

# 伊方発電所における所内電源の一時的喪失について

---

(概要版)

令和2年3月17日

四国電力株式会社

# 1. 前回のご説明概要（1 / 2）

## ○事象発生状況

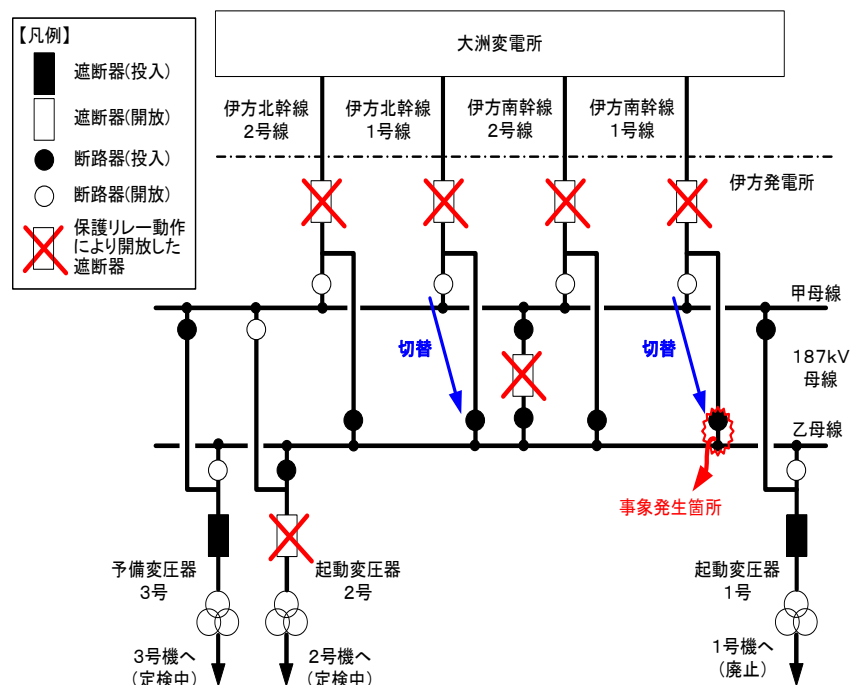
令和2年1月25日15時44分、伊方発電所1、2号機の屋内開閉所において、187kV母線連絡遮断器を動作させる保護継電装置（187kVブスタイ保護リレー）の取替え終了後の方向試験の準備作業で、起動変圧器2号を系統切替えるため甲母線断路器を操作しようとしたところ、187kV母線保護継電装置（187kV母線保護リレー）が動作し、乙母線に接続されている187kV送電線4回線すべての遮断器が開放して受電が停止した。

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、1～3号機ともに外部からの受電は復旧した。

## ○事象発生箇所の特定

事象発生後の現場確認の結果、187kV送電線4回線のうち、伊方南幹線1号線乙母線断路器の一部に設備故障があることを確認した。

このため、当該電路の切り離しを実施し、1月27日17時13分、当該電路を含む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。

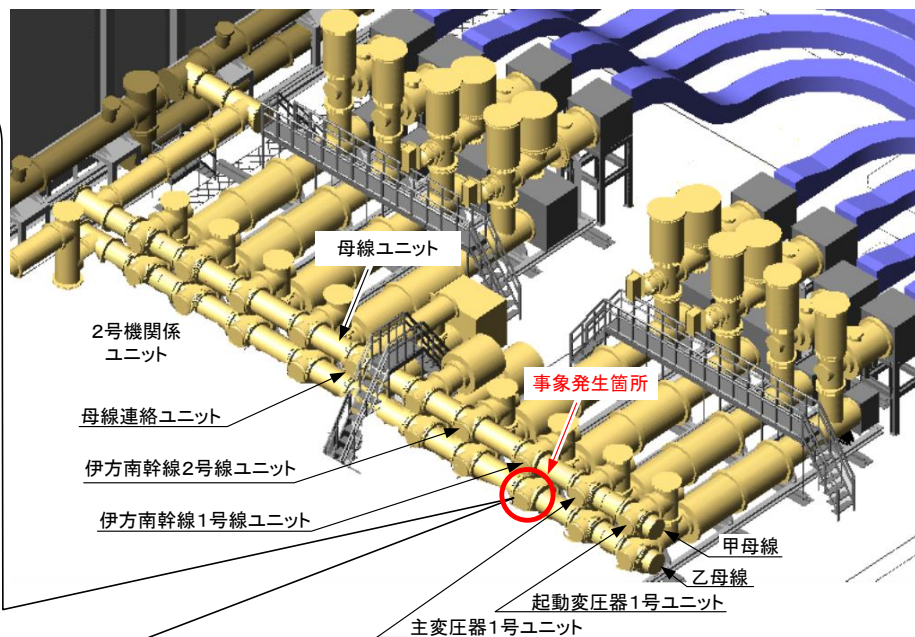
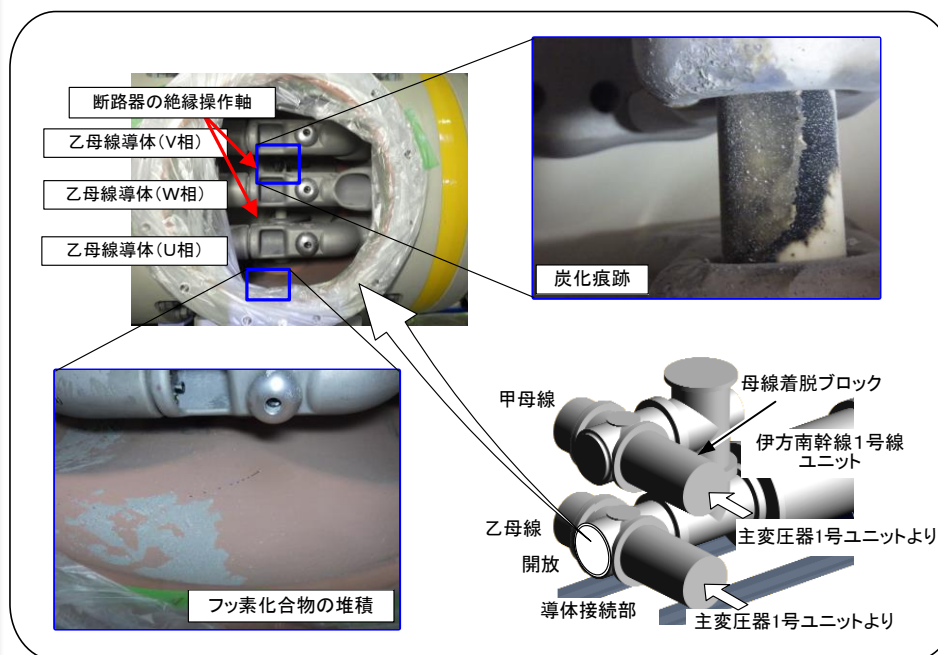


事象発生時の187kV送電系統状況

# 1. 前回のご説明概要 (2 / 2)

○発電用原子炉施設および環境への影響について、問題なかったことを確認し、現地確認調査において、以下の状況を確認した。

- ・ユニット内に分解ガスによるフッ素化合物（白粉）の堆積
- ・V相－W相間絶縁操作軸に黒色の炭化痕跡（相間短絡発生を推定）
- ・V相－W相間絶縁操作軸周辺の導体にも相間短絡による損傷
- ・相間短絡発生部位周辺の絶縁スペーサ、ユニット内、導体に相間短絡時の溶融物の飛散



1、2号機ガス絶縁開閉装置全体概要図

伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニット

## 2. 製造、点検履歴等調査結果（1 / 2）

### ○設計思想および保守方針

当該断路器の導電部、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。

これら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、長期的に劣化が無いことから開放点検、部分放電等の設備診断についてはこれまで実施していない。

### ○調査結果

当該断路器に係る製造履歴、点検履歴および運転履歴（操作実績）について、記録等を確認した。

- ・製造履歴：製造時の試験記録より、JECに基づく試験の判定基準を満足
- ・点検履歴：保全計画に従って、計画通り保守点検を実施しており異常はなかった
- ・運転履歴：メーカー動作確認回数である10,000回を十分に下回り、直前の操作実績も問題のないことを確認

表1 断路器の製造履歴記録

| 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、最低値の条件で開閉できること   | 良                |
| 抵抗測定試験    | U相                   | 30 $\mu\Omega$<br>(設計値+20%以下) | 28.0 $\mu\Omega$ |
|           | V相                   | 28 $\mu\Omega$<br>(設計値+20%以下) | 27.0 $\mu\Omega$ |
|           | W相                   | 26 $\mu\Omega$<br>(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耐えること | 良                             |                  |

表2 点検履歴調査結果

| 実施時期           | 断路器点検実績 | 断路器点検内容   |
|----------------|---------|---|
| 平成31年度<br>(今回) | 今回点検なし  | —   |
| 平成30年度<br>(前回) | 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>・ユニット外操作機構の点検、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

## 2. 製造、点検履歴等調査結果（2 / 2）

- ・ 1月22日「切」→「入」操作実施（事象発生時と同様の操作：「投入」操作）
  - ・ 1月23日「入」→「切」操作実施（事象発生時と逆の操作：「開放」操作）
  - ・ 1月25日15：42「切」→「入」操作実施（事象発生時：「投入」操作）
- 注）1月25日15：44に事象発生（断路器の操作はしていない）**

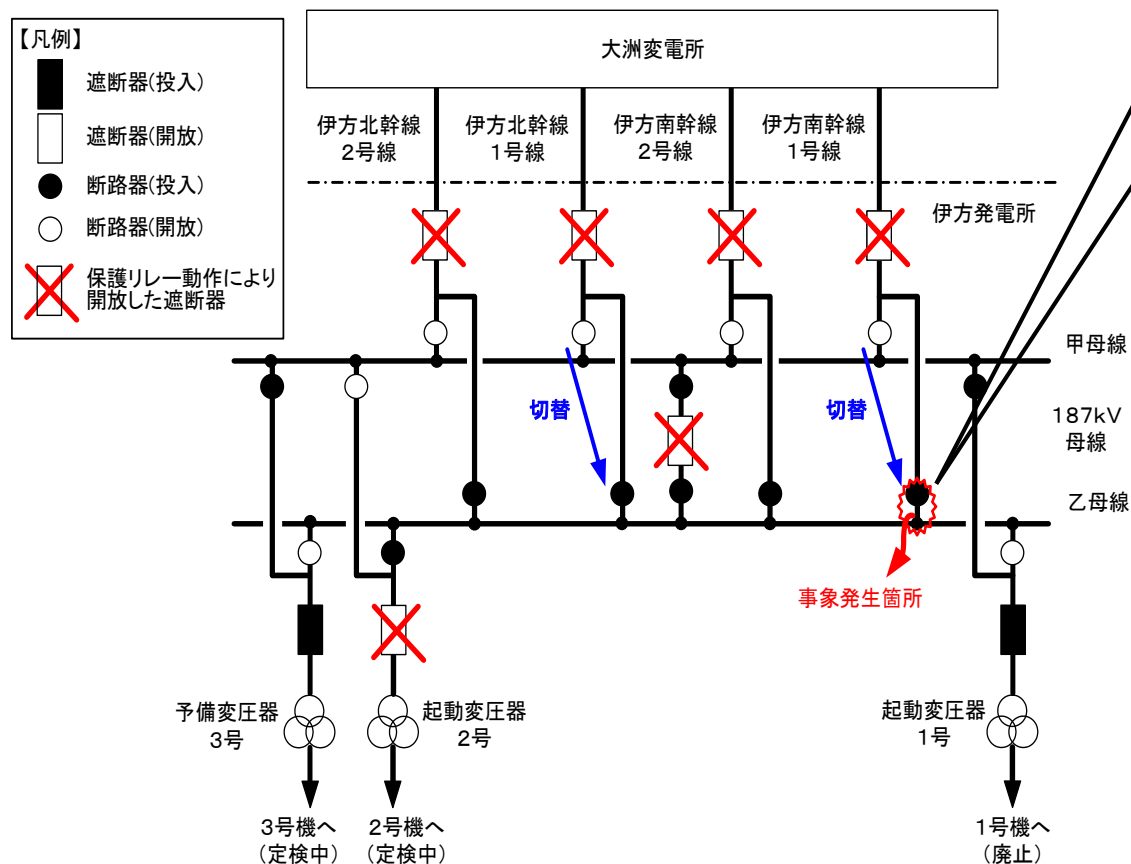


図1 断路器操作実績（事象発生時の系統状態）

### 3. 調査結果（1／7）

○現地および工場での状況調査結果から、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。

#### 【絶縁操作軸相間短絡に係る詳細調査（まとめ）】

- ・ 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、異常がないことを確認した。
- ・ 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」「SF6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、異常がないことを確認した。
- ・ 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、以下の調査結果より、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。

### 3. 調査結果 (2/7)

#### 【絶縁操作軸相間短絡に係る詳細調査「異物の付着①」】

- ・ 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。
- ・ 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。

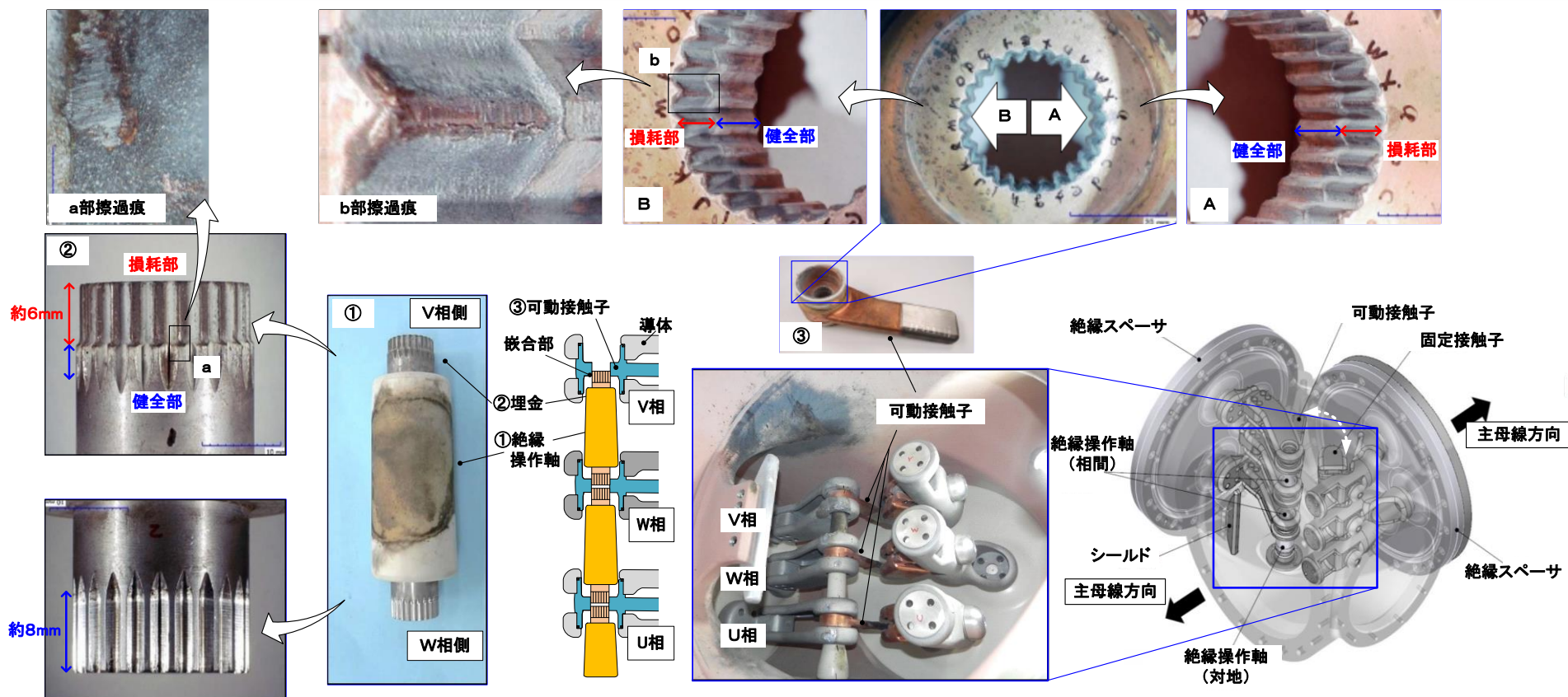


図2 断路器ユニット内部構造および確認結果

### 3. 調査結果（3／7）

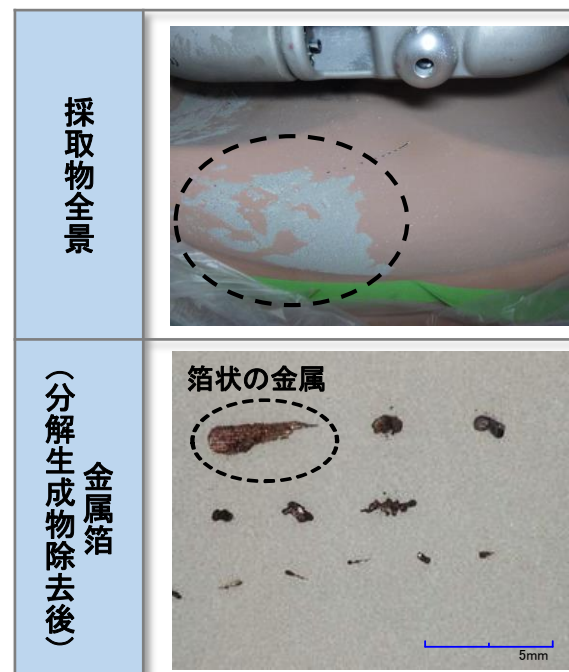
#### 【絶縁操作軸相間短絡に係る詳細調査「異物の付着②」】

- 相間短絡が発生したV相－W相間絶縁操作軸と健全なW相－U相間絶縁操作軸の表面汚損分析をした結果、V相－W相間絶縁操作軸において、絶縁操作軸の上部埋金（アルミ合金）と可動接触子（銅）の金属成分ならびにSF<sub>6</sub>ガスの分解による成分を顕著に検出した。
- 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4mm）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。

表3 表面汚損分析の主な結果

| 試験項目             |                               | 試料   | V相－W相間<br>絶縁操作軸 | W相－U相間<br>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            |
| Cu <sup>2+</sup> | ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) |  | 3.22            | 0.21            |
| Al <sup>3+</sup> | ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) |  | 6.72            | 0.60            |

表4 採取物の拡大観察結果



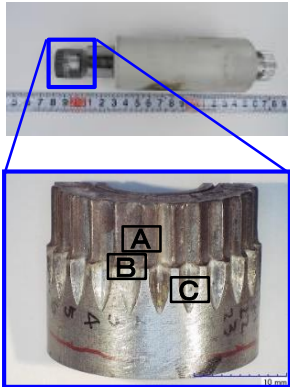
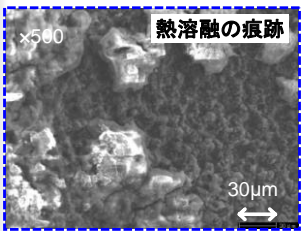
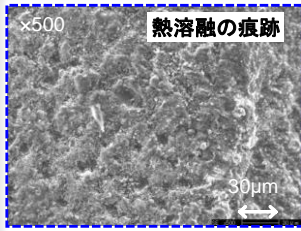
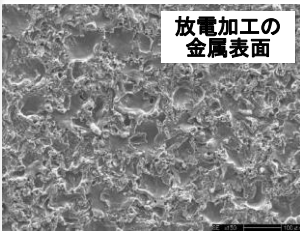


### 3. 調査結果（4／7）

#### 【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（まとめ）】

- ・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。
- ・「機械的な摩耗」および「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確認等から、異常がないことを確認した。一方、表5のとおり、「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。

表5 V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金の表面観察

| V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金  |              | 観察結果  |  |   |
|---|--------------|---|--|---|
| 観察箇所  | 電子顕微鏡(SEM)画像 |   |  |   |
| 上部埋金切断箇所<br>表面観察点<br> | A<br>(損耗部)   |   | C<br>(健全部)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・V相-W相間絶縁操作軸の上部埋金は、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。</li> <li>・電子顕微鏡（SEM）にて上部埋金の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。</li> <li>・V相可動接触子の表面観察結果においても、同様に熱溶融による痕跡を確認したため、嵌合部における「ギャップ放電の発熱」より損耗（溶損）が発生した可能性があることを確認した。</li> </ul> |
|   | B<br>(境界部)   |  | 参考<br> |   |



### 3. 調査結果 (6 / 7)

#### 【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「ギャップ放電の発熱②」】

- ・ 絶縁操作軸と可動接触子間が非接触状態となり、隙間で放電現象が発生する可能性について、当該断路器と同型式の断路器を用いた実動作試験によって検証した。
- ・ 検証の結果、可動接触子の摩擦力が小さい場合に瞬時的な非接触状態が多数回発生し、開放動作終了後において非接触状態が継続する可能性があることを確認した。
- ・ 操作装置による通常開放操作では継続的な非接触状態を確認できなかったが、手動での微調整によって、継続的な非接触状態が再現することを確認した。

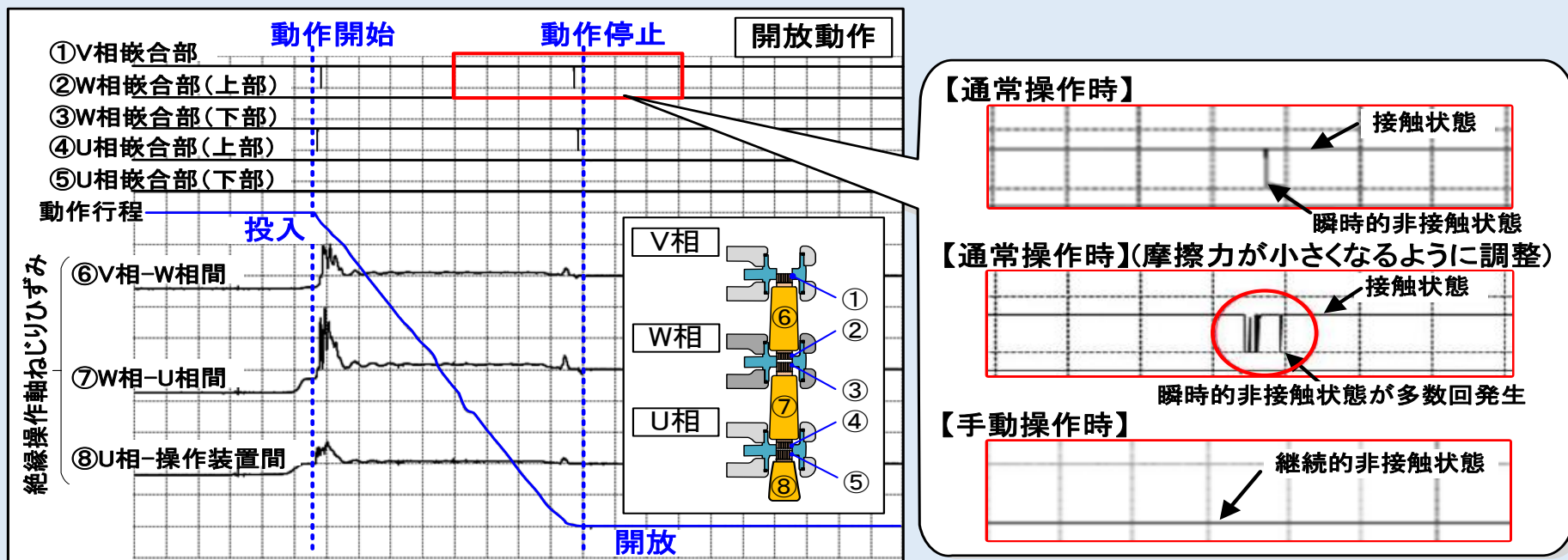


図3 嵌合部の非接触状態の継続確認結果

### 3. 調査結果（7 / 7）

#### 【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「ギャップ放電の発熱③」】

- ・ 当該断路器と同型式の供試体の絶縁操作軸の上部埋金と可動接触子を手動により非接触状態とし、主回路に187kVを印加した結果、部分放電が発生することを確認した。
- ・ 課電した状態で部分放電が継続することを確認し、放電後の嵌合部状態を観察した結果、一部白色化（フッ素化合物の付着）していることを確認した。
- ・ 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、本事象と同等の損耗にかかる時間を算出した結果、200日程度であることを確認した。

#### 部分放電に対する状態監視方法

- ・ 通常状態の断路器表面において部分放電診断することで状態監視可能
- ・ 断路器開放点検時にフッ素化合物の有無を目視確認することで状態監視可能

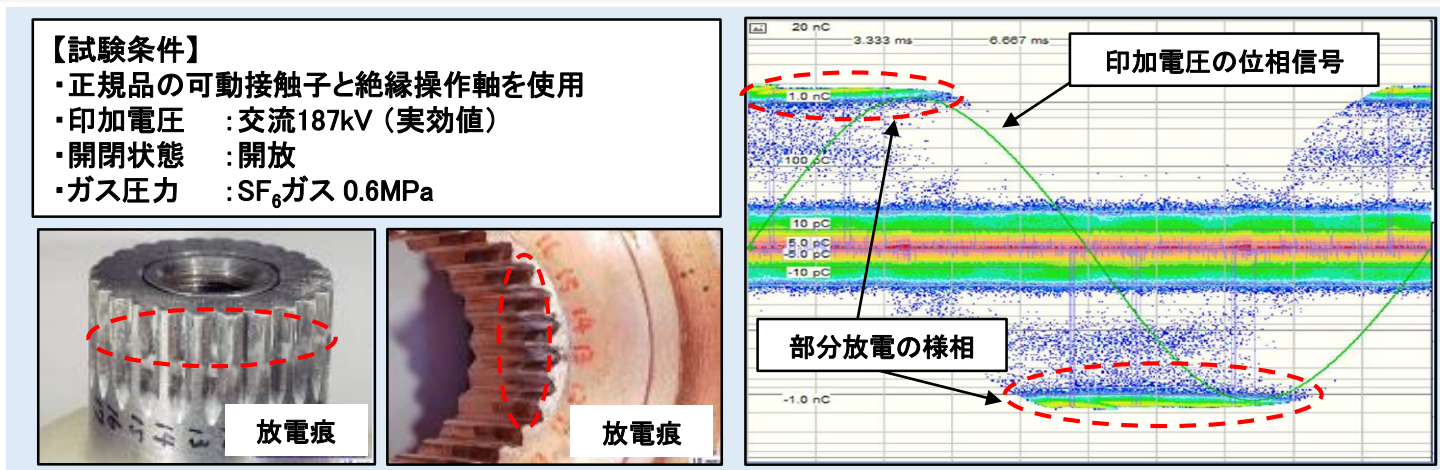








図4 嵌合部の放電有無検証試験結果

## 4. 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、現地にて開放点検を実施し、内部確認した結果、以下のとおり異常はなかった。

- ・ V相可動接触子上部の嵌合部に放電痕跡、損耗はなかった。
- ・ 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（テスターによる導通確認）であることを確認した。
- ・ 導体表面やユニット底部等にフッ素化合物やその他異物の存在はなかった。

表6 断路器内部確認結果

|             | ①主変圧器1号<br>乙母線断路器   | ②起動変圧器1号<br>乙母線断路器  | ③伊方南幹線1号線<br>線路側断路器   |
|-------------|---|---|---|
| V相可動接触子の嵌合部 |    |    |    |
| 断路器ユニット内部   |  |  |  |

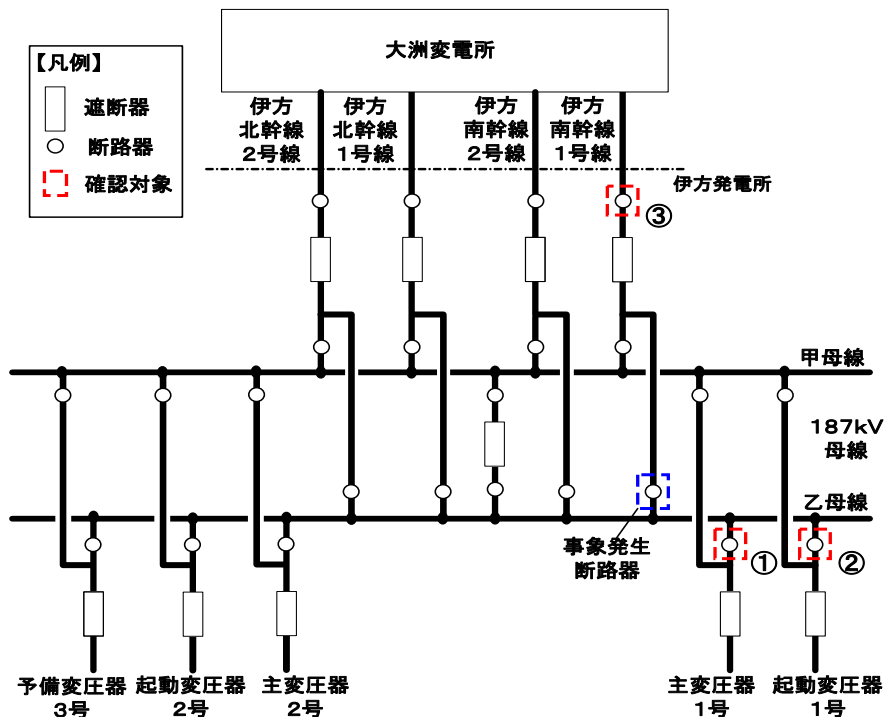


図5 断路器内部確認対象断路器

## 5. 試験用系統構成、手順等の評価（1 / 3）

### ○今回の試験系統構成、手順等の評価結果

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、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。

### 更なるリスク低減に係る検討結果

#### ○3号機所内負荷の切替時期および試験用負荷の使用に係る更なるリスク検討

- ・ 3号機所内負荷の切替時期は、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定性的に有意な差はなく、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。
- ・ 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、1～3号機所内電源が同時に停電することはなかった。
- ・ 1～3号機所内電源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。

## 5. 試験用系統構成、手順等の評価（2 / 3）

表7 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<br>(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             |          | ○<br>試験時のみ                      | △<br>試験時に加え3号機所内負荷を<br>187kV側へ切替える時間を含む |
|           | 方向試験時の機器故障率                     |          | ○<br>方向試験に要する時間は同じ              | ○<br>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              |          | ○<br>最小限の操作回数                   | ○<br>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 | ○<br>保護リレーによる適切な保護対策            | ○<br>保護リレーによる適切な保護対策                    |
|           |                                 | バックアップ電源 | ○<br>外部電源、非常用電源                 | ○<br>外部電源、非常用電源                         |
|           | 187kV乙母線事故<br>(送電線はすべて乙母線接続)    | 1、2号機    | ×<br>187kV母線停止                  | ×<br>187kV母線停止                          |
|           |                                 | 3号機      | ×<br>187kV母線停止                  | ○<br>500kV送電線より受電継続                     |
|           | 187kV送電線2回線事故<br>(送電線はすべて乙母線接続) | 1、2号機    | ○<br>187kV送電線残りの2回線維持           | ○<br>187kV送電線残りの2回線維持                   |
|           |                                 | 3号機      | ○<br>187kV送電線残りの2回線維持           | ○<br>500kV送電線より受電継続                     |
|           | 500kV母線事故<br>または<br>送電線2回線事故    | 1、2号機    | ○<br>187kV送電線より受電継続             | ○<br>187kV送電線より受電継続                     |
|           |                                 | 3号機      | ○<br>187kV送電線より受電継続             | ×<br>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を実施  
 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

## 5. 試験用系統構成、手順等の評価（3 / 3）

### ○今後の対応

- ・ 本事象において、1～3号機所内電源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あたっては、模擬負荷を使用し、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成にて実施する。
- ・ 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。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。



## 6. 推定原因

○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。

|         | 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相間短絡  |
|---------|--|---|--|--|
| 推定メカニズム | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断路器の開放位置において、絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部が非接触となる状態が継続</li> <li>・数カ月間以上、絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部の非接触状態が継続し、放電溶融により損耗し、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相-W相間で短絡が発生</li> </ul> |
| 概要図     |  |   |  |  |
| 観察事実    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・絶縁操作軸の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>・ユニット内から絶縁操作軸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の結果、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>               |

## 7. 対策

○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再発防止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、新品に取り替える。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。
- ・本事象を踏まえて、同一構造および使用状態が同じ断路器13台（うち1台は確認済）について計画的に断路器ユニットの内部開放点検を行い異常がないことを確認する。
- ・当該断路器ならびに同一構造および使用状態が同じ断路器（計14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実施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。

○「5. 試験用系統構成、手順等の評価」を踏まえて、1～3号機の所内負荷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あたっては、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成（模擬負荷使用）にて実施する。

○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。

# 8. 具体的な対策内容（1 / 2）

## ○対策対象範囲

187kVガス絶縁開閉装置のうち、断路器（接地開閉器等を含む）について、当該断路器と同一構造等であるものを対策対象範囲とする。

## ○現状確認

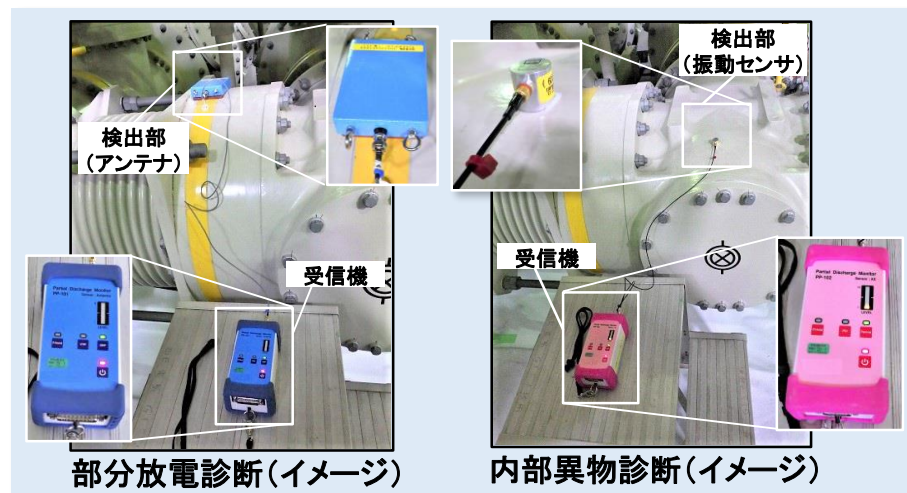
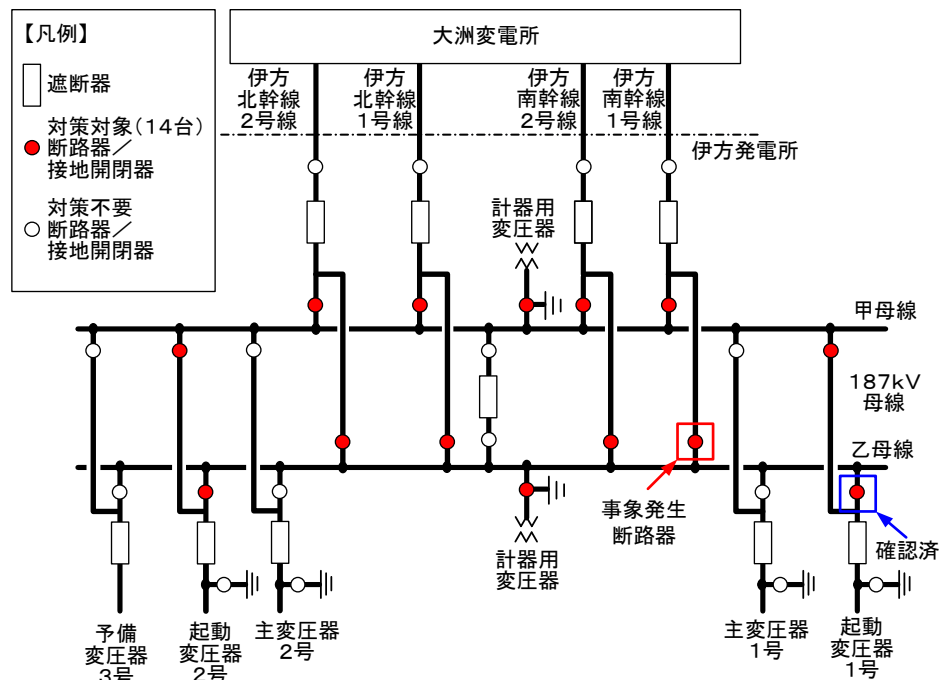
現状に異常がないことを確認するため、内部確認対象の断路器（13台）について、計画的に断路器の内部開放点検を行い、嵌合部の外観およびフッ素化合物の有無を確認する。

## ○状態監視強化

放電の発生有無を監視するため、当該断路器および対策対象断路器（計14台）について、部分放電診断による監視強化を行う。

- ・ 内部開放点検終了まで：1回／週
- ・ 内部開放点検終了後：点検結果により策定

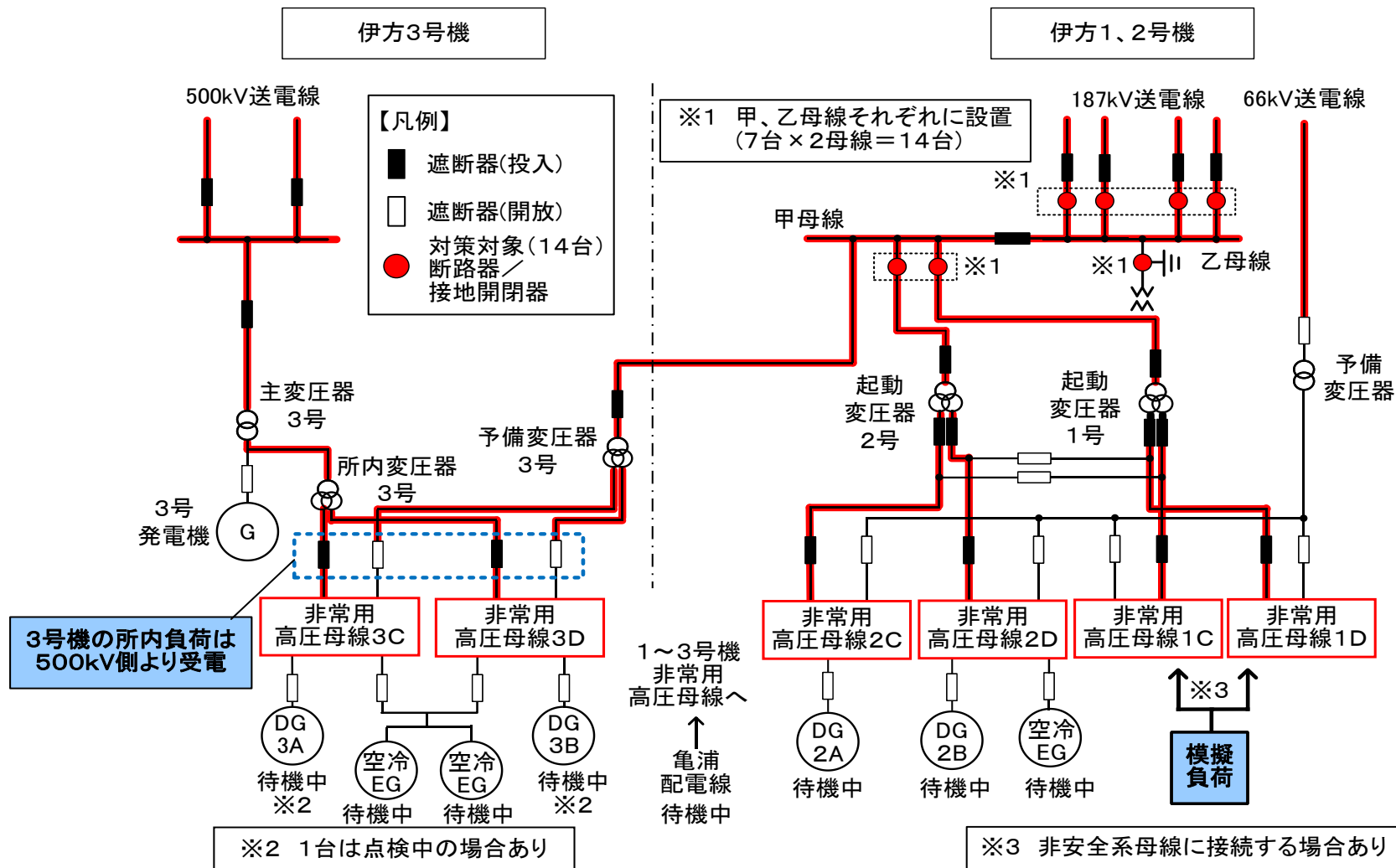
さらに、内部異物診断を行うことによって、嵌合部の損傷に伴い発生する内部異物の有無を確認する。



# 8. 具体的な対策内容 (2 / 2)

## ○ 187kVブスタイ保護リレー試験

今回の187kVブスタイ保護リレーの試験再開にあたっては、模擬負荷を使用し、3号機の所内負荷を接続しない試験系統構成にて実施する。

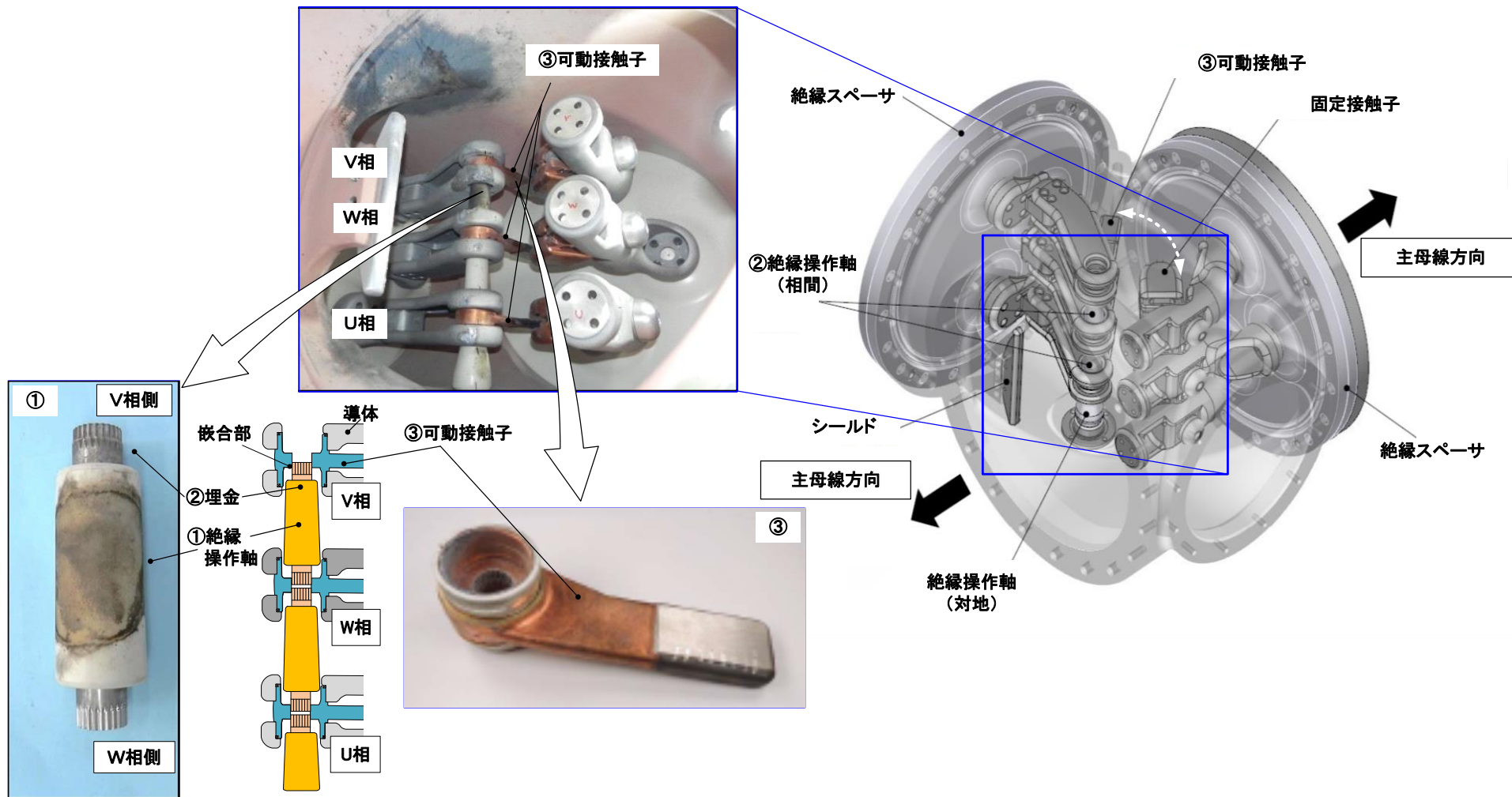


---

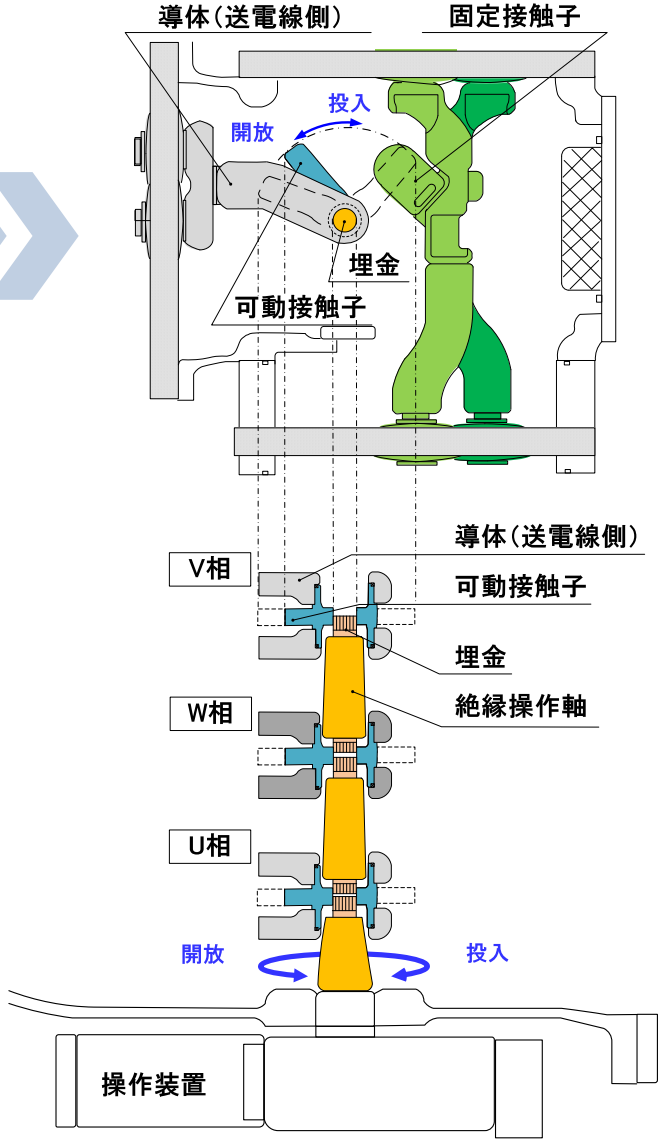
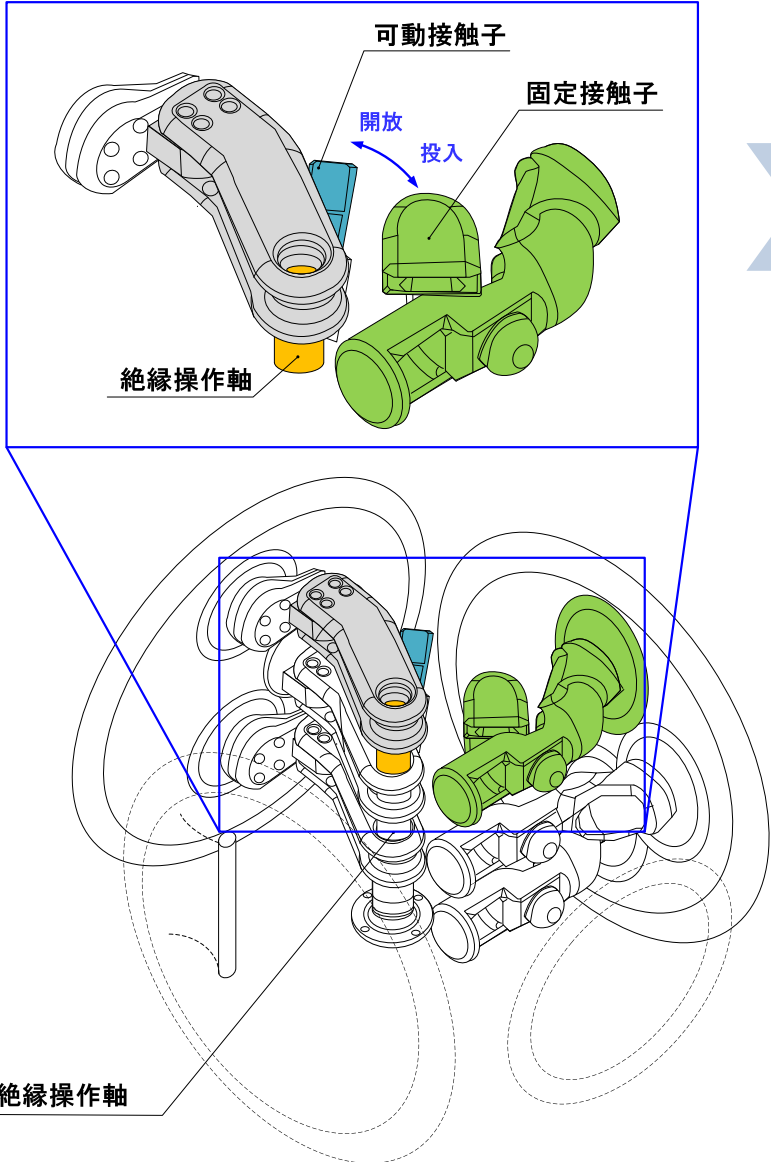
# 参 考 资 料

# 参考 1. 断路器の構造概要

伊方南幹線1号線乙母線断路器内部  
【事象発生断路器】



# 参考2. 断路器の動作概要



### 参考3. 要因分析図 (1 / 2)

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

| 事象            | 要因     | 要因の可能性となる現象          | 調査項目  | 判定                             |   |
|---------------|--------|----------------------|---|--------------------------------|---|
| 絶縁操作軸<br>相間短絡 | 電界異常   | 電界設計不良               | 断路器の電界設計に不備があると、電界異常となり相間短絡が発生              | ・電界／絶縁設計確認<br>・工場試験報告書確認       | × |
|               |        | 製造不良                 | 構成部品に製造上の形状不良があると、電界異常となり相間短絡が発生            | ・寸法測定                          | × |
|               |        | 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、相間短絡が発生 | ・外観確認<br>・寸法測定                 | × |
|               |        | 異常電圧の侵入              | 雷などの過大な異常電圧の侵入があると、相間短絡が発生                  | ・雷撃履歴確認                        | × |
|               | 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、相間短絡が発生  | ・外観確認<br>・表面汚損分析<br>・採取異物の分析   | △ |
|               |        | 絶縁設計不良               | 絶縁操作軸の絶縁設計に不備があると、絶縁が破壊され、相間短絡が発生           | ・電界／絶縁設計確認<br>・工場試験報告書確認       | × |
|               |        | 絶縁材料不良               | 絶縁操作軸に材料不良があると、絶縁性能が低下し、相間短絡が発生             | ・寸法測定<br>・外観確認                 | × |
|               |        | SF <sub>6</sub> ガス異常 | ガス圧力、純度が低下、規定値以上の水分が混入すると、絶縁性能が低下し相間短絡が発生   | ・ガス圧力確認<br>・ガス純度測定<br>・ガス中水分測定 | × |

参考図1 絶縁操作軸の相間短絡に対する要因分析図



### 参考3. 要因分析図 (2 / 2)

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

| 事象                  | 要因     | 要因の可能性となる現象      | 調査項目  | 判定  |   |
|---------------------|--------|------------------|---|---|---|
| 絶縁操作軸の埋金と可動接触子嵌合部損耗 | 機械的な摩耗 | 設計強度不足           | 絶縁操作軸または可動接触子の嵌合部に設計的な強度不足があれば、動作時の荷重により嵌合部が損傷                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>工場試験報告書確認</li> <li>設計強度評価</li> </ul>                                       | × |
|                     |        | 製造不良による強度不足      | 絶縁操作軸または可動接触子の加工・材料不良があれば、動作荷重に対する嵌合部の強度が不足となり損傷                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>製造履歴確認</li> <li>材料分析</li> <li>硬度測定、寸法測定</li> </ul>                         | × |
|                     |        | 組立不良による強度不足      | 絶縁操作軸と可動接触子の部品間違い、取付方向間違い、取付位置不良があれば、動作時の荷重の増大、嵌合部の強度不足となり損傷      | <ul style="list-style-type: none"> <li>製造履歴確認</li> <li>外観確認</li> </ul>  | × |
|                     |        | 操作装置(電動機)からの過大応力 | 電動機から通常の上作荷重を超える異常上作荷重が印加されると、嵌合部が損傷                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>製造履歴確認</li> <li>開閉上作状況確認</li> <li>操作装置特性確認</li> </ul>                      | × |
|                     | 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                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>外観確認</li> <li>表面観察</li> <li>製造履歴確認</li> </ul>                              | × |
|                     |        | ギャップ放電による発熱      | 絶縁操作軸埋金と可動接触子の嵌合部が、非接触状態となり、その状態が継続すると絶縁操作軸の埋金と可動接触子の嵌合部で放電が発生し溶損 | <ul style="list-style-type: none"> <li>外観確認、表面観察</li> <li>非接触状態の継続確認</li> <li>嵌合部の放電確認</li> <li>溶融時間計算</li> </ul> | △ |

参考図2 絶縁操作軸の埋金と可動接触子嵌合部損耗に対する要因分析図