

伊方発電所 187 kV送電線の遮断について

2 0 2 0 年 2 月
四 国 電 力 株 式 会 社

1. 件 名

伊方発電所 187 k V送電線の遮断について

2. 事象発生の日時

2020年1月25日 15時44分（187 k V母線保護継電装置動作）

3. 事象発生の設備

187 k V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 2018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、187 k V母線連絡遮断器を動作させる保護継電装置（ブスタイリレー）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、187 k V母線保護継電器（以下、「187 k V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187 k V送電線4回線全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66 k V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、500 k V送電線からの受電に切替えた。これにより、1、2、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、187 k V送電線4回線のうち、1回線から受電する電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、187 k V送電線からの所内電源を確保した。これにより、本事象発生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母線連絡保護リレー（ブスタイリレー）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を確認した結果、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修担当部署の関連作業について確認した結果、電源系統の状況、作業内容および手順について問題は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を確保しており、外部電源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) 自動オシロ装置測定結果

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が認められた。それ以外の箇所について異常は認められなかった。

187kVガス絶縁開閉装置内のガス圧を確認したところ、異常は認められなかった。

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、異常は認められなかった。

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、部分放電測定およびセンサーによる内部異物の確認診断を実施したところ、異常は認められなかった。

（添付資料－9）

(4) 内部調査結果

ガス分析の結果、地絡の発生が推定される伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットのガス絶縁開閉装置の開放を行い、内部調査した結果、タンク内に分解ガスによるフッ化物（白粉）が堆積しており、断路器のV相－W相間の絶縁操作軸に黒色の炭化痕跡が見られたことから、当該箇所での相間短絡発生の痕跡を確認した。また、V相可動接触子について、W、U相との位置の不整合を確認した。

（添付資料－10）

1.1. 原因調査

今後、要因分析図を作成し、メーカー工場にて詳細調査を実施する。

1.2. 対策

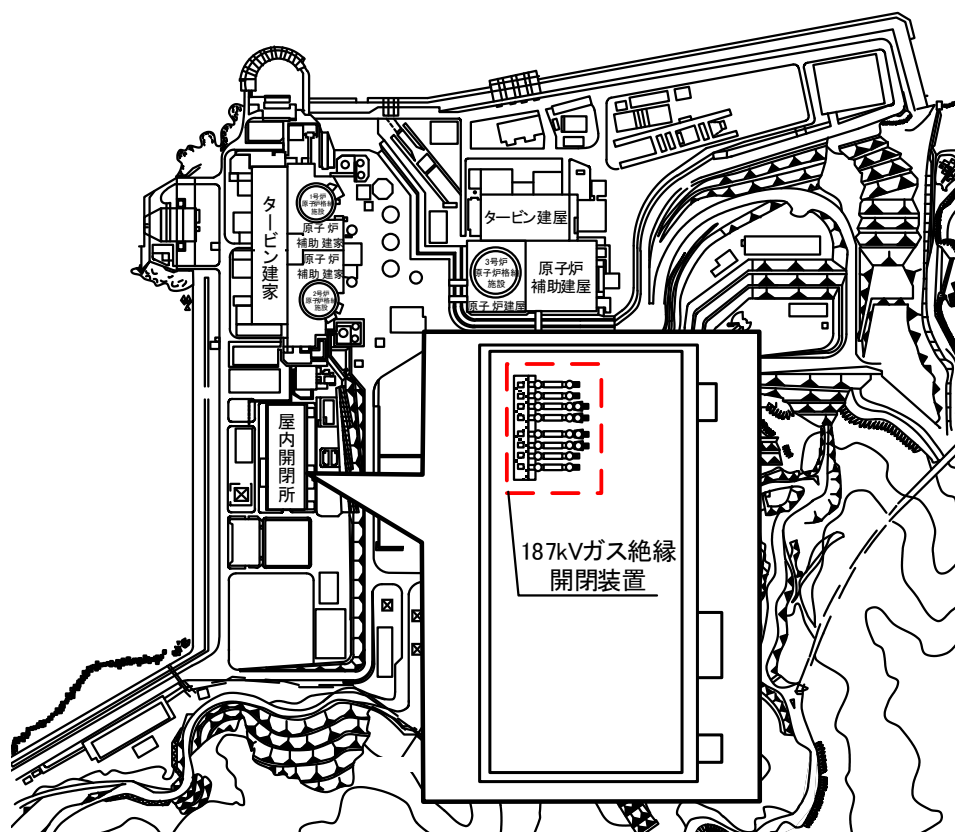
原因調査を踏まえ、対策を講ずる。

以 上

添 付 資 料

添付資料－ 1	事象発生場所
添付資料－ 2	事象発生の設備
添付資料－ 3	事象概要
添付資料－ 4	発電用原子炉施設への影響
添付資料－ 5	電源系統の状況
添付資料－ 6	作業内容および手順
添付資料－ 7	自動オシロ装置測定結果
添付資料－ 8	ガス分析等の調査結果
添付資料－ 9	健全性確認結果
添付資料－ 1 0	内部調査結果
添付資料－ 1 1	類似事例調査結果

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

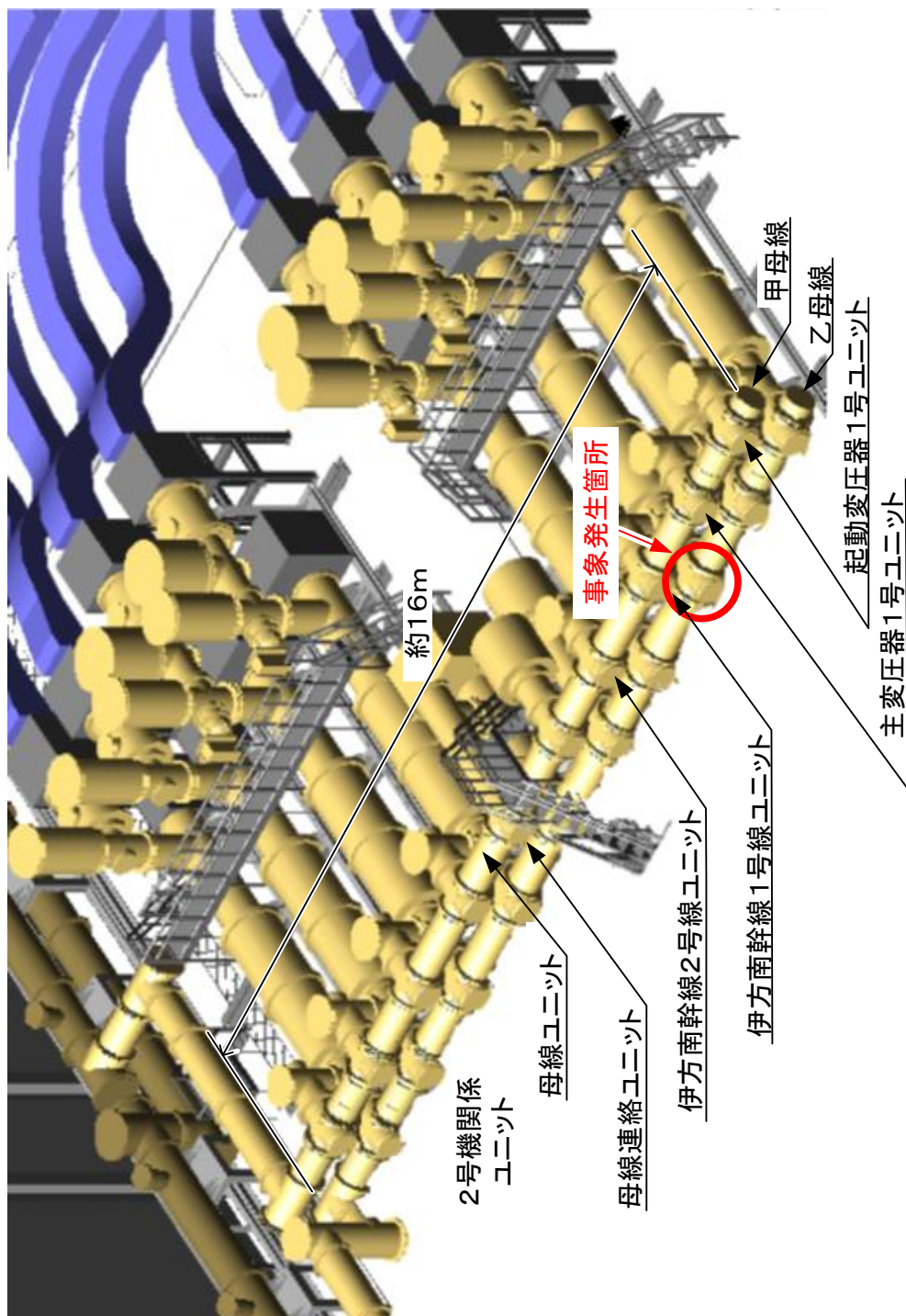


図1 187 kVガス絶縁開閉装置全体概要図

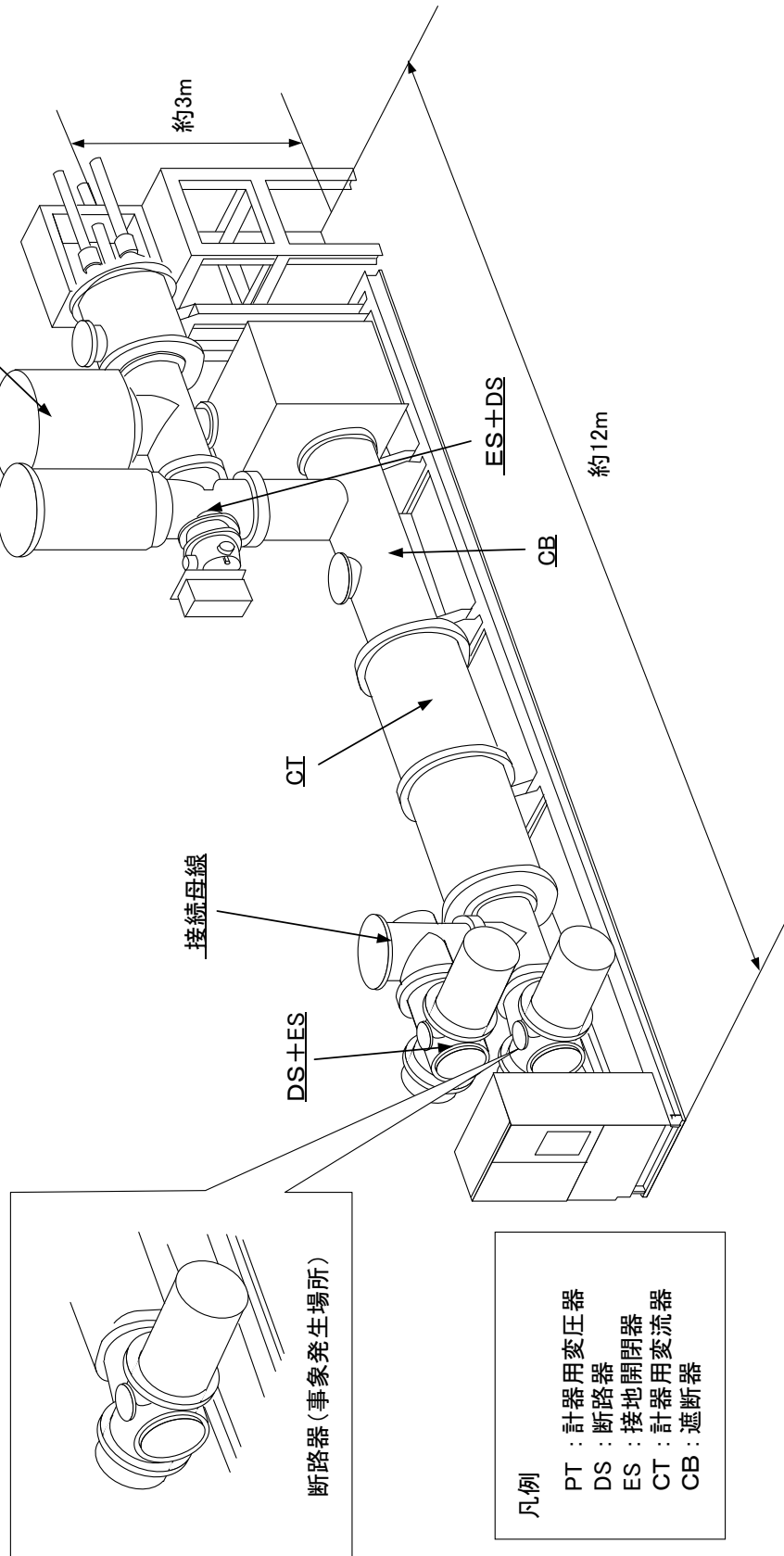
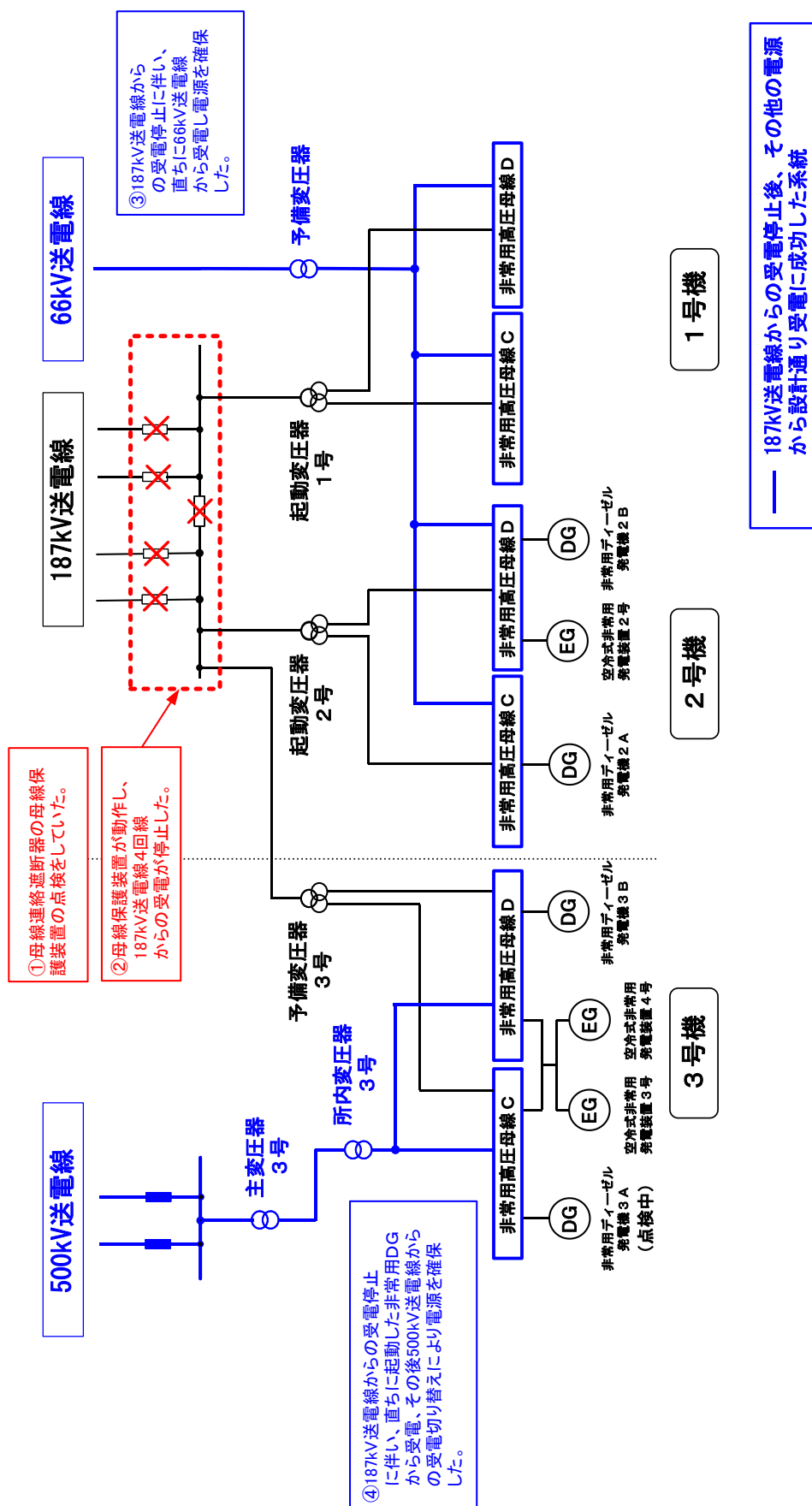


図 2 ガス絶縁開閉装置概要図 (送電線ユニット)

事象概要



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号機、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

a. １，２号機

事象発生前、外部電源は、表１のとおり１８７ｋＶ送電線４回線および６６ｋＶ送電線１回線が動作可能であり、非常用電源として、非常用ディーゼル発電機２Ａ，２Ｂおよび空冷式非常用発電装置２号が動作可能であった。また、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）からの受電に切り替わった。また、２号機の非常用ディーゼル発電機も設計どおり１０秒以内に自動起動した。

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	・１８７ｋＶ送電線（４回線） ・６６ｋＶ送電線（１回線）	—
２号機	乙母線			・非常用ディーゼル発電機２Ａ，２Ｂ ・空冷式非常用発電装置２号

b. ３号機

事象発生前、外部電源は、表２のとおり５００ｋＶ送電線２回線および１８７ｋＶ送電線４回線が動作可能であり、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号が動作可能であった。また、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秒以内にディーゼル発電機３Ｂが自動起動し、非常用高圧母線３Ｄはディーゼル発電機３Ｂから受電した。また、非常用高圧母線３Ｃは、ディーゼル発電機

3 A点検中のため500 kV送電線から受電した。その後、非常用高圧母線3 Dをディーゼル発電機3 Bから500 kV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 ^{注1} または 予備変圧器 ^{注2}	予備変圧器 ^{注2}	・500 kV送電線（2回線） ・187 kV送電線（4回線）	・非常用ディーゼル発電機3 B^{注3} ・空冷式非常用発電装置3号、4号

注1：500 kV送電線より受電

注2：187 kV送電線より受電

注3：ディーゼル発電機3 Aは点検中

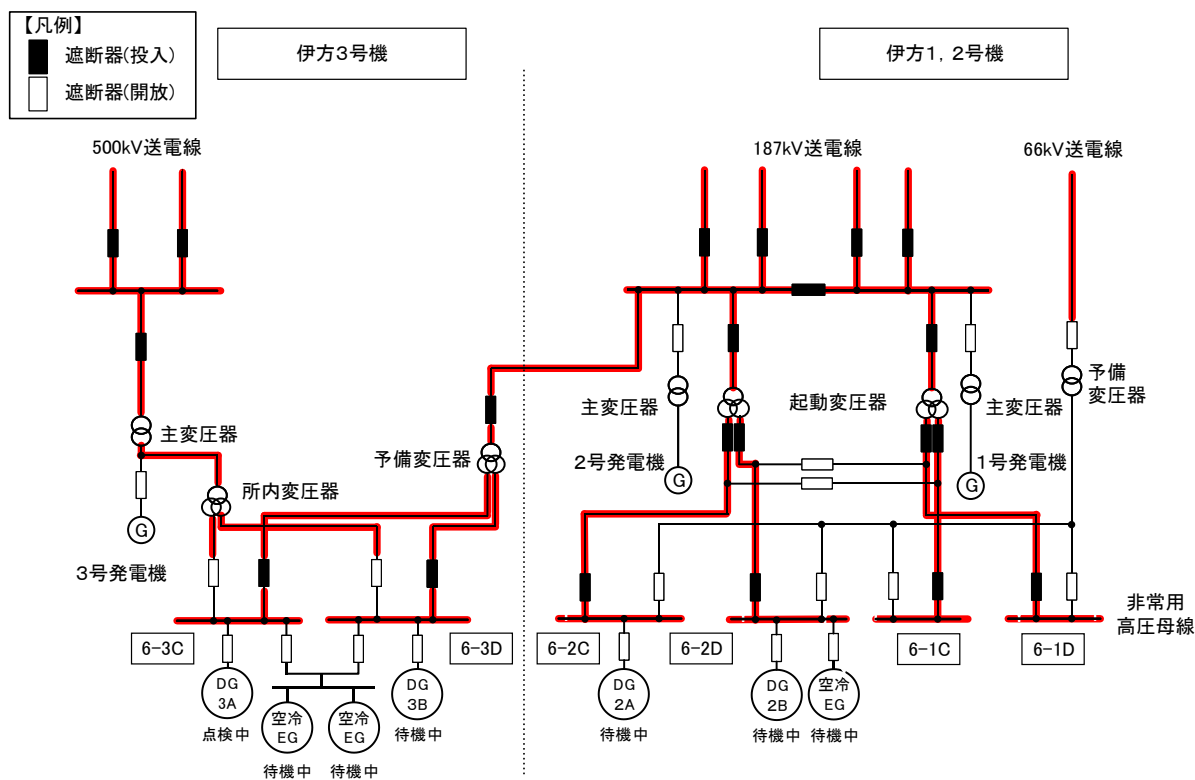


図1 伊方発電所の所内電源系統図（事象発生前）

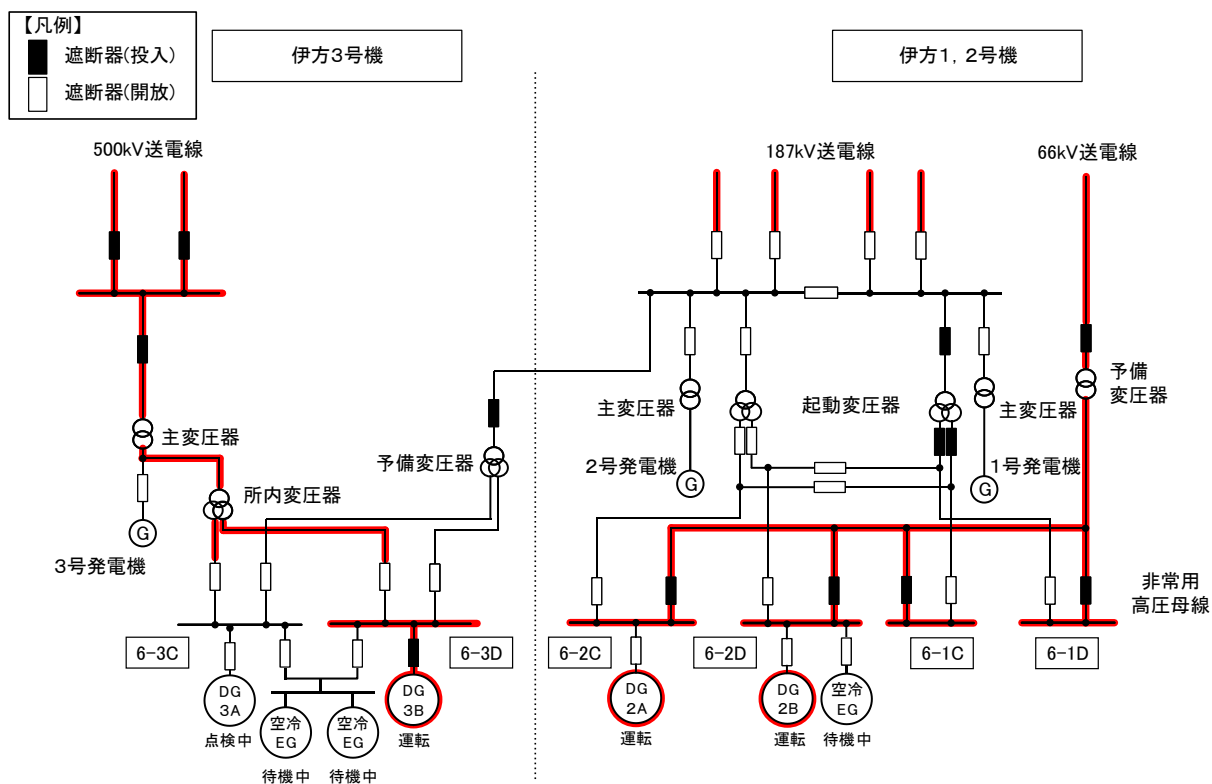


図2 伊方発電所の所内電源系統図（事象発生後）

(2) 燃料冷却状況について

a. 燃料冷却再開までの主な時系列

2020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自動起動し、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運転し、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運転し、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。

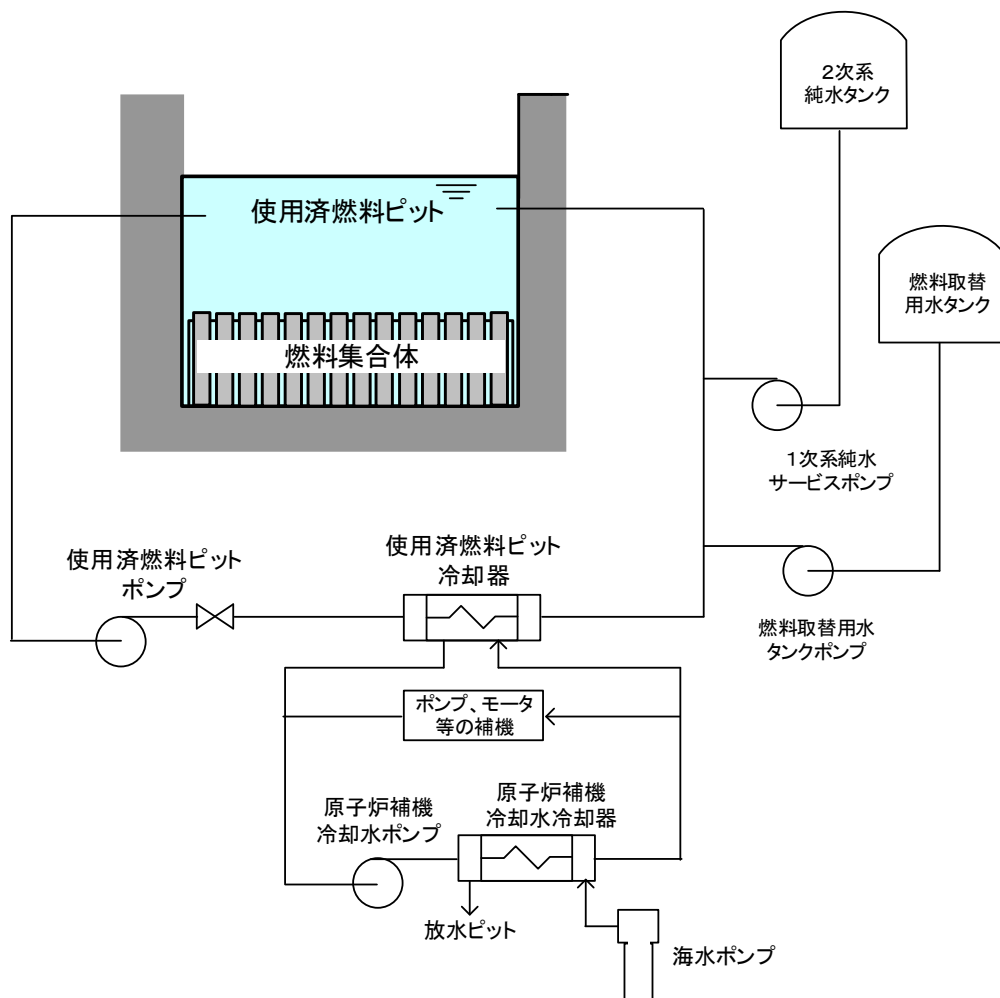


図 3 使用済燃料ピット水浄化冷却系等

b. 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

号機 燃料種別		1 号機	2 号機	3 号機	
				Aピット	Bピット
ウラン燃料 (照射済)		—	3 1 6	8 4 8	6 3 5
MOX 燃料	照射済	—	—	1 6	—
	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SFP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	3号機	
		2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

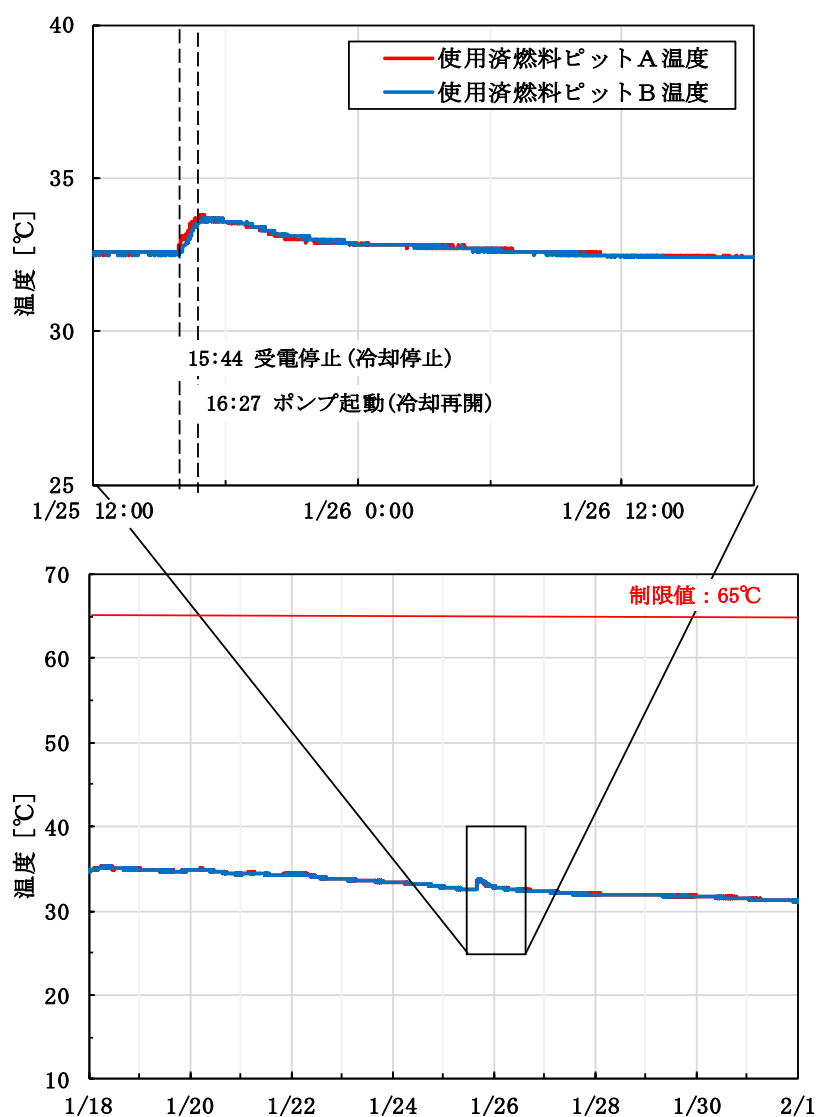


図4 3号機使用済燃料ピット温度

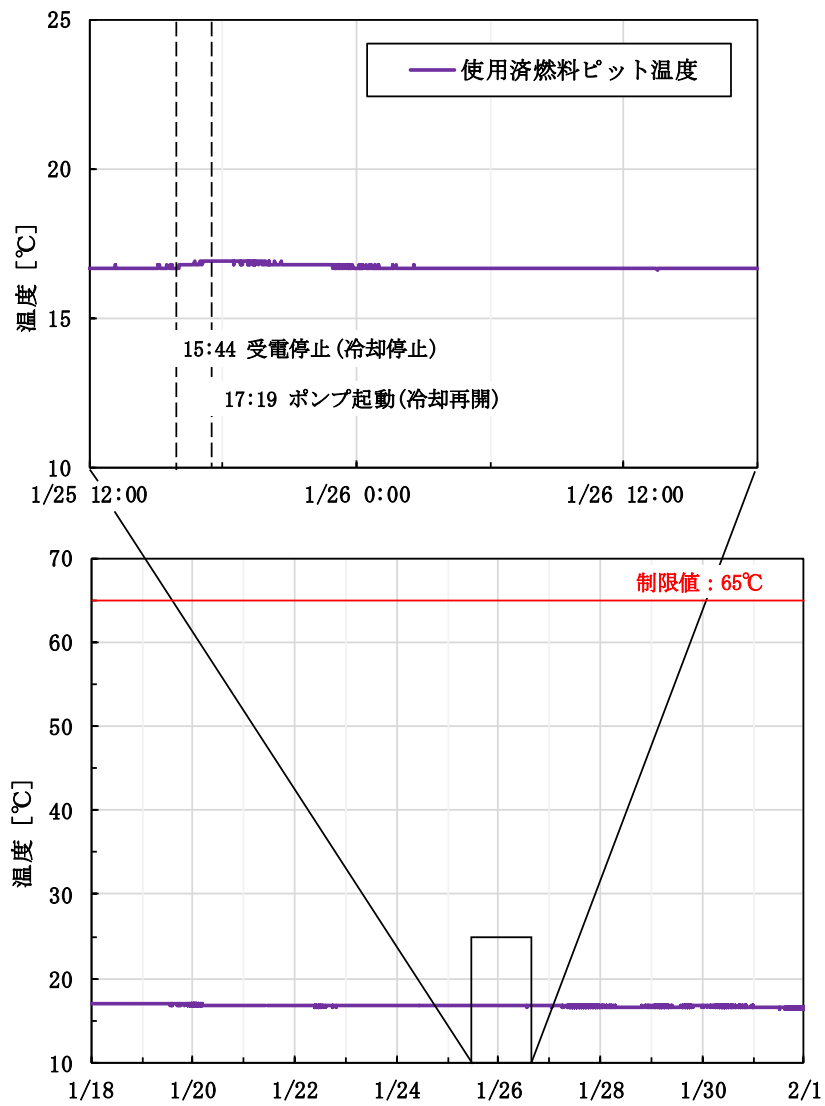


図5 2号機使用済燃料ピット温度

(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

187 kV 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187 kV 甲母線、2号機は187 kV 乙母線からそれぞれ受電する系統構成であった。(図1)

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号機のための所内負荷では不足するため、3号機の所内電源について、500 kV 送電線から187 kV 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187 kV 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187 kV 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。(図2)

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し、外部電源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。

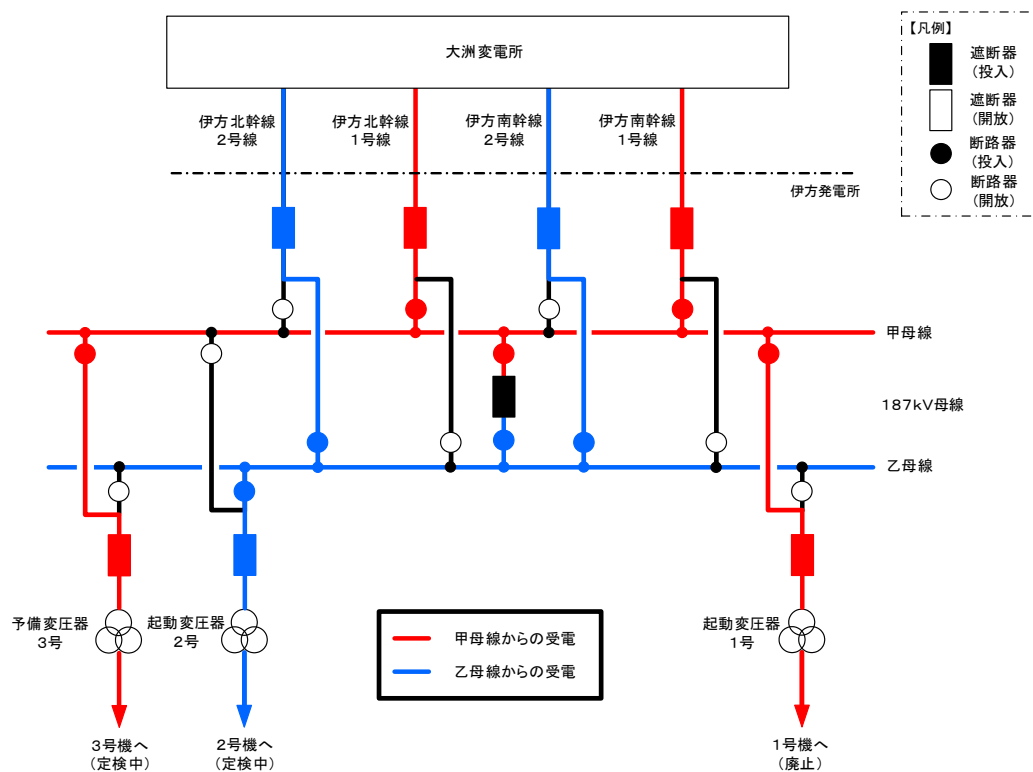


図 1．方向試験実施前の系統構成

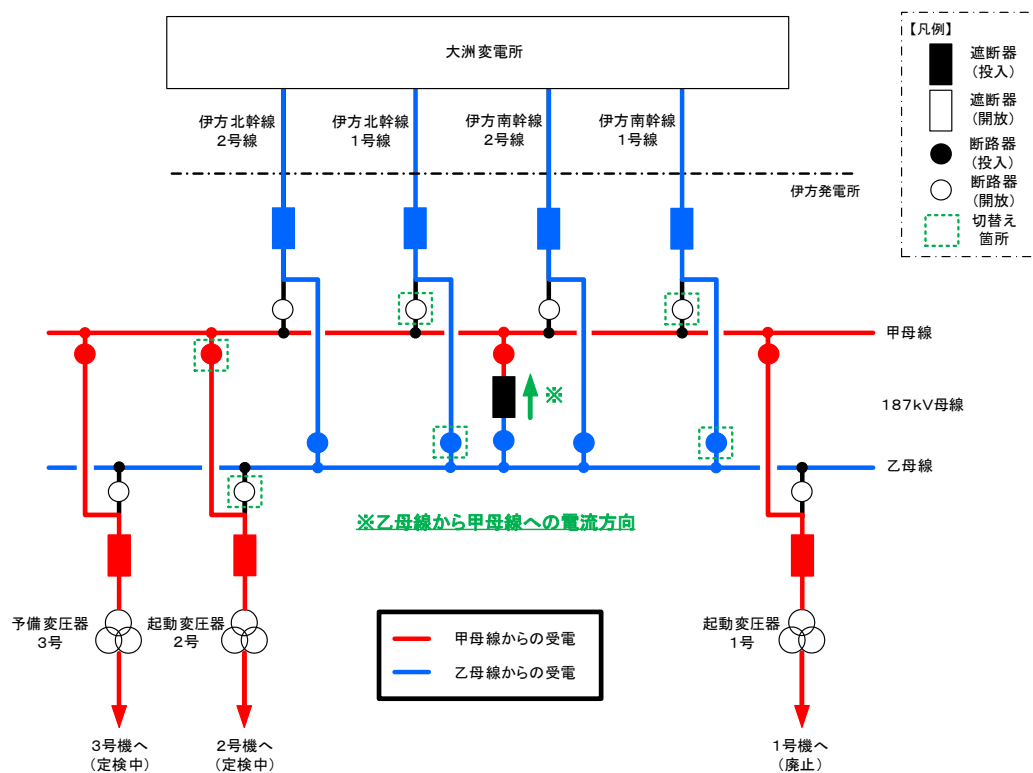
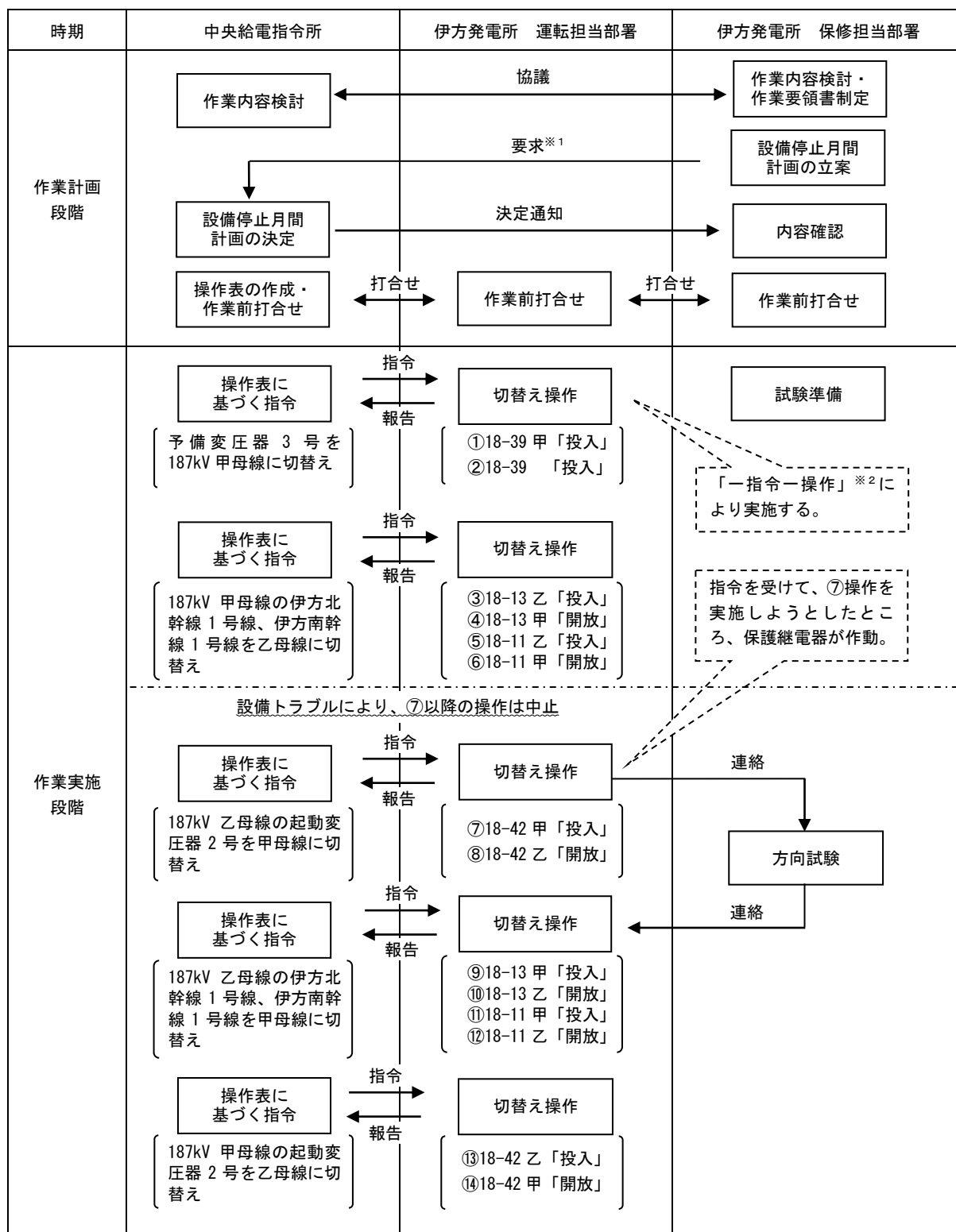


図 2．方向試験における系統構成

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。



※1 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

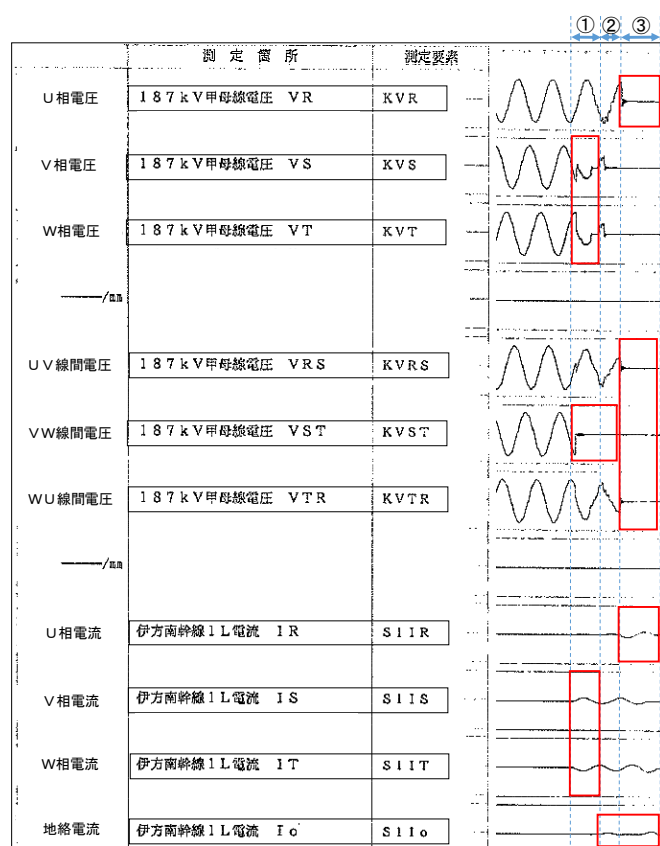
※2 一指令ごとに一操作を行い、その都度確認を行う操作指令

自動オシロ装置測定結果

事象発生時の自動オシロ装置による測定結果を以下に示す。

(1) 測定結果

図 1 に事象発生時の自動オシロ装置による電圧および電流の波形を示す。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。



(注) 自動オシロ装置の表示機能上、U相・V相・W相はR相・S相・T相と表示される。

図 1 自動オシロ装置測定結果

(2) 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	264 A	322 A	244 A	324 A	1,154 A
V相電流	2,248 A	2,157 A	2,317 A	2,211 A	8,933 A
W相電流	2,165 A	1,861 A	2,222 A	1,917 A	8,165 A
地絡電流	428 A	442 A	479 A	492 A	1,841 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^{※1}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_2 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、アーク発生時に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。

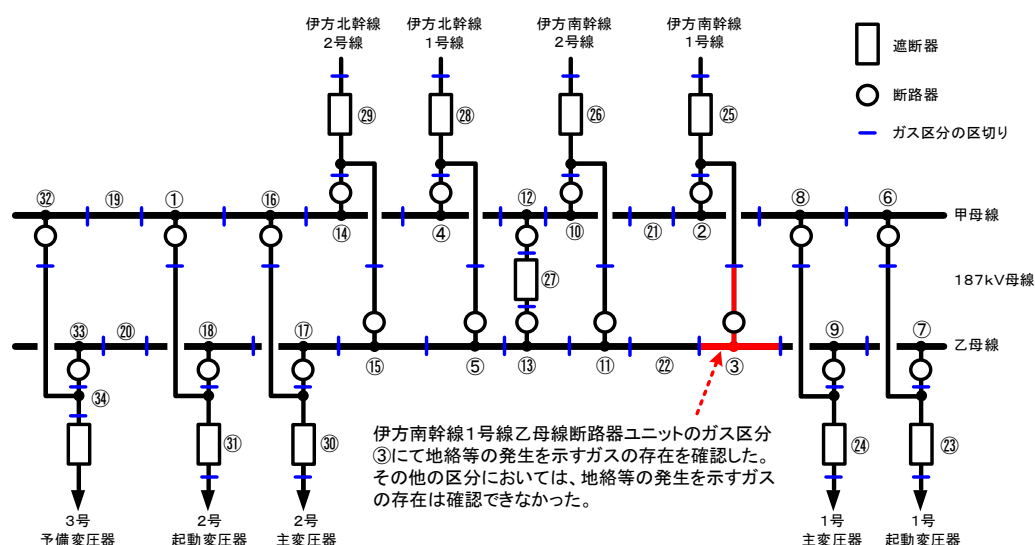


図1 187kV母線ガス区分

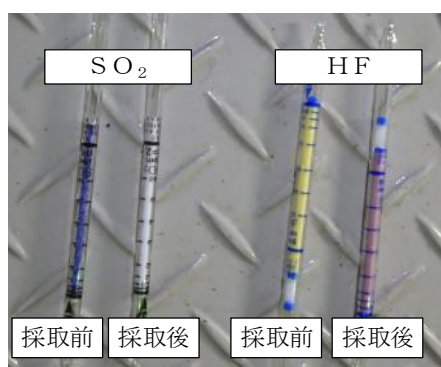


図2 伊方南幹線1号線乙母線断路器ユニットのガス分析結果

(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 ガス圧確認結果

ガス区分	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
ガス圧 (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 (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 (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※		

※測定時の外気温(9℃)で換算した値

健全性確認結果

187kV甲母線の健全性確認のため、絶縁抵抗測定、試充電、部分放電測定および内部異物確認を実施し、異常がないことを確認した。確認結果を表1に示す。

表1 187kV甲母線の健全性確認結果

調査項目	結果
絶縁抵抗測定 (全主回路)	対地間：異常なし 相間：異常なし
試充電※ ¹	異常なし
部分放電測定※ ²	異常なし
内部異物確認※ ³	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

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化物（白粉）が堆積しており、断路器の V 相－W 相間の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考えられる。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 相可動接触子について、W 相、U 相との位置の不整合を確認した。

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

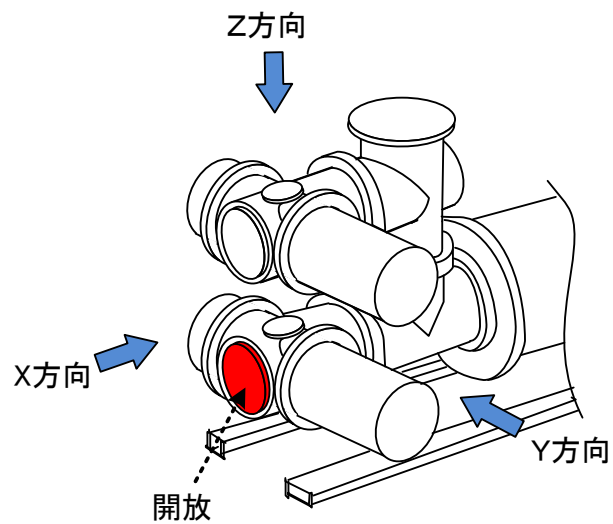


図2 断路器外観図

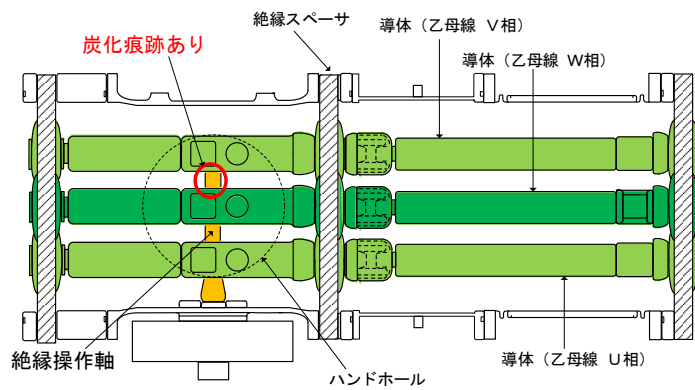


図3 断路器内部構造図 (X方向)

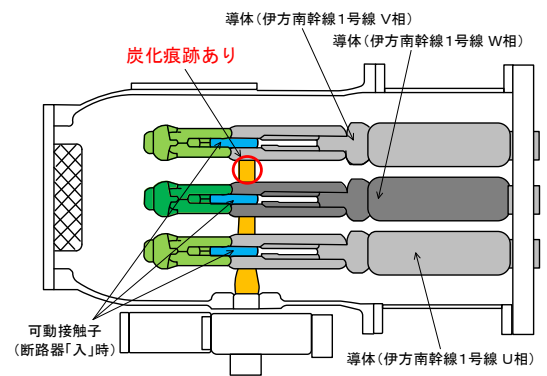


図4 断路器内部構造図 (Y方向)

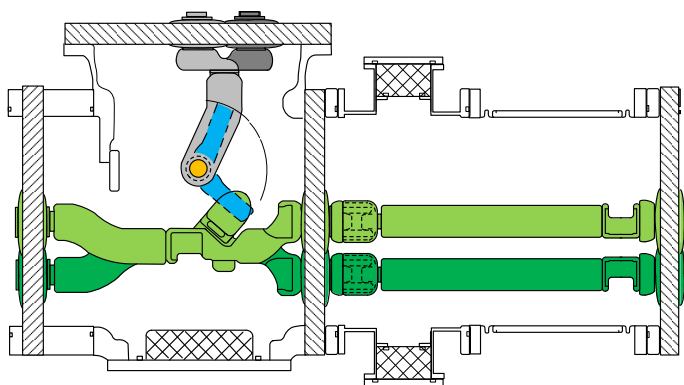


図5 断路器内部構造図 (Z方向)

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	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	2018年 9月 6日
2	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	2015年 9月 29日
4	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	2011年 4月 7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	2011年 3月 11日
6	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	2007年 3月 25日
7	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	2005年 12月 22日
8	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	2005年 12月 22日
9	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	2005年 12月 15日
10	美浜発電所 3号	4－3C母線電圧低信号発信に伴うAデューゼル発電機の自 動起動について	所内交流電源系	2005年 4月 6日
11	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	2004年 2月 10日
12	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ューゼル 発電機2Aの起動・給電について	所内交流電源系	1998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、外部電源喪失（信号含む）に伴いデューゼル発電機が
起動した事例を抽出