

美浜発電所 3 号機

A－非常用ディーゼル発電機定期試験中における
自動停止について

2021年12月
関西電力株式会社

1. 件名

美浜発電所3号機 A-非常用ディーゼル発電機定期試験中における自動停止について

2. 事象発生日時

2021年10月6日(水) 09時43分

(運転上の制限を満足していないと判断した日時)

2021年10月9日(土) 18時05分

(運転上の制限を満足していると判断した日時)

3. 事象発生前の状況

定格熱出力一定運転中

4. 事象発生の状況

美浜発電所3号機(加圧水型軽水炉、定格電気出力82万6千kW、定格熱出力244万kWt)は定格熱出力一定運転中のところ、10月6日09時37分、定期試験のため2台ある非常用ディーゼル発電機(以下、「D/G」という。)のうちA号機を起動した際、中央制御室に「Aディーゼル発電機トリップ」警報が発信し、A-D/Gが自動停止した。

また、現地盤に「過速度」警報が発信していることを確認したことから、09時43分に美浜発電所原子炉施設保安規定(以下、「保安規定」という。)第74条に定める運転上の制限(以下、「LCO」という。)を満足していないと当直課長が判断した。

本事象によるプラントの運転状態に異常はなく、周辺環境への影響はなかった。

なお、A-D/Gについては、過速度に至る可能性のある調速装置以外の設備(燃料制御装置、操縦リンク機構、始動空気系、速度検出回路)に異常は認められなかったことから、10月8日に調速装置を予備品に取替え、10月9日に正常に作動することを確認した。これにより、同日18時05分に保安規定の運転上の制限を満足している状態に復帰した。

5. 主要時系列

10月6日(水)

09時37分 A-D/G起動(定期試験開始)

09時37分 中央制御室に「Aディーゼル発電機トリップ」、「Aディーゼル発電機注意」警報発信

現地盤に「過速度」、「エンジントリップリレー動作」警報発信

A-D/G自動停止

- 09時38分 「Aディーゼル発電機トリップ」、「Aディーゼル発電機注意」
警報リセット
- 09時43分 運転上の制限を満足していないと当直課長が判断
(保安規定第74条 (ディーゼル発電機 モード1,2,3および4-))
- 11時44分 LCO逸脱時に要求される措置実施
～11時55分 B-D/G確認運転 (無負荷運転) (1回目)、結果「良」
- 16時50分 A-D/G隔離
現地点検調査開始

10月7日 (木)

- 11時00分 LCO逸脱時に要求される措置実施
～11時08分 B-D/G確認運転 (無負荷運転) (2回目)、結果「良」
- 18時30分 現地点検調査終了

10月8日 (金)

- 10時00分 調速装置取替 (予備品)
～11時30分
- 10時30分 LCO逸脱時に要求される措置実施
～10時38分 B-D/G確認運転 (無負荷運転) (3回目)、結果「良」
- 15時30分 使用前事業者検査 (構造・強度)
～16時00分

10月9日 (土)

- 09時30分 LCO逸脱時に要求される措置実施
～09時39分 B-D/G確認運転 (無負荷運転) (4回目)、結果「良」
- 09時50分 A-D/G隔離復旧作業
～10時00分
- 10時03分 点検・調整運転 (機関等エア抜き、ターニング、過速度試験)
～11時53分
- 13時30分 A-D/G試運転確認 (無負荷、負荷試運転)
～17時29分
- 13時30分 使用前事業者検査 (機能・性能・品質マネジメントシステム)
～17時55分
- 18時05分 当直課長は、保安規定の運転上の制限 (第74条) を満足していることを判断

6. 原因調査

(1) 現地確認結果

自動停止後、直ちにA-D/Gを点検した結果、停止状態に異常はなく、ディーゼル機関や附属機器からの漏えいなどの異常は認められなかった。

(2) 要因分析に基づく原因調査結果

今回の事象では、それぞれ独立したディーゼル機関の回転数を検出する検出器3個のうち、2個以上が過速度を検出したことにより過速度トリップしていることから、検出器及び検出回路の異常の可能性はないと考えられるが、念のため、リレー単体動作確認及び過速度トリップの動作確認試験によりリレーの動作等に異常がないことを確認した。これにより、回転数が実際にトリップ設定値(448～460rpm)に到達し、過速度トリップに至ったと考えられる。

このことから、ディーゼル機関の回転数調整に係る燃料制御装置、操縦リンク機構、調速装置及び速度検出回路並びに起動時にディーゼル機関を回転させる始動空気系に要因があると考えられた。これらの機器の内、現地において確認できる機器については現地で調査を行い、調速装置については分解点検、応答性試験を行うためメーカ工場に送り調査を実施した。

a. 燃料制御装置

D/Gのエアランを実施し、制限シリンダ及び速度調整弁の動作確認を実施した結果、制限シリンダの各部に固着はなく速度調整弁の動作にも異常のないことを確認した。また、Y型ストレーナの詰まりも認められず、異常のないことを確認した。

触診にて各部の緩みがないことを確認した結果、各部に緩みは認められなかった。

D/Gのターニングを実施し、ターニングギアインターロック弁の動作確認を実施した結果、ターニングギアインターロック弁に異常はなく、空気ラインに詰まりが発生していないことを確認した。

b. 操縦リンク機構

(a) 摺動抵抗測定結果

リンク機構の摺動抵抗をバネ秤で測定した結果、抵抗値が許容値内であり、異常のないことを確認した。

(b) バネ固着確認結果

手で操縦リンク機構バネを動作させた結果、固着は認められず、異常のないことを確認した。

c. 始動空気系

D/Gのエアランにて始動電磁弁を動作させた結果、始動電磁弁及び主始動弁の開閉動作に異常のないことを確認した。

d. 調速装置

(a) 速度設定値

ディーゼル機関の回転数を調整している調速装置の速度設定値（目標値）は9～12にあることを定期試験時の定格出力運転時に確認しており、前回定期試験時（9月1日）の速度設定値は10.89であったが、調速装置取外し前に速度設定値を確認した結果、12.68であった。

速度設定値は、D/G起動・停止に伴い変動するものであるが、目標値を超える値に変動した要因を調査するため、工場で外観目視点検を行い異常のないことを確認した。また、速度設定値は現地計測時から変動はなく、速度設定つまみと内部構造とは正常に接続されており、有意な損傷などは認められなかった。そのため、速度設定値が12.68に変動した要因は特定できなかった。なお、速度設定値が12.68であった場合、ディーゼル機関の回転数が400rpmを超え458rpmまで上昇し、自動停止に至る可能性があった。

(b) 負荷制限設定値

ディーゼル機関への燃料噴射量の上限值を設定している負荷制限設定値は、定期検査時及び定期試験時に確認しており、前回定期検査時（2020年10月16日）及び前回定期試験時（9月1日）のダイヤル目盛は、7.0であることを確認したが、調速装置取外し前にダイヤル目盛を確認した結果、7.2であった。

負荷制限設定値は、目標値（0～10）の範囲内であることを確認したが、念のため工場で外観目視点検を行い異常のないことを確認した。また、負荷制限設定値に変動はなく、負荷制限器と内部構造とは正常に接続されており、有意な損傷は認められなかった。

(c) 補償調整指針設定値

調速装置の応答性（ハンチング）を調整している補償調整指針設定値は、定期検査時に確認しており、前回定期検査時（2020年10月16日）の指針目盛は3であり、調速装置取外し前の指針目盛についても、3であったことから前回定期検査時の指針目盛と変動はなかった。

また、補償調整指針設定値は、目標値（0～10）の範囲内であることを確認したが、念のため工場で外観目視点検を行い異常のないことを確認した。また、指針目盛に変動はなく、指針指示値と内部構造とは正常に接続されており、有意な損傷などは認められなかった。

(d) 補償針弁開度

補償針弁開度は、定期検査時に確認しており、前回定期検査時（2020年10月16日）の弁開度は3/8であった。調速装置取外し前の弁開度についても、3/8であったことから前回定期検査時の弁開度と変化はなかった。

補償針弁開度は、目標値（ $3/8 \sim 1/2$ ）の範囲内であることを確認した。また、工場で目視確認を行った結果、弁開度に変化は認められなかった。

(e) 作動油

前回定期検査（第5回追加点検）記録により、エア抜きが実施されており、気泡がないことを確認した。

また、作動油を分析した結果、粘度はメーカーが指定する作動油の判定値内であり、指定された作動油と同等品を使用していることを確認した。

工場で目視点検を行った結果、油面計ねじ込み部に錆や異物の噛み込みはなく、また、作動油内にも錆や異物は認められなかった。

(f) 工場での分解点検

ア. 目視点検

目視点検を行った結果、ケース内に異物等はなく、また、各部に固着や発錆、異物の噛み込み、ピストン摺動部等の寸法、ばね部の抵抗にも異常は認められなかった。

イ. 作動状態の確認

各部の作動状態に異常は認められなかった。

ウ. 調速機応答性試験

応答性試験を実施した結果、最大回転数のバラツキが判定基準（最大回転数のバラツキが 6 min^{-1} 以下）を満足しており、スムーズに応答することを確認した。

e. 速度検出回路

リレーの単体動作確認及び過速度トリップの動作確認試験を行った結果、リレーの動作に異常のないことを確認した。

また、過速度検出器の設定値を確認した結果、DIP-SWITCH値^{※1}は03329であり、前回定期検査時の設定値である03329から変更がないことを確認した。

※1 : Dual In-line Package Switch [集積回路の小型スイッチ]

f. 過去の記録調査

前回定期検査時の整定回転数を調査した結果、 400 rpm 一定でバラツキは認められなかった。また、整定までの時間、燃料制限シリンダ保持時間及び始動空気流入時間についても許容値内であり有意な変化は認められなかった。

調速装置を予備品に取替えた後、整定回転数を確認した結果、 400 rpm 一定でバラツキは認められず、整定までの時間、燃料制限シリンダ保持時間及び始動空気流入時間についても許容値内であった。

以上の調査結果から、ディーゼル機関の回転数調整に係る燃料制御装置、

操縦リンク機構、調速装置及び速度検出回路並びに起動時にディーゼル機関を回転させる始動空気系に異常は認められなかった。

速度設定値が12.68であった場合、ディーゼル機関の回転数が400rpmを超え、自動停止に至る可能性があったことから、速度設定値が変動した要因について、調査を実施することとした。

(3) 速度設定値の変動に関する原因調査結果

速度設定値が変動する要因は、速度調節モータの動作、速度設定つまみの操作、振動による変動及び調速装置の動作不良が考えられるため、調査を実施することとした。

a. 速度調節モータの動作による速度設定値変動の有無に関する調査結果

速度調節モータを動作させるには、調速装置操作スイッチを手動で操作するか、誤作動により自動作動する場合が想定される。

(a) 手動操作

速度設定値の変更にはガバナ操作や現地のダイヤルによる変更が必要であるため、運転操作において、A-D/G負荷試験以外で調速装置操作スイッチの操作の有無を確認した結果、A-D/G負荷試験以外で調速装置の操作スイッチの操作は行われていないことを確認した。

中央制御室及び現地の調速装置操作スイッチへの接触の有無を調査した結果、中央制御室の操作スイッチはタッチパネル式であり、操作時以外は表示画面に操作スイッチを表示させないことを確認した。また、現地の操作スイッチは接触防止用カバーが取り付けられており、接触により操作スイッチが操作されることはないことを確認した。

A, B-D/G負荷試験時に調速装置操作スイッチ誤操作の可能性について調査した結果、中央制御室の操作スイッチはタッチパネル式であるが、操作する当該号機のみタッチパネルの表示画面に表示されることから、誤操作の可能性はないことを確認した。

(b) 自動作動

ア. 作業工具からのノイズによる誤作動

9月1日から10月6日の間に、A-D/G室及び調速装置制御・動力ケーブル近傍で実施した作業を調査した結果、ホイストの点検や床塗装等の作業が実施されていることを確認した。また、これらの作業にて使用した電動機器からのノイズの影響による速度調節モータの動作有無を確認するため、速度調節モータ動作のリレーに連続監視装置を取り付けた状態で速度調節モータの動作有無を確認した結果、動作しないことを確認した。また、異常な信号は検知されなかった。

イ. プラント補機運転等に伴うノイズ・信号による誤動作

プラント補機の運転操作等に伴うノイズ・誤信号並びに中央制御室及

びリレーラック室からの誤入力信号検出のため、速度調節モータ動作のリレーに連続監視装置を取り付け、リレーへの信号入力を確認した結果、異常な信号は検知されなかった。

ウ．配線接続不良

A-D/G盤内の配線接続端子部の接続不良（浮き）及び被覆に損傷が認められないか目視点検した結果、配線接続端子部の接続不良（浮き）及び被覆の損傷は確認されず、リレーの接点不良が発生する要因は認められなかった。また、赤外線サーモにより盤内の点検を実施した結果、異常な発熱は認められなかった。

エ．中央制御室VDU^{※2}からの誤信号発信

中央制御室の安全系VDU/監視操作VDUから速度調節モータの作動信号を発信する増操作→操作OFF→増操作を行い、保守ツール及びSRIO^{※3}端子部の増指令が増操作時以外に出力されていない（ソフトロジックが連続してオンとならない）ことを確認した結果、異常は認められなかった。また、SFS^{※4}盤内の外部端子台に接続するケーブル接続部の緩みや異物等は確認されなかった。更に、PIF^{※5}カードの設定がI/O^{※6}リスト及びカード設定値リストの通りであることを確認した。

※2：Visual Display Unit[ディスプレイ装置]

※3：Safeguard Sequence Remote Input Output[安全系現場入出力]

※4：Safeguard Sequence[安全防護系シーケンス]

※5：Power Interface[パワーインターフェイス]

※6：Input/Output[入出力]

オ．D/G盤外部からの誤信号発信

速度調節モータ動作のリレーに連続監視装置を設置し、リレーへの信号入力を確認した結果、速度調節モータ切り離し時、D/G盤と速度調節モータとの組み合わせ時及び安全系VDU/監視操作VDUと速度調節モータとの組み合わせ時の各組合せにおいて、増指令が増操作時以外に出力されていないこと、また、速度調節モータが問題なく増操作されることを確認した。

D/G盤内の外部端子台に接続するケーブル接続部の緩みや異物等は確認されなかった。

カ．自動同期装置の揃速指令の誤作動

速度調節モータ動作のリレーに連続監視装置を設置し、リレーへの信号入力を確認した結果、中央制御室の安全系VDU/監視操作VDU/DG盤に設置されている調速装置操作スイッチからの増指令が増操作時及び操作OFF時に、自動同期装置からの信号が出力されていないことを確認した。

キ．D/G盤調速装置操作スイッチの誤動作

DG盤調速装置操作スイッチが“中央制御室”に選択されている場合、増指令は連続して出力されていないことを確認した。

速度調節モータ動作用のリレーに連続監視装置を設置し、調速装置操作スイッチを“現地”選択とした場合、増指令が増操作時以外に出力されていないこと、また、速度調節モータが問題なく増操作されることを確認した。

b. 速度設定つまみの操作による速度設定値変動の有無に関する調査結果

速度設定つまみへの接触又は誤操作による、速度設定値変動の有無について調査した結果、速度設定つまみの設置場所は狭隘部ではなく、また、仮に接触したとしても速度設定つまみは比較的固く、接触により速度設定値が変動することは考え難いことを確認した。

また、9月1日から10月6日までの間にA-D/G室へ立入した可能性のある社員及び協力会社員へ誤操作の有無を確認した結果、速度設定つまみの操作自体が行われていないことを確認した。

c. 振動による速度設定値変動の有無に関する調査結果

A-D/G運転中において、調速装置の異常な振動の有無について触手により確認した結果、異常な振動がないことを確認した。また、速度設定つまみのダイヤルは比較的固く、振動による緩みの発生により速度設定値が変動することは考え難い状況であったことを確認した。

d. 調速装置構成部品動作不良による速度設定値変動の有無に関する調査

ディーゼル機関の回転がボールヘッド部で切り離されず、速度設定値が変動する可能性が考えられることから、関連する部品の詳細点検を実施した。

(a) スラストベアリング動作不良

スラストベアリングが固着し、ボールヘッド部が切り離されず速度設定値が変動する可能性が考えられることから、スラストベアリングの寸法確認を実施した結果、異常は認められなかった。

(b) スピーダスプリング、スピーダロッドスプリング固着

スピーダスプリング及びスピーダロッドスプリングが圧縮方向で固着し、ベアリングを圧迫することでディーゼル機関の回転がボールヘッド部で切り離されず、速度設定値が変動する可能性が考えられることから、スピーダスプリング及びスピーダロッドスプリングのバネ抵抗を確認した結果、異常は認められなかった。

また、仮組状態で各部の摺動抵抗を確認した結果、異常は認められなかった。

(c) スピーダースクリュー、スピーダプラグ及びスピードドループレバー選定不良

スピーダースクリュー、スピーダプラグ及びスピードドループレバーの寸法が不適切な場合、スピーダスプリングが圧縮方向で固着し、ベアリン

グを圧迫することでディーゼル機関の回転がボールヘッド部で切り離されず、速度設定値が変動する可能性が考えられることから、スピーダスクリュー、スピーダプラグ及びスピードドループレバーの寸法測定を実施した結果、異常は認められなかった。

また、仮組状態で各部の摺動抵抗を確認した結果、異常は認められなかった。

(d) フライウエイト、ボールヘッド固着及び選定不良

フライウエイトの寸法が不適切な場合や固着していた場合、スピーダスプリングが圧縮方向で固着し、ベアリングを圧迫することでディーゼル機関の回転がボールヘッド部で切り離されず、速度設定値が変動する可能性が考えられることから、フライウエイト及びボールヘッドの寸法を確認した結果、異常は認められなかった。

また、仮組状態で各部の摺動抵抗を確認した結果、異常は認められなかった。

以上の調査結果から、速度設定値が変動したことを踏まえ追加調査した速度調節モータの動作、速度設定つまみの操作、振動による変動及び調速装置の動作不良に関する調査においても異常は認められず、速度設定値が12.68に変動した要因は特定できなかった。

7. A-D/Gが自動停止に至った考察

6. 原因調査においてA-D/Gが自動停止に至った要因と考えられる速度設定値が変動した要因の特定に至らなかったことから、速度設定値が変動したメカニズムを考察した。

(1) 速度設定値の状況

今回のA-D/G自動停止は、D/Gの回転数がトリップ設定値（448～460rpm）に到達し、過速度トリップに至ったと考えられる。

通常、速度設定値はD/G停止前に中央制御室又は現地盤の操作スイッチを操作することで速度調節モータを動作させ、周波数を61.2Hzに調整したうえでD/Gを停止する。このため、前回D/G停止時の設定値のままD/Gを起動することとなるが、今回の調査において速度設定値が12.68と目標値を超える状態であった。なお、前回定期試験時（9月1日）における停止時の速度設定値は10.89であった。

(2) 速度設定値の変動

停止中における速度設定値にてD/Gの回転数は調整されるが、この設定値は中央制御室又は現地調速装置操作スイッチからの信号により速度調節モータが動作することにより変動する、或いは速度設定つまみのダイヤルを人力で操作することにより変動することが考えられる。

中央制御室又は現地調速装置操作スイッチからの信号により速度調節モータが動作したことによる変動の可能性については、6. 原因調査の結果から考えられない。しかしながら、速度調節モータを動作させるシーケンス回路を構成するカードから偶発的に信号が発信された場合、速度調節モータが動作し、速度設定値が変動する可能性は否定できない。

速度設定つまみのダイヤルを人力で誤って操作したことによる変動の可能性については、速度設定つまみの操作自体が行われておらず、中央制御室からの操作についてもタッチパネル式であり操作する時以外は表示画面に操作スイッチが表示されない。また、現地調速装置操作スイッチについては、接触防止用カバーが取り付けられており、調速装置の操作選択についても中央制御室が選択されていることから、現地調速装置操作スイッチでの操作を受け付けることはない。そのため、中央制御室及び現地操作盤にて人の接触により容易に速度設定値が変動するような状態にはない。

8. 推定原因

A-D/Gの速度を調整する速度設定値が、速度調節モータを動作させるシーケンス回路を構成するカードから偶発的に信号が発信された影響により目標値を超える12.68に変動したことで、A-D/G起動時にD/Gの回転数が過速度トリップ設定値を超え、過速度トリップに至ったものと推定される。

9. 対 策

本事象の推定原因が偶発的な信号発信であることを踏まえ、プラント起動までの間、連続監視装置を設置し、変動状況を監視する。

更に、今後、巡視点検でも速度設定値に変動がないことを確認する。

また、速度調節モータを動作させるシーケンス回路を構成するカードを念のため予備品に取り替える。

以 上