制御棒引き上がりについては、当該の駆動軸や制御棒クラスタのほか、工具や使用計測器等も含め詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-2 P3～16, 34～39) 推定原因は、原因調査から得られた物証に加え、事象発生時の駆動軸と制御棒クラスタの結合状態のケース検討や部分モデルによる引き上がり状態の実証試験を実施し、事象発生メカニズムを検討し、解析等によるメカニズムの妥当性確認を実施したうえで推定したものである。 (6月4日 資料1-2 P17～24)	R02 3/24	中村
6	制御棒の引き上がりに関して、これまで同様の事象はなかったのか。	国内外の類似事例を調査した結果、海外で制御棒の引き上がり事象が発生していたが、今回の事象と同様な事象はなかった。 (6月4日 資料1-2 P13)	R02 3/24	占部

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	スラッジは水質管理を行うことで減少させているはず。そういった取組みとか、技術的な観点からの評価はないのか。	<p>今回制御棒クラスタの頭部に確認されたスラッジ（マグネタイト）は鉄の酸化物であるが、従来から、1次冷却材の鉄濃度は低く管理しており、系外から補給される水の鉄濃度も低く管理することによりできるだけ発生を抑制している。</p> <p>また、1次冷却材の浄化流量を可能な限り多くとることにより、生成されたマグネタイトを可能な限り除去している。</p> <p>（6月4日 資料1-2 P41）</p> <p>一方で、マグネタイトは1次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となっていることから、発生しないようにすることは困難である。</p> <p>（6月4日 資料1-2 P12）</p> <p>このため、今回の再発防止対策により、スラッジがスパイダ頭部に堆積したとしても、制御棒クラスタの引き上がりが生じないように手順を見直すこととしている。（6月4日 資料1-2 P26）</p>	R02 3/24	渡邊
8	マグネタイトの薄片が磁化した駆動軸接手に付着するというメカニズムがあるのであれば、この点について気を付ける必要があるのではないかと。	<p>駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業にあたっては、インジケータロッドが完全に下降していることを確認するとともに、重量確認とベースプレート高さの位置計測を行うこととしており、磁化した接手にマグネタイトが付着しても支障はない。</p>	R02 6/4	中村
9	今回の調査結果により、剥離している薄片のサイズが大きいことが分かったが、これが磁化して駆動軸内部の位置決めナットと接手の間に付着すると大きな影響を及ぼす可能性があるのではないかと。	<p>これまでの運転においても特に駆動軸の動作に異常が認められたことはなく、また、今後の対策については、確実に接続又は切り離しができていることを確認できる手順を追加したことから、問題ない。</p>	R02 6/4	中村
10	駆動軸が高溶存酸素及び高温環境におかれることで、マグネタイト生成するということがあれば、ほかの材質を使うことについて検討してはどうか。また、プラント運転中においては、駆動軸内部で1次冷却材の自然循環が発生するとのことだが、これは本当か。	<p>駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点から磁性材の使用が必要があり、限定されるものである。また、運転中の駆動軸近傍の下端と上端では温度差があることから自然循環がある程度ある。</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
11	<p>本事象はマグネタイトが非常に悪い影響を及ぼしていないか。</p>	<p>○マグネタイトの設備への影響について            駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点より磁性材を使用する必要があり SUS410 を使用している。また、接手部は耐摩耗性の観点より硬度の高い SUS403 を使用している。</p>	R02 6/4	渡邊
12	<p>駆動軸を取り出して外観確認をして、外面については腐食が見られておらず、環境が同じ内面も腐食がないという認識であれば、今回観察された大きな薄片等はどこから発生したのか。            スパイダ頭部にスラッジが堆積するメカニズムについて、環境要因や材料条件等を、再度、総合的に整理して考える必要があるのではないか。</p>	<p>駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し作業の際に、スパイダ頭部内に堆積しているマグネタイトが駆動軸の接手部に付着していたとしても、重量確認と位置確認により確実に結合・切り離しがされていることを確認するため、同様事象の再発防止は可能である。</p> <p>また、強磁性であるマグネタイトが悪影響を及ぼす可能性がある設備としては、磁性材料を使用している設備が考えられるが、磁性材料を使用している設備は限定的であり、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。</p> <p>また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態皮膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。</p> <p>今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、すべて駆動軸内表面から溶出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。</p> <p>○マグネタイト生成・堆積過程について            1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイト (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) として存在することが知られており、堆積物の分析結果がマグネタイトであったこととも整合する。</p> <p>スパイダ頭部にマグネタイトが堆積する現象としては、駆動軸内表面（プラント起動初期段階、プラント運転中）や1次冷却系統内で生成されたマグネタイトが堆積したケースが考えられる。また、今回確認された薄膜状のマグネタイトは、構造上、駆動軸内表面で生成したものである。</p> <p>これらのマグネタイト生成メカニズムは、実機の設備構成を踏まえたものであり、1次冷却系統の水質及び温度環境下においては一般的な化学反応式等で示されるものであることから、確度の高いメカニズムである。</p> <p>(7月16日 資料1 別添1)</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
13	今後、推定メカニズムの明確化について、事象が発生した電力会社として主体的に責任を持って取り組んでほしい。	本事象のメカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタ頭部へのマグネタイトの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も行い、不完全結合に至ったメカニズムを特定している。	R02 6/4	渡邊
14	本事象の原因究明は、伊方発電所だけでなく世界中のPWRに関係する内容であることから、ぜひ根本原因を究明してほしい。	また、今回の再発防止対策により、制御棒クラスタの引き上がり事象は確実に防止することができる。	R02 6/4	中村
15	再発防止策は、推定原因のとおりにかどうかに関わらず、追加手順により再発防止ができることから十分である。 ただ、本事象の発生メカニズムの解明については、世界中のPWRの安全性向上に非常に大きな役割を果たし得ることから、今後、四国電力として科学的にこれを解明して、それを発信していくという姿勢が重要である。	一方で、堆積物（マグネタイト）の生成・堆積については、定期検査ごとに堆積物を除去することとしているが、今後、以下の取り組みも継続していく。 ・ 定期検査時に制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積しているマグネタイトを除去する際には、水中カメラにて堆積状況を観察・記録していき、情報を蓄積し、傾向監視するなど保全に役立てていく。 ・ 他プラントの状況について、情報収集・情報交換を行う。	R02 6/4	宇根崎
16	推定原因ではあるが、いろいろな証拠物を基に、できる範囲で原因を検証していると思う。世界中の発電所に活かす意味で、メカニズムの推定は非常に重要であり、原因の追究を進めていただければと思う。	さらに長期的な堆積物の低減に向けて、実験などで効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充を図り、更なる安全性の向上に努めていく。 また、現状、伊方発電所で堆積物（マグネタイト）の発生量が急増している傾向はないが、定期検査ごとの堆積物の発生量調査により、有意な増加傾向が見られた場合は、速やかに前回定期検査のプラント起動時以降の運転状況を確認し、増加要因を分析したうえで対応を検討する。 (7月16日 資料1 別添2)	R02 6/4	望月
17	SUS410の駆動軸の腐食について、組織も異なるSUS304のデータにて評価していることの妥当性を示してほしい。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
18	<p>制御棒駆動軸について定期取替しないものとして扱っているが、経年劣化を想定した科学的根拠に基づく取替基準を示してほしい。</p> <p>また、堆積したスラッジの量から減肉量を推定しているが、その評価方法の妥当性を示してほしい。</p>	<p>1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイトとして存在するものであり、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、同様の環境下にある駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。駆動軸の腐食（酸化）は健全性に影響を与えるような経年劣化事象ではないことから、経年劣化の観点での取替基準は設けていない。なお、制御棒については、中性子照射量の制限及び運転中の振動による摩耗防止の観点から、中性子照射量や運転時間による取替基準を設けている。</p> <p>堆積したスラッジからの減肉量の推定については、すべてのスラッジが駆動軸の内表面だけから発生したとの非常に保守的な仮定にて評価を行ったものであり、その場合においても十分な余裕があることから、健全性に影響はない。</p>	R02 7/16	渡邊
19	<p>制御棒引き上がりに対する対策としては同じ事象は起こらないということは理解したが、今後も使用する駆動軸の健全性について、明確なデータを示して説明してほしい。</p>	<p>以下の理由により、今後の使用においても健全性に影響はないと判断している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理された環境中におけるステンレス鋼（SUS304）の腐食速度からの類推により、一般的にステンレス鋼は腐食しない</li> <li>・材質・環境が駆動軸内表面と同じ駆動軸外表面においても有意な腐食は見られない</li> <li>・堆積したスラッジ量から、駆動軸の減肉量を保守的に評価しても健全性に影響はない</li> </ul> <p>ただし、今回の事象を経験した事業者として SUS410 のデータを拡充していく必要があると考えており、今後、実験等によりデータを拡充していきたい。</p>	R02 7/16	渡邊
20	<p>数ミリ単位の薄膜状のスラッジがどこの部材から剥落し、また、その量がどれくらいかわからないが、剥落したことにより、部材が損傷するなどして、運転上影響がないか。</p>	<p>薄膜状のスラッジ(マグネタイト)は、駆動軸の構造材そのものが剥離したものではなく、駆動軸内表面で生成し、系統中の鉄イオンにより成長したものが剥離・落下したものと考えており、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。また、駆動軸の外側表面においても有意な腐食等もなく、腐食（酸化）量の評価のとおり、剥離が駆動軸の健全性に影響を与えるものではなく、運転の安全性にも影響はない。</p> <p>今後、実験等によりスラッジの発生メカニズムについて研究していきたい。</p>	R02 7/16	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
21	<p>駆動軸と同様の環境下である原子炉容器上蓋の CRDM 圧力ハウジングからも多くのスラッジが発生している可能性があり、同部材の健全性について確認が必要ではないか。</p>	<p>CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋内面には、ステンレス鋼を使用しており、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統の様に管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、強磁性であるスラッジ（マグネタイト）が系統内の設備に悪影響を及ぼす可能性については、系統内で磁性材料を使用している設備に対する影響はなく、プラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。（7/16 資料1 別添1）</p> <p>また、CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋については、定期検査において内面に異常は認められていないものの、応力腐食割れ（SCC）への予防保全対策として、前回定期検査において SCC 対策を施した上蓋に取り替えている。</p>	R02 7/16	中村
22	<p>事象が発生したメカニズムとして、あり得るメカニズムが列挙され、それぞれのメカニズムに対して、どれくらい起こりそうか、起こった場合にどう再発防止をしていくかという視点で検証され、もう一度同じような事象が起らないように再発防止策を取っていると理解しており、論理的にしっかりしていると思われる。本日の議論は、今後、特定されていないメカニズムを追求する努力をしてほしいという趣旨と理解している。</p>	—	R02 7/16	森
23	<p>制御棒駆動軸については、制御棒を入れるという意味では安全上非常に重要であるが、今回の引き上げることについては、少なくとも事故を起こさないとの意味では、それほど重要ではないと思われる。今回の事象は、非常に稀な事象であり、マグネタイトによる制御棒、弁、ポンプ等の安全上重要な機器への影響については検討しており、特に制御棒については仮に1本挿入できない場合でも停止機能は維持できるように設計されていることなどを考えれば、PWRの安全性向上のために一般的な意味で継続的に検討するというレベルだと認識している。</p>	—	R02 7/16	村松

### 3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	この点検は過去の伊方3号機の燃料リークの経験から実施している点検であるが、これを保守管理でやるのは無理があるのではないのか。過去に策定した、対策では、当該燃料を原因が分かるまでは使用しないのではなかったのか。	当時の対策としては、漏えいした燃料は使用しないこととし、漏えいした燃料と同一時期に製造された同設計のA型55燃料(2体)は念のため使用を見合わせることにした。なお、当該燃料(2体)については既に除却済みである。 また、漏えい対策を行った新設計の燃料を平成23年に採用済みである。 また、原子力安全・保安院の指示に基づき、漏えいが発生した燃料と同設計のA型55燃料を使用する場合には、当該燃料の漏えい原因に係る知見を踏まえ、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部(支持板、ばね板)と燃料棒の間に隙間等がないことを確認することとしている。 (6月4日 資料1-3 P12,13)	R02 2/18	渡邊
2	照射済燃料に関しては、脆くなっていることもあり得る。重量物である燃料集合体がラック上に少し乗ってしまったことで、燃料集合体に変な荷重が加わり、たわみや見えない傷がないのかなども総合的に検査してほしい。	当該燃料集合体は照射済みであるが、照射済燃料に対する荷重評価結果を未照射条件で健全性が確認された荷重と比較することは、より厳しい取扱いとなる。 また、当該燃料集合体を対象に、点検装置ラックへの乗り上げ前後の燃料集合体の曲がり量を確認したが、点検装置ラックへの乗り上げ前後で、当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化はなかった。 (6月4日 資料1-3 P7)	R02 2/18	中村
3	ファイバースコープでの確認は、燃焼度の高い燃料集合体の下部の各4面について行うのか。また、今定検で5体確認することであるが、その5体に決めた理由は何か。	ファイバースコープによる点検対象の燃料は、燃料被覆管の摩耗の進展に影響を及ぼす可能性のある「燃焼度」、「装荷回数」及び「装荷位置」を考慮して選定している。具体的には、再使用予定燃料のうち2サイクル以上装荷された燃料から、装荷回数が同じ、かつ、炉内の装荷位置が対称であった燃料を1グループとし、それぞれのグループから最も燃焼が進んだ燃料を点検対象として選定している。点検作業は燃料集合体の最下部支持格子の4面すべてにファイバースコープを挿入し、燃料棒の支持部(支持板、ばね板)と燃料棒の間に隙間等がないことを確認する作業である。 今回の点検では、再使用を予定しているA型55燃料64体のうち、2サイクル以上装荷された62体を確認対象としており、このうち、前サイクル(第15サイクル)で装荷していた燃料集合体30体(5グループ)を対象に、各グループから最も燃料の進んだ5体を選定している。 (6月4日 資料1-3 P2,13)	R02 2/18	渡邊



番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	<p>改善策がいくつかあるが、燃料の移動操作についても技術的な改善がなく極めて原始的であると思った。技術的な改善もぜひ取り組んでいただきたい。</p>	<p>通常の使用済燃料ラックでの燃料取扱作業は、3号機の運転開始以降十分な実績があり、これまで燃料集合体を使用済燃料ラックに乗り上げる事象は発生していないが、本点検作業は、使用済燃料ピットの限られたエリアに設置した点検装置を用いて行う難度の高い作業であり、点検体数（今回は5体）や、残りの点検回数（過去に漏えいが発生したタイプの燃料の使用が終了するまであと3～4回程度）などを考えると、通常の燃料取扱作業と比べて限定的な作業である。</p> <p>本事象に対して、技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めを自動化することなどが考えられるが、仮にクレーンをラックの直上に自動で位置決めしたとしても、燃料集合体のラックへの挿入箇所はクレーンより約1.1m下方であるため、燃料集合体をそのままラックに挿入した場合、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体の僅かな揺れや振動等により、接触したり乗上げたりする可能性があることから、目視で挿入状況を確認する必要があると考える。また、燃料集合体下部がラック位置と僅かにずれている場合は、手動によるセンタリングの修正等が必要となる。</p> <p>このため、燃料集合体のラック乗上げ防止の観点からは、点検装置ラック開口寸法を拡大する等により、十分に再発防止が可能であり、最も有効な対策であると考えている。</p>	R02 3/24	占部
5	<p>使用済燃料プールにある燃料集合体の落下信号が発信された場合には、その場にいる作業員はどういった対応を取ることになっているのか。</p>	<p>燃料集合体の落下信号が発信した場合は、落下した燃料から発生するおそれがある放射性ガスをチャコールフィルターにて吸着するため、使用済燃料ピットの空調系がアニュラスの排気系統に切り替わる。今回は実際には燃料集合体が落下したわけではないが、実際に燃料集合体が落下し、放射性ガスの発生を目視した場合は、作業員は被ばく防止の観点から退避することになる。</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
6	ラック乗り上げ時に燃料被覆管に発生した応力は約3MPaとしているが、1,000kgを超える物が乗り上げた時の応力にしては、小さい気がするが、どうか。	今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264本の燃料被覆管に概ね均等に荷重がかかったと考えており、その条件で評価すると約3MPaとなる。ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定できないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力(約3MPa)は未照射時材料の耐力約600MPaに対しては十分に小さいことからある程度の不均等な荷重が作用したとしても燃料被覆管の健全性に問題はない。	R02 6/4	渡邊
7	原子力安全委員会が定めた「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」においては、水素化物再配向による機械的特性劣化防止の条件として、PWRの場合では100MPaという値が示されているが、今回の評価にあたり、発生応力を未照射時の耐力(約600MPa)と比較するのは適切ではないのではないか。仮に、この100MPaと比較した場合、保管中の燃料被覆管応力にラック乗り上げ時に発生したと想定する応力を加えた約63MPaでは、あまり余裕がない。ラック乗り上げ時に発生した応力について、燃料棒264本に均一に力が加わったとして評価しているが、本当に均一に力が加わっているのか。例えば有限要素法を使用して、精密に評価してはどうか。	ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用したことは否定できないが、仮にラック乗り上げ時にある極端に不均等な荷重が作用すると想定(264本の燃料棒のうち最外周2面の33本の燃料棒ですべての発生荷重を分担すると仮定)した場合でも、燃料被覆管に発生する応力は約20MPaであり、この応力が使用済燃料ピットで保管中の燃料被覆管に作用したとしても、燃料被覆管応力(未照射時で約600MPa)に対して十分小さい。 有限要素法による評価については、精緻なモデルの構築方法や条件設定の妥当性など曖昧さのほうが大きいと考えており、また上記のとおり、ラック乗り上げ時の荷重による発生応力も十分小さいことから、工学的判断により現状の評価手法は適切と判断する。 (7月16日 資料1 別添3) なお、ご指摘の100MPaの値は、周方向応力が生じた状態の燃料被覆管が高温から冷却される際に水素化物再配向が生じることにより、燃料被覆管の機械的特性が低下しない条件としてのしきい値であり、耐力等の機械的強度の制限値とは意味合いが異なるものと認識している。今回ラックに乗り上げた燃料は炉心から取り出した直後の燃料で、燃焼度も35,000MWd/t程度であり、今回の評価にあたり発生した応力を未照射時材料の耐力と比較することに問題はないと判断する。	R02 6/4	渡邊
8	高燃焼度燃料の燃焼末期では、耐震評価結果などがぎりぎりの状況となっている。高燃焼度燃料というのはそのような状況下で使用しているということを理解したうえで安全に使用してもらいたい。	高燃焼度燃料は従来燃料に比べて負荷が高い状態で使用していることは認識している。高燃焼度燃料導入当初には、その安全性等について原子力安全・保安院の審査において了承されたものであるが、今後も高燃焼度燃料に関する情報を入手し、不具合等に係る情報に対して必要な対策を行うなど、継続的な安全性向上に適切に対応していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
9	<p>今回ラックに乗り上げた燃料は、過去に伊方 3 号機をはじめ複数のプラントで漏えいが発生した燃料と同設計の燃料であるが、漏えいに対してこれまでどのような対策を取ってきたのか。また、今後同設計の燃料は使わないという選択肢もある中で、なぜ現在も使用し続けているのか、事業者の考えを説明すること。</p>	<p>過去に漏えいが発生した燃料については、原子力安全・保安院における検討会において原因究明が行われた結果、燃料棒の水力振動により支持格子位置で燃料被覆管が摩耗するグリッドフレッティングにより漏えいが生じたものと分かった。これに対し、当社としては、漏えい対策を行った新設計の燃料を既に導入しており、漏えいした燃料と同設計の燃料についても、漏えい原因究明を通じて得られた知見を踏まえ、原子力安全・保安院の指示に基づくファイバースコープ点検の実施、炉心内の燃料配置等を工夫するなどの対応を行うことにより、漏えい発生のリスクを十分低減させることが可能である。</p> <p>漏えいが発生した燃料と同設計の燃料の今後の使用については、上述のとおり適切な対応を行うことにより漏えい発生リスクを十分低減させることが可能であることに加え、これらの燃料を使わないとした場合、相当数の使用済燃料が発生することとなり、廃棄物を徒に増やすことにもつながることから、これらの燃料については、上述の対策を行いながら、慎重に使用していく。</p>	R02 7/16	渡邊

#### 4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	<p>断路器の故障は推定原因であるが詳細な調査はしているのか。</p>	<p>所内電源一時的喪失事象については、要因分析図を作成し、当該断路器について分解や分析等を行い、詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-4 P9～P15)</p> <p>推定原因については、実証試験(非接触状態の確認、放電試験)等によって、メカニズムの妥当性を確認したうえで推定したものである。(6月4日 資料1-4 P16～P18)</p> <p>また、計画的に開放点検を実施している中で、内部に粉が確認された南幹2号線乙母線断路器についても、同様の詳細な原因調査を行い、同様のメカニズムによって発生したものと推定している。(6月4日 資料1-4 P27～P29, 参考-9)</p>	R02 3/24	中村
2	<p>原因は推定であるが小さなトラブルが続くときは大きな事故の前触れとなり得る。電源喪失の問題、断路器の回転部分の緩み等はめったにないことであり、どれくらいの確率で起こるのか。技術的な背景をもっと説明してほしい。</p>	<p>当該断路器は、ガス絶縁開閉装置であり、一般的に気中断路器とは異なり、導電部、絶縁部、接触部等は、すべてガスを封入したユニット内に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性の高い装置となっている。今回の事象は、嵌合部(セレーション構造)の僅かな隙間が起因となって発生したものである。なお、今回と同様のメカニズムによる故障については、当該断路器メーカーにおいても過去に例はなかった。(6月4日 資料1-4 P10)</p> <p>なお、過去の研究における一つの指標として、GIS(ガス絶縁開閉器)の事故確率としては、<math>0.202 \times 10^{-3}</math> 件/(台・年)という数値がある。</p>	R02 3/24	占部
3	<p>断路器の故障が原因というが、このような不具合がないことを確認するのが試験だと思う。故障があっても、一時的にしろ電源喪失しないような試験を考えていただきたい。細かな点検に人が対応するのは100%は無理である。点検の開発や体制作りが大事。特に断路器の故障で電源がなくなったのは改善していただきたい。</p>	<p>電源は重要であることから、多重化・多様化している。</p> <p>今回の事象も、すべての電源がなくなったものではなく、3号機においては外部電源として500kV送電線2回線、亀浦変電所からの配電線、また、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置など多種多様な電源が待機状態であったとともに、設計どおりに約10秒で非常用ディーゼル発電機から受電されている。</p> <p>しかし、一時的とは言え1, 2, 3号機すべての外部電源が喪失したことに鑑み、今後、試験を再開する際は1, 2, 3号機が同時に停電しないよう模擬負荷装置を使用することとしている。(6月4日 資料1-4 P3, 4, 24, 26)</p>	R02 3/24	藤川

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	同一構造の断路器において、既にいくつか放電したものを確認したとのことだが、この構造をもった断路器については、同様の故障が一般的に生じ得るとい認識なのか。	<p>メーカー等の使用実態からは、短絡まで起こった事例はなかったと聞いているが、同一構造の断路器においては、嵌合部で隙間が生じて、今回のような放電が起こり得るとい前提に立って、部分放電の検知に関して常時計測することで対応したい。</p> <p>なお、メーカーと協議しながら、恒常的な対策についても検討していく。</p>	R02 6/4	中村
5	調査結果の運転履歴の確認事項において、「メーカー動作確認回数である10,000回を十分に下回り(約350回)」とあるが、メーカーが実施している動作確認とはどのような試験なのか。	<p>メーカーでは、断路器の機械的強度を確かめるため、JEC(電気規格調査会標準規格)に基づき、電圧をかけない状態で開閉動作を10,000回行う耐久試験を実施し、開閉に伴う機械的な損耗がないことを確認している。</p> <p>今回は、約350回程度しか開閉動作をしていない断路器で発生した事象であり、開閉に伴う機械的損耗ではなく、嵌合部の隙間で生じた放電が原因で短絡したものと推定している。</p>	R02 6/4	中村

5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	<p>保全や保守の管理の状況が今どうなっているか、それが最近低下したことはないか、そして、今後に向けてどう改善していくかというか、定量的なものをどうやっていくか、というようなことを説明していただきたい。</p>	<p>今回のトラブルの連続発生を機に、伊方発電所の保守管理プロセスを調査したところ、①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったプロセスが定められたとおりに実施されており、各トラブルの発生原因が保守管理プロセスに起因するものではないことも確認できたことから、同プロセスは有効に機能していると確認できた。</p> <p>今後も、保守管理プロセスを適切に運用することにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。</p> <p>(6月4日 資料 1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松
2	<p>トラブルを未然に防ぐための努力、保守管理における不適合の未然防止の活動としては、通常は何がなされていて、疎かになったということはないかということ、実際に起こったトラブルの中で確認をしたい。</p> <p>併せて、それに関連する教訓、今後の改善というものがあれば教えていただきたい。</p>	<p>伊方発電所では、「①点検計画の策定→②保全の実施→③保全の有効性評価→④保守管理の有効性評価→①」といったPDCAサイクルを回すことにより、保守管理を実施している。</p> <p>今回の4事象については、下記のとおり、いずれも発生原因は保守管理プロセスに起因するものではないことを確認している。</p> <p>○事象Ⅰ（運転上の制限の逸脱）・事象Ⅱ（制御棒引き上がり）・事象Ⅲ（落下信号発信）は、設備故障が発生した事象ではなく、保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象Ⅳ（所内電源一時的喪失）は、過去に経験のない故障によるものであり、保守管理プロセス自体に不備があった訳ではない。</p> <p>なお、事象Ⅳについては、過去に経験のない故障によるものであり、本事象を想定した保全項目は設定していなかったが、これまで運用してきた保守管理プロセスに沿った是正処置を検討し、当該機器の監視強化等を行うこととした。</p> <p>(6月4日 資料 1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
3	<p>原子力安全を考えると、安全文化の醸成は大事。日本のような文化で外国ではできることが定着できるのか。具体的な施策はあるのか。</p>	<p>従来から伊方発電所では、安全文化醸成活動の目標として、WANO文書を参考に「健全な安全文化の特性」を定めており、その特性の一つに「継続的な学習」も含まれている。</p> <p>また、R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」において、目標、計画、実施、評価の手順を定めている。</p> <p>この活動の有効性については、年度業務計画の実施状況評価、意識調査（アンケート）及びCAP（改善措置活動）による傾向監視の評価や、JANSIやWANOによる外部評価を総合的に評価し、評価結果を次年度の活動へ反映して継続的に改善を進めていくこととしており、これらの取り組みは、海外の考え方も合致している。</p> <p>（6月4日 資料1-5 P32, 33）</p>	R02 3/24	森
4	<p>安全文化の醸成については日本と外国とではやり方が全然違う。日本は管理をするという発想だが、外国は無条件でスタッフを尊重したうえで、スタッフが十分に勉強していなければ、勉強を促すということを繰り返して、全体のレベルを上げていくやり方。これは「OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）※」で実施している。日本と外国とでは風土が異なるので、日本は日本の文化として、どうやっていくかというのを経験を積み重ねながらやって行ってほしい。</p> <p>※ 安全かつ環境的にも受け入れられる経済的なエネルギー資源としての原子力エネルギーの発展に貢献することを目的として、原子力政策・技術に関する情報・意見交換、行政上・規制上の問題点の検討、各国法の調査及び経済的側面の研究等を行っているOECDの専門機関。</p>	<p>一方、OECD/NEAにおいては、「国の文化は安全文化を醸成し強化するために考慮すべき要素の1つ」との考え方が示されている。当社としては、今後とも、海外の良いところを取入れつつ、日本のやり方で安全文化醸成を進めていくのが良いと考えており、新規制定した上記要領に基づく活動に加え、双方向のコミュニケーション形式による幹部と発電所員等の意見交換を継続して実施していくことで、安全文化醸成を進めていく。</p> <p>（6月4日 資料1-5 P20～23、35）</p>	R02 3/24	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
5	<p>事象が重なったことについて、トラブルの未然防止のためのチェックがどうなっているのか等の要望を原子力安全専門部会でしており、今回の報告書を読んで、前向きに答えていただいていると感じた。</p> <p>新しいチームでチェックすることについては、前向きであり評価できる。作業要領書の充実とレビューの新チームの設置は、特に画期的であり、今までは規制側の対応だけであったが、これに対して、この機会により良くするという発想で一步踏み出した。今後、このチームがどれくらいの実効性を持ってやれるかが重要。また、どう運営していくかにかかっている。部会でもその予定について、伺ってきたい。</p>	<p>作業計画段階において、作業要領書や作業実施時期の妥当性に対するレビューを実施するとともに、継続的な改善を行うため、新チーム(プロセス管理チーム)を本年4月1日に設置し、活動を開始している。</p> <p>今後、本チームにおいてレビュー機能の有効性を検証し、組織に係る保安規定の変更認可を得て恒常的な組織を設置することとしている。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P34,40)</p>	R02 3/24	村松
6	<p>作業要領書の充実などがあるが、作業員が個人で勉強するのか、グループで勉強するのか手順の確認のやりかたも踏まえて、新チームでレビューしていくのが良いのではないかと。</p>	<p>作業関係者は、事前に、グループで作業要領書の内容を確認して、作業当日も再度確認を実施している。</p> <p>本年4月1日に設置した新チームは、工事施工会社から提出、作業担当課が確認した作業要領書について、リスクの低減や品質保証の観点からレビューを実施し、必要に応じ作業担当課と協議したうえで作業要領書の見直しが実施される。この流れを継続することにより、作業担当課と新チームの間で十分なコミュニケーションが図られ、関係者の「問いかける姿勢」に対する理解が更に深まっていくものと考えている。</p> <p>また、今後とも、見直し後の作業要領書を用いて作業関係者による読み合わせを行うことで、より確実な作業を実施していく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P40)</p>	R02 3/24	中村
7	<p>もう少し密に点検を行っていれば、連続して4つのトラブルは起きなかったと思われる。停止時に点検を一斉に行うとトラブル等が重なる確率が高くなると思われるため、発電所の運転中でも可能な点検については、こまめに実施してほしい。</p>	<p>伊方発電所では、信頼性保全分析により故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて保全重要度を決定するなどし、設備ごとに保全方式や点検計画を定めて、保守管理を実施している。(6月4日 資料1-5 P29)</p> <p>設備によっては、停止時にしか点検できないものもあれば、必ずしもそうではないものもある。停止時にしか点検できない設備についても、運転中に状態監視を行うなど、トラブルを未然に防ぐための取り組みを行っている。</p>	R02 6/4	高橋



番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
8	<p>6月4日 資料1-6のNo.10の回答「事象Ⅰ～Ⅲは設備の故障ではないので保守管理プロセスに起因するものではない」について解釈を確認したい。</p> <p>保全に関する活動は、ハードウェアの信頼性を確保する活動（保守管理プロセス）と作業管理の信頼性を確保する活動（トラブルが発生しないように作業計画すること）があり、保守管理プロセスに劣化はなかったと認識しているが、作業管理の信頼性を確保する行動にも劣化はなかったとの認識で良いか。</p>	<p>6月4日 資料1-5での整理としては、保守管理プロセスは委員のご理解どおりハードウェアの信頼性を確保する活動であり、一方、作業管理の信頼性を確保する活動については、保守管理プロセスとは別と整理し、その妥当性を定期検査プロセスの調査で確認している。</p> <p>調査の結果、保守管理プロセスは適切に運用されており、事象Ⅰ～Ⅲともハードウェアの故障ではなく、事象Ⅳは過去に経験のない故障であったことから、共通原因として保守管理プロセスの劣化があったわけではない。</p> <p>一方、定期検査プロセスについては、適切に実施されてきており同プロセスに劣化があったわけではないが、事象Ⅰ、Ⅲ、Ⅳの発生を踏まえて、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するとともに、継続的な改善を図るなどの改善策を実施することとした。</p>	R02 6/4	村松
9	<p>定量的リスク評価には、事前のリスク評価、起こった事象の重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、それぞれどのような取組みを進めているのか。</p>	<p>事前のリスク評価については、従来からの取組みとして、定期検査を行う際には、作業計画段階において、停止時リスクの定量的評価を確認して周知するとともに、自主的な安全性向上のほか、規制庁において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。</p> <p>さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。</p> <p>事象の重要度評価については、新検査制度に基づく原子力規制検査においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。</p> <p>定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。</p>	R02 6/4	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
10	再発防止策として新設する、作業計画等を独立した立場からレビューする新チームにおいては、リスク評価の活用は、非常に相性がよく、その業務に役立つと思うので、研鑽を重ね、また会社としても配慮してほしい。	新チームでは、原子力安全リスクに係るレビューも実施することとしており、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認することとしている。 (6月4日 資料1-5 P40) 新チームは、本年4月1日に活動を開始したばかりであるが、レビュー業務について試行を重ねつつ、チームとしての技量を上げていく。	R02 6/4	村松
11	新チームが行う作業要領書などのレビュー活動と、例えばCAPなどの新検査制度における取り組みは、両者の状況を見ながら、協力した形で進めるのが合理的と感じるがどうか。	新チームの活動は、トラブルを少なくするという観点では、新検査制度における取り組みと関係している。四国電力としては、リスク情報の活用とCAP制度の活用等パフォーマンススペースの取り組みによって、新検査制度を円滑に導入していきたい。	R02 6/4	中村
12	日本の文化に即した方法として、双方向のコミュニケーションにより、安全文化の醸成を図っていくこととしているが、安全管理とは峻別したかたちで進めることができると理解しているか。	安全文化は、いろいろな活動のベースとなるものと考えている。その中で、社長と原子力本部長が発電所員や関係会社等と行ったひざ詰めでの意見交換等の双方向コミュニケーションについては、相手が本音を言ってくれるであろう取組みであるため、安全管理とは異なり、自発的な活動を推進できるものと考えている。	R02 6/4	中村
13	安全文化については、日本と海外とでは考え方や捉え方にかなり違うところはあるが、ぜひ、海外における取組みも参考にしながら、トラブルの未然防止に努めてほしい。	4年に一度実施されているWANOのピアレビューでは、海外の発電所に勤務するピア(仲間)からレビューを受けている。また、JANSIからは定期的に海外の良好事例についての紹介を受けている。これらの取り組みを有効活用することにより、トラブルの未然防止に努めていく。	R02 6/4	中村
14	ひざを突き合わせて話し合うことは日本的でいいとは思いますが、それが「言いやすいこと」を担保していることには必ずしもならない。現状の取り組みに修正を求めるものではないが、社員が自律的に問題点を見出し、議論できる素地を作ることが大事だと思われるため、その点、今後、より考えていただきたい。	社員が自律的に問題点を見出すためにも、「問いかける姿勢」醸成の取り組みを実施している。 また、「言いやすい」環境を醸成するためにも、引き続き関係者間で緊密なコミュニケーションを実施することや、他社ベンチマークにより良好事例を積極的に取り入れるといった職場環境の改善活動を継続していく。 (6月4日 資料1-5 P36)	R02 6/4	森

## 6. 全般

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	委員も、発電所の細かな設備がすべてわかるものではない。例えば、電源の構成とか、燃料の移動など動画等があれば理解が進むと思う。	各トラブルの6月4日 資料 1-1～1-4 に現場の状況が分かる写真を追加した。	R02 3/24	中村

伊方発電所3号機第15回定期検査中に  
連続発生したトラブルに関する報告書

令和2年7月

伊方原子力発電所環境安全管理委員会  
原子力安全専門部会

## 伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会 名簿

部会長：	もあづき 望月	てるひと 輝一	愛媛大学名誉教授	(放射線医学)
部会長代行：	うねさき 宇根崎	ひろのぶ 博信	京都大学複合原子力科学研究所教授	(原子炉工学)
委員：	きしだ 岸田	きよし 潔	京都大学大学院工学研究科教授	(地盤工学・岩盤工学)
	たかはし 高橋	じろう 治郎	愛媛大学名誉教授	(構造地質学)
	なかむら 中村	ひでお 秀夫	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 原子力緊急時支援・研修センター兼安全研究 センター 特命専門職	(原子炉工学・原子炉安全工学)
	むらまつ 村松	けん 健	東京都市大学工学部客員教授	(原子力安全工学(リスク評価))
	もり 森	しんいちろう 伸一郎	愛媛大学大学院理工学研究科准教授	(地震工学)
	わたなべ 渡邊	ひでお 英雄	九州大学応用力学研究所准教授	(原子炉材料)

(注) 委員の表記は 50 音順

# 目次

はじめに.....	1
審議の経緯.....	2
1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	3
2 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.....	9
3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について.....	16
4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について.....	22
5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について.....	29
審議結果.....	37
参考資料 伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧	

## はじめに

伊方発電所では、令和元年12月26日から開始した伊方発電所3号機の第15回定期検査において、

【事象1】令和2年1月6日

伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱

【事象2】令和2年1月12日

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

【事象3】令和2年1月20日

伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信

【事象4】令和2年1月25日

伊方発電所における所内電源の一時的喪失

と4件の重大なトラブルが連続して発生した。このため、四国電力株式会社（以下「四国電力」という。）は、1月25日から定期検査を中断した上で、愛媛県からの要請も踏まえ、各事象の原因と再発防止策に係る報告書に加えて、一連のトラブルが発生した背景についても調査・分析し、総括評価として取りまとめ、3月17日に愛媛県に提出するとともに、原子力規制委員会に対しては、国への報告対象事象である【事象2】のほか、【事象3】及び【事象4】（以下「3事象」という。）に係る報告書についても参考として提出した。

愛媛県においては、伊方原子力発電所環境安全管理委員会原子力安全専門部会で、各事象の原因究明と再発防止策の妥当性に加え、一連のトラブルが発生した背景にも注目し、実効性ある再発防止策の確実かつ継続的な実施に向けた取組みについて審議を行った。

本報告書は、原子力安全専門部会における審議内容とトラブルの再発防止のため、四国電力に求める事項を取りまとめたものである。

## 審議の経緯

原子力安全専門部会においては、2月18日、四国電力から各事象の概要と原因究明に係る中間報告を受けた後、3月17日に四国電力から愛媛県に提出のあった事象1～4の4件と総括評価の報告書について、6月4日にその内容を聴取するとともに、特に原因究明の妥当性や再発防止策の実効性・有効性等について審議を行った。

その後、7月16日に、これまでの原子力安全専門部会における審議内容について整理し、部会報告書として取りまとめた。

一方、国では【事象2】について、2月12日及び3月26日の原子力規制委員会の事故トラブル事象への対応に関する公開会合における審議等を経て、4月8日の原子力規制委員会において、原因と再発防止策が検証され、四国電力の原因を断定することはできないが調査結果の説明は整合性が取れるものであり、再発防止策は適当として了承された。また、【事象3】及び【事象4】についても、原因と再発防止策の報告がなされ、確認された。

### 原子力安全専門部会等の開催状況一覧

開催日	会議	内容
令和2年2月18日	原子力安全専門部会	四国電力から、各事象の概要と原因究明に係る中間報告について聴取
令和2年3月24日	環境安全管理委員会	報告書の概要について聴取
令和2年6月4日	原子力安全専門部会	四国電力から、報告書の内容について聴取 各事象の原因究明と再発防止策及び総括評価の妥当性・実効性等について審議
令和2年7月16日	原子力安全専門部会	前回部会における委員意見に対する対応等の説明 部会報告書の取りまとめ

### (参考) 国における検証経緯

開催日	会議	内容
令和2年2月12日	原子力規制委員会 事故トラブル事象への 対応に関する公開会合	3事象の概要について報告
令和2年3月26日		3事象の原因と再発防止策について報告し、審議等を実施
令和2年4月8日	原子力規制委員会	国への報告対象である【事象2】の原因と再発防止策について検証し、了承されるとともに、INES（国際原子力・放射線事象評価尺度）レベル0の「安全上重要でない事象」と評価 【事象3】、【事象4】の原因と再発防止策について報告・確認



# 1 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

## (1) 事象概要

四国電力は、原子炉施設の安全機能を確保するため、伊方発電所原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、原子炉施設の運転モード<sup>※1</sup>に応じ、安全機能を確保するために必要な機器の台数等を「運転上の制限」として定めるとともに、機器の点検・保守のために計画的に運転上の制限外に移行するための措置についても定めている。

四国電力は、伊方発電所3号機の第15回定期検査において、1月6日から中央制御室非常用循環系<sup>※2</sup>の点検を行うため、第14回定期検査（平成29年10月3日～平成30年11月28日）と同様の手順により、保安規定第84条に定める運転上の制限である「中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること」を満足した状態から、計画的に運転上の制限外に移行しようとしたところ、当直長が計画的に運転上の制限外に移行できる時期ではないと判断し、作業を中止した。

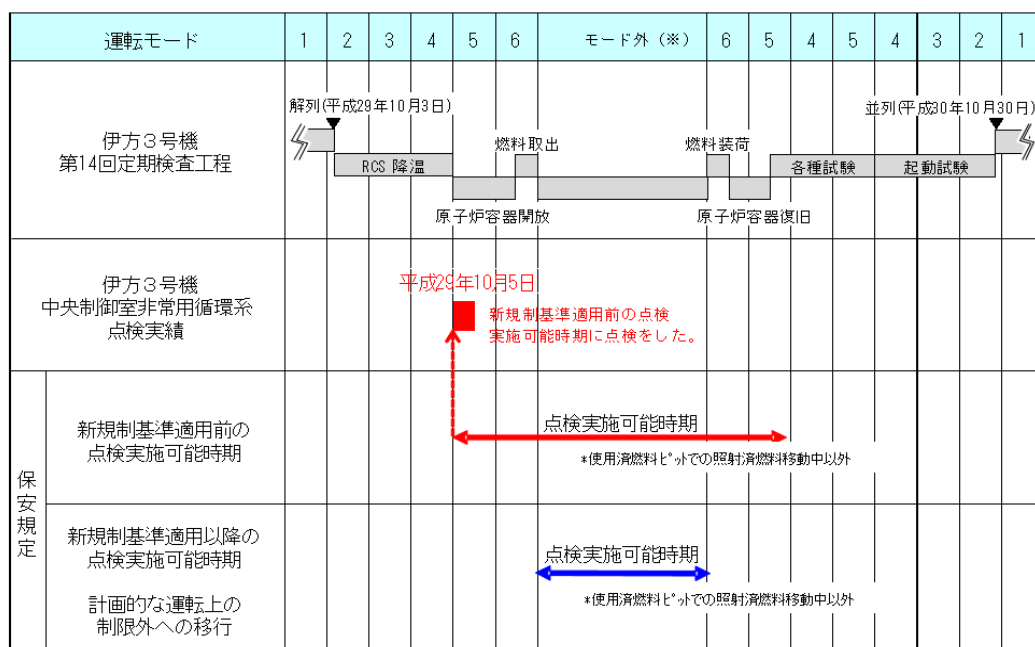
保安規定第84条抜粋	
3号炉について、次の各号の重大事故等対処設備は、表84-1で定める事項を運転上の制限とする。	
(16) 中央制御室	
表84-17 中央制御室	
84-17-1 居住性の確保及び汚染の持ち込み防止	
(1) 運転上の制限	
項目	運転上の制限
中央制御室非常用循環系	中央制御室非常用循環系1系統以上が動作可能であること

保安規定第88条では、中央制御室非常用循環系の点検のため、運転上の制限外に移行する場合は、原子炉容器内から燃料体を全て取出してあり、かつ使用済燃料ピットでの照射済燃料<sup>※3</sup>を移動していない時期に、実施しなければならない旨を定めているが、今回点検のために運転上の制限外に移行しようとした際の原子炉施設は、原子炉容器内に燃料体が装荷されている運転モード5の状態であった。

保安規定第88条抜粋			
3 各課長は、表88で定める設備について、保全計画等に基づき定期的に行う点検・保守を実施するため、計画的に運転上の制限外に移行する場合は、同表に定める定検時の措置を実施する。			
表88			
点検対象設備	第88条適用時期	点検時の措置	実施頻度
中央制御室非常用給気ファン 中央制御室空調ファン 中央制御室再循環ファン 中央制御室非常用給気フィルタユニット	モード1, 2, 3, 4, 5, 6及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外	使用済燃料ピットの水位がEL31.7m以上および水温が65℃以下であることを確認する。	点検前 その後の1週間に1回

このため、平成 29 年 10 月 5 日に実施した前回第 14 回定期検査の中央制御室非常用循環系の点検作業について確認したところ、今回実施しようとしていた原子炉施設が運転モード 5 の状態において点検作業を実施しており、運転上の制限を満足していない期間があったことを確認した。今回確認された運転上の制限の逸脱に関する保安規定第 84 条及び第 88 条第 3 項の規定は、平成 25 年 7 月の新規制基準施行により新たに設けられ、第 14 回定期検査で初めて適用された規定であり、第 13 回定期検査までは、原子炉施設の運転モード 5 における中央制御室非常用循環系の点検作業は適切な作業であった。

なお、当該設備に異常はなく、点検作業期間中は、原子炉容器内は満水を維持しており、使用済燃料ピットでの照射済燃料移動作業も行っておらず、安全は確保されている状態であった。また、本事象による環境への放射能の影響はなかった。



※すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合

図 1-1 第 14 回定期検査における点検工程

※ 1 原子炉施設の運転モード

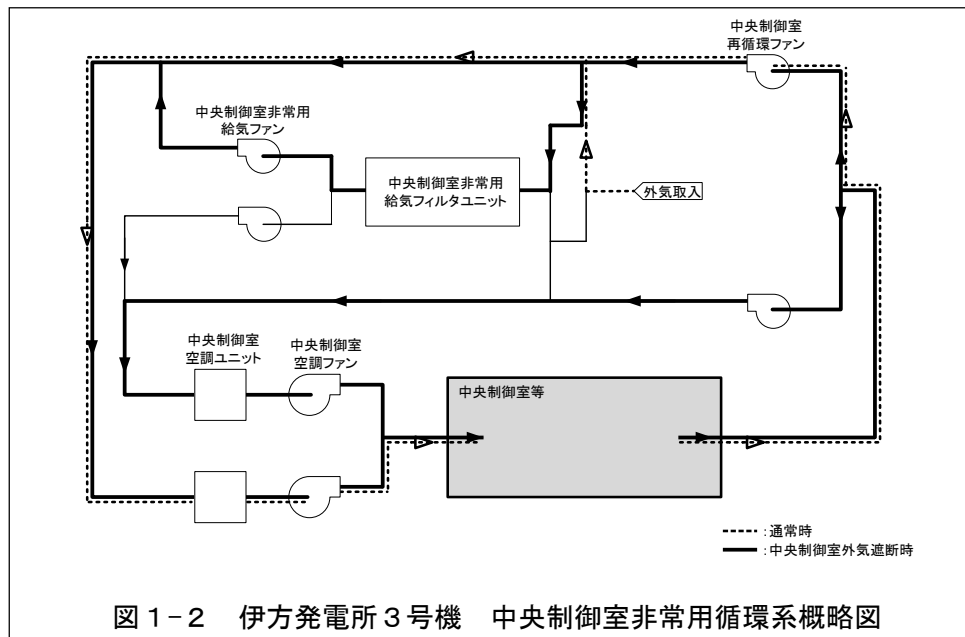
モード	原子炉の運転状態	原子炉容器スタッドボルトの状態
1	出力運転(出力領域中性子束指示値 5%超)	全ボルト締付
2 (停止時)	出力運転(出力領域中性子束指示値 5%以下)～ 制御グループバンク全挿入 <sup>注1</sup> による原子炉停止	全ボルト締付
2 (起動時)	臨界操作のための制御グループバンク引抜操作開始 ～出力運転(出力領域中性子束指示値 5%以下)	全ボルト締付
3	1次冷却材温度 177℃以上	全ボルト締付
4	1次冷却材温度 93℃超 177℃未満	全ボルト締付
5	1次冷却材温度 93℃以下	全ボルト締付
6 <sup>注2</sup>		1本以上が緩められている

注 1：挿入不能な制御棒を除く。

注 2：すべての燃料が原子炉格納容器の外にある場合を除く。

※2 中央制御室非常用循環系

放射性物質が放出されるような重大事故時に、中央制御室への放射性物質の流入を防ぐため、外気を遮断して中央制御室の空気をフィルタを通して循環させる空調装置。



※3 照射済燃料

原子炉容器内で使用した実績がある燃料集合体

(2) 推定原因

①作業担当課は、保安規定に関する理解が不足し、記載事項の一部について解釈を誤った状態であった。また、関連する社内規定記載事項についても、十分な確認を行わなかった。

- 作業担当課の複数の者が、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期として保安規定で定めている「モード1, 2, 3, 4, 5, 6 及び使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」を、「モード1, 2, 3, 4, 5, 6」の時期及び「使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中以外」の時期と誤って解釈していた。
- 社内規定の伊方発電所 3号機原子炉施設停止時保安管理内規には、中央制御室非常用循環系を計画的に運転上の制限外に移行できる時期を記載した図面を掲載しているが、保安規定を誤って解釈していたことにより、保安規定上問題ない作業計画と思い込んでいたため、当該社内規定の十分な確認を行わなかった。

②作業担当課は、関係課長、各主任技術者及び所長への申請の際、申請内容を確認できる資料等を示しておらず、申請を受けた者が確実にチェックできる仕組みが構築できていなかった。

- 作業を実施するに当たっては、事前に作業票により、作業計画の承認及び作業実施許可等を受ける必要があるが、作業票に参考資料等を添付していなかった。

③今回の事象に関わった関係者は、「問いかける姿勢」が欠けていたため、掘り下げた質問を行わず、組織として十分なチェック機能が働いていなかった。

- 申請を受けた関係課長及び各主任技術者は、事前に作業担当課が確認していること、所長は、作業担当課長、関係課長及び各主任技術者が確認していることから問題ないと思い込み、承認した。

### (3) 再発防止策

①令和2年1月7日、今回の事象及び保安規定遵守について全所員及び関係会社作業員に対し、周知徹底を図った。

②計画的に運転上の制限外に移行する場合の運用に関する次の事項を社内規定に反映するとともに、関係者への周知徹底を図った。

- 計画的な運転上の制限外への移行に係る適用可能時期を新たに追記することにより、保安規定の解釈を明確化。
- 計画の妥当性を明確に確認できるチェックシート（作業票の確認に際して参考となる資料を含んだもの）を作成するとともに、社内関係者に連携の上、確認又は承認を受ける運用。

③技術系所員に対する教育を、次のとおり実施する。

- 保安規定が改定された際は、周知に加え、改定内容に関する教育を実施。
- 保安規定第88条の運用に関する追加の教育を実施。
- 重要な社内規定類の確実な確認について、定期的な教育を実施。

④「問いかける姿勢」の定着を確実なものにするため、次の事項を実施する。

- 今回の事象を毎年実施している「安全文化の教育」内容に反映することにより、長期的に「問いかける姿勢」が定着するよう全所員に繰り返し意識付けを実施。
- 上記取組みを新規制定する社内規定に定め、安全文化醸成活動に関する計画に反映し、PDCAサイクルとして継続的に実施。
- 作業担当課が、作業について関係者に確認し、承認又は許可を申請するときは、相互にコミュニケーションをとり、お互いに認識不足や解釈の誤りがないことを確認し合える環境となるよう、関係者へ周知。

#### (4) 審議内容

##### ①保安規定の改定内容の教育

保安規定を改定した際に実施する社員教育は、改定内容だけでなく、改定理由についても教育するとともに、双方向のコミュニケーションを取り入れ、教育する側も含めて、参加者全員が様々な角度から議論できる体制としてもらいたい。

##### 【四国電力回答】

保安規定を改定した場合は、従来の周知のみでなく、改定に携わった者が、改定の趣旨も含めて教育することとしており、教育に際しては、双方向のコミュニケーションによる互いに学び合える風土の育成にも努めてまいりたい。

##### ②「問いかける姿勢」の醸成

「問いかける姿勢」については、社員の意識改革をするとともに、問いかけるべきことを理解しなければ定着しないが、今後どのように取り組んで行くのか。

##### 【四国電力回答】

安全文化を醸成するのは長期的・継続的な取り組みが必要であり、新規制定した社内規定において、安全文化醸成活動の目標として「問いかける姿勢」も含めた10の健全な安全文化の特性を定め、安全文化醸成活動をPDCAサイクルとして継続的に改善を行いながらしっかりと取り組んでいく。

定型的な取り組みとしては、関係者が出席するスクリーニング会議で10の健全な安全文化の特性を毎週唱和することによる「問いかける姿勢」の定着活動を行うとともに、毎年実施している安全文化の教育のテキストに本事象を追加し、繰り返し教育することで「問いかける姿勢」の重要性を認識させていくが、このような教育や日々の業務においては双方向コミュニケーションを工夫しながら取り入れていくことで、より良い活動となることを目指すとともに、互いに自発的に学び合える風土を育むよう努めていく。

以上のように、今後の取り組みに当たっては、形式的にならないように心掛けながら、継続的に取り組んでいくこととしている。

### ③四国電力社員による重要作業の実施

原子炉施設の運転に当たっては、協力会社を含め様々な関係者が作業を実施しているが、安全上重要な作業については、全て、四国電力の社員が携わる体制を整えてもらいたい。

#### 【四国電力回答】

安全上重要な作業については、工程管理も含め、全て、四国電力社員が主体となって実施している。

また、本事象の再発防止策として、社員教育の充実・強化を図り、保安規定の理解促進や「問いかける姿勢」の定着を図るとともに、チェックシートを作成するなど確実にチェックできる仕組みを構築しており、しっかりと運用していくこととしている。

## 2 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

### (1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、令和2年1月12日、原子炉からの燃料取出の準備作業として、制御棒クラスタと駆動軸の切り離し※<sup>1</sup>を行い、原子炉容器の上部炉心構造物を取り外すために吊り上げていたところ、制御棒クラスタ1体が意図せず、上部炉心構造物とともに引き上げられていることを水中カメラで確認した。

このため、上部炉心構造物を吊り下ろして、当該制御棒の切り離し操作を実施した後、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っていないことを確認し、1月13日、上部炉心構造物の取り外しを完了した。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。また、燃料取出に備えて、あらかじめ原子炉容器内の1次冷却材の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。

四国電力は、1月15日、本事象が国への報告事象を定めた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、原子力規制委員会に報告した。

※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。



図2-1 事象概要図

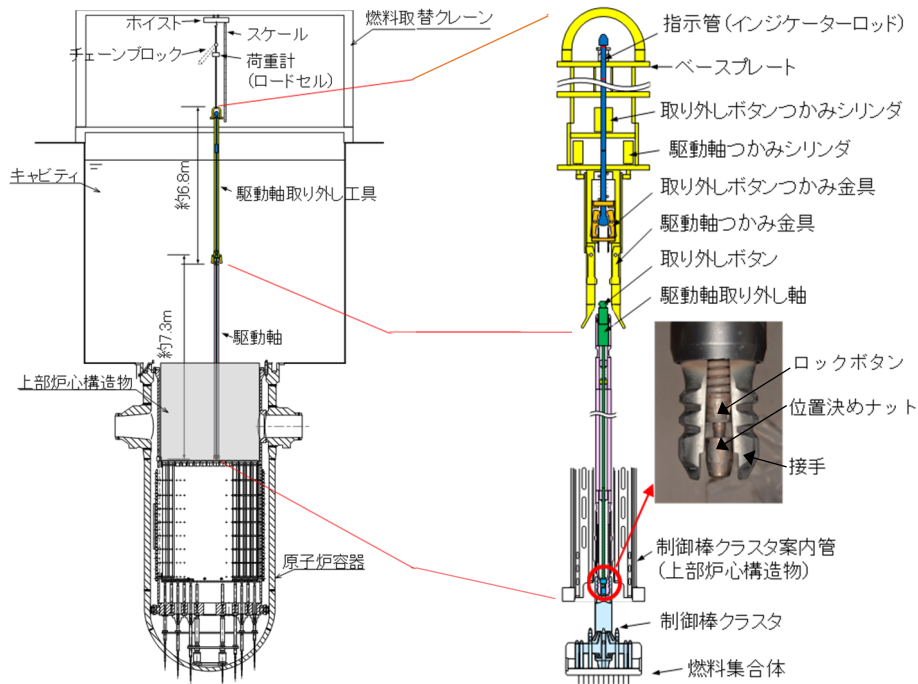


図 2-2 制御棒クラスタ切り離し図

## (2) 推定原因

- ① 制御棒クラスタと駆動軸との切り離しを行った後、再結合を防止するため、駆動軸取り外し軸を下降させた際、ロックボタン廻りに付着した堆積物（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詰まった。

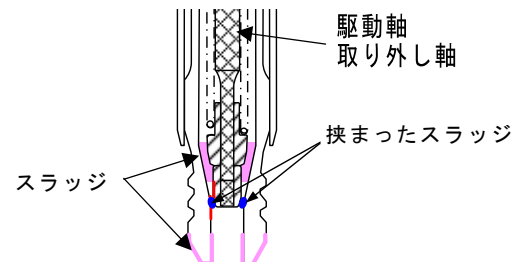
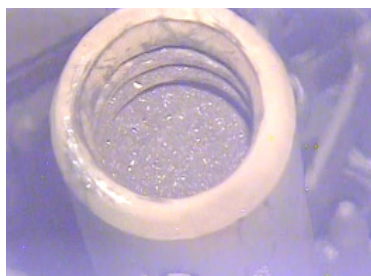


図 2-3 駆動軸取り外し軸の状態

- 制御棒クラスタのスパイダ頭部内（駆動軸との結合部内部）で確認された堆積物を調査した結果、当該堆積物は、駆動軸内表面や1次冷却系統内で生成したマグネタイトが剥離し、堆積したものと推定され、他の制御棒でも確認された。なお、当該制御棒クラスタスパイダ頭部内の堆積量は約 20 cc と推定された。



【使用済燃料ピット内での撮影写真】

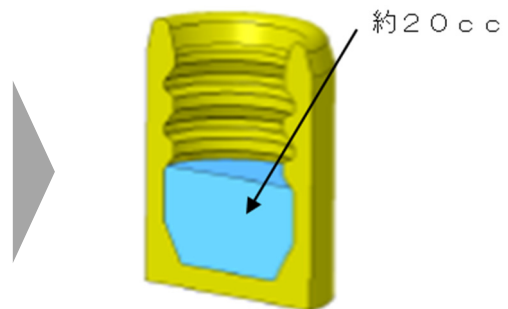


図 2-4 堆積物調査結果



② 駆動軸取り外し軸を完全に下降させ、接手を押し広げていない①の状態制御棒クラスタに駆動軸を着座させたことにより、その後の駆動軸取り外し工具の切り離し作業に伴う振動で、駆動軸が制御棒クラスタのスパイダ頭部内へ沈み込み、駆動軸接手外面直線部と制御棒クラスタのスパイダ頭部1山目の接触による不完全な結合状態が形成され、上部炉心構造物を吊り上げた際、制御棒クラスタも引き上がった。

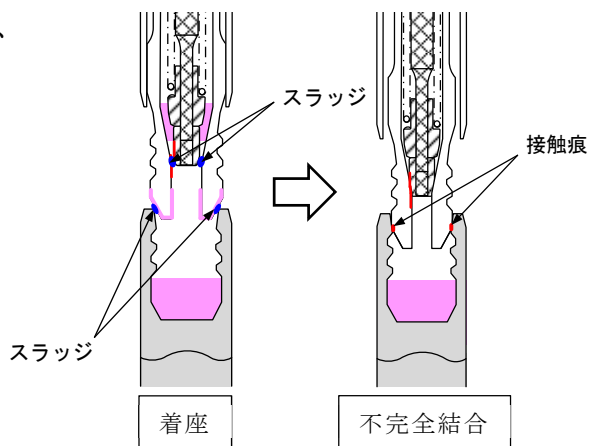


図 2-5 不完全結合図

- 当該制御棒クラスタの外観確認において、スパイダ頭部の円環部上面及び内部テーパ面に接触痕（色調の変化）が確認されるとともに、当該駆動軸の外観確認の結果、接手外面及び接手内面に今回生じた可能性のある金属光沢を有する接触痕を確認した。

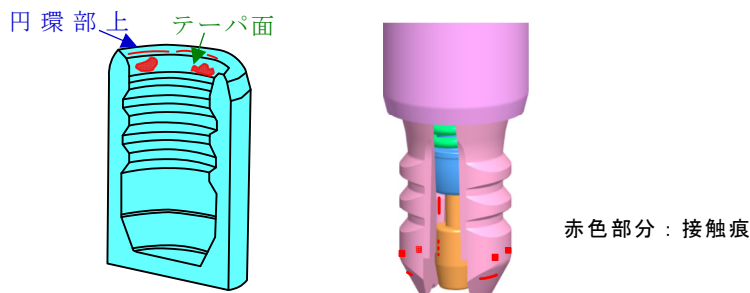


図 2-6 制御棒クラスタスパイダ頭部及び駆動軸の接触痕

- 7 ケースの不完全な結合状態について、幾何学的な整合、外観確認結果との整合及び手順との整合の観点で検討した結果、ケース 1 から 4<sup>※2</sup>については、全ての観点で整合し、不完全な結合状態が形成される可能性があることを確認した。

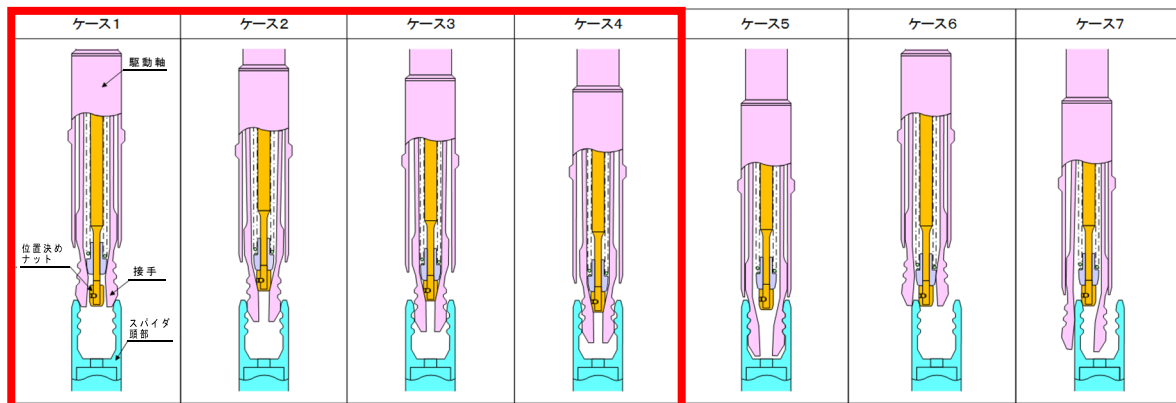


図 2-7 各ケースの概要図

※2 ケース 1 は仮置き状態で、ケース 2～4 はスパイダ頭部にそれぞれ 1～3 山目位置で、不完全に結合している状態。

- 不完全な結合状態として発生する可能性があるケース1から3について、駆動軸と制御棒クラスタを部分的に模擬した供試体を用いて引き上げ荷重に係る実証試験を実施した結果、ケース1では引き上げ荷重は発生せず、また、ケース3では、試験機の計測範囲を超える大きな引き上げ荷重が計測されたため、これらのケースは、意図せず引き上げられたものの、特別な操作を実施することなく自然に切り離された今回の事象とは整合しない結果となった。

ケース2については、制御棒クラスタの水中重量相当の引き上げ荷重が計測されたこと及び接触痕の発生状況から、当該状態で本事象が発生した可能性が高いことを確認した。

なお、ケース4の実証試験については、より引き上げ荷重が小さいと想定されるケース3で代表できるため実施していない。

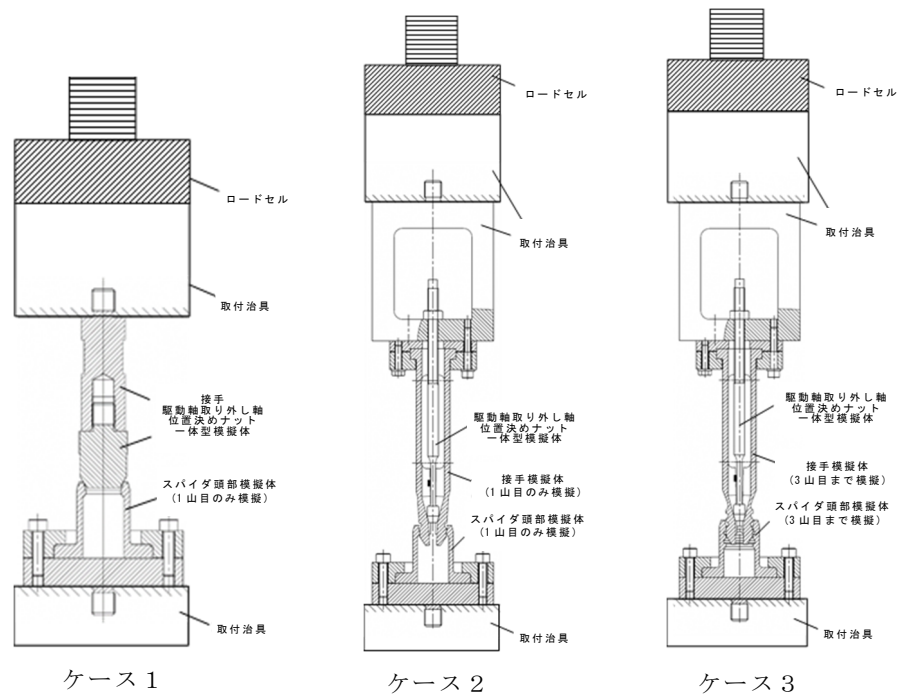


図2-8 部分モデルによる実証試験

- ③ 作業手順書には、駆動軸着座前に駆動軸取り外し軸が正規の位置まで下降したことを確認する手順がなく、駆動軸取り外し軸の詰まりを確認することができなかった。

- 作業手順書は、駆動軸吊り上げ時の重量及び寸法確認により制御棒クラスタと駆動軸が切り離されていることを確実に確認できる手順であったが、切り離し確認以降、不完全な結合状態に至る可能性がある駆動軸取り外し軸が下降した際の、駆動軸内の詰まりを確認できる手順とはなっていなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 制御棒クラスタと駆動軸の切り離し後、再結合を防止するために実施する駆動軸取り外し軸の下降作業が、堆積物で詰まることなく、確実に完了したことを確かめるため、作業手順書に駆動軸取り外し工具の指示管（インジケータロッド）のマーキング位置を確認する手順を追加する。
- ② さらに、意図しない制御棒の引き上がりにより確実に防止するため、作業手順書に駆動軸着座後に再度、駆動軸の吊り上げ作業による重量確認等を実施する手順を追加する。
- ③ また、本事象の原因となった堆積物はプラント運転に伴い発生することから、定期検査毎に使用済燃料ピット内において、次サイクルで使用する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。

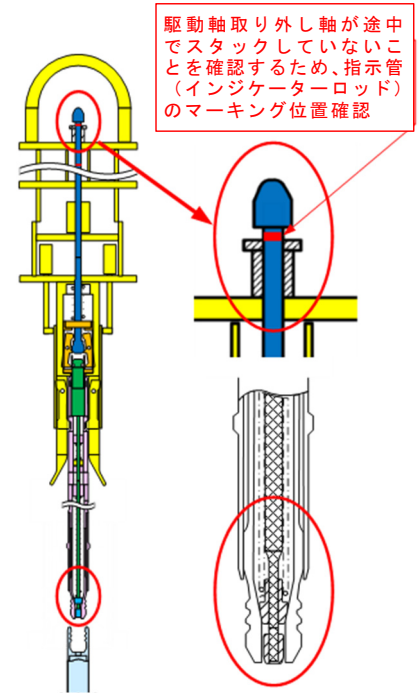


図 2-9 マーキング位置確認

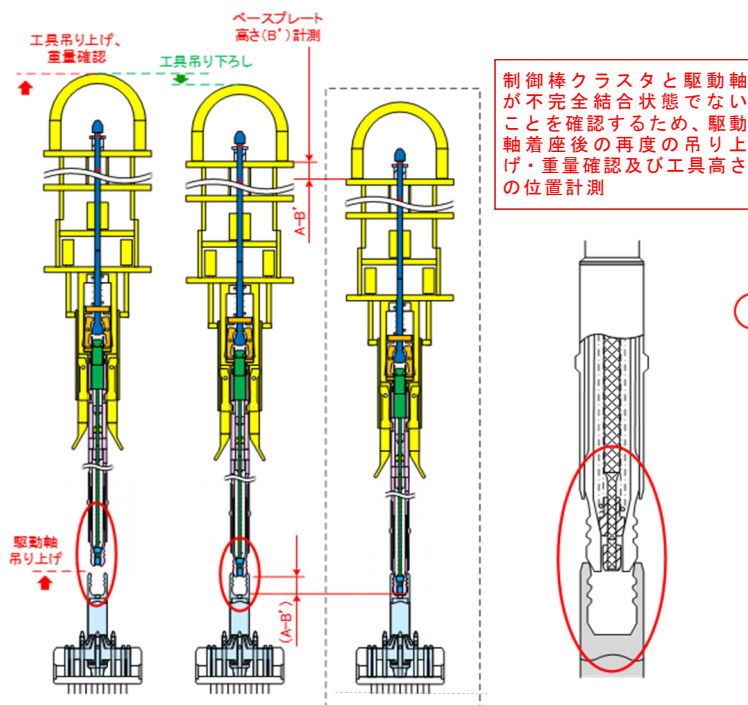


図 2-10 重量確認および位置計測

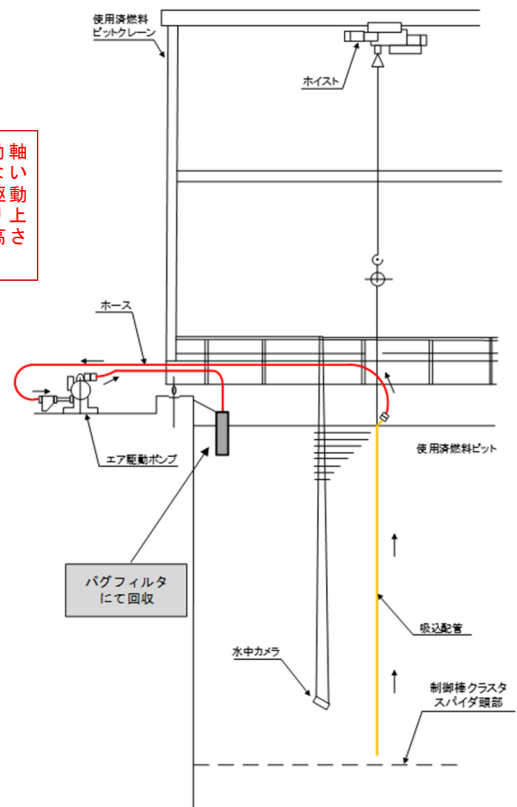


図 2-11 堆積物除去概要

#### (4) 審議内容

##### ①スラッジ（マグネタイト）発生のメカニズムの解明と発生量低減に係る要望

推定原因どおりかどうかにかかわらず、再発を防止できる対策であると認められるが、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上のためにも、スラッジの発生メカニズム解明や発生量低減について詳細調査を継続的に実施してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

本事象の発生メカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタのスパイダ頭部へのスラッジの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も実施した上で特定している。また、今回講じることとした再発防止策である重量確認と位置確認により、駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離しの状態を確実に確認できるため、スラッジの影響の有無にかかわらず、今後、同様事象を確実に防止することができる。

本事象に影響したと推定しているスラッジについては、一次冷却系統の水質や温度等の環境下において、一般的な化学反応により生成し、安定的に存在することが知られている鉄の酸化物（マグネタイト）であることを分析結果から確認するとともに、制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積する現象についても、駆動軸内表面や一次冷却系統内で生成されたスラッジが堆積するメカニズムであると推定している。伊方発電所では、一次冷却系統への補給水中の鉄濃度を低く管理するなどできる限りスラッジの発生を抑制する措置を講じているが、一次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となり、PWRの運転環境下で生成されるため、発生しないようにすることは困難である。

また、スラッジの発生メカニズムは実機の設備構成を踏まえ、高い確度で理解しているものの、発生量等の詳細な調査は実施していないことから、今後は、定期検査ごとに堆積物を除去するとともに、堆積状況の観察・記録や他プラントの状況について情報収集・交換を行い、長期的なスラッジの低減に向けて、実験等で効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充に取り組みながら、さらなる安全性の向上に努めていく。

また、今後の研究により得られた知見については、学会や専門誌等で公表することについても検討していく。

## ②スラッジ（マグネタイト）による制御棒動作への影響

発生したマグネタイトの薄片が磁化して駆動軸接手に付着したと推定しているが、一定の大きさがあるマグネタイトの薄片が駆動軸の内部に付着することにより、制御棒駆動軸の動作に大きな影響を及ぼす可能性があるのではないか。

### 【四国電力回答】

磁性材料を使用する設備は限定的であるため、その設備の構造や機能を踏まえ、マグネタイトがプラントの安全性に悪影響を与える可能性は低く、これまでの運転においても特に制御棒駆動軸の動作に異常が認められたことはない。

また、従来から、「1次冷却システムの浄化流量を可能な限り最大としたクラッド低減」や「プラント起動時等に制御棒動作によるクラッドの排出促進」といった対策を講じているが、さらに、今回の再発防止策として、駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業においては、重量確認及び位置確認を実施することとしており、これにより、磁化したマグネタイトの薄片が駆動軸内部に付着していたとしても確実に切り離しの確認ができることから、スラッジが制御棒駆動軸の動作に悪影響を及ぼす可能性はない。

## ③設備の腐食による影響

制御棒クラスタのスパイダ頭部にスラッジが溜まっているが、設備の腐食という面から安全性への影響はないのか。

### 【四国電力回答】

スラッジが堆積する現象は、

- ・ 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
- ・ 一次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したもの

の2つのケースがあると推定しているが、設備の構造上、スパイダ頭部に溜まったスラッジは、駆動軸内表面で生成したものの割合が大きいと考えている。

また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態被膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。

仮に今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、全て駆動軸内表面から析出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、鉄の溶出量は微量であり、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。

### 3 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

#### (1) 事象概要

伊方発電所3号機の第15回定期検査において、燃料集合体の点検<sup>※1</sup>をするため、燃料集合体を使用済燃料ピット内で移動させていたところ、1月20日に燃料集合体の落下を示す信号<sup>※2</sup>が発信した。

本事象は、使用済燃料ピットクレーンを使用して、燃料集合体を使用済燃料ラック上に設置した点検装置ラックに挿入していたところ、燃料集合体がラック枠に乗り上げたことにより、クレーンの吊り上げ荷重が減少したため、落下信号が発信したものであり、燃料集合体は落下していない。

その後、燃料集合体を使用済燃料ピット内の所定の保管位置に戻すとともに、落下信号の発信に伴い、設計どおり使用済燃料ピットエリアの排気系統が、核分裂生成ガスを除去する系統に切り替わっていることを確認して同信号をリセットした。

なお、本事象によるプラントへの影響及び環境への放射能の影響はなかった。

また、燃料集合体、点検装置ラック及び使用済燃料ラックについては、外観確認及び荷重・応力評価により、それぞれの健全性に問題がないことを確認した。

※1 使用済燃料ピットクレーンにより、約11m下に設置した点検装置ラックに燃料集合体を挿入し、ファイバースコープで燃料集合体内部（燃料棒の支持部と燃料棒の間の隙間等の有無）を点検。なお、点検は、燃料集合体をA面、B面、C面、D面の順に回転させて点検装置ラックに挿入し直すことにより、全4面で実施。本事象は、D面を観察しようとした際に発生したもの。

（国内で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、漏えいが発生したものと同設計の燃料集合体を対象とした点検であり、第15回定期検査では5体の燃料集合体を対象に点検を行う予定であった。）

※2 使用済燃料取扱作業時における万一の燃料集合体の落下に備え、使用済燃料ピットクレーンの吊り荷重が設定値（300 kg）以下になった場合に燃料集合体が落下したと判断して、アニュラス排気ファンを起動し、使用済燃料ピットエリアの排気を通常排気系統から核分裂生成ガスを除去する系統に切り替えるための信号。

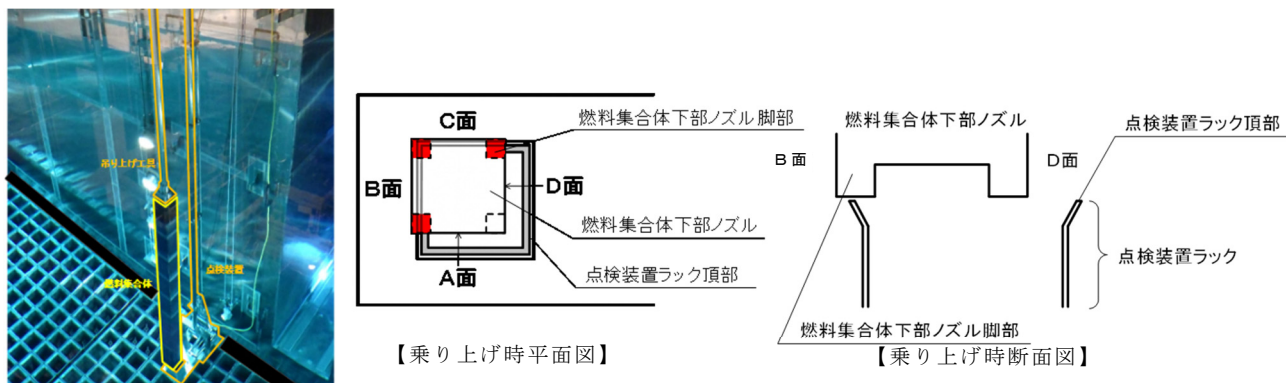


図3-1 事象発生概要



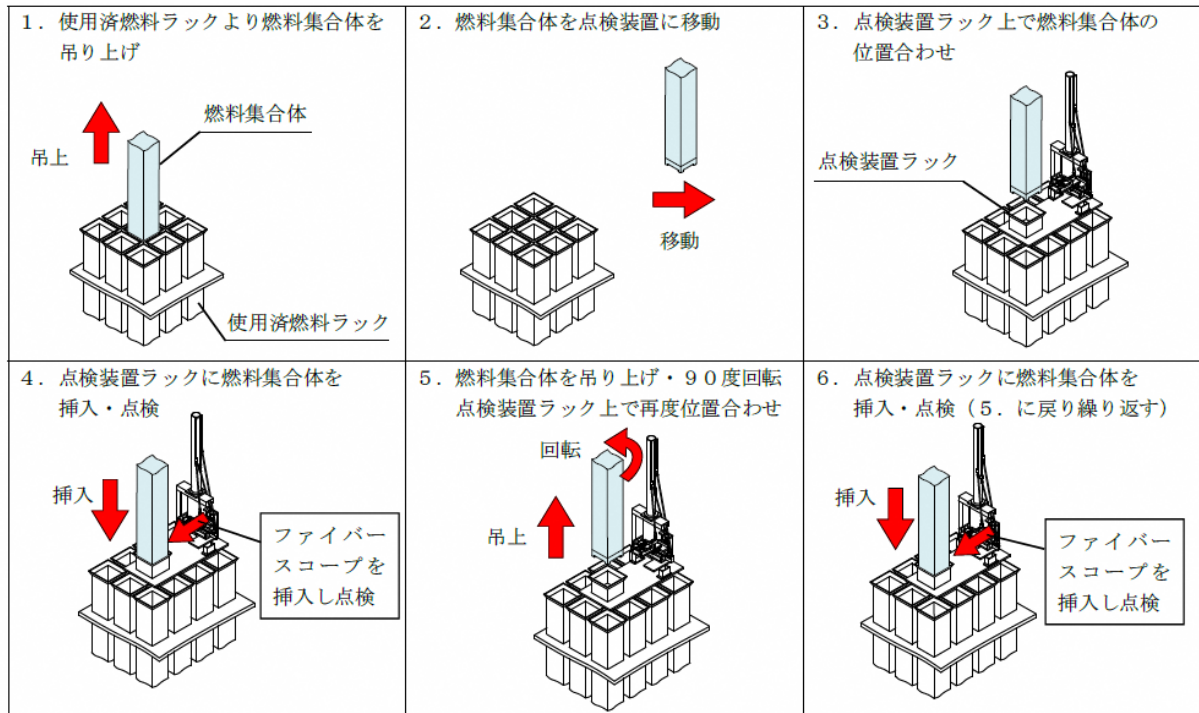


図 3-2 燃料集合体点検作業要領

(2) 推定原因

① 点検装置ラック開口寸法 (248.5mm) が使用済燃料ラックの開口寸法 (259mm 及び 272mm) よりも小さいため、使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難度が高い作業となっていた。

- 作業員への聴き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、点検装置ラックの開口寸法が使用済燃料ラックの開口寸法よりも小さいことから、燃料集合体と点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。
- 使用済燃料ラックの内寸法は、燃料集合体の外寸法 (214 mm) に対して片側 7 mm の隙間を有する値 (228 mm) に設定しているが、点検装置ラックの内寸法については、点検中の燃料集合体の揺れ、回転等を防止するため、片側 2 mm の隙間に制限した値 (218 mm) としており、開口寸法も点検装置ラックの方が小さく設計されている。

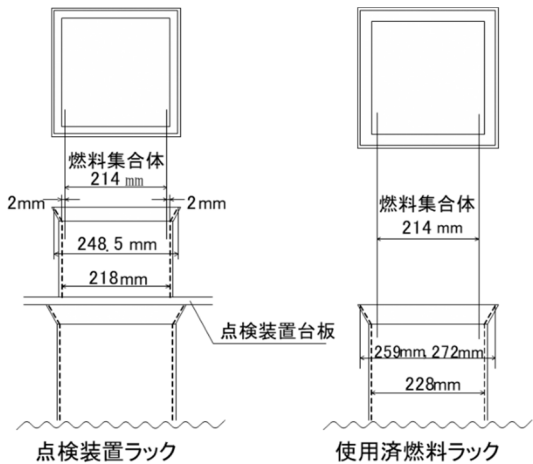


図 3-3 点検装置ラックと使用済燃料ラックの寸法比較

② 使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明によって点検装置ラックにできる影により、点検装置ラック開口部の視認性が低下しており、点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は使用済燃料ラックへの燃料集合体挿入作業に比べて難しい状況となっていた。

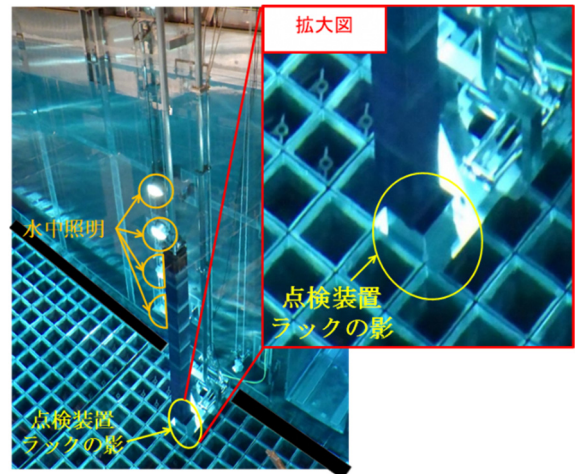


図 3-4 点検装置ラックの視認性

➤ 作業員への聴き取り調査の結果、使用済燃料取扱工具操作員及び使用済燃料ピットクレーン操作員は、使用済燃料ピット内に設置されている常設の水中照明が点検装置ラックに当たって影ができ、使用済燃料ラックに比べて点検装置ラック開口部が見え難かったことから、燃料集合体の下部ノズルと点検装置ラックのセンタリング確認及び挿入状況の確認が難しいと認識していた。

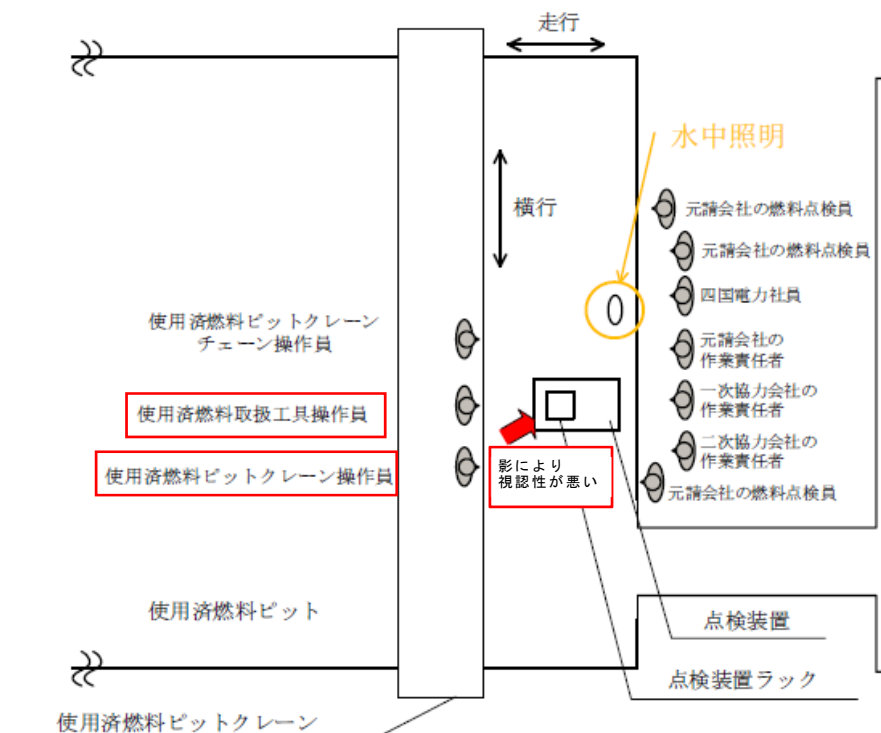


図 3-5 作業員による点検装置ラックの確認状況

③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の確認作業は難度の高い作業であったが、これらの確認は操作員のみで実施しており、作業責任者による確認が行われていなかった。



- 点検作業全体を通じて、燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況の最終的な確認は、燃料集合体及びラックの上方から行う必要があることから、クレーン上で操作している操作員のみが実施しており、使用済燃料ピットの脇にて作業全体を監視している元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者は、直接確認できない状況であった。
- ④ 本事象発生の直前に燃料集合体と点検装置ラック内面が接触したことにより、荷重急変減少警報<sup>※3</sup>が発信した際、続く作業を確実に進めるため、一度作業の手を止め、四国電力社員及び元請会社等の作業責任者を含めた作業員全員で次の対応についての認識を共有し合う等の通常の燃料取扱作業時とは異なる対応が必要であったが、実施できていなかった。
- 作業要領書には、燃料集合体取扱作業中に荷重急変減少警報が発信した場合の措置の記載はなかった。
  - 荷重急変減少警報自体は、通常の使用済燃料ラックへの燃料挿入時にも発信しうるものであることから、四国電力社員並びに元請会社、一次協力会社及び二次協力会社の作業責任者が注意喚起をする等の積極的な対応をとらなかった。
- ※3 燃料集合体の側面に設置されている支持格子の破損を防止するため、燃料集合体と使用済燃料ラックとの接触などにより、クレーンの吊り上げ荷重が-65 kg以上変動すると燃料集合体の下降を自動停止するインターロックが設けられている。本警報は、当該インターロックが作動したことを作業員に認知させる目的で設置されており、接触が燃料集合体の健全性に影響するものでないことを確認するとともに、接触の原因を確認して必要な措置を講じることとしている。
- ⑤ 点検装置ラックの開口寸法及び視認性の問題により、点検装置ラックへの燃料集合体の挿入は使用済燃料ラックへの挿入に比べて難度が高い状況となっていたが、四国電力社員等の関係者はその状況に気付くことができず、操作員への問いかけや、点検装置改善の検討、要領書への荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順の追記等の対応をしてこなかった。
- プラントメーカーが設計した装置であること、先行プラントで使用実績があったこと及び過去の定期検査等において問題なく操作できていたことなどから、難度が高い操作であることに気付かなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 点検装置ラック開口寸法を拡大して、使用済燃料ラックと同等の開口寸法とする。
- ② 本点検作業時には、使用済燃料ピット内の常設の水中照明に加え、燃料集合体のセンタリングと点検装置ラックへの挿入状況を作業員が確認するための水中テレビカメラ及びディスプレイ、作業中の視認性向上を図るため点検装置ラックを照らす水中照明をそれぞれ2台設置する。

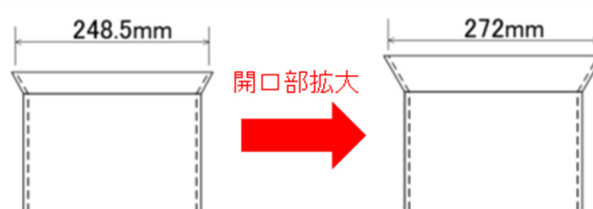


図3-6 点検装置ラックの開口寸法拡大

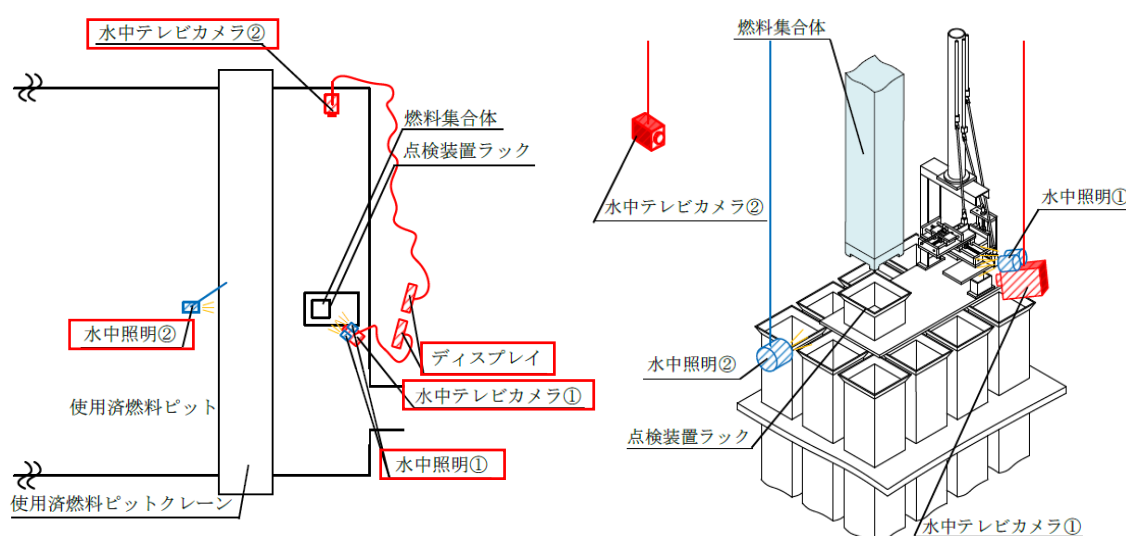


図3-7 点検装置ラックの視認性向上のため点検作業時に設置する設備

- ③ 燃料集合体のセンタリング及び点検装置ラックへの挿入状況は、操作員に加えて、元請会社の作業責任者が水中テレビカメラの映像によるダブルチェックを行うこととし、当該手順を作業要領書に追記する。
- ④ 作業要領書に荷重急変減少警報発信時の具体的な操作手順及び点検装置ラックに挿入する際の注意事項を追記し、作業開始前の読み合わせにおいて作業員全体に周知する。
- ⑤ 本事象と同様に難度が高く、燃料集合体への接触や干渉等の可能性がある作業について、作業員への聞き取り等を行い、作業要領書の作業手順が適切であることや、記載漏れがないこと等を確認した。

また、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・作業環境にすることが作業要領書に反映できる体制とする。

#### (4) 審議内容

##### ①ラックに乗り上げた燃料集合体の健全性評価

燃料集合体がラックに乗り上げた際の荷重が、燃料棒全 264 本に均一に加わったと仮定して健全性を評価しているが、荷重が均一に加わる根拠を示すとともに、必要に応じて、燃料棒のたわみや照射による脆化等も考慮して、健全性を総合的に評価してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264 本の燃料棒に概ね均等に荷重がかかったと考えている。ある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定はできないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力は約 3 MPa であり、未照射燃料の耐力約 600MPa に対して十分に小さいことから、燃料集合体の健全性に問題はない。

なお、燃料集合体の強度に関係する部材（ステンレス鋼、ジルカロイ）は、照射により耐力等の材料強度は増加する方向であることから、照射済燃料に対する荷重評価結果（約 1,100 kg）を未照射条件で健全性が確認された荷重（約 4,100 kg）と比較することは、より厳しい評価となることに加え、ラック乗り上げ前後の当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化がなかったことも確認している。

##### ②技術的な改善要望

再発防止策として講じる点検装置ラック開口寸法の拡大等は、極めて原始的な対策であり、燃料集合体の移動操作の技術的改善にも取り組んでももらいたい。

##### 【四国電力回答】

技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決め自動化等が考えられるが、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体には、僅かな揺れや振動等が発生するため、目視で挿入状況を確認しながら、手動によりセンタリングの微調整を行う必要があり、全工程を自動化することは困難である。

このため、燃料集合体のラック乗り上げ防止の観点から、点検装置ラック開口寸法の拡大と水中照明の設置により作業環境を改善するとともに、水中カメラの設置により、ダブルチェック体制を構築することとしている。

これらは、作業内容から判断して、最も有効な対策である。

## 4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

### (1) 事象概要

1月25日、伊方発電所1、2号機開閉所において、187kV母線（甲・乙）連絡遮断器<sup>※1</sup>を動作させる保護リレー<sup>※2</sup>の取替え工事完了後の当該保護リレーの健全性確認試験を行うことから、当該試験に必要な量の電流を流すため、3号機を常用の500kV送電線から、3号機の予備電源である1、2号機常用の187kV送電線からの受電に切替えるとともに、通常は甲・乙の別母線から受電している1、2号機を、全て乙母線からの受電に切替えたところ、伊方南幹線1号線乙母線断路器<sup>※3</sup>の故障により、187kV送電線4回線全ての遮断器が開放して受電が停止した。

- ※1 2つの母線（甲母線・乙母線）を選択・区分するために設けられている遮断器。なお、遮断器とは系統内で電気事故が発生した場合に、電流を遮断する装置。
- ※2 系統内で発生した電気事故を検出し、当該事故が発生した箇所を切り離す信号を発信する装置。
- ※3 回路を選択・区分するための装置。

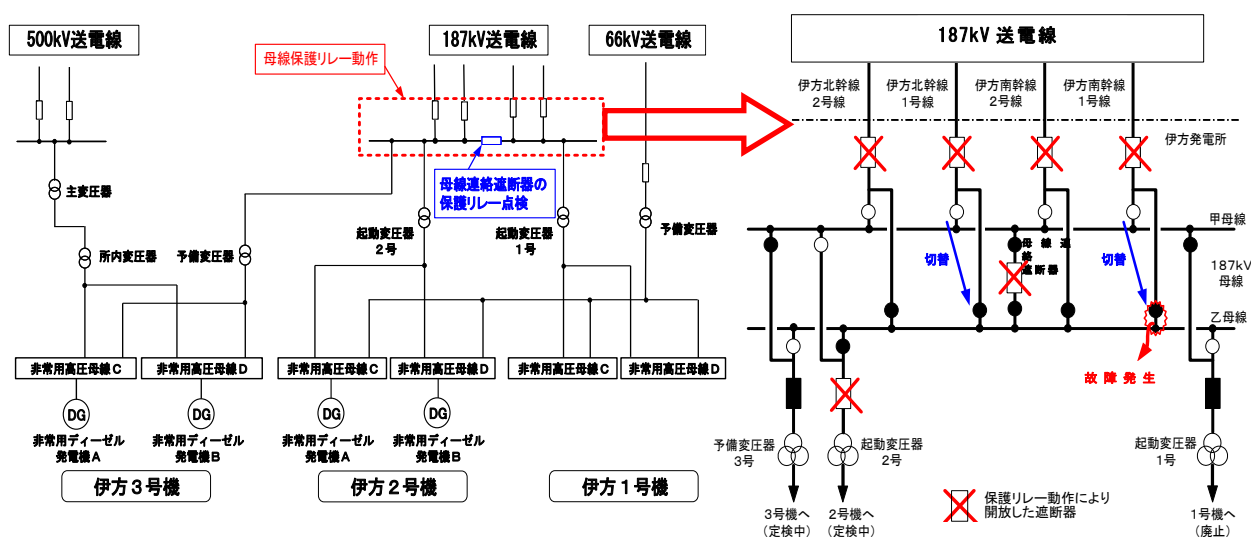


図 4-1 事象発生時の所内電源系統図

このため、直ちに、1、2号機は予備系統である66kV送電線、3号機は起動した非常用ディーゼル発電機（DG）からの受電に自動で切り替わった。その後3号機については、試験のために待機状態としていた常用の500kV送電線からの受電に手動で切替え、1～3号機ともに外部からの受電に復旧した。1月27日には、1、2号機常用の187kV送電線4回線のうち故障した断路器を設置している1回線を切り離し、187kV送電線3回線からの受電に回復した。

なお、常用の外部電源が喪失した場合は、自動で予備の外部電源に切替わり、予備の外部電源が使用できない場合には、非常用ディーゼル発電機から自動で受電するよう設計しており、今回は設計どおりに自動で切り替わった。

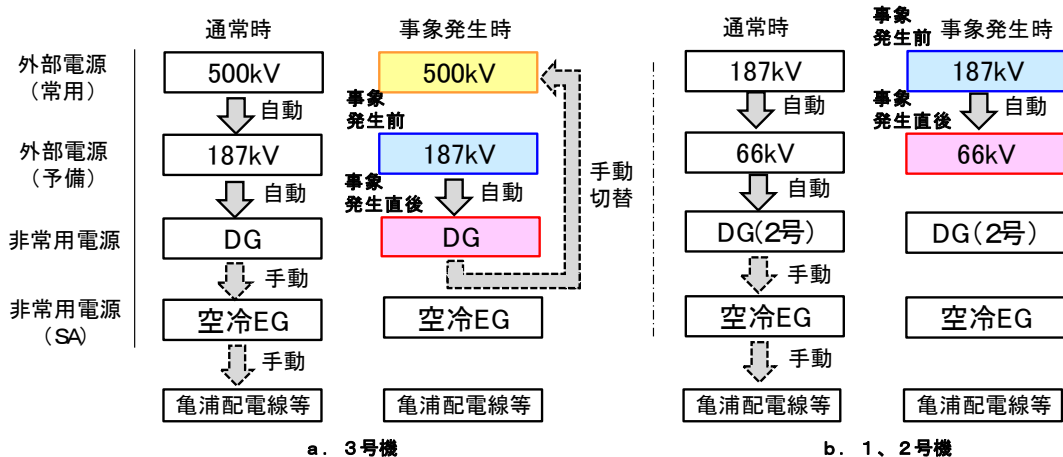


図 4-2 事象発生時の所内電源系統状況変化

また、予備電源又は非常用ディーゼル発電機に切り替わった後、使用済燃料ピットの冷却に必要な冷却ポンプ等の補機が設計どおり自動起動していることが確認できたため、現場で使用済燃料ピットポンプを手動で起動し、使用済燃料ピットの冷却を再開した。

冷却再開までの対応は、あらかじめ定められた手順どおりであり、その間は、使用済燃料ピットの温度及び水位を中央制御室で連続監視し、有意な変化がないことを確認していた。

事象発生に伴う使用済燃料ピット水温の上昇は、最大 1.1℃（水温 33.0℃→34.1℃）であり、通常運転における温度変化の範囲であったこと、また保安規定に定める使用済燃料ピットの温度に係る制限値 65℃に対して十分な余裕があったことから、使用済燃料の冷却状態に問題はなかった。

なお、本事象による環境への放射能の影響はなかった。

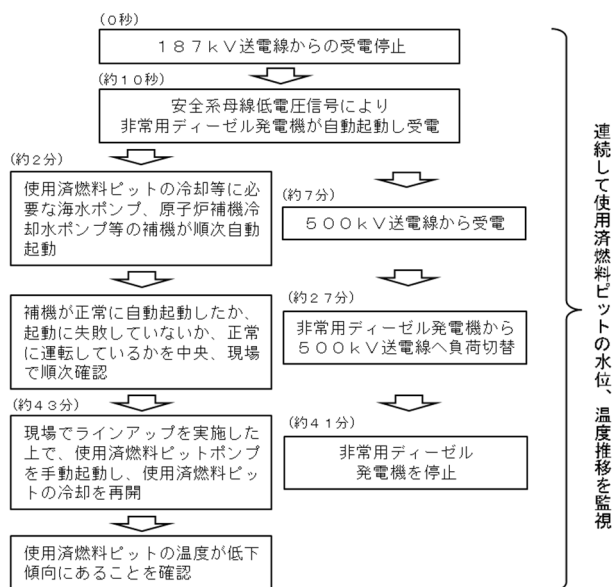
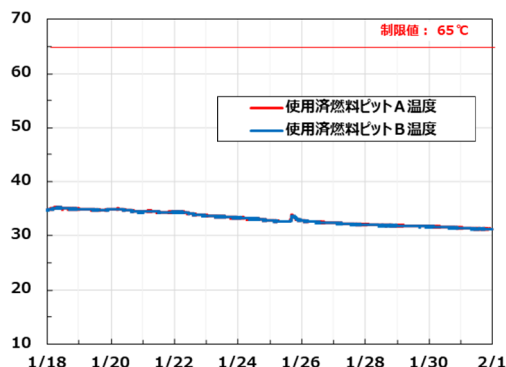


図 4-3 3号機の使用済燃料ピット冷却再開までの対応

時系列	号機	3号機	
		2号機	Aピット
事象発生前 (15時時点)	16.7	33.0	32.3
事象収束後 (19時時点)	16.9	33.8	33.2
上記期間の最高値	16.9	34.1	33.3

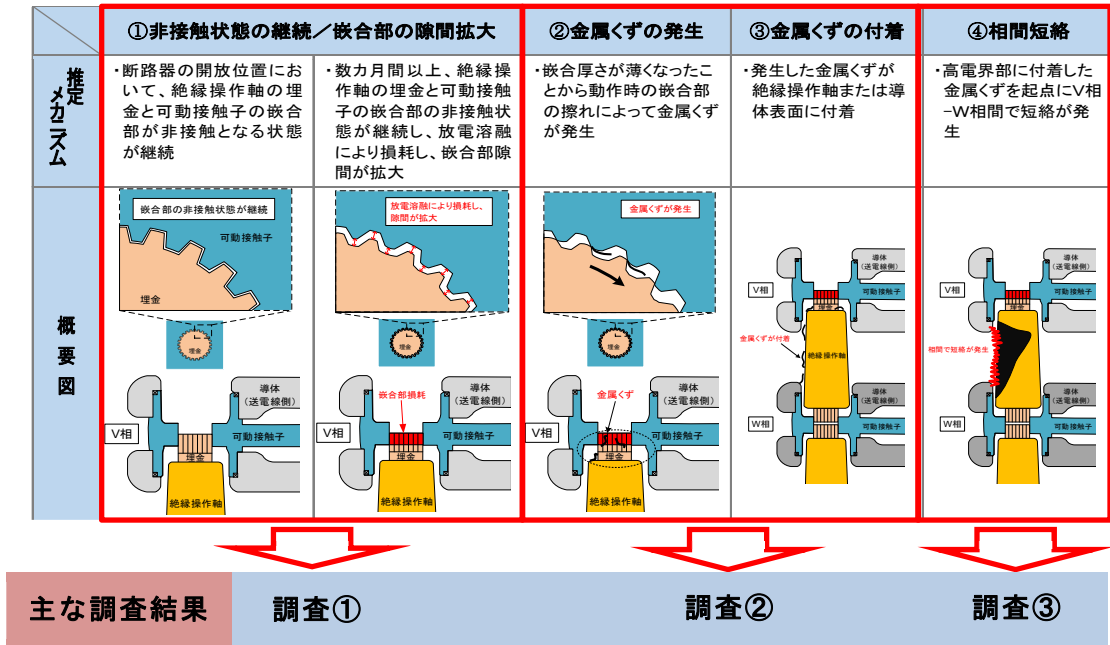
図 4-4 使用済燃料ピットの水温記録  
(右のグラフは3号機使用済燃料ピット)



## (2) 推定原因

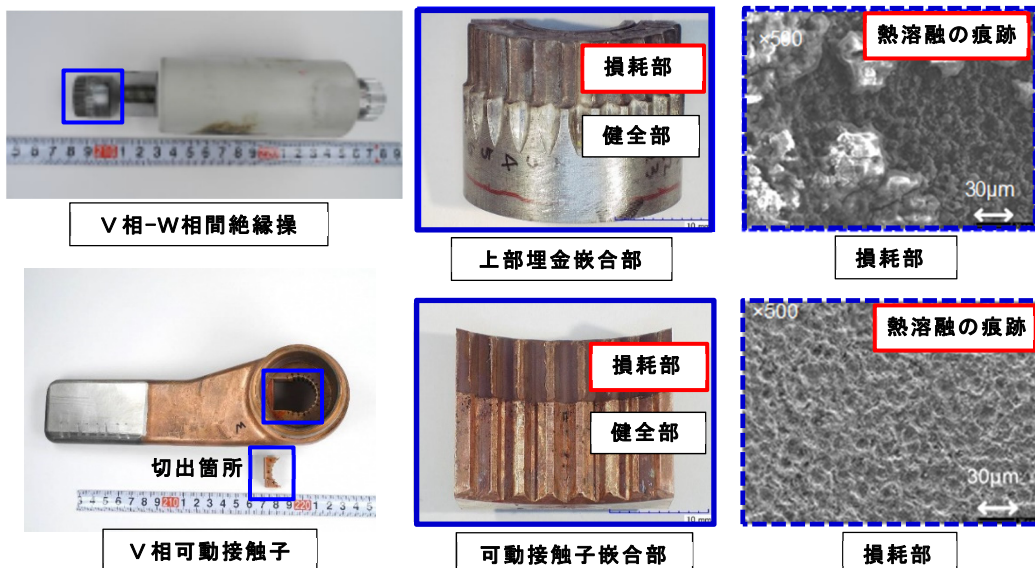
- ① 構造上生じる断路器内部の絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部の隙間が放電溶融で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより短絡が発生した。

➤ 内部確認等の調査結果から以下のメカニズムにより短絡に至ったものと推定した。



### 【調査①】 外観確認及び電子顕微鏡による表面観察結果

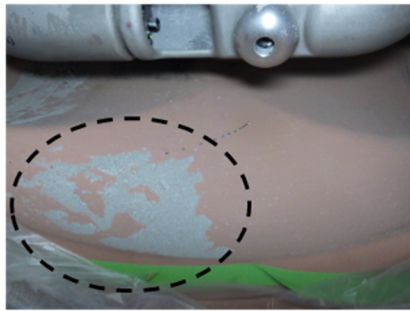
V相-W相間絶縁操作軸上部埋金及びV相可動接触子の嵌合部の外観を確認をした結果、均一に損耗しており、健全部より小さくなっていた。また、電子顕微鏡で当該損耗部の表面を観察したところ、熱影響による金属溶融の痕跡を確認した。その後、構造上、当該嵌合部では非接触状態が発生することが判明し、非接触状態が継続することで放電が発生することも実証試験で確認できた。





### 【調査②】 断路器の内部調査結果

断路器ユニットの内部調査によって確認された堆積物から、放電に伴って発生するフッ素化合物（断路器内に充填している六フッ化硫黄ガスの分解により発生）とともに、箔状の金属（最大で約4mm）が採取された。当該金属を成分分析した結果、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分を検出した。また、当該金属成分については、短絡が発生したV相-W相間絶縁操作軸の表面においても顕著に検出された。



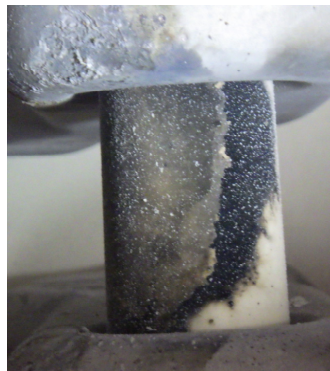
フッ素化合物等の堆積物



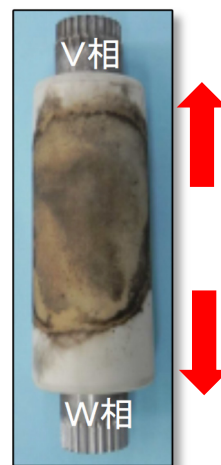
箔状の金属  
堆積物から採取された金属

### 【調査③】 絶縁操作軸表面の外観結果

V相-W相間絶縁操作軸表面の外観確認の結果、相間短絡により発生したと推定される炭化痕跡（放電痕跡）を確認した。



炭化痕跡



放電痕跡

- ② 今回の187kV母線連絡遮断器の保護リレーの試験においては、必要な電力負荷を確保するため、3号機の電源を常用の500kV送電線から1、2号機常用の187kV送電線に切り替えていたことから、187kV送電線からの受電が停止したことにより、1～3号機の所内電源が数秒間同時停電した。

試験計画にあたってはリスクを緩和するための必要な措置を講じていたが、例えば仮設備（模擬負荷）を使用する等により、3号機所内負荷を接続しない試験系統構成にしていれば、3号機所内電源も同時に停電することはなかった。

### (3) 再発防止策

- ① 故障した断路器の絶縁操作軸、可動接触子等の損耗した部品については、新品に交換した。
- ② 当該断路器と同一構造及び使用状態が同じ断路器計 13 台について、嵌合部の外観及びフッ素化合物の有無を確認する内部開放点検を行ったところ、2 台で絶縁操作軸埋金嵌合部に放電による損耗を確認したことから、絶縁操作軸等の部品を新品に交換した。

- ③ 同一構造及び使用状態が同じ断路器 (計 14 台) について、嵌合部の放電の有無を確認する部分放電診断の常時計測・常時記録及び金属くず等による振動を確認する内部異物診断の定期的な実施により状態監視を強化するとともに、恒常的な対策についても検討していく。

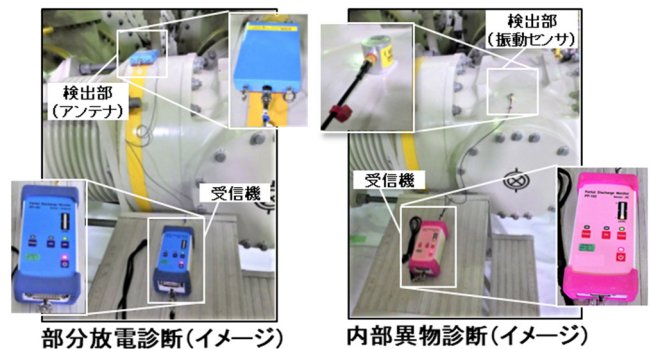


図 4-5 状態監視強化対策

- ④ 187kV 母線連絡遮断器の保護リレーの試験再開にあたっては、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統を構成するとともに、今後実施する保護リレーの試験においては、リスク低減に係る取り組みを実施する。

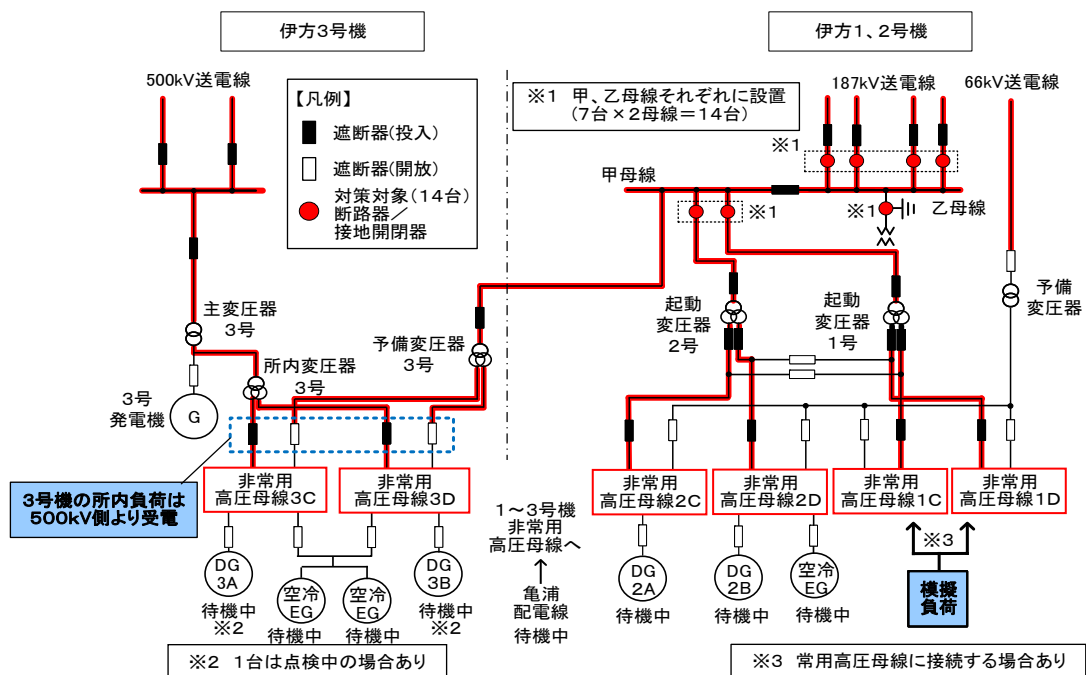


図 4-6 試験再開時の試験系統



#### (4) 審議内容

##### ①故障した機器と同一構造の断路器に対する対応

断路器の嵌合部の損耗等による短絡はめったに起こらない事象だと考えられるが、故障した機器と同一構造の断路器を調査した結果、更に2台の断路器において、短絡につながる放電の影響（フッ素化合物及び嵌合部の損耗）が確認されたことから、断路器の構造的に、本事象と同様の事象が起り得る可能性もあるのか。

##### 【四国電力回答】

故障した機器と同一構造の断路器について、メーカーに故障実績等を確認したところ、本事象と同様の短絡が起こった事例はないとのことであったが、故障した断路器の内部調査で採取された金属の成分分析や電子顕微鏡による嵌合部の表面観察等といった原因調査及びその調査結果を踏まえた実証試験（非接触状態の確認、放電試験）の結果、構造上、ごく稀に生じる嵌合部の隙間が放電溶解で拡大し、その後、動作時の擦れで発生した金属くずが高電界部に付着することにより、短絡が発生したと推定している。

このため、これまでのメーカー推奨に基づく定期的な開閉試験や絶縁抵抗測定等の点検に加え、今後は、同一構造の断路器については、同様のメカニズムによる故障が起り得るという前提で、短絡につながる部分放電を検知するため、新たに部分放電診断を常時計測・常時記録するとともに、金属くず等の振動を確認するため、定期的に内部異物診断を実施することにより、異常の兆候の早期検知のため監視強化を行う。

また、当該断路器については、導電部、絶縁部、接触部等は優れた絶縁性能を有する六フッ化硫黄ガスを封入したユニット内に全て密閉し、外部雰囲気の影響を遮断していることから、長期間劣化せず、耐環境性に優れた信頼性の高い装置となっているものの、今回の原因調査で推定したメカニズムにより、故障が起り得ることが判明したことから、今後、メーカーとも協議しながら、恒常的な対策についても検討することとしている。

## ②試験系統構成の見直し

本事象においては、試験中の断路器の故障が原因で一時的に所内電源が喪失したが、今後は、機器の故障があっても、一時的にしる1～3号機すべての電源が喪失しないように、試験方法や点検体制を見直してほしい。

### 【四国電力回答】

電源の確保は発電所の安全上非常に重要であることから多重化・多様化しており、66kV、187kV及び500kVの送電線並びに亀浦変電所からの配電線といった外部電源に加え、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置などの非常用電源設備を確保している。

今回の事象では、設計どおりに1、2号機は予備系統である66kV送電線、また3号機は起動した非常用ディーゼル発電機からの受電に自動で切り替わったが、一時的とはいえ、1～3号機が同時に停電してしまったことから、今後、同試験を実施する際には、模擬負荷を使用することにより、3号機に接続しない試験系統にすることとする。また、最適な試験系統構成や負荷の状況は、プラント状態に大きく依存することから、過去の実績にとらわれることなく、試験の都度、原子力安全に係るリスクについて、確率論的リスク評価等のリスク情報を活用するなど、より幅広い観点から特定、分析評価を行い、リスク低減に係る取組みを実施していく。

## 5 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

### (1) 調査内容

四国電力では、4事象個々の原因（直接原因）等を踏まえた視点に加え、4事象の背後に存在する要因（以下「背後要因<sup>\*1</sup>」という。）や社外からの意見<sup>\*2</sup>を踏まえた視点、更には、3号機一基体制となった伊方発電所の環境変化などの視点から検討した結果、次の10件の調査項目を網羅的に設定した。

- ※1 直接原因の深掘りを行うため、関係者へのインタビュー等を基に、発生したトラブルを様々な角度から分析し再発防止策を提案する手法等を参考にして、想定される背後要因5つを抽出  
 (H-1)確認・承認プロセスの問題：作業実施時期・要領のチェック不足  
 (H-2)改善プロセスの問題：作業の振り返り不足、改善業務プロセス不十分 等  
 (H-3)安全文化の問題：「問いかける姿勢」の意識低下  
 (H-4)人的リソース不足：余裕のない業務の継続、重要度に応じたリソース配分  
 (H-5)リスク確認不足：設備導入時の検討の問題

- ※2 社外からの意見を基に、調査が必要な5項目を設定  
 (S-1)背景、(S-2)組織、(S-3)気の緩み、(S-4)技術力、(S-5)保守管理

①	4事象の対策の水平展開に係る調査 4事象の対策について、他の設備・作業に幅広く水平展開すべき事項を調査。	【直接原因】
②	定期検査プロセスの妥当性調査 4事象の発生に鑑み、定期検査プロセスについて、発生原因との関連等を調査。	【直接原因、背後要因等 (H-1, H-2)】
③	包括的な改善活動の仕組みの調査 改善事項を広く吸い上げ対応する包括的な改善活動の仕組みの整備状況を調査。	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4)】
④	安全文化・モチベーションの調査 伊方発電所の環境変化等が安全文化やモチベーションに与える影響を調査。	【背後要因等 (H-3, H-4, S-1, S-3)】
⑤	技術力の調査 3号機一基体制等伊方発電所の環境変化が作業員の技術力に及ぼす影響を調査。	【背後要因等 (H-4, S-1, S-4)】
⑥	組織体制の在り方の調査 大規模工事や3号機一基体制等を踏まえ、要員数、組織・体制の状況を調査。	【背後要因等 (H-4, S-1, S-2)】
⑦	リスクマネジメント活動の調査 作業単位における取組みも含め、リスクマネジメント活動の取組状況を調査。	【背後要因等 (H-1, H-2, H-4, H-5)】
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査 保守管理プロセスについて、発生原因との関連及び改善すべき事項を調査。	【背後要因等 (H-2, S-5)】
⑨	職場環境の調査 安全・安定運転に必要な良好な職場環境の維持・向上に係る施策実施状況を調査。	【背後要因等 (H-2)】
⑩	外部組織等によるレビューの調査 保安活動に係る外部組織等によるレビューや改善活動の状況を調査。	【背後要因等 (H-4)】

## (2) 調査結果

### ① 4 事象の対策の水平展開に係る調査

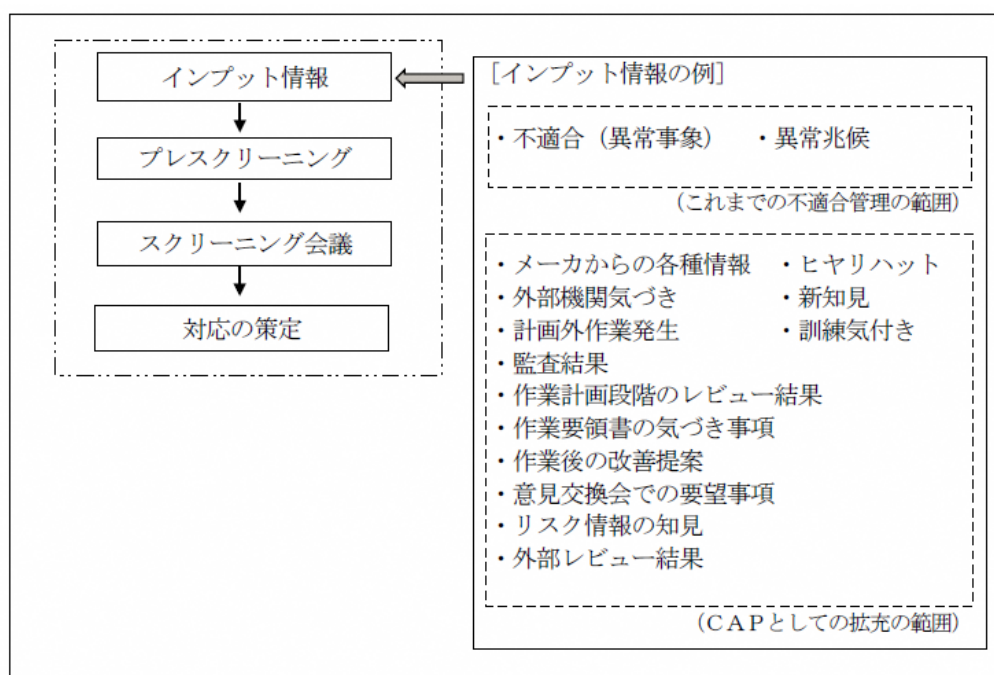
- ・ 4 事象の対策は、各事象固有の改善策であるが、事象 2 の「見直し確認ステップの追加」、事象 3 の「作業環境の改善」及び事象 4 の「計画段階でのリスク低減」については、同様の観点から幅広く他の作業に水平展開することにより、不具合発生リスクを低減できる可能性がある。

### ② 定期検査プロセスの妥当性調査

- ・ 前回の第 14 回定期検査において事象 1 が発生し、今回の第 15 回定期検査においても、同様の作業計画をしていたことから、作業計画の妥当性確認が不十分であったと考えられる。
- ・ ヒューマンファクターに起因する事象 3 が発生するとともに、想定されるリスクの特定、分析評価等を行い、必要な緩和措置を講じていたにも関わらず事象 4 が発生したことから、定期検査工程全般のみならず、個々の点検作業についてのリスク評価も実施するなど、過去の実績等にとらわれることなく、より幅広い観点からリスクを特定、分析する必要があったと考えられる。

### ③ 包括的な改善活動の仕組みの調査

- ・ 従来、不適合や異常兆候を示す事象を基に不適合管理を行い、是正処置を講じてきたが、昨年 8 月からは、包括的な改善活動の仕組み（CAP）の試行を開始し、より幅広く収集した情報について対応しているところであり、この仕組みを適正に運用することで、改善活動の基盤が構築できることを確認した。



包括的な改善活動の仕組み

#### ④安全文化・モチベーションの調査

- ・「(一社)原子力安全推進協会による意識調査結果」やトラブル発生後に実施した「社長と発電所員の意見交換」及び「原子力本部長と関係会社等との意見交換」において、原子力に対する将来への不安や業務量の多さの指摘などもあったが、モチベーションの低下等は見られず、安全意識も高く維持されていることが確認できた。

#### ⑤技術力の調査

- ・4事象については、技術力不足が要因で発生したものではなく、原子力保安研修所における教育訓練及び伊方発電所における現場技術力の習得・維持など、ベテラン社員や作業員からの技術伝承等の取組みにより、従来と同じレベルの技術力を保有していると判断できた。
- ・一方、3号機一基体制となったことや3号機建設中から作業に携わってきた社員や作業員が定年退職する時期を迎えていることから、ベテラン社員や作業員の経験すべてを確実に伝承することは困難であることも考えられる。

#### ⑥組織体制の在り方の調査

- ・原子力本部全体の要員数は、ここ数年減少傾向にあるが、組織・体制の見直しや繁忙期の応援体制の構築などにより、働き方改革も推進しながら、社員の勤務時間を適切に管理した上で発電所の運営体制を整えており、組織体制に問題はないと考えられる。

#### ⑦リスクマネジメント活動の調査

- ・福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、平成26年からの地震や津波などの確率論的安全評価を活用したリスク評価の実施を皮切りに、リスク情報を活用した意思決定を発電所の業務プロセスのなかに取り組み、工事計画、予防処置としての改善策の検討等にリスク情報を参照する実績を積み重ねており、リスクマネジメントという考え方が浸透しつつあると評価しているが、過去のトラブルの発生状況を鑑みれば、危険予知に対する感受性を高め、常にアンテナを張り巡らせておくことが重要である。

#### ⑧保守管理プロセスの妥当性調査

- ・4事象について、保守管理プロセスに起因するものではないことを確認した。
- ・保守管理プロセスのベースとなっている品質マネジメントシステム(QMS)文書は、遅滞なく整備されており、保守管理の有効性評価において抽出された事項は、保守管理プロセスというPDCAサイクルを回して改善していく仕組みが規定されていることが確認できた。

#### ⑨職場環境の調査

- ・従来から実施している種々の活動<sup>※3</sup>により職場環境改善に一定の成果を上

げていることを確認したが、今回のトラブル発生を踏まえて実施した「社長と発電所員の意見交換」や「原子力本部長と関係会社等との意見交換」では、工事報告資料の合理化や発電所入構時の手続きの迅速化等、これまでに社内では意識していなかった改善要望や、以前から関係会社からは要望を受けていたが十分に改善できていなかった課題が認められた。

- ※3 ・伊方発電所フォーラム：発電所幹部層と発電所員による意見交換
- ・定検反省会：定検終了後、四国電力と元請会社関係者で実施
- ・安全推進委員会：月1回、災害防止協議会メンバー（関係会社含む）が意見交換
- ・伊方ネット21：関係者が一丸となってボランティア活動、機関紙発行等を実施

#### ⑩外部組織等によるレビューの調査

- ・社外組織である、世界原子力発電事業者協会、（一社）原子力安全推進協会及び他電力、社内組織の四国電力本店などからのレビューを受けており、当該レビューにおいて抽出された改善要望事項については、対応方針、対応箇所及び完了目標時期を定めたアクションプランを策定し、社内ルールの見直し等の改善活動が実施されていることを確認した。

### （3）改善策

四国電力は、10件の項目について調査した結果、次のとおり改善策を講じることとしている。

	調査項目		改善策	
①	4事象の対策の水平展開に係る調査		新たな対策を実施	作業要領書の充実
②	定期検査プロセスの妥当性調査			作業計画段階におけるレビュー強化
③	包括的な改善活動の仕組みの調査			包括的な改善活動の推進
④	安全文化・モチベーションの調査			安全意識共有の充実
⑤	技術力の調査			技術力・現場力の維持・向上
⑥	組織体制の在り方の調査		従来の対策を継続	従来進めてきた保安活動の一層の推進
⑦	リスクマネジメント活動の調査			
⑧	保守管理プロセスの妥当性調査			
⑨	職場環境の調査			
⑩	外部組織等によるレビューの調査			

#### ①作業要領書の充実

3事象において実施した作業要領書に係る対策と同様の観点（「見直し確認ステップの追加」、「作業環境の改善」及び「計画段階でのリスク低減」）で、3号機第15回定期検査で実施する作業の作業要領書全数について確認し、必要箇所の充実等を図った。

全要領書（1,158件）について、個々に記載内容の確認を実施した結果、144件の要領書（426箇所）を抽出し、記載の充実等を実施した。

また、今回の確認以降、新たに制定する作業要領書についても、同様に記載内容の充実が図られるよう、要領書作成要領を定めた社内規定に今回の確認の観点を追加した。

## ②作業計画段階におけるレビューの強化（新チームの設置）

作業計画段階において、作業担当部門が策定した作業計画を独立した立場からレビューし、妥当性を確認するとともに、継続的な改善を図ることを目的として、次の業務を実施する新チームを設置する。

### ▶ 作業要領のレビュー

作業担当課が策定した作業要領書について、「品質確保・安全確保に向けた取組内容」や「これまでのヒューマンエラー対策の確実な反映」などについて確認し、作業要領の充実・改善を図る。

### ▶ 作業実施時期のレビュー

作業担当課が策定した点検工程について、「運転上の制限に係る作業時期」や「安全上重要な機器の作業時期」など作業計画の妥当性について確認し、必要に応じて改善を図る。

## ③包括的な改善活動の推進

「作業計画段階のレビュー結果」、「作業要領書の気付き事項」、「意見交換会での要望事項」、「他部門や外部機関のレビュー結果」及び「新技術に対するメーカーからの各種情報」のほか、作業後の振り返りでの改善提案等を漏らすことなく反映するため、CAPのインプット情報とすることにより、CAPの充実を図るとともに、これを確実に対応することで、伊方発電所としての包括的な改善活動を強力に推進していく。

## ④安全意識共有の充実

伊方発電所関係者のモチベーションの維持・向上、安全意識の共有並びに原子力の将来への不安払しょくのため、双方向コミュニケーション形式で実施する四国電力幹部と発電所員、関係会社等との意見交換を充実していくとともに、業務効率化の推進、働き方改革の意識浸透に向けた取組みも継続していく。

## ⑤技術力・現場力の維持・向上

3号機一基体制やベテラン社員の退職等伊方発電所の環境変化を踏まえ、次の対策により、技術力・現場力の維持・向上を図る。

### ▶ 教育訓練機会の増加

燃料取扱作業などの特殊な作業に限定せず、実施頻度が少ない作業についても技術力を継続的に維持するために、作業班が自主的に訓練内容

を設定し、教育訓練を実施する仕組みを作る。

➤ ベテラン社員・作業員からの技術継承

伊方発電所内で使用する点検作業要領書について、特にベテラン社員・作業員の視点から追記・修正すべき箇所を確認し反映したところであり、今後も、確実な技術継承のため、この取組みを継続していく。

⑥従来進めてきた保安活動の一層の推進

伊方発電所において、安全運転及び設備保全に万全を期すとともに、更なる安全性向上のために取り組んできた次の活動を引き続き推進していく。

➤ 適切な組織・体制の維持

3号機一基体制となった現在及び将来においても人的リソースを確実に確保することはもとより、状況変化に応じ組織・体制を柔軟に対応させ、伊方発電所の運営に必要な組織・体制を維持していく。

➤ リスク情報活用の推進

リスク情報を活用した意思決定に係る活動を着実に実践するとともに、適用範囲の拡大、社外教育を有効に活用したリスク情報活用に係る教育等の実施など、効果的にリスク情報の活用の取組みを推進していく。

➤ 保守管理プロセスの着実な運用

これまで有効に機能している保守管理プロセスについて、今後も同プロセスのPDCAサイクルを着実に回していくことにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。

➤ 職場環境の改善活動

引き続き、四国電力と関係会社等がコミュニケーションを緊密に取り、幅広く情報を収集する活動を継続的に実施し、より良い職場環境づくりを推進していくとともに、他社のベンチマーク調査を行い、良好事例を積極的に取り入れる。

➤ 外部組織によるレビュー

世界原子力発電事業者協会、(一社)原子力安全推進協会、他電力及び四国電力本店などによるレビューを活用し、多様な立場、観点から原子力発電所の安全性・信頼性を向上させる取組みを推進し、より高い安全性・信頼性を求めていく。



#### (4) 審議内容

##### ①保守管理について

トラブルが連続したことから、要因の一つとして懸念していた保守管理プロセスの劣化はなかったとのことであるが、トラブルの未然防止に向け、発電所の停止時だけでなく、運転中でも可能な点検については、こまめに実施するなど、適宜、保守管理プロセスの見直しも実施してもらいたい。

##### 【四国電力回答】

一連のトラブルについて調査した結果、事象1～3については、設備故障が発生した事象ではなく、事象4については、過去に経験のない故障によるもので、保守管理プロセスにおける劣化に起因するものではないことを確認しており、今後とも、

①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったPDCAサイクルにより、しっかりと保守管理していくこととしている。

また、設備点検については、故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて、保全方式や点検計画を定めて実施しているが、停止時にしか点検できない設備についても、運転中から状態監視を行うなど、トラブルの未然防止に努めており、今後とも、PDCAサイクルの中で、適宜、改善を図っていく。

##### ②リスク評価について

定量的リスク評価には、事前のリスク評価と起こった事象についての重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、現時点で、それぞれどのような取組みを実施しているのか。

##### 【四国電力回答】

事前のリスク評価については、従来から、定期検査時の作業計画段階において、停止時リスクの定量評価を確認するとともに、自主的な安全性向上のほか、原子力規制委員会において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。

さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。

事象の重要度評価については、新検査制度においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。

定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。

### ③安全文化について

海外における取組みを参考にするとともに、双方向のコミュニケーションなど、日本の文化に即した方法を取り入れることにより、安全文化の醸成に努め、自律的に問題点を見出し、議論できる組織を育んでもらいたい。

#### 【四国電力回答】

海外の発電所に勤務する者からレビューを受けるとともに、定期的に海外の良好事例の紹介を受ける体制を整えるなど、海外の取組みについても、積極的に情報収集し、安全性向上に向けた取組みに反映している。また、今回の一連のトラブルを踏まえ、幹部と発電所員等との双方向コミュニケーション形式による意見交換を新たに実施した結果、有効であることが確認できたため、今後とも、継続的に実施していくこととしている。安全文化を醸成するためには、これらの取組みを長期間継続して実施していくことが必要と考えており、「問いかける姿勢」も含めた安全文化の10の特性の定着に向けた教育等の取組みを繰り返し実施していくこととしている。

### ④新チームの設置について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであり評価できるが、CAP制度やリスク評価の効果的な活用などにより、研鑽を重ねながら、実効性のある運営をしてもらいたい。

#### 【四国電力回答】

新チームによる作業要領書や作業計画等のレビュー業務については、試行を重ねつつ、チームとしての技量を向上させていく。

また、新チームの活動は、作業担当課が作成した作業要領書等について協議・確認するものであり、この活動を通じて、関係者間での十分なコミュニケーションが図られるとともに、「問いかける姿勢」に対する理解が深まるなど、トラブルの未然防止・伊方発電所の安全確保に重要な役割を果たすものと考えている。

## 審議結果

四国電力が令和2年3月17日に愛媛県に提出した、伊方発電所3号機第15回定期検査で連続発生した4件の重大なトラブル及びその総括評価に係る報告書については、四国電力から内容の説明を受けるとともに、推定原因の妥当性及び再発防止策の実効性・有効性等について審議した結果、個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、また、トラブルが連続した背景については、組織体制面、技術面など様々な視点から調査・検証がなされ、新チームの設置やCAP（包括的な改善活動の仕組み）等の新たな仕組みを整備したほか、社員教育や幹部と発電所所員等との意見交換など安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており、適当であると判断した。

ただし、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び伊方発電所の更なる安全性向上につながる取組みとして、次のとおり、部会としての四国電力に対する要望事項を取りまとめた。

については、下記部会意見が確実に実行されるよう、県から四国電力に対し、要請することを求めるものである。なお、その取組状況については、適宜、県において確認いただきたい。

### 【要望事項】

#### 1. 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 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」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR（加圧水型原子炉）の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ（マグネタイト）の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

#### 2. 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

### 3. 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取り組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取り組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不断に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問いかける姿勢」の定着のみならず、「問いかける能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

### 4. 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもCAP制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

### 5. 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、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ため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカーなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。

また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

伊方原子力発電所環境安全管理委員会及び同原子力安全専門部会 委員コメント一覧

目次（項目）

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について.....	参考-1
2. 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.....	参考-3
3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について...	参考-9
4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について.....	参考-13
5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について.....	参考-15
6. 全般.....	参考-20

1. 伊方発電所第3号機 中央制御室非常用循環系の点検に伴う運転上の制限の逸脱について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント委員
1	運転に当たっては、四国電力の正規の職員が皆当たるようなシステムにしてもらいたい。	運転に当たっては、四国電力社員が対応している。また、安全上重要な作業や工程管理等も四電社員が携わっており、今後も中心となって対応していく。	R02 2/18	高橋
2	「問いかける姿勢」について、意識改革にどう取り組んでいくのか。	「問いかける姿勢」を定着させるため、毎年度実施している安全文化の教育テキストに今回の事象を追加し、繰り返し教育することで、このトラブルを忘れずに「問いかける姿勢」の重要性を認識させる。 R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」では、安全文化の育成・維持活動の目標として「健全な安全文化の特性」を定めており、これら10特性の一つに「問いかける姿勢」が含まれている。「健全な安全文化の特性」の定着を図るため、関係者が出席するスクリーニング会議で毎週唱和しているが、今後もこの取り組みを継続していく。 (6月4日 資料1-1 P5)	R02 3/24	池内
3	作業計画の立案等は重要な作業である。四国電力社員がすべての工程に携わるようにしてほしい。	重要な工程等には全て四国電力社員が携わっており、今後とも中心となり対応していく。 なお、今回の作業は、福島事故後、新規制基準が施行されて保安規定を変更したが、変更した内容の理解が不足していたものであり、保安規定改定時には、周知に加え内容に関する教育を技術系所員に対し実施するなどの改善を行う。 (6月4日 資料1-1 P4,5)	R02 3/24	高橋
4	再発防止策として実施する保安規定が改定された際の所員教育では、改定内容だけでなく、改定理由についても教育してほしい。	今回、保安規定を改定した場合は、従来の周知だけではなく、教育もするよう改めた。また、その教育に際しては改定に携わった者により改定の趣旨も含めた教育を実施することとしている。	R02 6/4	村松
5	何を問いかけるべきか分からなければ、問いかけるモチベーションが生じないが、「問いかける姿勢」の定着に向けた教育についてはどのように考えているのか。	「問いかける姿勢」の浸透については、安全文化の教育などを繰り返し実施していくこととしている。	R02 6/4	中村
6	理解が不足しているか分からない状況だと、結局、「問いかける姿勢」がいくら醸成されていても、問いかけるべき問題があるかどうか分からないので、それにより本事象を防ぐのは難しいのではないか。	「問いかける姿勢」が欠けていたことだけでなく、保安規定の理解不足も原因であるため、今後は、双方向のコミュニケーションを図りながら、保安規定に係る教育を実施することとしている。	R02 6/4	森

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	分からないことも聞きやすい環境を作ることが大事であるが、どのように取り組むのか。	安全文化を醸成するのは、長期的・継続的な取り組みが必要であり、PDCAサイクルを繰り返し継続的に回しながらしっかりと取り組んで行く。	R02 6/4	森
8	教育も重要であるが、保安規定を遵守した作業であることが、書類上、物理的に確認できるシステムとしていくことが重要ではないか。	本事象については、保安規定の理解が不足していたこと、保安規定第88条への適合を確認できていなかったというシステム的な問題、及び「問いかける姿勢」が欠けていたことの3点が原因であったと考えており、確認するシステムに改善の余地があったことから、作業計画の妥当性を明確に確認できるチェックシートを作成し、社内関係者が確認又は承認する体制とした。	R02 6/4	宇根崎
9	システムの改善、教育の徹底及び意識(問いかける姿勢)の向上という改善策をバランスよく組み合わせることで講じてほしい。また、教育や意識の向上は保全活動全般の質を上げていくことにつながるため、長期的な取り組みになると思われるが、教育などの改善による効果の把握に取り組むながらより改善に努めてほしい。	改善した保安規定第88条への適合を確認するシステムを確実に運用していくとともに、追加した教育及び安全文化の醸成活動を継続的に実施していくこととしており、これらを必要に応じて改善しながらバランスよく取り組んでまいりたい。 また、不適合の発生状況等はCAPを用いて傾向を把握することとしており、教育などの改善策の効果の把握にも活用して、継続的な改善に努めてまいりたい。	R02 6/4	宇根崎
10	「問いかける姿勢」の定着への取り組みは、形式的になりすぎることなく、双方向のコミュニケーションを、組織の中でうまく運用されるよう努めてほしい。	「問いかける姿勢」の定着は一朝一夕に達成できるものではないが、今回策定した改善策を着実に進め継続的に取り組んでいく。 また、取り組みが形式的になりすぎないよう心掛けるとともに、教育や日々の業務において双方向のコミュニケーションを工夫しながら推進していくことで、互いに学び合える風土を育むよう努めてまいりたい。	R02 6/4	中村
11	双方向のコミュニケーションを図りながら教育に取り組むとの方針は是非お願いする。さらに、問答を通じて受講者、説明者双方の学び、気付きにつながるよう、様々な角度から議論できる社風を育ててほしい。		R02 6/4	岸田

2. 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

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	制御棒の引き上がり事案については、国内でも例がないとのことであるから、しっかりと原因究明をしてもらい、今後の安全運転につなげてもらいたい。また、調査結果等については、適宜、報告をお願いしたい	各事象については、しっかりと原因究明を行うとともに再発防止に努めていく。 (原因と再発防止策をとりまとめた報告書を提出済み。)	R02 2/18	宇根崎
2	制御棒クラスタの切り離しの作業で、駆動軸着底の確認はどのように確認しているのか。	ベースプレートの高さを計測し、計画値の範囲内であることを確認している。 (6月4日 資料1-2 P32のステップ⑩)	R02 2/18	中村
3	制御棒クラスタ頭部に溜まっている堆積物は何か。なぜこのように溜まるか総合的に調査してほしい。	堆積物を分析した結果、マグネタイト( $Fe_3O_4$ )であることを確認した。 堆積物は過去の定期検査でも確認されており、スパイダ頭部にスラッジが堆積する現象には、 ・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 ・1次冷却系統内で生成したマグネタイトが当該部に侵入、堆積したものの2つのケースがあると推定している。 (6月4日 資料1-2 P9～12)	R02 2/18	中村
4	結合部分だけでなく駆動軸取り外し工具についても念のため調べておくべき。	駆動軸取り外し工具についても調査を実施し問題がないことを確認した。 (6月4日 資料1-2 P35)	R02 2/18	中村
5	制御棒引き上がりは推定原因であるが詳細な調査はしているのか。	制御棒引き上がりについては、当該の駆動軸や制御棒クラスタのほか、工具や使用計測器等も含め詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-2 P3～16, 34～39) 推定原因は、原因調査から得られた物証に加え、事象発生時の駆動軸と制御棒クラスタの結合状態のケース検討や部分モデルによる引き上がり状態の実証試験を実施し、事象発生メカニズムを検討し、解析等によるメカニズムの妥当性確認を実施したうえで推定したものである。 (6月4日 資料1-2 P17～24)	R02 3/24	中村
6	制御棒の引き上がりに関して、これまで同様の事象はなかったのか。	国内外の類似事例を調査した結果、海外で制御棒の引き上がり事象が発生していたが、今回の事象と同様な事象はなかった。 (6月4日 資料1-2 P13)	R02 3/24	占部



番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
7	スラッジは水質管理を行うことで減少させているはず。そういった取組みとか、技術的な観点からの評価はないのか。	<p>今回制御棒クラスタの頭部に確認されたスラッジ（マグネタイト）は鉄の酸化物であるが、従来から、1次冷却材の鉄濃度は低く管理しており、系外から補給される水の鉄濃度も低く管理することによりできるだけ発生を抑制している。</p> <p>また、1次冷却材の浄化流量を可能な限り多くとることにより、生成されたマグネタイトを可能な限り除去している。</p> <p>（6月4日 資料1-2 P41）</p> <p>一方で、マグネタイトは1次冷却系統設備に使用されている材料に含まれる鉄などが元となっていることから、発生しないようにすることは困難である。</p> <p>（6月4日 資料1-2 P12）</p> <p>このため、今回の再発防止対策により、スラッジがスパイダ頭部に堆積したとしても、制御棒クラスタの引き上がりが生じないように手順を見直すこととしている。（6月4日 資料1-2 P26）</p>	R02 3/24	渡邊
8	マグネタイトの薄片が磁化した駆動軸接手に付着するというメカニズムがあるのであれば、この点について気を付ける必要があるのではないかと。	<p>駆動軸と制御棒クラスタの切り離し作業にあたっては、インジケータロッドが完全に下降していることを確認するとともに、重量確認とベースプレート高さの位置計測を行うこととしており、磁化した接手にマグネタイトが付着しても支障はない。</p>	R02 6/4	中村
9	今回の調査結果により、剥離している薄片のサイズが大きかったことが分かったが、これが磁化して駆動軸内部の位置決めナットと接手の間に付着すると大きな影響を及ぼす可能性があるのではないかと。	<p>これまでの運転においても特に駆動軸の動作に異常が認められたことはなく、また、今後の対策については、確実に接続又は切り離しができていることを確認できる手順を追加したことから、問題ない。</p>	R02 6/4	中村
10	駆動軸が高溶存酸素及び高温環境におかれることで、マグネタイト生成するということがあれば、ほかの材質を使うことについて検討してはどうか。また、プラント運転中においては、駆動軸内部で1次冷却材の自然循環が発生するとのことだが、これは本当か。	<p>駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点から磁性材の使用が必要があり、限定されるものである。また、運転中の駆動軸近傍の下端と上端では温度差があることから自然循環がある程度ある。</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
11	<p>本事象はマグネタイトが非常に悪い影響を及ぼしていないか。</p>	<p>○マグネタイトの設備への影響について            駆動軸本体の材料は、制御棒位置の検出機能の観点より磁性材を使用する必要があり SUS410 を使用している。また、接手部は耐摩耗性の観点より硬度の高い SUS403 を使用している。</p> <p>駆動軸と制御棒クラスタの結合・切り離し作業の際に、スパイダ頭部内に堆積しているマグネタイトが駆動軸の接手部に付着していたとしても、重量確認と位置確認により確実に結合・切り離しがされていることを確認するため、同様事象の再発防止は可能である。</p> <p>また、強磁性であるマグネタイトが悪影響を及ぼす可能性がある設備としては、磁性材料を使用している設備が考えられるが、磁性材料を使用している設備は限定的であり、その設備の構造や機能を踏まえると、マグネタイトがプラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。</p> <p>また、マグネタイトが生成したとしても、1次冷却系統設備の主要材料はステンレス鋼であり、水質管理された環境下においては不働態皮膜が形成されるため、健全性に影響を与えるような腐食が生じることはない。</p> <p>今回スパイダ頭部内に確認されたマグネタイトが、すべて駆動軸内表面から溶出した鉄により生成したと仮定した場合であっても、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。</p>	R02 6/4	渡邊
12	<p>駆動軸を取り出して外観確認をして、外面については腐食が見られておらず、環境が同じ内面も腐食がないという認識であれば、今回観察された大きな薄片等はどこから発生したのか。</p> <p>スパイダ頭部にスラッジが堆積するメカニズムについて、環境要因や材料条件等を、再度、総合的に整理して考える必要があるのではないか。</p>	<p>○マグネタイト生成・堆積過程について            1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイト (<math>Fe_3O_4</math>) として存在することが知られており、堆積物の分析結果がマグネタイトであったこととも整合する。</p> <p>スパイダ頭部にマグネタイトが堆積する現象としては、駆動軸内表面（プラント起動初期段階、プラント運転中）や1次冷却系統内で生成されたマグネタイトが堆積したケースが考えられる。また、今回確認された薄膜状のマグネタイトは、構造上、駆動軸内表面で生成したものである。</p> <p>これらのマグネタイト生成メカニズムは、実機の設備構成を踏まえたものであり、1次冷却系統の水質及び温度環境下においては一般的な化学反応式等で示されるものであることから、確度の高いメカニズムである。</p> <p>(7月16日 資料1 別添1)</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
13	今後、推定メカニズムの明確化について、事象が発生した電力会社として主体的に責任を持って取り組んでほしい。	本事象のメカニズムについては、作業手順、制御棒クラスタ頭部へのマグネタイトの堆積、駆動軸等の観察等の事実から、不完全結合に至る様々なケースを検討し、実証試験や解析等も行い、不完全結合に至ったメカニズムを特定している。	R02 6/4	渡邊
14	本事象の原因究明は、伊方発電所だけでなく世界中のPWRに関係する内容であることから、ぜひ根本原因を究明してほしい。	また、今回の再発防止対策により、制御棒クラスタの引き上がり事象は確実に防止することができる。	R02 6/4	中村
15	再発防止策は、推定原因のとおりにかどうかに関わらず、追加手順により再発防止ができることから十分である。 ただ、本事象の発生メカニズムの解明については、世界中のPWRの安全性向上に非常に大きな役割を果たし得ることから、今後、四国電力として科学的にこれを解明して、それを発信していくという姿勢が重要である。	一方で、堆積物（マグネタイト）の生成・堆積については、定期検査ごとに堆積物を除去することとしているが、今後、以下の取り組みも継続していく。 ・ 定期検査時に制御棒クラスタのスパイダ頭部に堆積しているマグネタイトを除去する際には、水中カメラにて堆積状況を観察・記録していき、情報を蓄積し、傾向監視するなど保全に役立てていく。 ・ 他プラントの状況について、情報収集・情報交換を行う。	R02 6/4	宇根崎
16	推定原因ではあるが、いろいろな証拠物を基に、できる範囲で原因を検証していると思う。世界中の発電所に活かす意味で、メカニズムの推定は非常に重要であり、原因の追究を進めていただければと思う。	さらに長期的な堆積物の低減に向けて、実験などで効果的な低減の方法を研究するなど知見の拡充を図り、更なる安全性の向上に努めていく。 また、現状、伊方発電所で堆積物（マグネタイト）の発生量が急増している傾向はないが、定期検査ごとの堆積物の発生量調査により、有意な増加傾向が見られた場合は、速やかに前回定期検査のプラント起動時以降の運転状況を確認し、増加要因を分析したうえで対応を検討する。 (7月16日 資料1 別添2)	R02 6/4	望月
17	SUS410の駆動軸の腐食について、組織も異なるSUS304のデータにて評価していることの妥当性を示してほしい。	ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。説明資料においては、一例として知見の豊富なSUS304の腐食速度を示したものであり、SUS410についても腐食傾向は同様であることから、健全性への影響という観点では、ステンレスの腐食速度としては大きな違いはない。また、駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。 今後、実験等によりSUS410のデータを拡充していきたい。	R02 7/16	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
18	<p>制御棒駆動軸について定期取替しないものとして扱っているが、経年劣化を想定した科学的根拠に基づく取替基準を示してほしい。</p> <p>また、堆積したスラッジの量から減肉量を推定しているが、その評価方法の妥当性を示してほしい。</p>	<p>1次冷却系統の水質及び温度環境下においては、鉄の酸化物は安定的にマグネタイトとして存在するものであり、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統のように管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、同様の環境下にある駆動軸の外側表面においても健全性に影響のあるような腐食は認められていない。駆動軸の腐食（酸化）は健全性に影響を与えるような経年劣化事象ではないことから、経年劣化の観点での取替基準は設けていない。なお、制御棒については、中性子照射量の制限及び運転中の振動による摩耗防止の観点から、中性子照射量や運転時間による取替基準を設けている。</p> <p>堆積したスラッジからの減肉量の推定については、すべてのスラッジが駆動軸の内表面だけから発生したとの非常に保守的な仮定にて評価を行ったものであり、その場合においても十分な余裕があることから、健全性に影響はない。</p>	R02 7/16	渡邊
19	<p>制御棒引き上がりに対する対策としては同じ事象は起こらないということは理解したが、今後も使用する駆動軸の健全性について、明確なデータを示して説明してほしい。</p>	<p>以下の理由により、今後の使用においても健全性に影響はないと判断している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理された環境中におけるステンレス鋼（SUS304）の腐食速度からの類推により、一般的にステンレス鋼は腐食しない</li> <li>・材質・環境が駆動軸内表面と同じ駆動軸外表面においても有意な腐食は見られない</li> <li>・堆積したスラッジ量から、駆動軸の減肉量を保守的に評価しても健全性に影響はない</li> </ul> <p>ただし、今回の事象を経験した事業者として SUS410 のデータを拡充していく必要があると考えており、今後、実験等によりデータを拡充していきたい。</p>	R02 7/16	渡邊
20	<p>数ミリ単位の薄膜状のスラッジがどこの部材から剥落し、また、その量がどれくらいかわからないが、剥落したことにより、部材が損傷するなどして、運転上影響がないか。</p>	<p>薄膜状のスラッジ(マグネタイト)は、駆動軸の構造材そのものが剥離したものではなく、駆動軸内表面で生成し、系統中の鉄イオンにより成長したものが剥離・落下したものと考えており、駆動軸の健全性に影響を与えるものではない。また、駆動軸の外側表面においても有意な腐食等もなく、腐食（酸化）量の評価のとおり、剥離が駆動軸の健全性に影響を与えるものではなく、運転の安全性にも影響はない。</p> <p>今後、実験等によりスラッジの発生メカニズムについて研究していきたい。</p>	R02 7/16	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
21	<p>駆動軸と同様の環境下である原子炉容器上蓋の CRDM 圧力ハウジングからも多くのスラッジが発生している可能性があり、同部材の健全性について確認が必要ではないか。</p>	<p>CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋内面には、ステンレス鋼を使用しており、ステンレス鋼は表面に不働態被膜ができるため、1次冷却系統の様に管理された状況下では健全性に影響を与えるような腐食（酸化）は発生しない。また、強磁性であるスラッジ（マグネタイト）が系統内の設備に悪影響を及ぼす可能性については、系統内で磁性材料を使用している設備に対する影響はなく、プラントの安全に悪影響を及ぼす可能性は低い。（7/16 資料1 別添1）</p> <p>また、CRDM 圧力ハウジングを含む原子炉容器上蓋については、定期検査において内面に異常は認められていないものの、応力腐食割れ（SCC）への予防保全対策として、前回定期検査において SCC 対策を施した上蓋に取り替えている。</p>	R02 7/16	中村
22	<p>事象が発生したメカニズムとして、あり得るメカニズムが列挙され、それぞれのメカニズムに対して、どれくらい起こりそうか、起こった場合にどう再発防止をしていくかという視点で検証され、もう一度同じような事象が起らないように再発防止策を取っていると理解しており、論理的にしっかりしていると思われる。本日の議論は、今後、特定されていないメカニズムを追求する努力をしてほしいという趣旨と理解している。</p>	—	R02 7/16	森
23	<p>制御棒駆動軸については、制御棒を入れるという意味では安全上非常に重要であるが、今回の引き上げることについては、少なくとも事故を起こさないとの意味では、それほど重要ではないと思われる。今回の事象は、非常に稀な事象であり、マグネタイトによる制御棒、弁、ポンプ等の安全上重要な機器への影響については検討しており、特に制御棒については仮に1本挿入できない場合でも停止機能は維持できるように設計されていることなどを考えれば、PWRの安全性向上のために一般的な意味で継続的に検討するというレベルだと認識している。</p>	—	R02 7/16	村松

### 3. 伊方発電所第3号機 燃料集合体点検時の落下信号の発信について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	この点検は過去の伊方3号機の燃料リークの経験から実施している点検であるが、これを保守管理でやるのは無理があるのではないのか。過去に策定した、対策では、当該燃料を原因が分かるまでは使用しないのではなかったのか。	当時の対策としては、漏えいした燃料は使用しないこととし、漏えいした燃料と同一時期に製造された同設計のA型55燃料(2体)は念のため使用を見合わせることにした。なお、当該燃料(2体)については既に除却済みである。 また、漏えい対策を行った新設計の燃料を平成23年に採用済みである。 また、原子力安全・保安院の指示に基づき、漏えいが発生した燃料と同設計のA型55燃料を使用する場合には、当該燃料の漏えい原因に係る知見を踏まえ、燃料集合体の最下部支持格子について、燃料棒の支持部(支持板、ばね板)と燃料棒の間に隙間等がないことを確認することとしている。 (6月4日 資料1-3 P12,13)	R02 2/18	渡邊
2	照射済燃料に関しては、脆くなっていることもあり得る。重量物である燃料集合体がラック上に少し乗ってしまったことで、燃料集合体に変な荷重が加わり、たわみや見えない傷がないのかなども総合的に検査してほしい。	当該燃料集合体は照射済みであるが、照射済燃料に対する荷重評価結果を未照射条件で健全性が確認された荷重と比較することは、より厳しい取扱いとなる。 また、当該燃料集合体を対象に、点検装置ラックへの乗り上げ前後の燃料集合体の曲がり量を確認したが、点検装置ラックへの乗り上げ前後で、当該燃料集合体の曲がり量に有意な変化はなかった。 (6月4日 資料1-3 P7)	R02 2/18	中村
3	ファイバースコープでの確認は、燃焼度の高い燃料集合体の下部の各4面について行うのか。また、今定検で5体確認することであるが、その5体に決めた理由は何か。	ファイバースコープによる点検対象の燃料は、燃料被覆管の摩耗の進展に影響を及ぼす可能性のある「燃焼度」、「装荷回数」及び「装荷位置」を考慮して選定している。具体的には、再使用予定燃料のうち2サイクル以上装荷された燃料から、装荷回数が同じ、かつ、炉内の装荷位置が対称であった燃料を1グループとし、それぞれのグループから最も燃焼が進んだ燃料を点検対象として選定している。点検作業は燃料集合体の最下部支持格子の4面すべてにファイバースコープを挿入し、燃料棒の支持部(支持板、ばね板)と燃料棒の間に隙間等がないことを確認する作業である。 今回の点検では、再使用を予定しているA型55燃料64体のうち、2サイクル以上装荷された62体を確認対象としており、このうち、前サイクル(第15サイクル)で装荷していた燃料集合体30体(5グループ)を対象に、各グループから最も燃料の進んだ5体を選定している。 (6月4日 資料1-3 P2,13)	R02 2/18	渡邊

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	<p>改善策がいくつかあるが、燃料の移動操作についても技術的な改善がなく極めて原始的であると思った。技術的な改善もぜひ取り組んでいただきたい。</p>	<p>通常の使用済燃料ラックでの燃料取扱作業は、3号機の運転開始以降十分な実績があり、これまで燃料集合体を使用済燃料ラックに乗り上げる事象は発生していないが、本点検作業は、使用済燃料ピットの限られたエリアに設置した点検装置を用いて行う難度の高い作業であり、点検体数（今回は5体）や、残りの点検回数（過去に漏えいが発生したタイプの燃料の使用が終了するまであと3～4回程度）などを考えると、通常の燃料取扱作業と比べて限定的な作業である。</p> <p>本事象に対して、技術的に高度化する対策としては、使用済燃料ピットクレーンの位置決めを自動化することなどが考えられるが、仮にクレーンをラックの直上に自動で位置決めしたとしても、燃料集合体のラックへの挿入箇所はクレーンより約1.1m下方であるため、燃料集合体をそのままラックに挿入した場合、クレーンに吊り下げられた工具や燃料集合体の僅かな揺れや振動等により、接触したり乗上げたりする可能性があることから、目視で挿入状況を確認する必要があると考える。また、燃料集合体下部がラック位置と僅かにずれている場合は、手動によるセンタリングの修正等が必要となる。</p> <p>このため、燃料集合体のラック乗上げ防止の観点からは、点検装置ラック開口寸法を拡大する等により、十分に再発防止が可能であり、最も有効な対策であると考えている。</p>	R02 3/24	占部
5	<p>使用済燃料プールにある燃料集合体の落下信号が発信された場合には、その場にいる作業員はどういった対応を取ることになっているのか。</p>	<p>燃料集合体の落下信号が発信した場合は、落下した燃料から発生するおそれがある放射性ガスをチャコールフィルターにて吸着するため、使用済燃料ピットの空調系がアニュラスの排気系統に切り替わる。今回は実際には燃料集合体が落下したわけではないが、実際に燃料集合体が落下し、放射性ガスの発生を目視した場合は、作業員は被ばく防止の観点から退避することになる。</p>	R02 6/4	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
6	ラック乗り上げ時に燃料被覆管に発生した応力は約3MPaとしているが、1,000kgを超える物が乗り上げた時の応力にしては、小さい気がするが、どうか。	今回の事象では、燃料集合体の荷重がある程度クレーンに残った状態で、鉛直にラックに乗り上げたことから、264本の燃料被覆管に概ね均等に荷重がかかったと考えており、その条件で評価すると約3MPaとなる。ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用した可能性も否定できないが、均等な荷重を想定した場合の発生応力(約3MPa)は未照射時材料の耐力約600MPaに対しては十分に小さいことからある程度の不均等な荷重が作用したとしても燃料被覆管の健全性に問題はない。	R02 6/4	渡邊
7	原子力安全委員会が定めた「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」においては、水素化物再配向による機械的特性劣化防止の条件として、PWRの場合では100MPaという値が示されているが、今回の評価にあたり、発生応力を未照射時の耐力(約600MPa)と比較するのは適切ではないのではないか。仮に、この100MPaと比較した場合、保管中の燃料被覆管応力にラック乗り上げ時に発生したと想定する応力を加えた約63MPaでは、あまり余裕がない。ラック乗り上げ時に発生した応力について、燃料棒264本に均一に力が加わったとして評価しているが、本当に均一に力が加わっているのか。例えば有限要素法を使用して、精密に評価してはどうか。	ラック乗り上げ時にある程度の不均等な荷重が作用したことは否定できないが、仮にラック乗り上げ時にある極端に不均等な荷重が作用すると想定(264本の燃料棒のうち最外周2面の33本の燃料棒ですべての発生荷重を分担すると仮定)した場合でも、燃料被覆管に発生する応力は約20MPaであり、この応力が使用済燃料ピットで保管中の燃料被覆管に作用したとしても、燃料被覆管応力(未照射時で約600MPa)に対して十分小さい。 有限要素法による評価については、精緻なモデルの構築方法や条件設定の妥当性など曖昧さのほうが大きいとされており、また上記のとおり、ラック乗り上げ時の荷重による発生応力も十分小さいことから、工学的判断により現状の評価手法は適切と判断する。 (7月16日 資料1 別添3) なお、ご指摘の100MPaの値は、周方向応力が生じた状態の燃料被覆管が高温から冷却される際に水素化物再配向が生じることにより、燃料被覆管の機械的特性が低下しない条件としてのしきい値であり、耐力等の機械的強度の制限値とは意味合いが異なるものと認識している。今回ラックに乗り上げた燃料は炉心から取り出した直後の燃料で、燃焼度も35,000MWd/t程度であり、今回の評価にあたり発生した応力を未照射時材料の耐力と比較することに問題はないと判断する。	R02 6/4	渡邊
8	高燃焼度燃料の燃焼末期では、耐震評価結果などがぎりぎりの状況となっている。高燃焼度燃料というのはそのような状況下で使用しているということを理解したうえで安全に使用してもらいたい。	高燃焼度燃料は従来燃料に比べて負荷が高い状態で使用していることは認識している。高燃焼度燃料導入当初には、その安全性等について原子力安全・保安院の審査において了承されたものであるが、今後も高燃焼度燃料に関する情報を入手し、不具合等に係る情報に対して必要な対策を行うなど、継続的な安全性向上に適切に対応していきたい。	R02 7/16	渡邊



番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
9	<p>今回ラックに乗り上げた燃料は、過去に伊方 3 号機をはじめ複数のプラントで漏えいが発生した燃料と同設計の燃料であるが、漏えいに対してこれまでどのような対策を取ってきたのか。また、今後同設計の燃料は使わないという選択肢もある中で、なぜ現在も使用し続けているのか、事業者の考えを説明すること。</p>	<p>過去に漏えいが発生した燃料については、原子力安全・保安院における検討会において原因究明が行われた結果、燃料棒の水力振動により支持格子位置で燃料被覆管が摩耗するグリッドフレッティングにより漏えいが生じたものと分かった。これに対し、当社としては、漏えい対策を行った新設計の燃料を既に導入しており、漏えいした燃料と同設計の燃料についても、漏えい原因究明を通じて得られた知見を踏まえ、原子力安全・保安院の指示に基づくファイバースコープ点検の実施、炉心内の燃料配置等を工夫するなどの対応を行うことにより、漏えい発生のリスクを十分低減させることが可能である。</p> <p>漏えいが発生した燃料と同設計の燃料の今後の使用については、上述のとおり適切な対応を行うことにより漏えい発生リスクを十分低減させることが可能であることに加え、これらの燃料を使わないとした場合、相当数の使用済燃料が発生することとなり、廃棄物を徒に増やすことにもつながることから、これらの燃料については、上述の対策を行いながら、慎重に使用していく。</p>	R02 7/16	渡邊

#### 4. 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	<p>断路器の故障は推定原因であるが詳細な調査はしているのか。</p>	<p>所内電源一時的喪失事象については、要因分析図を作成し、当該断路器について分解や分析等を行い、詳細な原因調査を実施している。(6月4日 資料1-4 P9～P15)</p> <p>推定原因については、実証試験(非接触状態の確認、放電試験)等によって、メカニズムの妥当性を確認したうえで推定したものである。(6月4日 資料1-4 P16～P18)</p> <p>また、計画的に開放点検を実施している中で、内部に粉が確認された南幹2号線乙母線断路器についても、同様の詳細な原因調査を行い、同様のメカニズムによって発生したものと推定している。(6月4日 資料1-4 P27～P29, 参考-9)</p>	R02 3/24	中村
2	<p>原因は推定であるが小さなトラブルが続くときは大きな事故の前触れとなり得る。電源喪失の問題、断路器の回転部分の緩み等はめったにないことであり、どれくらいの確率で起こるのか。技術的な背景をもっと説明してほしい。</p>	<p>当該断路器は、ガス絶縁開閉装置であり、一般的に気中断路器とは異なり、導電部、絶縁部、接触部等は、すべてガスを封入したユニット内に密閉され、外部雰囲気の影響を遮断しているために長期間劣化せず、耐環境性に優れていることから信頼性の高い装置となっている。今回の事象は、嵌合部(セレーション構造)の僅かな隙間が起因となって発生したものである。なお、今回と同様のメカニズムによる故障については、当該断路器メーカーにおいても過去に例はなかった。(6月4日 資料1-4 P10)</p> <p>なお、過去の研究における一つの指標として、GIS(ガス絶縁開閉器)の事故確率としては、<math>0.202 \times 10^{-3}</math> 件/(台・年)という数値がある。</p>	R02 3/24	占部
3	<p>断路器の故障が原因というが、このような不具合がないことを確認するのが試験だと思う。故障があっても、一時的にする電源喪失しないような試験を考えていただきたい。細かな点検に人が対応するのは100%は無理である。点検の開発や体制作りが大事。特に断路器の故障で電源がなくなったのは改善していただきたい。</p>	<p>電源は重要であることから、多重化・多様化している。</p> <p>今回の事象も、すべての電源がなくなったものではなく、3号機においては外部電源として500kV送電線2回線、亀浦変電所からの配電線、また、非常用ディーゼル発電機や空冷式非常用発電装置など多種多様な電源が待機状態であったとともに、設計どおりに約10秒で非常用ディーゼル発電機から受電されている。</p> <p>しかし、一時的とは言え1, 2, 3号機すべての外部電源が喪失したことに鑑み、今後、試験を再開する際は1, 2, 3号機が同時に停電しないよう模擬負荷装置を使用することとしている。(6月4日 資料1-4 P3, 4, 24, 26)</p>	R02 3/24	藤川

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
4	同一構造の断路器において、既にいくつか放電したものを確認したとのことだが、この構造をもった断路器については、同様の故障が一般的に生じ得るとい認識なのか。	<p>メーカー等の使用実態からは、短絡まで起こった事例はなかったと聞いているが、同一構造の断路器においては、嵌合部で隙間が生じて、今回のような放電が起り得るとい前提に立って、部分放電の検知に関して常時計測することで対応したい。</p> <p>なお、メーカーと協議しながら、恒常的な対策についても検討していく。</p>	R02 6/4	中村
5	調査結果の運転履歴の確認事項において、「メーカー動作確認回数である10,000回を十分に下回り(約350回)」とあるが、メーカーが実施している動作確認とはどのような試験なのか。	<p>メーカーでは、断路器の機械的強度を確かめるため、JEC(電気規格調査会標準規格)に基づき、電圧をかけない状態で開閉動作を10,000回行う耐久試験を実施し、開閉に伴う機械的な損耗がないことを確認している。</p> <p>今回は、約350回程度しか開閉動作をしていない断路器で発生した事象であり、開閉に伴う機械的損耗ではなく、嵌合部の隙間で生じた放電が原因で短絡したものと推定している。</p>	R02 6/4	中村

5. 伊方発電所 連続発生したトラブルの総括評価について

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	<p>保全や保守の管理の状況が今どうなっているか、それが最近低下したことはないか、そして、今後に向けてどう改善していくかというか、定量的なものをどうやっていくか、というようなことを説明していただきたい。</p>	<p>今回のトラブルの連続発生を機に、伊方発電所の保守管理プロセスを調査したところ、①点検計画の策定、②保全の実施、③保全の有効性評価、④保守管理の有効性評価といったプロセスが定められたとおりに実施されており、各トラブルの発生原因が保守管理プロセスに起因するものではないことも確認できたことから、同プロセスは有効に機能していると確認できた。</p> <p>今後も、保守管理プロセスを適切に運用することにより、保守管理の継続的な改善を図っていく。</p> <p>(6月4日 資料 1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松
2	<p>トラブルを未然に防ぐための努力、保守管理における不適合の未然防止の活動としては、通常は何がなされていて、疎かになったということはないかということ、実際に起こったトラブルの中で確認をしたい。併せて、それに関連する教訓、今後の改善というものがあれば教えていただきたい。</p>	<p>伊方発電所では、「①点検計画の策定→②保全の実施→③保全の有効性評価→④保守管理の有効性評価→①」といったPDCAサイクルを回すことにより、保守管理を実施している。</p> <p>今回の4事象については、下記のとおり、いずれも発生原因は保守管理プロセスに起因するものではないことを確認している。</p> <p>○事象Ⅰ（運転上の制限の逸脱）・事象Ⅱ（制御棒引き上がり）・事象Ⅲ（落下信号発信）は、設備故障が発生した事象ではなく、保守管理プロセスに起因するものではない。</p> <p>○事象Ⅳ（所内電源一時的喪失）は、過去に経験のない故障によるものであり、保守管理プロセス自体に不備があった訳ではない。</p> <p>なお、事象Ⅳについては、過去に経験のない故障によるものであり、本事象を想定した保全項目は設定していなかったが、これまで運用してきた保守管理プロセスに沿った是正処置を検討し、当該機器の監視強化等を行うこととした。</p> <p>(6月4日 資料 1-5 P30)</p>	R02 2/18	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
3	<p>原子力安全を考えると、安全文化の醸成は大事。日本のような文化で外国ではできることが定着できるのか。具体的な施策はあるのか。</p>	<p>従来から伊方発電所では、安全文化醸成活動の目標として、WANO文書を参考に「健全な安全文化の特性」を定めており、その特性の一つに「継続的な学習」も含まれている。</p> <p>また、R2年3月31日に新規制定した「原子力発電所 安全文化育成および維持活動要領」において、目標、計画、実施、評価の手順を定めている。</p> <p>この活動の有効性については、年度業務計画の実施状況評価、意識調査（アンケート）及びCAP（改善措置活動）による傾向監視の評価や、JANSIやWANOによる外部評価を総合的に評価し、評価結果を次年度の活動へ反映して継続的に改善を進めていくこととしており、これらの取り組みは、海外の考え方も合致している。</p> <p>（6月4日 資料1-5 P32,33）</p>	R02 3/24	森
4	<p>安全文化の醸成については日本と外国とではやり方が全然違う。日本は管理をするという発想だが、外国は無条件でスタッフを尊重したうえで、スタッフが十分に勉強していなければ、勉強を促すということを繰り返して、全体のレベルを上げていくやり方。これは「OECD/NEA（経済協力開発機構／原子力機関）※」で実施している。日本と外国とでは風土が異なるので、日本は日本の文化として、どうやっていくかというのを経験を積み重ねながらやって行ってほしい。</p> <p>※ 安全かつ環境的にも受け入れられる経済的なエネルギー資源としての原子力エネルギーの発展に貢献することを目的として、原子力政策・技術に関する情報・意見交換、行政上・規制上の問題点の検討、各国法の調査及び経済的側面の研究等を行っているOECDの専門機関。</p>	<p>一方、OECD/NEAにおいては、「国の文化は安全文化を醸成し強化するために考慮すべき要素の1つ」との考え方が示されている。当社としては、今後とも、海外の良いところを取入れつつ、日本のやり方で安全文化醸成を進めていくのが良いと考えており、新規制定した上記要領に基づく活動に加え、双方向のコミュニケーション形式による幹部と発電所員等の意見交換を継続して実施していくことで、安全文化醸成を進めていく。</p> <p>（6月4日 資料1-5 P20～23、35）</p>	R02 3/24	中村

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
5	<p>事象が重なったことについて、トラブルの未然防止のためのチェックがどうなっているのか等の要望を原子力安全専門部会でしており、今回の報告書を読んで、前向きに答えていただいていると感じた。</p> <p>新しいチームでチェックすることについては、前向きであり評価できる。作業要領書の充実とレビューの新チームの設置は、特に画期的であり、今までは規制側の対応だけであったが、これに対して、この機会により良くするという発想で一步踏み出した。今後、このチームがどれくらいの実効性を持ってやれるかが重要。また、どう運営していくかにかかっている。部会でもその予定について、伺ってきたい。</p>	<p>作業計画段階において、作業要領書や作業実施時期の妥当性に対するレビューを実施するとともに、継続的な改善を行うため、新チーム(プロセス管理チーム)を本年4月1日に設置し、活動を開始している。</p> <p>今後、本チームにおいてレビュー機能の有効性を検証し、組織に係る保安規定の変更認可を得て恒常的な組織を設置することとしている。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P34,40)</p>	R02 3/24	村松
6	<p>作業要領書の充実などがあるが、作業員が個人で勉強するのか、グループで勉強するのか手順の確認のやりかたも踏まえて、新チームでレビューしていくのが良いのではないかと。</p>	<p>作業関係者は、事前に、グループで作業要領書の内容を確認して、作業当日も再度確認を実施している。</p> <p>本年4月1日に設置した新チームは、工事施工会社から提出、作業担当課が確認した作業要領書について、リスクの低減や品質保証の観点からレビューを実施し、必要に応じ作業担当課と協議したうえで作業要領書の見直しが実施される。この流れを継続することにより、作業担当課と新チームの間で十分なコミュニケーションが図られ、関係者の「問いかける姿勢」に対する理解が更に深まっていくものと考えている。</p> <p>また、今後とも、見直し後の作業要領書を用いて作業関係者による読み合わせを行うことで、より確実な作業を実施していく。</p> <p>(6月4日 資料1-5 P40)</p>	R02 3/24	中村
7	<p>もう少し密に点検を行っていれば、連続して4つのトラブルは起きなかったと思われる。停止時に点検を一斉に行うとトラブル等が重なる確率が高くなると思われるため、発電所の運転中でも可能な点検については、こまめに実施してほしい。</p>	<p>伊方発電所では、信頼性保全分析により故障時のプラントへの影響度合い・故障発生の可能性等を踏まえて保全重要度を決定するなどし、設備ごとに保全方式や点検計画を定めて、保守管理を実施している。(6月4日 資料1-5 P29)</p> <p>設備によっては、停止時にしか点検できないものもあれば、必ずしもそうではないものもある。停止時にしか点検できない設備についても、運転中に状態監視を行うなど、トラブルを未然に防ぐための取り組みを行っている。</p>	R02 6/4	高橋

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
8	<p>6月4日 資料1-6のNo.10の回答「事象Ⅰ～Ⅲは設備の故障ではないので保守管理プロセスに起因するものではない」について解釈を確認したい。</p> <p>保全に関する活動は、ハードウェアの信頼性を確保する活動（保守管理プロセス）と作業管理の信頼性を確保する活動（トラブルが発生しないように作業計画すること）があり、保守管理プロセスに劣化はなかったと認識しているが、作業管理の信頼性を確保する行動にも劣化はなかったとの認識で良いか。</p>	<p>6月4日 資料1-5での整理としては、保守管理プロセスは委員のご理解どおりハードウェアの信頼性を確保する活動であり、一方、作業管理の信頼性を確保する活動については、保守管理プロセスとは別と整理し、その妥当性を定期検査プロセスの調査で確認している。</p> <p>調査の結果、保守管理プロセスは適切に運用されており、事象Ⅰ～Ⅲともハードウェアの故障ではなく、事象Ⅳは過去に経験のない故障であったことから、共通原因として保守管理プロセスの劣化があったわけではない。</p> <p>一方、定期検査プロセスについては、適切に実施されてきており同プロセスに劣化があったわけではないが、事象Ⅰ、Ⅲ、Ⅳの発生を踏まえて、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するとともに、継続的な改善を図るなどの改善策を実施することとした。</p>	R02 6/4	村松
9	<p>定量的リスク評価には、事前のリスク評価、起こった事象の重要度評価及び定量的なトレンド分析という3つの重要な役割があるが、それぞれどのような取組みを進めているのか。</p>	<p>事前のリスク評価については、従来からの取組みとして、定期検査を行う際には、作業計画段階において、停止時リスクの定量的評価を確認して周知するとともに、自主的な安全性向上のほか、規制庁において新たに定められた安全性向上評価届出制度の中で確率論的リスク評価等を実施しており、教育・訓練等への反映を進めている。</p> <p>さらに、本年4月に設置した新チームでは、作業実施時期の妥当性について、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認するといったレビューを行うこととしている。</p> <p>事象の重要度評価については、新検査制度に基づく原子力規制検査においても評価されることになっているが、事業者としてもこうした評価を実施したいと考えており、そのために確率論的リスク評価モデルの高度化等に取り組んでいる。</p> <p>定量的なトレンド分析については、規制で用いられる安全実績指標の他にも自主的に採取しているデータがあり、ハード、ソフトの観点から分析できるようにしている。</p>	R02 6/4	村松

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
10	再発防止策として新設する、作業計画等を独立した立場からレビューする新チームにおいては、リスク評価の活用は、非常に相性がよく、その業務に役立つと思うので、研鑽を重ね、また会社としても配慮してほしい。	新チームでは、原子力安全リスクに係るレビューも実施することとしており、安全上重要な機器の作業が原子力安全リスク上問題のない時期に計画されていることを確認することとしている。 (6月4日 資料1-5 P40) 新チームは、本年4月1日に活動を開始したばかりであるが、レビュー業務について試行を重ねつつ、チームとしての技量を上げていく。	R02 6/4	村松
11	新チームが行う作業要領書などのレビュー活動と、例えばCAPなどの新検査制度における取り組みは、両者の状況を見ながら、協力した形で進めるのが合理的と感じるがどうか。	新チームの活動は、トラブルを少なくするという観点では、新検査制度における取り組みと関係している。四国電力としては、リスク情報の活用とCAP制度の活用等パフォーマンススペースの取り組みによって、新検査制度を円滑に導入していきたい。	R02 6/4	中村
12	日本の文化に即した方法として、双方向のコミュニケーションにより、安全文化の醸成を図っていくこととしているが、安全管理とは峻別したかたちで進めることができると理解しているか。	安全文化は、いろいろな活動のベースとなるものと考えている。その中で、社長と原子力本部長が発電所員や関係会社等と行ったひざ詰めでの意見交換等の双方向コミュニケーションについては、相手が本音を言ってくれるであろう取組みであるため、安全管理とは異なり、自発的な活動を推進できるものと考えている。	R02 6/4	中村
13	安全文化については、日本と海外とでは考え方や捉え方にかなり違うところはあるが、ぜひ、海外における取組みも参考にしながら、トラブルの未然防止に努めてほしい。	4年に一度実施されているWANOのピアレビューでは、海外の発電所に勤務するピア(仲間)からレビューを受けている。また、JANSIからは定期的に海外の良好事例についての紹介を受けている。これらの取り組みを有効活用することにより、トラブルの未然防止に努めていく。	R02 6/4	中村
14	ひざを突き合わせて話し合うことは日本的でいいとは思いますが、それが「言いやすいこと」を担保していることには必ずしもならない。現状の取組みに修正を求めるものではないが、社員が自律的に問題点を見出し、議論できる素地を作ることが大事だと思われるため、その点、今後、より考えていただきたい。	社員が自律的に問題点を見出すためにも、「問いかける姿勢」醸成の取り組みを実施している。 また、「言いやすい」環境を醸成するためにも、引き続き関係者間で緊密なコミュニケーションを実施することや、他社ベンチマークにより良好事例を積極的に取り入れるといった職場環境の改善活動を継続していく。 (6月4日 資料1-5 P36)	R02 6/4	森



## 6. 全般

番号	委員コメント	四国電力回答	日付	コメント 委員
1	委員も、発電所の細かな設備がすべてわかるものではない。例えば、電源の構成とか、燃料の移動など動画等があれば理解が進むと思う。	各トラブルの6月4日 資料 1-1～1-4 に現場の状況が分かる写真を追加した。	R02 3/24	中村

愛媛県知事 中 村 時 広 様

伊方原子力発電所環境安全管理委員会  
会 長 神 野 一 仁

伊方原子力発電所環境安全管理委員会の審議結果について（報告）

このことについて、伊方原子力発電所環境安全管理委員会を開催し、下記のとおり委員会の意見を取りまとめましたので、報告します。

記

- 1 令和元年度伊方原子力発電所周辺環境放射線等調査結果について  
空間放射線の測定結果は、伊方発電所からの放出と考えられる線量率の変化は認められない。  
また、環境試料等の核種分析結果については、一部の環境試料から、セシウム-137等が検出されたが、微量であり、人体への影響上問題となるような濃度は認められていない。
- 2 令和元年度伊方原子力発電所温排水影響調査結果について  
過去の調査結果と比較して同じ程度であり、特に問題となるものは認められない。
- 3 伊方発電所の通報連絡事象について  
(伊方発電所で連続発生したトラブルに関する報告書について)  
個々のトラブルについては、推定原因の如何にかかわらず、確実に再発を防止できる対策を講じることとしており、トラブルが連続した背景については、組織面や技術面など様々な視点から調査・検証を行った上で、安全文化の醸成に向けた総括的な再発防止策を積極的に講じることとしており適当と判断する。  
また、再発防止策の確実かつ継続的な実施及び更なる伊方発電所の安全性向上につながる取組みとして取りまとめた、5項目の要望事項について、県から四国電力に要請することを求める。

〔 添付：伊方発電所 3 号機第 15 回定期検査中に連続発生したトラブルに  
関する報告書 〕

四国電力株式会社  
取締役社長 長井 啓介 様

愛媛県知事 中村 時広

## 伊方発電所で連続して発生したトラブルへの対応について

本年1月に伊方発電所で連続して発生したトラブルに関して、貴社から、3月17日に原因を調査して再発防止策を取りまとめた報告書の提出がありました。今後、この再発防止策を確実に実施するとともに、下記事項についても追加して取り組むことを強く要請します。

また、定期検査の再開に当たっては、安全確保に、より一層努めるとともに、引き続き、「えひめ方式」による通報連絡体制を徹底するよう重ねて要請します。

### 記

#### 1 更なる安全性向上に向けた詳細調査の実施について

「事象2 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」については、他のプラントも含め過去に事例のない事象であることから、不完全結合の防止に留まることなく、PWR(加圧水型原子炉)の安全性向上という大局的かつ長期的な視点に立って、根本原因であるスラッジ(マグネタイト)の発生メカニズム、挙動等について継続的に調査・研究し、その結果を学会や専門誌等で発表するとともに、発生量の低減に向けて取り組むこと。

#### 2 恒常的な対策による安全性の確保について

「事象4 伊方発電所における所内電源の一時的喪失」については、断路器の構造上、ごく稀に嵌合部に隙間が生じるために放電が発生したことが原因と推定されており、短絡の兆候が見られている同型断路器も確認されていることから、再発防止策である部分放電診断と内部異物診断による状態監視の徹底と並行して、メーカーとも協議しながら、改造や新設備導入等による恒常的な対策による更なる安全性確保に取り組むこと。

#### 3 安全文化の醸成について

安全文化の醸成は、一朝一夕に確立できるものではなく、継続的な取り組みが必要不可欠であるため、形式的な方法に陥ることなく、海外の取り組みも含め広く情報収集を行うとともに、双方向のコミュニケーションの重要性を意識して、効果的な取組方法を不断に見直すこと。

また、社員教育においては、教育する側も含めて参加者全員が様々な角度から議論できる体制を整備し、「問いかける姿勢」の定着のみならず、「問いかける能力」についても向上に向けて継続的に取り組むとともに、取組状況を積極的に発信すること。

#### 4 新チームの研鑽について

作業要領書や作業計画の妥当性等を独立した立場からレビューする新チームの設置は、非常に前向きで画期的な取組みであるが、この新チームが十分機能し、トラブルの未然防止が図られるか否かは、今後の運用・活用方法次第であるため、新チームの活動自体にもCAP制度やリスク評価を活用するなど研鑽を重ね、伊方発電所の安全性向上を担う中核組織として育てること。

#### 5 技術力の維持・向上について

3号機一基体制となったことによる現場作業経験の減少やベテラン社員・作業員の定年退職等を踏まえ、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ため、教育訓練の充実・強化に努めるだけでなく、他電力やメーカーなど海外を含めた外部組織からの情報収集を積極的に行うことにより、技術力の維持・向上に努めること。また、教育訓練については、これまでの内容に加え、外的事象やテロを含めたシビアアクシデントの防止や発生時の対応等の広範な知識の習得が強く求められているため、優先度も考慮しながら、合理的な訓練プログラムとしていくこと。

その上で、安全上重要な作業については、四国電力社員が主体となって実施するとともに、社員一人ひとりが、電力事業者としての責任を持って取り組むこと。

#### 6 県民の信頼回復について

社長自らリーダーシップを強く発揮し、再発防止策及び上記追加要請事項の徹底による安全確保を図っていくとともに、その旨を県民に丁寧に説明すること。また、関係会社も含めた社員全員の安全意識の向上に不退転の覚悟で継続的に取り組み、県民の信頼回復に努めること。

#### 7 安全性の不断の追求について

これまででも、国の求める安全基準は最低条件という認識で、その基準を上回るアディショナルな対策を要請してきたが、今回の連続トラブルを真摯に受け止め、また、この機会を捉え、再度、「安全対策に終わりはない」との強い信念の下、最新の知見等に基づく安全性を不断に追求し、自ら積極的に安全対策を講じること。