

伊方発電所第 1 号機
空冷式非常用発電装置の不具合について

令和元年 11 月

四国電力株式会社

1. 件名

伊方発電所第1号機 空冷式非常用発電装置の不具合について

2. 事象発生の日時

令和元年7月17日 10時25分頃

3. 事象発生の設備

1号機 空冷式非常用発電装置1号

4. 事象発生時の運転状況

1号機 廃止措置中

5. 事象発生の状況

7月17日10時25分頃、1号機の空冷式非常用発電装置1号^{※1}の定期運転において、潤滑油プライミングポンプ^{※2}が起動しないため補機制御盤を確認したところ、補機用電源ケーブルが黒く変色していることを係員が確認した。なお、念のため消防署へ連絡を行い、消防署員の現地確認により火災ではないとの判断がなされた。

調査の結果、変色したケーブルおよびケーブルがつながる端子台以外に異常は認められなかったため、変色したケーブルおよび端子台等の取り替えを実施した。その後、潤滑油プライミングポンプ等の補機および空冷式非常用発電装置1号を起動し、運転に異常の無いことを確認し、8月30日11時05分、通常状態に復旧した。

なお、空冷式非常用発電装置1号は、1号機の外部電源喪失時にプラントに交流電源を供給する非常用ディーゼル発電機のバックアップ設備として設置しているものであり、1号機の外部電源が喪失した場合は非常用ディーゼル発電機にて電源を供給できるため、1号機の運用への影響はなかった。また、本事象による環境への放射能の影響もなかった。

(添付資料-1)

※1 空冷式非常用発電装置1号

1号機の外部電源喪失時に、プラントに交流電源を供給する非常用ディーゼル発電機1A、1Bのバックアップとして設置している非常用発電装置。空冷式非常用発電装置は、1号機に1台、2号機に1台、3号機に2台、それぞれ設置している。

※2 潤滑油プライミングポンプ

空冷式非常用発電装置1号のディーゼル機関停止中に軸受部や摺動部に潤滑油を供給するためのポンプ。

6. 事象の時系列

7月17日

- 9時50分頃 空冷式非常用発電装置1号の定期運転作業開始
- 10時25分頃 補機制御盤内のケーブルの変色を確認
- 13時17分 消防署による「火災ではない」との判断
- 15時10分 空冷式非常用発電装置2号、3号、4号の起動試験を実施し、運転に異常のないことを確認

8月28日

- 15時30分 補機用電源ケーブル等の取替後、潤滑油プライミングポンプ等の補機の運転に異常の無いことを確認

8月30日

- 11時05分 空冷式非常用発電装置1号の起動試験を実施し、運転に異常の無いことが確認できたことから、通常状態に復旧

7. 調査結果

(1) 現地調査結果

a. 事象発生時の状況調査

補機制御盤内の状況を確認したところ、補機へ3相交流^{※3}により電気を供給するための3芯（U相、V相、W相）のケーブル芯線のうち、U相が変色および断線していることを確認した。また、このケーブルがつながる端子台および周囲の配線において、変色および断線したU相からの熱の影響と思われる変色を確認した。なお、その他の箇所に異常は認められず、盤内に異物も認められなかった。

変色、断線した補機用電源ケーブルからの給電先である潤滑油プライミングポンプ、ヒータおよびバッテリー充電器盤ならびに給電元である所内雑動力分電盤^{※4}において、設備の状況およびブレーカの動作状況を目視確認したが、異常は認められなかった。

(添付資料-2)

※3 3相交流

3相交流とは、1つの電気回路に3つの正弦波電流が1/3サイクル（120°）のずれを保って流れているもので、これらを区別するために第1相をU相、第2相をV相、第3相をW相という。

※4 所内雑動力分電盤

発電所内で現地の作業などで使用する電源盤。空冷式非常用発電装置内の補機への給電は、通常時は所内雑動力分電盤から、空冷式非常用発電装置の運転時は発電装置内の発電機から、それぞれ行う。

b. 事象発生後の現地調査

所内雑動力分電盤から下流の電源回路において、ブレーカおよびヒューズの健全性確認を実施したが、異常は認められなかった。また、ケーブルの絶縁抵抗測定および導通確認を実施した結果、異常は認められなかった。

また、変色、断線した補機用電源ケーブルの周囲で変色した配線は、補機の起動停止等の制御用として使用されているものであり、配線の断線や素線の露出は見られず、異常は認められなかった。

(2) 工場調査結果

当該ケーブルおよび端子台をメーカ工場に送付し、調査を実施した。ケーブルの変色および断線状況から、最も発熱した箇所は補機用電源ケーブルの端子台2次側の接続部近傍であったことから、端子台2次側の接続部近傍を対象に各種調査を実施した。

a. X線CT調査

(a) 端子台2次側ねじの締め付け状況

端子台2次側ねじの締め付け状況を確認するため、端子台に締め付けられているねじの深さの寸法を計測した。その結果、健全な箇所は6.11mmであったのに対し、断線のあった箇所は5.65mmであり、健全な箇所と比べ0.46mm締め付けが緩いことを確認した。

なお、断線のあった箇所と健全な箇所との計測寸法差0.46mmは、ねじ1山の約60%の長さであり、回転量に換算すると210°分の差異であった。

(添付資料-3)

(b) 2次側圧着端子と端子台の接触状況

補機用電源ケーブルを端子台に取り付ける際の圧着端子と端子台導通部（押え板およびベースプレート）との接触状況について、健全な箇所と断線のあった箇所を比較すると、断線のあった箇所において圧着端子と端子台導通部との間にすき間が見られ、接触が不十分であることが確認された。

(添付資料-3)

b. 断面マイクロ組織観察および組成分析

端子台に締め付けられていた圧着端子の断面マイクロ組織観察を行った結果、全周に厚い酸化スケール^{※5}の生成が認められた。

酸化スケールの組成分析を実施した結果、過大な発熱の原因となる亜酸化銅^{※6}が含まれていることを確認した。

※5 酸化スケール

導体表面が空気中の酸素等と反応し生じる酸化物被膜。

※6 亜酸化銅

電気接続部の緩みや接触不良箇所における過熱により、接続部周囲の銅材料を溶かし込みながら生成される物質。電気抵抗の大きい亜酸化銅の生成に伴い発熱量が増大し、さらに亜酸化銅が生成する場合がある。

(3) 納入状況の調査結果

空冷式非常用発電装置1号は平成23年10月に納入されており、納入時の機能試験時において不具合は確認されていないことを確認した。

(4) 保守状況の調査結果

空冷式非常用発電装置1号は、1年に1回の頻度で外観点検および機能試験を実施している。至近では令和元年6月19日に外観点検および機能試験を実施し、異常は認められなかった。

また、定期運転として1か月に1回の頻度で無負荷試験を実施している。至近では令和元年6月21日に無負荷試験を実施しており、異常は認められなかった。

至近で実施した、機能試験および無負荷試験のいずれにおいても、運転状態に異常は認められなかった。

なお、空冷式非常用発電装置1号の納入以降、補機用電源ケーブルの接続部のねじの取り外しは実施しておらず、締め付け確認も実施していなかった。

(5) 類似機器の調査結果

2号機に設置している空冷式非常用発電装置2号、および3号機に設置している空冷式非常用発電装置3、4号について、定期運転として1か月に1回の頻度で実施している無負荷試験において、運転状態に異常のないことを確認した。

8. 推定原因

調査の結果、潤滑油プライミングポンプが起動しなかった原因は、補機制御盤内の端子台に締め付けられている補機用電源ケーブル接続部において、亜酸化銅が生成されたことによる発熱現象により接続部に異常な発熱が生じ、異常な発熱を受けた補機用電源ケーブルが変色および断線し、潤滑油プライミングポンプに給電できず起動しなかったためであると推定した。

亜酸化銅が生成された原因としては、工場製作時に補機用電源ケーブル圧着端子の締め付けが不十分であったことから、補機用電源ケーブル接続部に機能試験および無負荷試験時の機械的な振動が加わり、接触不良が生じてアークが発生しやすい状況となり、ケーブル接続部に亜酸化銅が徐々に生成されたと考えられる。

9. 対策

- (1) 空冷式非常用発電装置1号の補機制御盤内において変色、断線した補機用電源ケーブル、端子台および周囲の変色した配線を新品に取り替えた。
- (2) 空冷式非常用発電装置1号および同型式である空冷式非常用発電装置2号、3号および4号の補機制御盤および充電器盤のケーブル接続部において、緩みが無いことを確認した。
- (3) 今後実施する空冷式非常用発電装置の点検において、補機制御盤および充電器盤のケーブル接続部締め付け確認を追加する。

以上

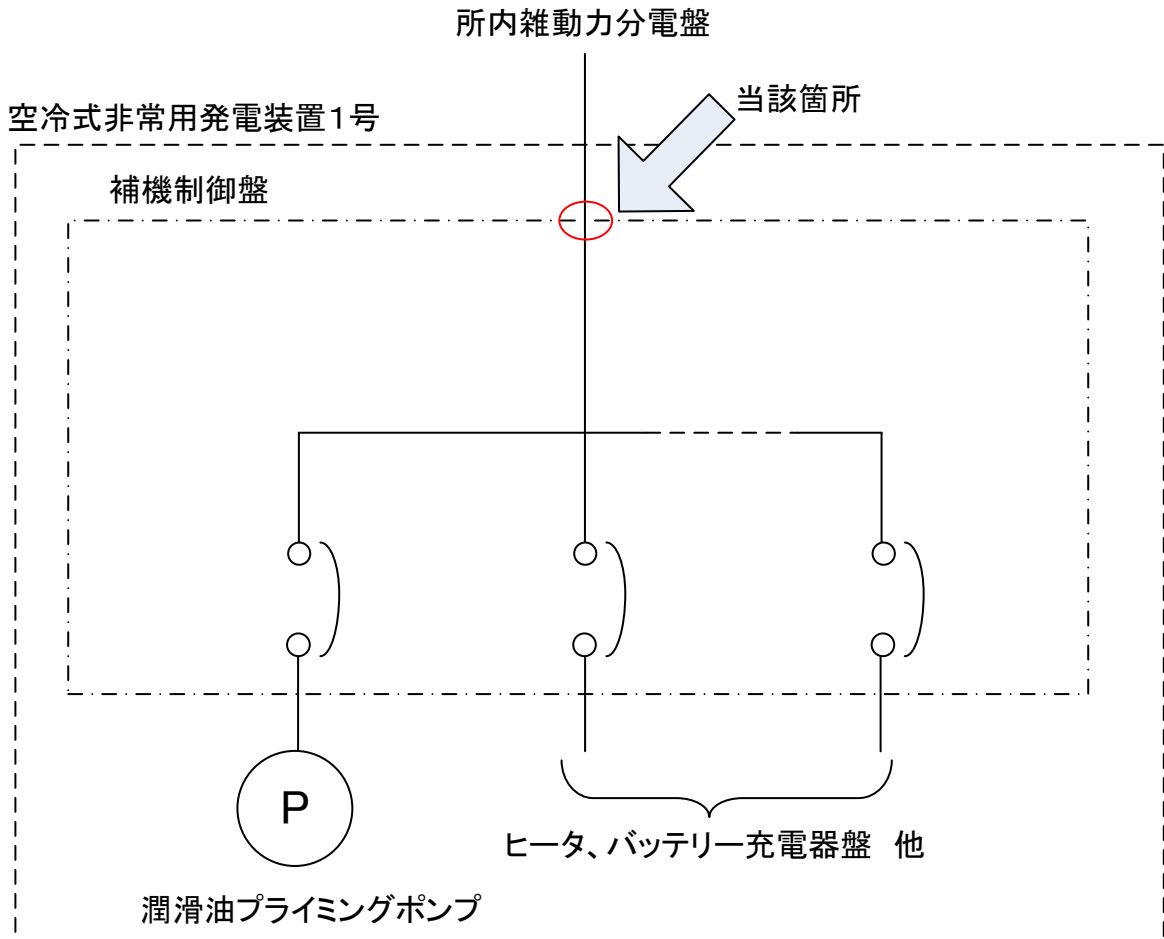
添 付 資 料

添付資料－1 空冷式非常用発電装置 1 号 補機制御盤 概略系統図

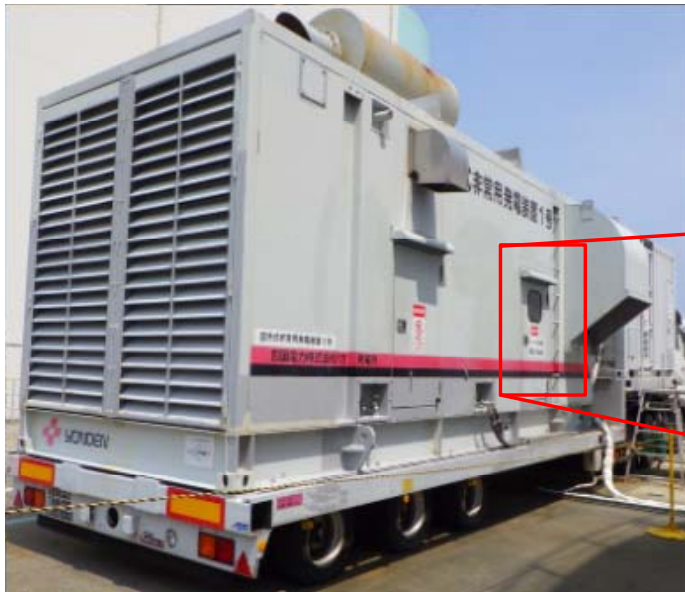
添付資料－2 空冷式非常用発電装置 1 号 補機制御盤 状況写真

添付資料－3 空冷式非常用発電装置 1 号 補機制御盤 端子台構造図

空冷式非常用発電装置 1 号 補機制御盤 概略系統図



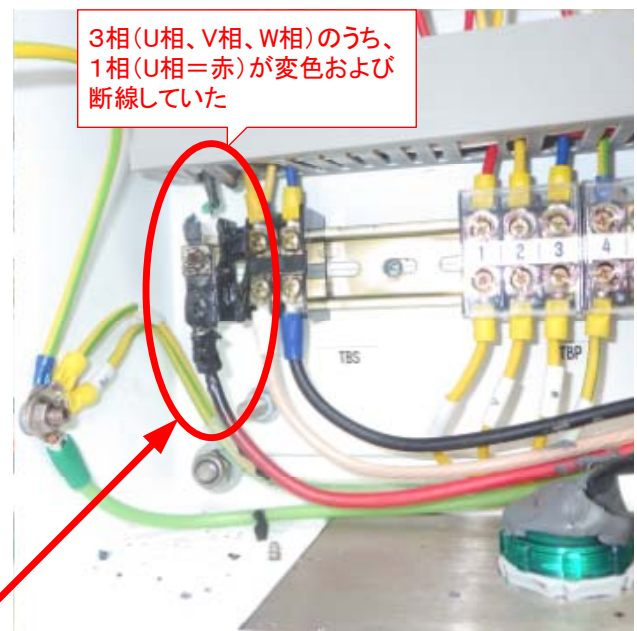
空冷式非常用発電装置 1号 補機制御盤 状況写真



空冷式非常用発電装置 1号



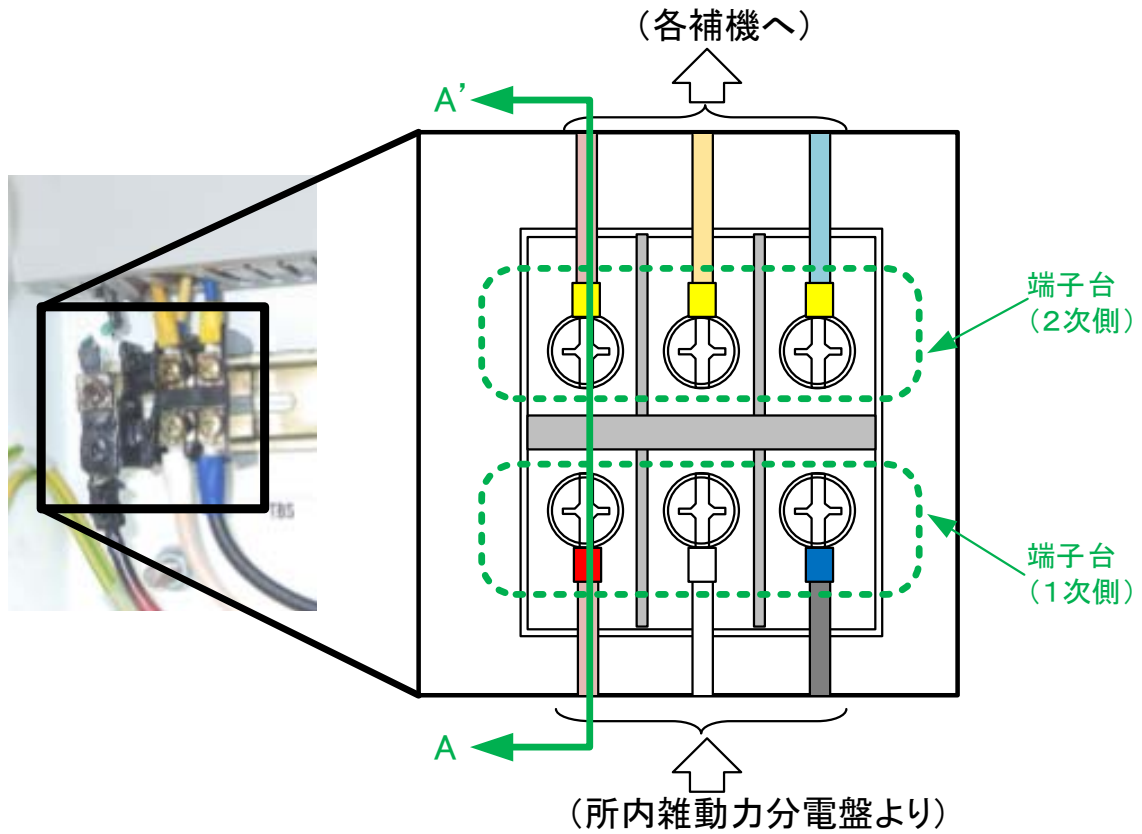
当該箇所



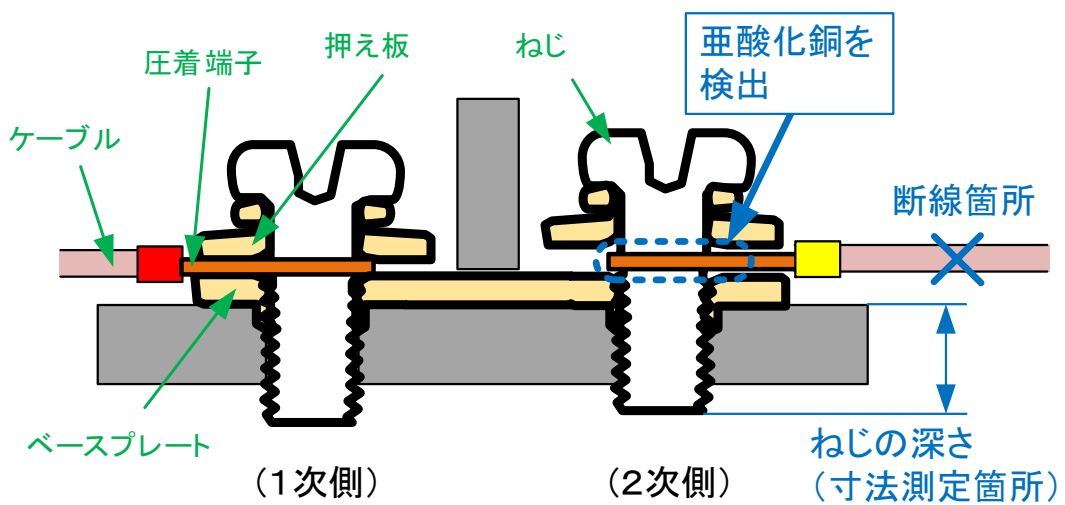
3相(U相、V相、W相)のうち、1相(U相=赤)が変色および断線していた

補機制御盤内部

空冷式非常用発電装置 1 号 補機制御盤端子台構造図



端子台平面図



端子台断面図 (A-A')