

2024年1月29日
北陸電力株式会社

志賀1号機高圧炉心スプレイディーゼル発電機 地震後の保安確認中における発電機ロックアウトリレー動作について（原因と対策）

1. 事象の概要

志賀1号機は定期検査により停止中、2024年1月16日18時42分に発生した志賀町震度5弱の地震後の保安確認措置として、1月17日16時14分から高圧炉心スプレイディーゼル発電機（以下「HPCS ディーゼル発電機」という。）の作動試験を実施していたところ、17時13分に発電機並列後、「HPCS ディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」警報が発生し、HPCS ディーゼル発電機が自動停止した。

事象が発生した以降に実施した、同発電機が自動停止した原因調査が完了したことから、原因と対策について報告する。

2. 時系列

（1月17日）

16時14分	HPCS ディーゼル発電機	作動試験開始
16時58分	HPCS ディーゼル発電機	機開始動
17時13分03秒	HPCS ディーゼル発電機	並列
17時13分11秒	HPCS ディーゼル発電機	自動停止

- ・中央制御室で発生した警報：

「HPCS ディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」、「HPCS ディーゼル発電設備異常」、「HPCS ディーゼル発電機自動始動不能」

- ・現場（HPCS ディーゼル発電機制御盤）で発生した警報：

「発電機逆電力継電器動作」、「静止形継電器故障」、「ディーゼル発電機自動始動不能」、「ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線」※¹

※¹ 「ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線」以外の警報は、「発電機逆電力継電器動作」に伴い発生した警報

（1月18日～20日）

各部の外観目視点検、監視計器の校正、制御回路の動作試験等を実施

（1月22日～24日）

監視計器の校正、制御回路点検、継電器及びロックアウトリレー点検を実施

（1月24日）

無負荷運転による確認を実施

（1月25日）

実負荷運転による確認を実施（HPCS ディーゼル発電機が比較的負荷をとりやすい所内電源構成に切り替えて実施）

3. 推定原因及び復旧見込み

(1) 推定原因

HPCS ディーゼル発電機が自動停止した原因は、「発電機逆電力継電器動作」による

ものと推定し、同警報が発生した要因について調査を完了している。また、「発電機逆電力継電器動作」に伴って発生しない警報である「ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線」警報が発生した要因についても調査を完了している。

a. 「発電機逆電力継電器動作」警報に関する要因調査

「発電機逆電力継電器動作」警報が発生する原因としては、発電機の同期ずれや並列負荷運転時のディーゼル発電機周波数降下等により発電機逆電力継電器が実動作すること及び発電機逆電力継電器が誤動作することが考えられる。

そのため、要因分析図に基づき、ガバナ装置の外観目視点検、ディーゼル機関への燃料供給設備の外観目視点検、事象発生時における電力系統の変動、運転操作の影響、継電器及びロックアウトリレーの点検及び無負荷運転時のガバナ装置、実負荷運転等の確認により調査を実施した。

その結果、設備には原因となる異常は認められなかったが、HPCS ディーゼル発電機を並列し事象が発生したときの所内電源構成等を確認したところ、HPCS ディーゼル発電機出力が上昇しにくい運転状態であったことが確認され、これが原因となり、通常のガバナ操作では、逆電力継電器を動作させないために設けている時間内に十分に出力を上昇できず、自動停止したものと推定した。

(確認された HPCS ディーゼル発電機出力が上昇しにくい状態)

- ・試験時の所内電源構成^{*2}におけるインピーダンスの状態が、HPCS ディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であった。
- ・並列時における発電機電圧が高めであったため、並列直後はガバナにより HPCS ディーゼル発電機の出力を上げにくい状態であった。

※2 地震・津波に対する安全強化策として設置済みの、志賀2号機常用M/Cから1号機非常用M/Cへの受電ラインを使用していた。

b. 「ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線」警報に関する要因調査

「ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線」警報が発生する原因としては、制御回路の異常及び誤動作が考えられる。

そのため、要因分析図に基づき、断線検出回路の外観目視点検、リレーの単体動作確認及びシーケンス試験により調査した結果、原因となる異常は認められなかった。ロックアウトリレーの接点の動作が一時的に緩慢になったことで、同警報が発生したと推定している。

(2) 復旧見込み及び対策

今回の事象について、要因調査において設備の異常は認められなかった。また、その後実施した実負荷運転においても異常がなかった。

今回の事象の原因として推定している、「試験時の所内電源構成が HPCS ディーゼル発電機の負荷をとりにくい状態であったこと」及び「並列時における発電機電圧が高めであったこと」に対し、以下の対策を実施した後、改めて作動試験を行ったうえで HPCS ディーゼル発電機を保安規定上の待機状態とする。なお、逆電力継電器を動作させない時間の見直しを検討していく。

a. 試験時の所内電源構成では HPCS ディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であったことに対する対策

1/17 の所内電源構成では、HPCS ディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であったことから、HPCS ディーゼル発電機の試験運転時の所内電源構成について、1号機の負荷を直接負担した状態で行うことを手順書に反映する。

b. 並列時における発電機電圧が高めであったことに対する対策

HPCS ディーゼル発電機並列前のインカミング電圧を調整する際、インカミング電圧及びランニング電圧の確認に加え、発電機電圧とM/C電圧についても確認するよう手順書に反映する。

4. 法令・保安規定上の扱い

(1) 法令上の扱い

実用炉規則第 134 条	法令上の扱い
<p>三 発電用原子炉設置者が、安全上重要な機器等（中略）の点検を行った場合において、当該安全上重要な機器等が技術基準規則第十七条若しくは第十八条に定める基準に適合していないと認められたとき、（中略）又は発電用原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していないと認められたとき。</p> <p>（訓令）</p> <p>3. 運用上の留意点</p> <p>③当該安全上重要な機器等（中略）が担う機能に不具合がある場合であって、当該不具合が当該安全上重要な機器等（中略）に使用する消耗品の交換や機器の調整により復旧できるときは、当該機器等が原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していないとはみなさない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・HPCS ディーゼル発電機は、「安全上重要な機器等を定める告示（経済産業省告示第 327 号）」における「(十) 安全上特に重要な関連機能」のうち、「1 非常用所内電源設備」に該当することから、安全上重要な機器等に該当する。 ・今回の事象のうち、発電機ロックアウトリレー動作（発電機逆電力継電器動作）については、設備の故障によるものではなく、HPCS ディーゼル発電機の出力が上昇しにくい運転状態であったと推定していること、ディーゼル発電機ロックアウトリレー断線警報発生については、ロックアウトリレーの接点の動作が一時的に緩慢であったことによるものと推定しており、要因調査後に実施した実負荷運転においても異常は認められなかったことから、HPCS ディーゼル発電機は、原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有しており、法令報告対象外。
<p>五 前三号のほか、発電用原子炉施設の故障（発電用原子炉の運転に及ぼす支障が軽微なものを除く。）により、運転上の制限を逸脱したとき、又は運転上の制限を逸脱した場合であって、当該逸脱に係る保安規定で定める措置が講じられなかったとき。</p>	<p>運転上の制限を満足していることから、法令報告対象外。 （以下(2)で詳述）</p>

(2) 保安規定上の扱い

志賀1号機（原子炉の状態：燃料交換）は非常用ディーゼル発電機3台中2台（A号機、B号機）が動作可能であるとともに、2号機（原子炉の状態：燃料交換）は非常用ディーゼル発電機3台中2台（A号機、B号機（C号機は点検中であり、2月末に復旧する予定））が動作可能であることから、保安規定第60条（非常用ディーゼル発電機その2）の運転上の制限を満足していることを確認済。

なお、大容量電源車は2台のうち1台が動作可能であり、残りの1台は1月末に復旧する予定。

第60条（非常用ディーゼル発電機その2）

原子炉の状態が冷温停止及び燃料交換において、非常用ディーゼル発電機は、表60-1で定める事項を運転上の制限とする。

表60-1

項目	運転上の制限
非常用ディーゼル発電機	第65条（所内電源系統その2）で要求される非常用交流高圧電源母線に接続する非常用ディーゼル発電機を含め2台の非常用発電設備 ^{※1} が動作可能であること。

※1：非常用発電設備とは、非常用ディーゼル発電機及び必要な電力供給が可能な非常用発電機をいう。なお、非常用発電機は、他の原子炉と共用することができる。

5. 添付資料

- (1) 志賀1、2号機 所内電源受電状況
- (2) 志賀1号機「HPCSディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」等警報発生事象 要因分析図
- (3) 逆電力継電器が動作した原因について
- (4) HPCSディーゼル発電機並列時の電圧・電力トレンド
- (5) 各試験時における所内電源構成とインピーダンスの関係

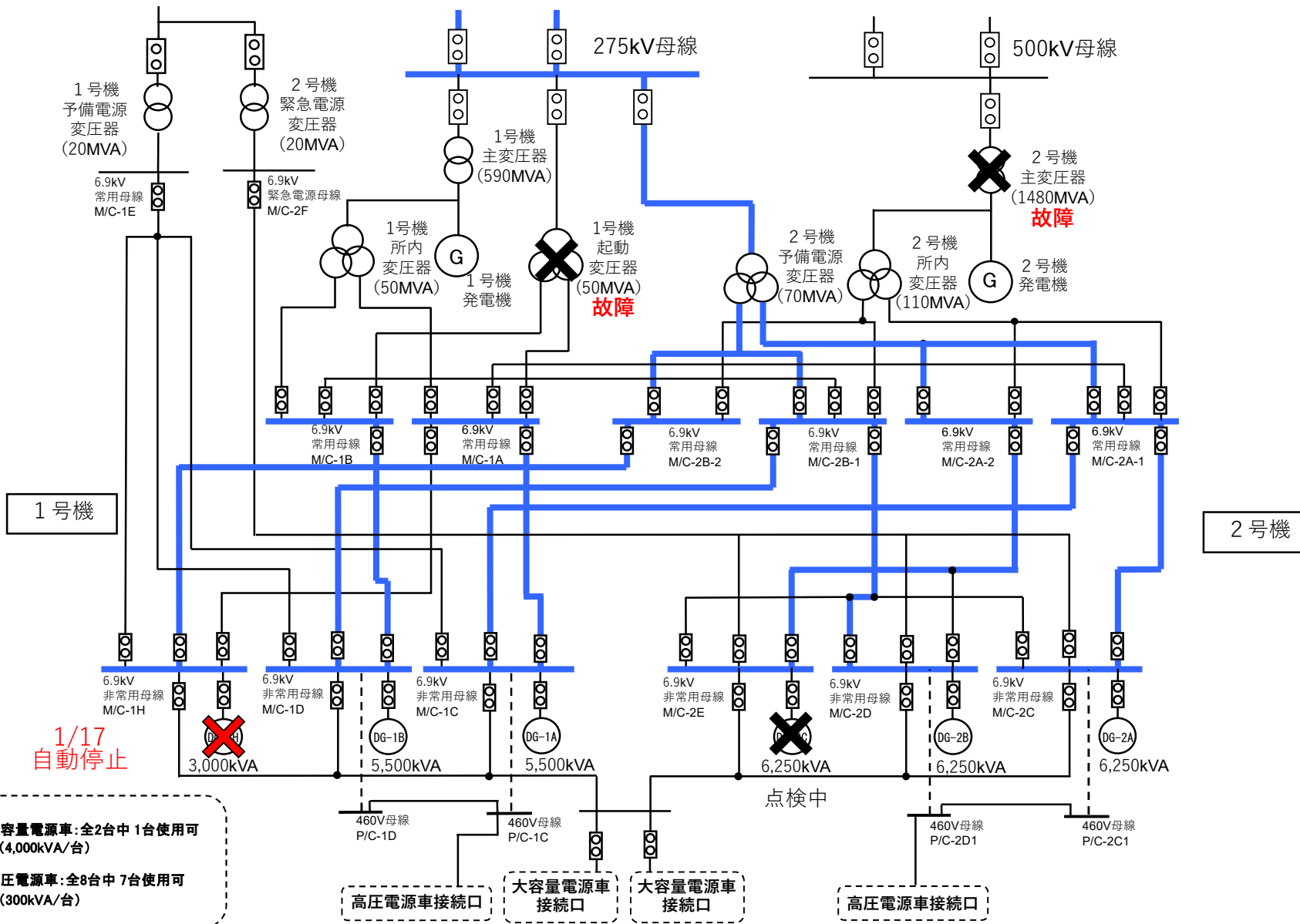
以上

志賀 1、2号機 所内電源受電状況 (1/17作動試験時における状態)

志賀原子力発電所 単線結線図 (全体)
赤住線 (66kV)

志賀原子力線 (275kV)

志賀中能登線 (500kV)

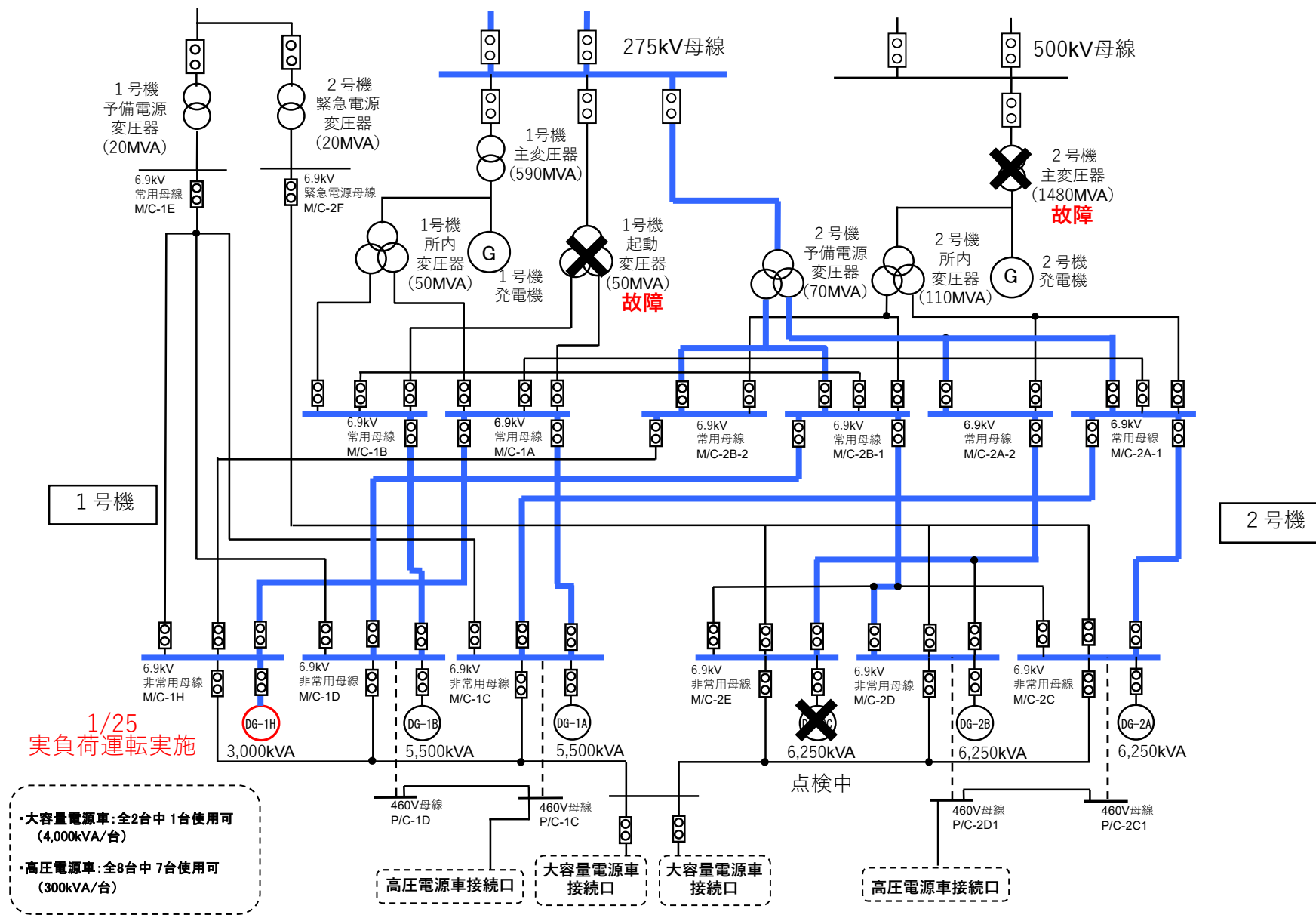


志賀 1、2号機 所内電源受電状況 (1/25実負荷運転時における状態)

志賀原子力発電所 単線結線図 (全体)
赤住線 (66kV)

志賀原子力線 (275kV)

志賀中能登線 (500kV)



志賀 1 号機「HPCSディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」等警報発生事象 要因分析図 (1 / 2)

(評価の凡例 ○：要因と推定される、△：要因の可能性はある、×：要因の可能性はない)

事象 (警報)		要因		要因説明	調査内容	実施日	調査結果	評価		
HPCSディーゼル発電機ロックアウトリレー動作 (D/Gトランプ)	「発電機逆電力継電器動作」警報発生	発電機並列時の同期ずれや並列負荷運転時のディーゼル発電機周波数降下等により発電機逆電力継電器が動作	D/G機関等の異常によって発電機逆電力継電器が動作	ガバナの動作不良	ガバナモータ単体の動作不良	ガバナCS操作に対し、ガバナモータが正常に動作せず、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (ガバナ、ガバナモータ、ガバナプースタ、ダイヤル、オイルゲージ等について、損傷、部品の脱落、油にじみ、取り合い部の不良等の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①ガバナ、ガバナモータ、ガバナプースタ、ダイヤル、オイルゲージ等について外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。	×
					ガバナモータとガバナ装置の追従不良	ガバナモータの動作に対し、ガバナ装置のリンク機構が正常動作せず、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (リンク機構 (ロッド等) の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①リンク機構 (ロッド等) について外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。	×
					ガバナ装置 (フライホイ) の動作不良	微細な異物の付着等によりフライホイの動作が緩慢になることでガバナ操作による周波数の増加量と速度調整つまみの動作量に差異が生じた。	①外観目視点検 (リンク機構 (ロッド等) の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①リンク機構 (ロッド等) について外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。	×
					操作回路の異常	操作回路の接点不良等によりガバナ操作信号が入力されなかった。	①無負荷運転でのガバナ動作確認 (ガバナCS操作による周波数上昇、下降操作による周波数の挙動を確認)	[調査済] ①1/24	[調査済]1/24 ①無負荷運転状態におけるガバナの動作確認を実施した結果、操作手順に基づくガバナCS操作にガバナが追従し、正常に動作していることを確認した。	×
					燃料油ライン (配管、弁、燃料油フィルタ) の閉塞、漏えいによる燃料油供給不良	燃料油ライン (配管、弁、燃料油フィルタ) の閉塞や漏えいにより、正常に燃料油が供給されず、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタの異常の有無、機関入口燃料油圧力 [R44-PI-092H]の指示値の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタについて外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。 機関入口燃料油圧力[R44-PI-092H]の指示値を確認し、異常がないことを確認した。	×
					燃料噴射ポンプの動作不良	燃料噴射ポンプの動作不良が発生したことにより、正常に燃料油が供給されず、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (燃料噴射ポンプについて、損傷、部品の脱落、油にじみ、取り合い部の不良等の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①燃料噴射ポンプについて外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。	×
		DG機関への燃料油供給不良	ガバナの設定不良	燃料油ライン (配管、弁、燃料油フィルタ) の閉塞、漏えいによる燃料油供給不良	燃料油ライン (配管、弁、燃料油フィルタ) の閉塞や漏えいにより、正常に燃料油が供給されず、DGの負荷上昇ができなかった。	①事象発生直前の燃料系統状態の聞き取り調査 ②無負荷運転での燃料系統状態確認 (燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタの異常の有無、機関入口燃料油圧力 [R44-PI-092H]の指示値の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18 ②1/24	[調査済]1/18 ①事象発生直前の無負荷運転状態における燃料系統の状態について、現場立会者への聞き取り調査を実施した結果、燃料油ラインに漏えいがあったこと、機関入口燃料油圧力の指示値が通常範囲内であったことを確認した。 [調査済]1/24 ②無負荷運転での燃料系統状態確認を実施した結果、燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタに漏えい等の異常がないこと、機関入口燃料油圧力の指示値が通常範囲内であることを確認した。	×	
				燃料噴射ポンプの動作不良	燃料噴射ポンプの動作不良が発生したことにより、正常に燃料油が供給されず、DGの負荷上昇ができなかった。	①無負荷運転での燃料噴射ポンプ動作確認 (燃料噴射ポンプの動作状態の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/24	[調査済]1/24 ①無負荷運転での燃料噴射ポンプの動作確認を実施した結果、燃料噴射ポンプは正常に動作していることを確認した。	×	
				ガバナの設定不良	ガバナのダイヤルの設定を変更した状態でDGを運転したことにより、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (ドループ設定 (ダイヤル)、ロードリミットつまみ (ダイヤル)、コンベンション・ポイント、ニードル開度について各設定値を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①ドループ設定 (ダイヤル)、ロードリミットつまみ (ダイヤル)、コンベンション・ポイント、ニードル開度について各設定値を確認した結果、前回点検時の設定値から変化していないことを確認した。	×	
				ガバナの設定不良	ガバナのダイヤルの設定を変更した状態でDGを運転したことにより、DGの負荷上昇ができなかった。	①事象発生直前のガバナのスピードセッティング (ダイヤル) 状態の聞き取り調査 ②無負荷運転でのガバナ動作確認 (ガバナのスピードセッティング (ダイヤル) の動作確認)	[調査済] ①1/18 ②1/24	[調査済]1/18 ①事象発生直前の無負荷運転状態におけるガバナのスピードセッティング (ダイヤル) の状態について、現場立会者への聞き取り調査を実施した結果、ガバナのスピードセッティング (ダイヤル) の動作状態に異常は認められなかったことを確認した。 [調査済]1/24 ②無負荷運転状態におけるガバナのスピードセッティング (ダイヤル) の動作確認を実施した結果、ガバナのスピードセッティング (ダイヤル) は正常に動作していることを確認した。	×	
				ガバナの設定不良	ガバナのダイヤルの設定を変更した状態でDGを運転したことにより、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタの異常の有無、機関入口燃料油圧力 [R44-PI-092H]の指示値の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①燃料油ラインの配管、弁、燃料油フィルタについて外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。 機関入口燃料油圧力[R44-PI-092H]の指示値を確認し、異常がないことを確認した。	×	
				燃料噴射ポンプの動作不良	燃料噴射ポンプの動作不良が発生したことにより、正常に燃料油が供給されず、DGの負荷上昇ができなかった。	①外観目視点検 (燃料噴射ポンプについて、損傷、部品の脱落、油にじみ、取り合い部の不良等の異常の有無を確認)	[調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①燃料噴射ポンプについて外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。	×	

(2/2)
Aへ

(2/2)
Bへ

志賀 1 号機「HPCSディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」等警報発生事象 要因分析図 (2 / 2)

(評価の凡例 ○: 要因と推定される、△: 要因の可能性はある、×: 要因の可能性はない)

要因	要因説明	調査内容	実施日	調査結果	評価		
(1/2) Bより	電源系統の影響によって逆電力継電器が動作	外部電源系統側の影響	系統周波数の変動	系統周波数の変動により発電機逆電力が発生した。	①事象発生時の系統周波数の確認 [調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①発電機並列時からD/Gトリップ時の系統周波数(275kV開閉所母線周波数)に有意な変動がない*ことを確認した。 ※60.1Hz→60.1Hz (変動0%)	×
		系統電圧の変動	系統電圧の変動により発電機逆電力が発生した。	①事象発生時の系統電圧の確認 [調査済] ①1/18	[調査済]1/18 ①発電機並列時からD/Gトリップ時の系統電圧(275kV開閉所母線電圧)に有意な変動がない*ことを確認した。 ※274.8kV→275.2kV (変動0.2%)	×	
	並列前後の運転操作の影響	並列前のインカミング電圧の調整不良	インカミング電圧の調整不良により、並列後の力率が悪化し、ガバナ操作によるDGの有効電力の上昇が少なかった。	①監視計器の外観目視点検、計器校正(同期検定器(電圧)) ②運転記録の調査(運転員への聞き取り確認) [調査済] ①1/19 ②1/18、1/20	[調査済]1/19 ①監視計器について外観目視点検及び計器校正を実施した結果、異常がないことを確認した。 [調査済]1/18、1/20 ②並列前のインカミング電圧の調整について、手順書通りインカミング電圧(117V)をランニング電圧(116V)より1V高く設定していたことを確認した。 運転員は手順書通りの計器の指示値を確認し、インカミング電圧をランニング電圧(116V)よりも約1V高い、117V(発電機電圧約7.0kVに相当)に調整していたが、系統電圧の揺らぎ(試験中の揺らぎ275kV:274.8kV→275.2kV)や運転員の計器の読み誤差、計器誤差等により、実際のインカミング電圧は3V程度高い119V相当であり、発電機並列後にはM/C-1Hの電圧は、約7.1kVとなったと推定される。 そのため、発電機並列時における実際の電圧は、発電機電圧が約7.1kV、M/C-1H電圧が約6.9kVであり200V程度の差があったと推定され、並列直後は過渡的に無効電流が変動し、発電機の出力を上げるために通常の操作量でガバナを操作しても有効電流が増えにくく、出力が上昇しなかったと推定される。	○	
		並列後の運転操作の遅れ・操作量不足	ガバナCS操作の遅れ又は操作量の不足により、DGの負荷上昇ができなかった。	①運転記録の調査(運転員への聞き取り確認) [調査済] ①1/18、1/20	[調査済]1/18、1/20 ①運転員は、手順書に基づき、ガバナCSを増操作したが、出力の上昇が遅かったことを確認した。 M/C-1Hの電圧が並列前6.92kVから並列後7.12kVに上昇したことを確認した。 また、トリップ時には、力率が0.2であったことを確認した。	×	
		系統状態の運転操作への影響	電源系統の状態の違いが運転操作に影響を与えた。	①系統状態の違いによる影響の評価 [調査済] ①1/26	[調査済]1/26 ①通常の所内電源系統状態と当該事象発生時の所内電源系統状態は異なっていた。 負荷へ供給する電力について、電力系統から供給する電力とディーゼル発電機から供給する電力の割合を所内の電源系統構成に基づき、インピーダンスの割合により評価した結果、事象発生当時の所内電源構成の場合、ディーゼル発電機の電力の負担しにくさの割合が最も高く、ディーゼル発電機にとって系統側から負荷をのせかえにくい状態であったことを確認した。	○	
	監視計器のズレの影響	同期検定器に係る監視計器のズレ	監視計器(同期検定器(インカミング電圧、ランニング電圧、位相)、力率計)がドリフトしていたことにより、並列後の力率が悪化し、ガバナ操作によるDGの有効電力の上昇が少なかった。	①監視計器の外観目視点検、計器校正(同期検定器(インカミング電圧、ランニング電圧、位相)、力率計) [調査済] ①1/19、1/23	[調査済]1/19、1/23 ①監視計器(4台のうち3台)について外観目視点検及び計器校正を実施した結果、異常がないことを確認した。 残り1台の同期検定器(位相)について、外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認したが、一部の校正点にて計器精度が判定基準を外れていることを確認した。当該計器は、運転操作時の目安とするものであり、本事象の要因ではない。	×	
		AVR調整時に使用する監視計器のズレ	監視計器(同期検定器(インカミング電圧、ランニング電圧、位相))がドリフトしていたことにより、AVRの調整量が不足し、発電機電圧が低い状態で並列した。	①監視計器の外観目視点検、計器校正(同期検定器(インカミング電圧、ランニング電圧、位相)) [調査済] ①1/19、1/23	[調査済]1/19、1/23 ①監視計器(3台のうち2台)について外観目視点検及び計器校正を実施した結果、異常がないことを確認した。 残り1台の同期検定器(位相)について、外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認したが、一部の校正点にて計器精度が判定基準を外れていることを確認した。当該計器は、運転操作時の目安とするものであり、本事象の要因ではない。	×	
		ガバナ操作時に使用する監視計器のズレ	監視計器(電力計、電圧計、電流計、周波数計、力率計)がドリフトしていたことにより、運転員のガバナCS操作量が不足し、DGの負荷上昇ができなかった。	①監視計器の外観目視点検、計器校正(電力計、電圧計、電流計、周波数計、力率計) [調査済] ①1/19、1/20、1/23	[調査済]1/19、1/20、1/23 ①監視計器(8台)について外観目視点検及び計器校正を実施した結果、異常がないことを確認した。	×	
	(1/2) Aより	継電器の誤動作	継電器の故障	継電器故障により誤動作した。	①外観目視点検 ②継電器の単体動作試験 [調査済] ①1/18、1/19 ②1/22、1/24	[調査済]1/18、1/19 ①継電器について外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。 [調査済]1/22、1/24 ②逆電力継電器、比率動作継電器について単体動作試験を実施した結果、異常がないことを確認した。 ロックアウトリレーのシーケンス試験を実施した結果、異常がないことを確認した。	×
			制御回路の故障	制御回路故障により誤動作した。	①外観目視点検 ②各リレーの動作試験 [調査済] ①1/20 [調査済]1/19 ②1/19	[調査済]1/20 ①制御回路の外観目視点検を実施した結果、異常がないことを確認した。 [調査済]1/19 ②各リレーの動作試験を実施した結果、異常がないことを確認した。	×

志賀 1 号機「HPCSディーゼル発電機ロックアウトリレー動作」等警報発生事象 要因分析図

(評価の凡例 ○：要因と推定される、△：要因の可能性はある、×：要因の可能性はない)

事象 (警報)	要因			要因説明	調査内容	実施日	調査結果	評価		
HPCSディーゼル発電機 ロックアウトリレー断線警報 発生	ロックアウトリレーの断線を検出 する回路が、リレー接点動作の 不良等により断線を誤検出	断線検出タイマーリレー[EE-T17] ^{※1} の動作不良	断線検出タイマーリレー[EE-T17] の接点不良	a接点の絶縁不良 断線検出タイマーリレー[EE-T17]の警報表示回路用a 接点が絶縁不良を起こしており導通状態となり警報が 発生した。 (導通状態となればロックアウトリレーの動作とは関係な く警報が発生する。)	①外観目視点検 (外観目視点検により破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無を確認) ②断線検出タイマーリレーの単体動作試験 (単体動作試験により動作等が判定基準内であることの確 認)	【調査済】 ①1/18、 1/19 ②1/19	【調査済】1/18、1/19 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないことを確認した。 【調査済】1/19 ②単体動作試験の結果、動作等が判定基準内であるこ とを確認した。	×		
			断線検出タイマーリレー[EE-T17] の接点動作時間不良	タイマー設定値のズレ 断線検出タイマーリレー[EE-T17]の動作時限 (タイ マー設定値 1 秒間)が短くずれており、これによりロックア ウトリレーが動作する時間が長かったため、断線検出タイ マーリレー[EE-T17]が動作した。	①外観目視点検 (外観目視点検により破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無を確認) ②断線検出タイマーリレーの単体動作試験 (単体動作試験により動作等が判定基準内であることの確 認)	【調査済】 ①1/18、 1/19 ②1/19	【調査済】1/18、1/19 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないことを確認した。 【調査済】1/19 ②単体動作試験の結果、動作等が判定基準内であるこ とを確認した。	×		
		電源監視リレー[EE-K48] ^{※2} の動作不良	電源監視リレー[EE-K48] の断線	電源監視回路の断線 電源監視リレー[EE-K48]に電源を供給する回路が断 線し、断線検出回路に「ロックアウトリレー電源断信号」 を出力し、警報が発生した。	①外観目視点検 (外観目視点検により、破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無、及び触診によりケーブルの接続状態のゆるみ等の異 常の有無を確認。また、電源監視リレー「EE-K48」に断線が ないことを並列接続されているランプが点灯していることにより 確認) ②HPCS DG 無負荷運転 (運転時に電源監視リレー「EE-K48」に断線がないことを、 並列接続されているランプが点灯していることにより確認)	【調査済】 ①1/20 ②1/24	【調査済】1/20 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないこと、及び触診によりケーブルの接続状態のゆる み等がないことを確認した。また、電源監視リレー[EE- K48]に並列接続されているランプが点灯していることを確 認した。 【調査済】1/24 ②無負荷運転時における外観目視点検の結果、電源 監視リレー[EE-K48]に並列接続されているランプが点灯 していることを確認した。	×		
			電源監視リレー「EE-K48」 の接点不良	b接点の接点不良 電源監視リレー「EE-K48」のb接点が接点不良を起こ しており導通状態となり警報が発生した。 (導通状態となればロックアウトリレーの動作とは関係な く警報が発生する。)	①外観目視点検 (外観目視点検により破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無を確認) ②電源監視リレーの単体動作試験 (単体動作試験により動作等が判定基準内であることを確 認)	【調査済】 ①1/18、 1/19 ②1/19	【調査済】1/18、1/19 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないことを確認した。 【調査済】1/19 ②単体動作試験の結果、動作等が判定基準内であるこ とを確認した。	×		
		ロックアウトリレーの動作に不良 があり、断線を誤検出	ロックアウトリレーの動作不良	ロックアウトリレーの接点不良	ロックアウトリレー9-10番間 の接点不良	ロックアウトリレー[86G-DG-1H]の9-10番間のb接点 が同リレー動作時に接点不良により開放せず警報が発 生した。	①外観目視点検 (外観目視点検により破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無を確認) ②シーケンス試験 (逆電力継電器の動作を模擬し5秒経過後に即時ロックア ウトリレー[86G-DG-1H]の接点が開放することを確認)	【調査済】 ①1/18、 1/19 ②1/24	【調査済】1/18、1/19 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないことを確認した。 【調査済】1/24 ②シーケンス試験の結果、逆電力継電器の動作を模擬 し5秒経過後に即時ロックアウトリレー[86G-DG-1H]の 接点が開放することを確認した。	×
					ロックアウトリレーの動作時間不良	ロックアウトリレー[86G-DG-1H]の動作が緩慢で、9- 10番間のb接点開放動作が断線検出タイマーリレー [EE-T17]の設定時間である1秒以上の時間がかり、 警報が発生した。	①外観目視点検 (外観目視点検により破損、変形、変色、異臭等の異常 の有無を確認) ②シーケンス試験 (逆電力継電器の動作を模擬し5秒経過後に即時ロックア ウトリレー[86G-DG-1H]の接点が開放することを確認)	【調査済】 ①1/18、 1/19 ②1/24	【調査済】1/18、1/19 ①外観目視点検の結果、破損、変形、変色、異臭等の 異常がないことを確認した。 【調査済】1/24 ②シーケンス試験の結果、逆電力継電器の動作を模擬 し5秒経過後に即時ロックアウトリレー[86G-DG-1H]の 接点が開放することを確認した。	×

※1 断線検出リレー[EE-T17]
「ロックアウトリレー電源断信号」と「ロックアウトリレー不動作信号」が1秒以上継続した場合に
「HPCS-DG ロックアウトリレー断線」警報を出力する。
※2 電源監視リレー[EE-K48]
ロックアウトリレーの電源供給状態を監視するリレーであり、電源供給が無くなった場合に
断線検出リレー[EE-T17]に「ロックアウトリレー電源断信号」を出力する。

逆電力継電器が動作した原因について

事象発生時は、以下の状態が重なり、通常のカバナ操作量では、逆電力継電器を動作させないために設けている時間内に十分に出力を上昇できず、自動停止したものと推定している。

- ・試験時の所内電源構成におけるインピーダンスの状態が、ディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であった。
- ・並列時における発電機電圧が高めであったため、並列直後はガバナにより HPCS ディーゼル発電機の出力を上げにくい状態であった。

1. 試験時の所内電源構成におけるインピーダンスの状態が、ディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であったこと

負荷へ供給する電力について、電力系統から供給する電力とディーゼル発電機から供給する電力の割合を所内の電源系統構成に基づき、インピーダンスの割合により評価した結果、事象発生当時の所内電源構成の場合、ディーゼル発電機の電力の負担しにくさが最も高く、ディーゼル発電機にとって系統側から負荷を乗せかえにくい状態であったことを確認した。(表 1)

表 1 各試験時におけるディーゼル発電機の電力の負担のしにくさ

	地震前	1/3 試験時	1/17 試験時 (事象発生時)	1/25 運転時
系統に対する DGの負担の しにくさ*	約 5	約 4	約 8	約 4

※系統に対する非常用ディーゼル発電機の負担のしにくさの計算

$$\text{負担のしにくさ} = \frac{\text{非常用ディーゼル発電機から主な負荷を持つ所内母線までのインピーダンス}}{\text{系統から主な負荷を持つ所内母線までのインピーダンス}}$$

2. 並列時における発電機電圧が高めであったため、並列直後はガバナにより HPCS ディーゼル発電機の出力を上げにくい状態であったこと

ディーゼル発電機並列時は、運転員は手順書どおり計器の指示値を確認し、インカミング電圧をランニング電圧 (116 V) よりも約 1 V 高い、117 V (発電機電圧約 7.0 kV に相当) に調整していたが、系統電圧の揺らぎ (試験中の揺らぎ 275 kV : 274.8 kV → 275.2 kV) や運転員の計器の読み誤差、計器誤差等により、実際のインカミング電圧は 3 V 程度高い 119 V 相当であり、発電機並列後に M/C - 1 H の電圧は約 7.1 kV となったと推定される。

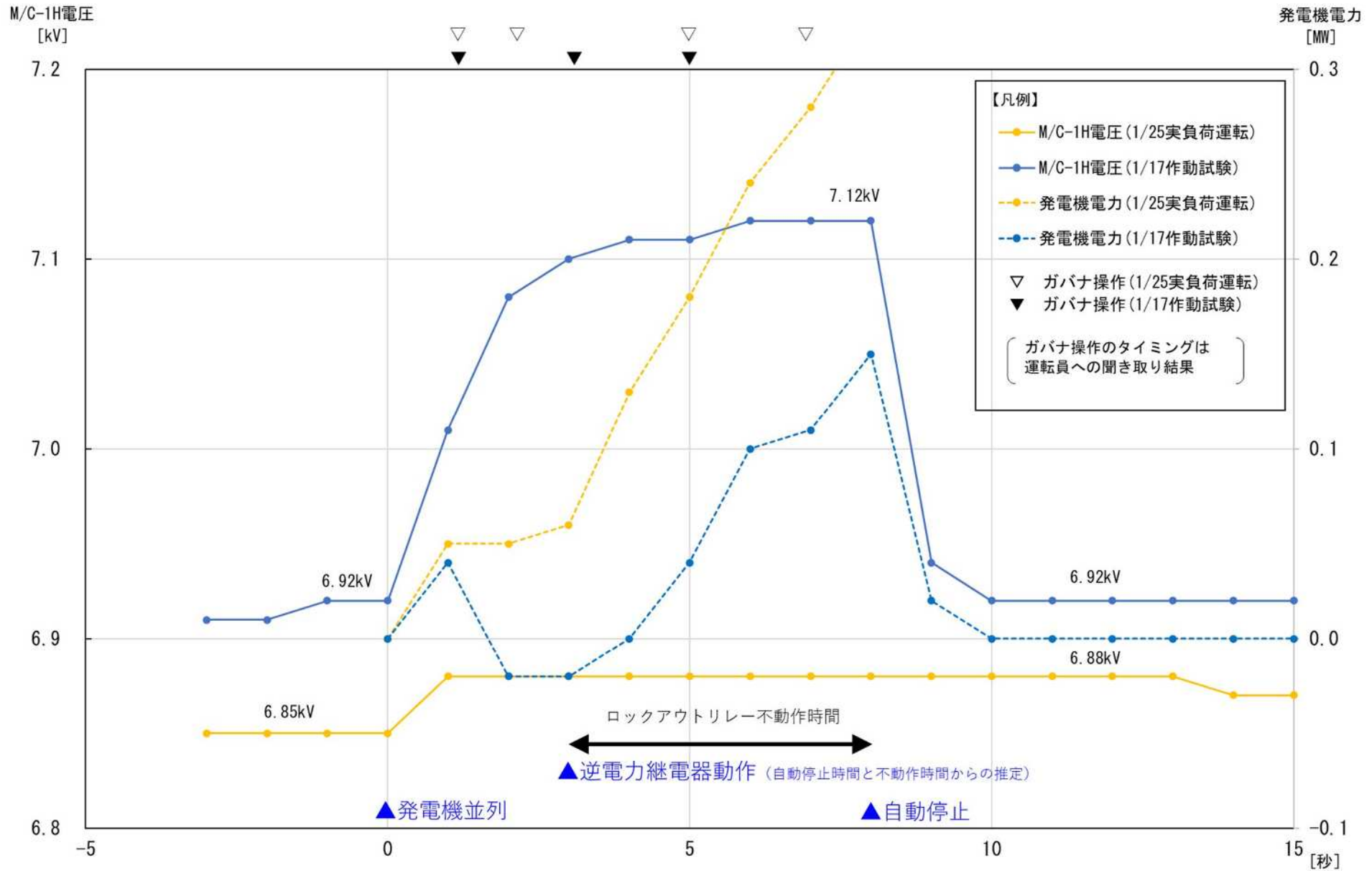
そのため、発電機並列時における実際の電圧は、発電機電圧が約 7.1 k V、M/C-1 H 電圧が約 6.9 k V であり 200 V 程度の差があったと推定され、並列直後は過渡的に無効電流が変動し、発電機の出力をあげるために通常操作量でガバナを操作しても有効電流が増えにくく、出力が上昇しなかったと推定される。

3. 今回の事象が発生した原因

以上より、試験時の所内電源構成におけるインピーダンスの状態がディーゼル発電機が負荷をとりにくい状態であったこと、また、並列時に発電機電圧（インカミング電圧）が高めで、並列直後はガバナにより HPCS ディーゼル発電機の出力を上げにくい状態であったことが原因で、通常操作量では、逆電力継電器を動作させないために設けている時間内に十分に出力を上昇できず、自動停止したものと推定している。

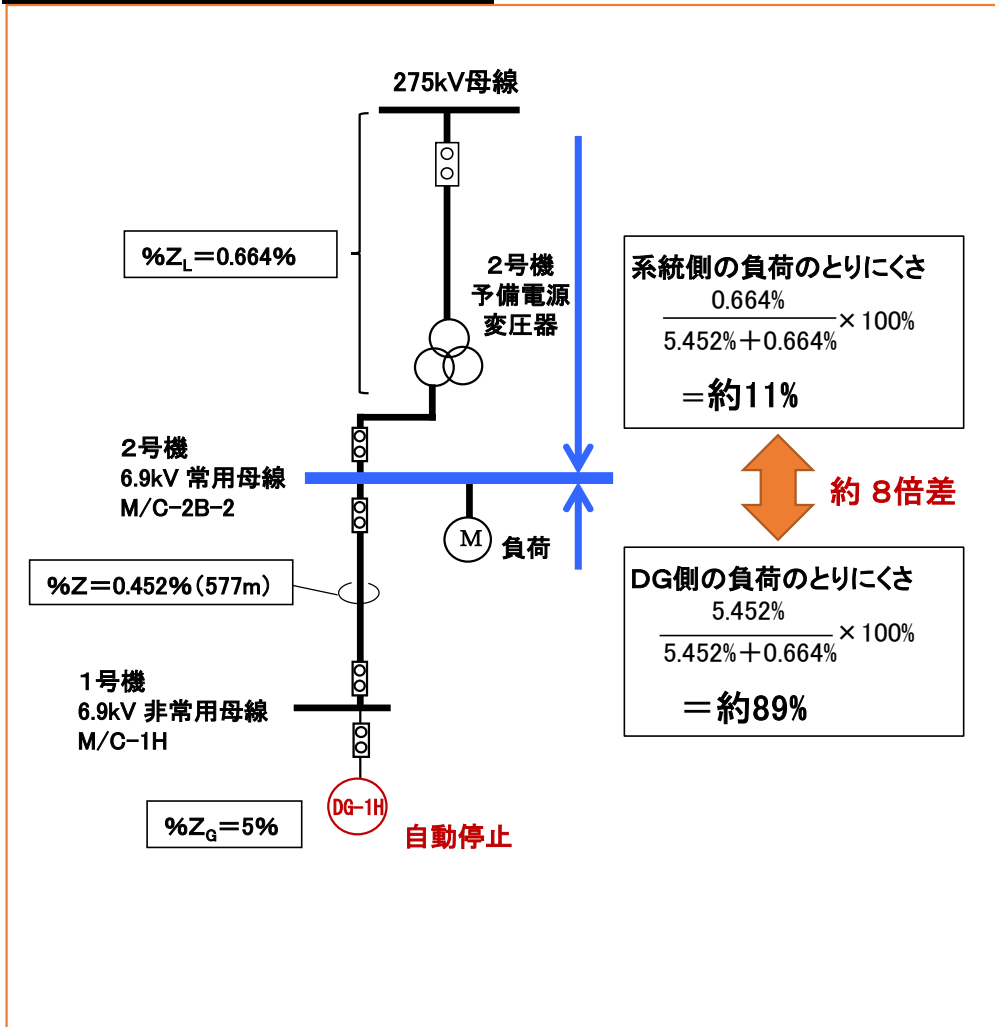
以 上

HPCSディーゼル発電機並列時の電圧・電カトレンド

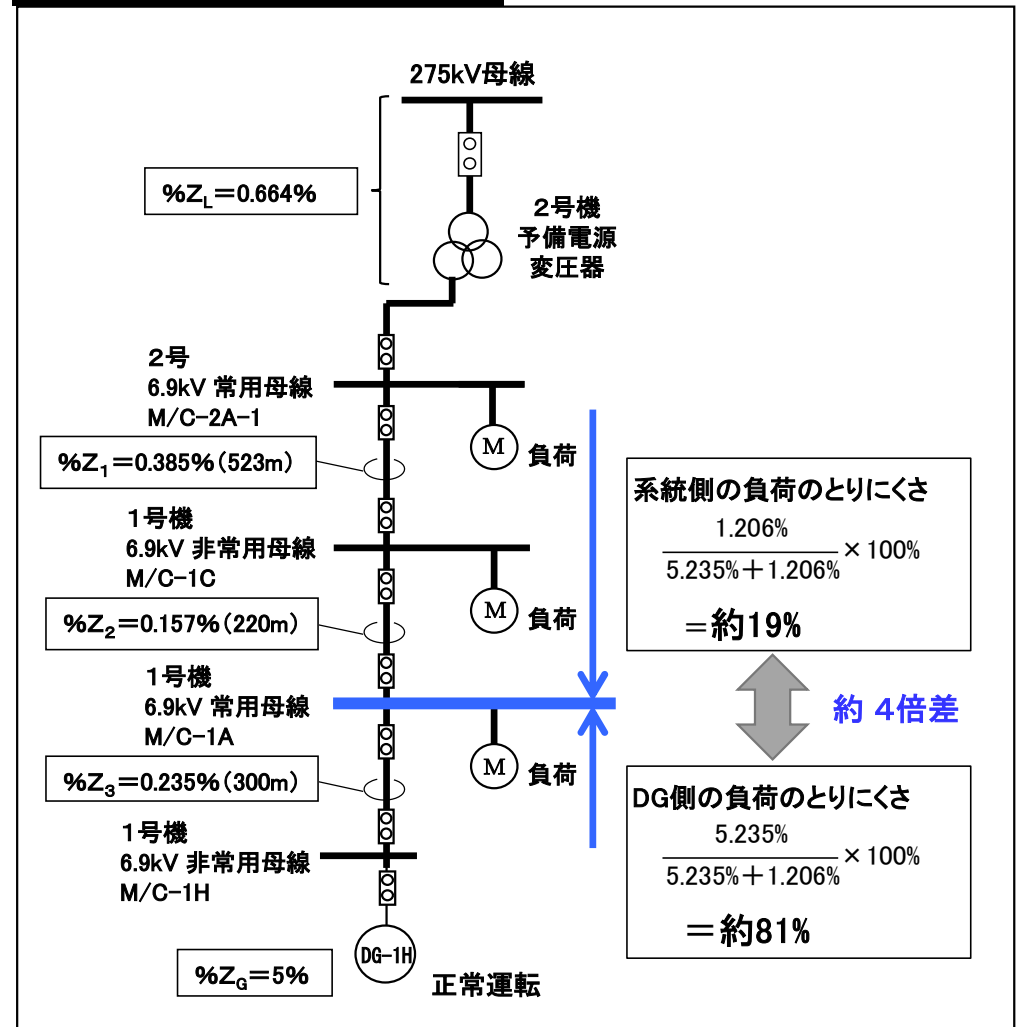


各試験時における所内電源構成とインピーダンスの関係 (1 / 2)

事象発生時 (2024年1月17日)

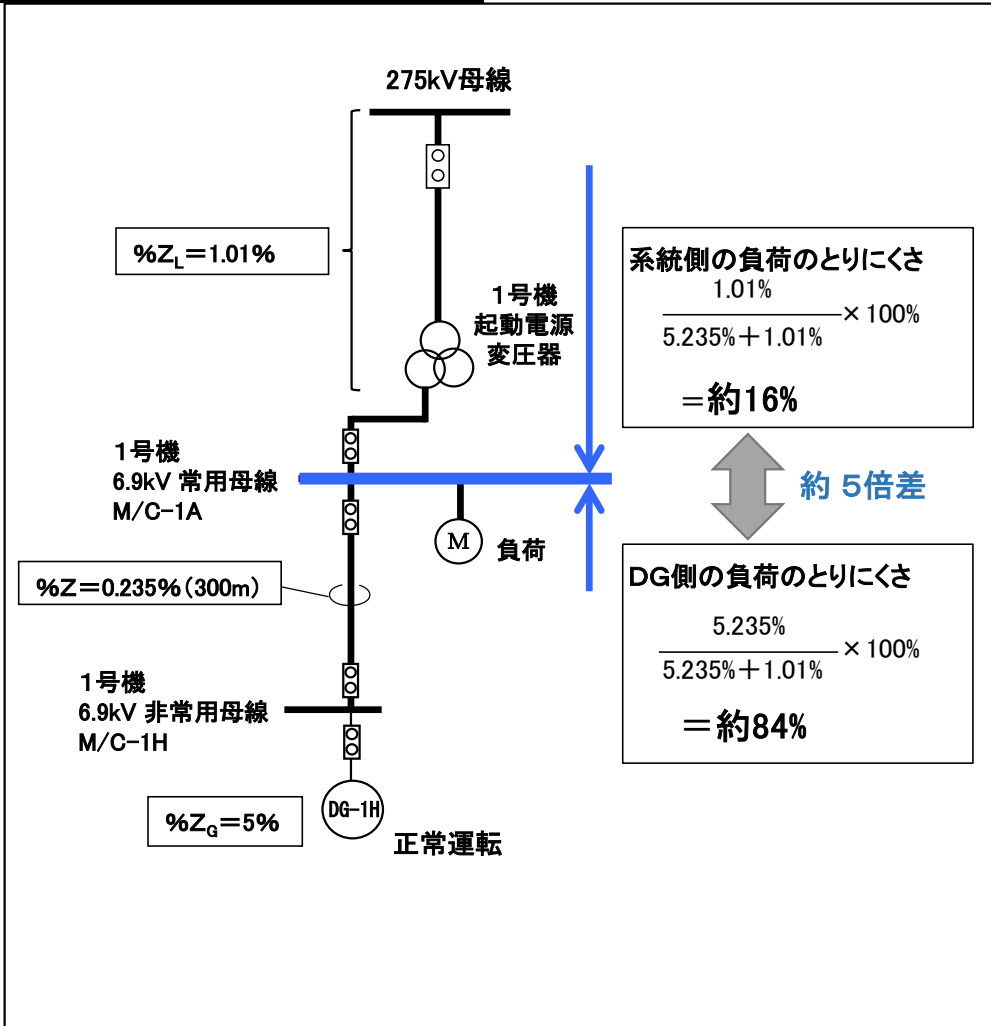


系統構成変更時 (2024年1月25日)



各試験時における所内電源構成とインピーダンスの関係 (2 / 2)

プラント停止時の状態 (地震前)



健全性確認時 (2024年1月3日)

