

島原本広第503号
平成25年12月24日

島根県知事 溝口善兵衛様

中国電力株式会社
常務取締役 島根原子力本部
本部長 古林行雄

『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告の指示について』
に対する報告について

平成25年10月24日付け『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告の指示について』（原規技発第1310091号 平成25年10月24日）に基づき、本日、添付のとおり原子力規制委員会へ報告しましたので、島根原子力発電所周辺地域住民の安全確保等に関する協定第8条第1項（9）に基づきご連絡いたします。

添付

『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告の指示について』
に対する報告について

以上



電原運 第 139号
平成25年12月24日

原子力規制委員会 殿

広島市中区小町4番33号
中国電力株式会社
取締役社長 荻田 知英

『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告の指示について』
に対する報告について

平成25年10月24日付け『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告の指示について』（原規技発第1310091号 平成25年10月24日）に基づき、島根原子力発電所1号機、2号機の対応等を別紙のとおり報告いたします。

以上

別紙

米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に対する報告について

別 紙

米国情報「電源系統の設計における脆弱性」
に対する報告について
(報告)

平成 25 年 12 月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに	.....	1
2. 米国 Byron 2 号機の事象の概要と米国の対応状況について	.....	2
3. 島根原子力発電所の電源系の設備構成及び負荷の状態について	.....	3
4. 外部電源系の 1 相開放故障の発生想定箇所について	.....	3
5. 報告内容	.....	4
6. まとめ	.....	7
添付資料－1 島根原子力発電所 所内電源系 全体構成図	.....	8
添付資料－2 島根原子力発電所 主要負荷リスト	.....	10

1. はじめに

本報告書は、米国原子力規制委員会による情報「電源系統の設計における脆弱性」(Bulletin 2012-01)に記載された Byron 2 号機での 1 相開放故障に係わる事象を受け、原子力規制委員会より平成 25 年 10 月 24 日に発出された『米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に対する報告について』(原規技発第 1310091 号 平成 25 年 10 月 24 日)に基づき、以下について報告するものである。

<原子力規制委員会指示事項>

1. 外部電源系に 1 相開放故障が発生した場合の検知の可否及び検知後の対応について、報告すること。
2. 外部電源系における 1 相開放故障の状態が検知されない場合、発生すると予想される状態及び安全上の問題について、報告すること。

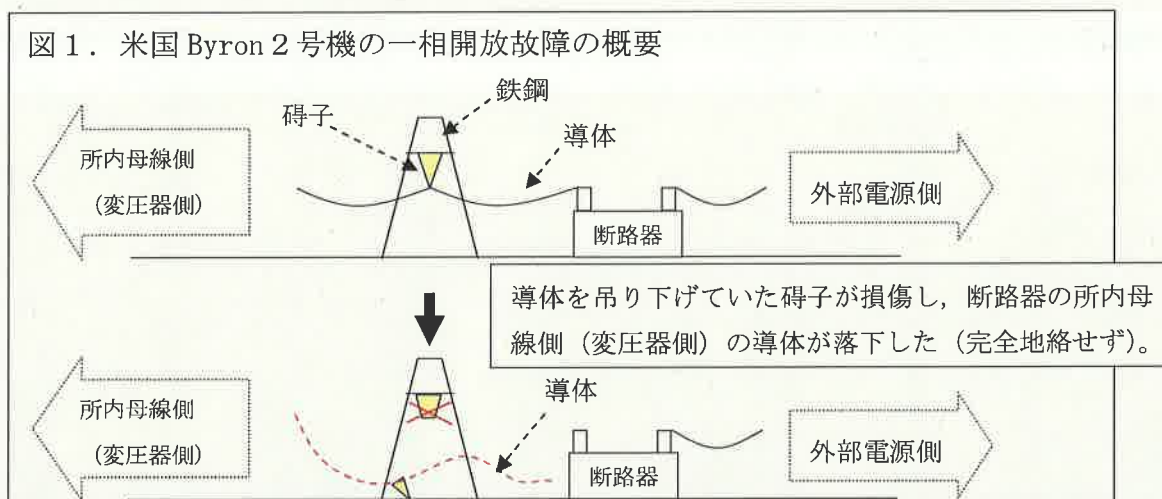
なお、当該報告には、電源系の設備構成及び負荷の状態についての説明を含めること。

2. 米国 Byron 2 号機の事象の概要と米国の対応状況について

(1) 米国 Byron 2 号機の事象の概要

2012 年 1 月 30 日、米国 Byron 2 号機において定格出力運転中、以下の事象が発生した。

- ① 起動変圧器の故障（架線の碍子の破損）により、三相交流電源の 1 相が開放故障した状態が発生した（図 1）。
- ② このため、常用母線の電圧が低下し、原子炉がトリップした。
- ③ 三相交流電源の 1 相開放故障が検知されなかったため、非常用母線の外部電源への接続が維持され、非常用母線各相の電圧が不平衡となった。
- ④ 原子炉トリップ後に起動した安全系補機類が、非常用母線の電圧不平衡のために過電流によりトリップした。
- ⑤ 運転員が 1 相開放故障状態に気づき、外部電源の遮断器を手動で作動させることにより、外部電源系から非常用母線が開放され、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、電源を回復した。



(2) 米国の対応状況について

NRC（米国原子力規制委員会）では、所内電源における三相交流のうち 1 相が開放故障した場合の電圧劣化状態が検知されることなく、非常用高圧母線への給電が維持されたことを電源系統の設計の脆弱性・問題点と捉えており、米国事業者と対応を検討しているところである。

なお、原子力産業界は 2017 年を問題解決の期限としている。

3. 島根原子力発電所の電源系の設備構成及び負荷の状態について

島根原子力発電所（1，2号機）（以下、「当所」という）に接続する送電線は、220kV送電線2回線（第2島根原子力幹線1号，2号）および66kV送電線1回線（鹿島支線）の計3回線で構成されている。当所の所内電源系の全体構成および負荷の状態を添付資料-1，2に示す。

4. 外部電源系の1相開放故障の発生想定箇所について

当所の所内電源系の高圧母線に電源を供給するための外部電源として、以下の3つの経路が存在する。

- (a) 所内変圧器からの電源
- (b) 起動変圧器からの電源
- (c) 予備変圧器からの電源

所内電源系の高圧母線における3相の各相には、低電圧を検知する交流不足電圧継電器が設置されていることから、3相のうち1相の開放故障により、当該継電器の検知電圧が約30%以上低下すると、当該継電器が作動し、1相開放故障を含めた電源系の異常を検知することが可能である。

また、(a)～(c)の各変圧器2次側（所内電源系側）の接続部位は、接地された筐体内等に収納されており、万一接続部における断線等により1相開放故障が発生したとしても、完全地絡に移行して大きな電圧低下が発生することから、交流不足電圧継電器および地絡過電圧継電器により検知することが可能である。

更に、予備変圧器の外部電源に接続する遮断器および所内電源に接続する遮断器については、3相の駆動軸が連動して作動する構造となっており、1相のみが単独で作動する機構では無く、その他の所内変圧器および起動変圧器の外部電源に接続する遮断器については、駆動軸は独立しているものの、仮に1相のみ単独で開放したとしても、他の相も1相開放を検知し、遮断器を開放する機能を有している。

よって、今回の外部電源系の1相開放故障の発生想定箇所としては、外部電源から非常用母線に給電している変圧器の遮断器を除いた1次側に限定される（表1）。

表1 非常用母線に給電している対象変圧器

発電所名	号機	対象変圧器	架線による接続の有無
島根原子力発電所	1号	所内変圧器※	なし
		起動変圧器	
	2号	所内変圧器※	
		起動変圧器	
	1，2号共用	予備変圧器	あり

※所内変圧器はプラント運転中に非常用母線へ給電しているため対象とする。

5. 報告内容

(1) 外部電源系に1相開放故障が発生した場合の検知の可否及び検知後の対応について

(a) 1相開放故障が発生した場合の検知の可否

4. に記載のとおり、変圧器1次側の1相開放故障に伴い、交流不足電圧継電器の検知電圧が約30%以上低下すれば、1相開放故障を含めた電源系の異常を検知することが可能であるが、一般的には、変圧器負荷が非常に少ない場合や、変圧器に Δ 結線の安定巻線を含む場合、当該継電器の検知電圧が作動範囲まで低下せず、1相開放故障が検知できない可能性がある（3相交流では、変圧器1次側における1相のみが開放故障となっても変圧器鉄心に磁束の励磁が持続されるため、変圧器2次側（所内電源系側）において3相ともほぼ正常に電圧が維持される場合がある）。

従って、外部電源系に1相開放故障が発生した場合の検知の可否については、交流不足電圧継電器または地絡過電圧継電器が作動することにより検知できる場合があるものの、発生時の負荷状態や故障状態によっては検知できない可能性がある。

また、1相開放故障の発生前後における負荷電流の微妙な変化を検知するような方法も考えられるが、通常時においても負荷電流は変動するものであり、通常時の電流変化と1相開放故障したことによる電流変化を判別して検知することは困難と考えられる。

以上のことを踏まえて、当社において1相開放故障が発生する可能性も含め検知の可否について整理すると次のとおりとなる。

・ 1, 2号機 所内変圧器および起動変圧器

所内変圧器および起動変圧器の1次側（外部電源系側）の接続部位は、Byron 2号機の架線による接続とは異なり（図1）、接地された筐体・管路内に配線が収納された構造である（図2）。

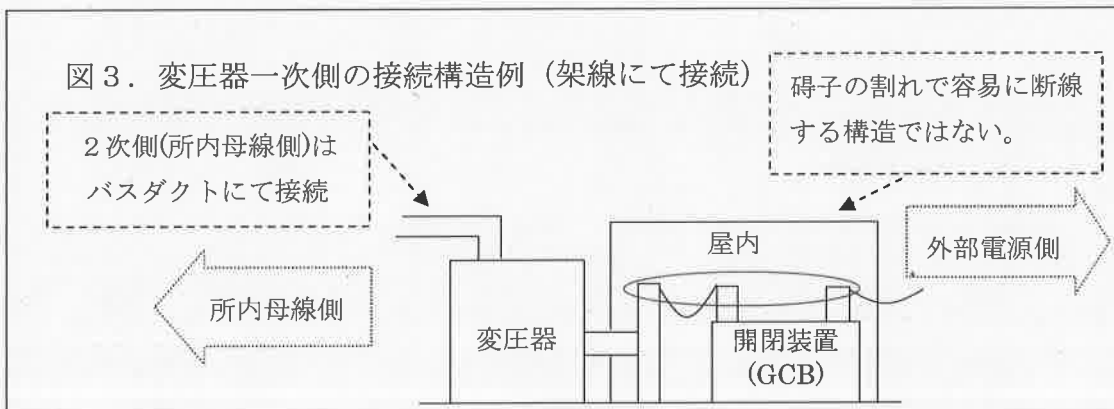
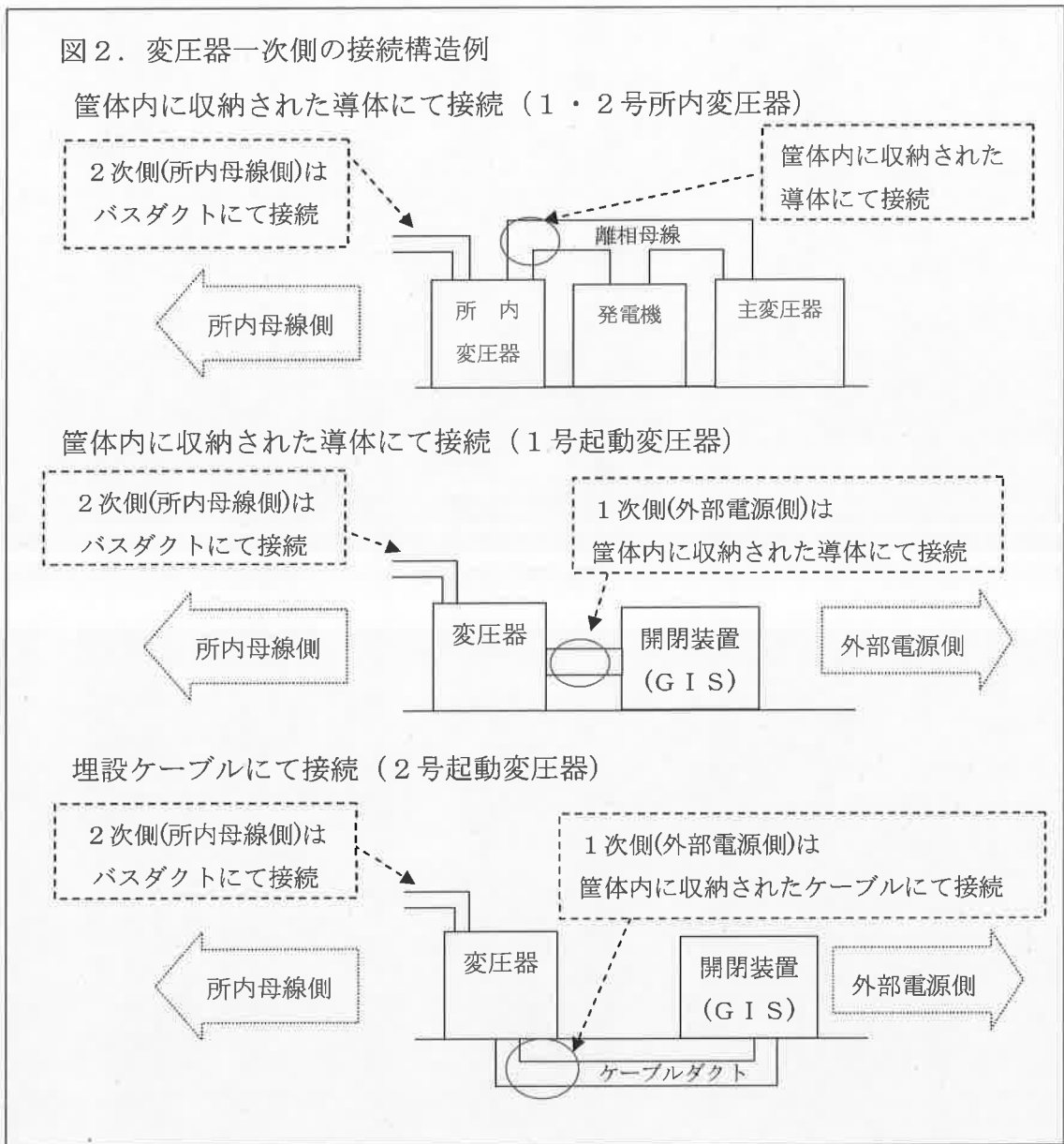
この場合、変圧器1次側に架線の碍子は存在せず、また導体の断線による1相開放故障が発生したとしても、変圧器2次側同様に接地された筐体・管路を通じ完全地絡となることで、交流不足電圧継電器または地絡過電圧継電器で検知が可能である。

・ 予備変圧器

予備変圧器の1次側の接続部位は、Byron 2号機と同じく架線による接続ではあるが（表1）、吊り下げ型ではなく、碍子の割れにより容易に落下し、断線する構造ではないこと、および導体は接続部において複数のボルトで固定されていることから、1相開放故障が発生する可能性は極めて低い（図3）。

また、接続部が破損したとしても、接地された周囲の構造物に接触することで

検知できる可能性が高く，日々の巡視点検や定期的な保全活動により，異常の早期発見が可能である。



なお、いずれの変圧器においても変圧器 1 次側で 1 相開放故障が発生した場合には、当該変圧器に接続された高圧母線に連なる運転中補機が異常振動発生、あるいは過負荷トリップする等の挙動を示すこともあり (Byron 2 号機においても同様の挙動が確認されている)、警報発報により運転員が気付く前にこれらの要因で検知される場合も考えられる。

(b) 1 相開放故障が発生した場合の検知後の対応

非常用高圧母線に電源を供給する変圧器において、1 次側の 1 相開放故障を検知した場合には、運転員が手動にて待機側の変圧器に切り替えるか、若しくは故障の影響のある変圧器を切り離して非常用ディーゼル発電機を起動することにより非常用高圧母線に給電する。対応操作が落ち着いた段階で、1 相開放故障の原因調査を行う。

また、待機中の変圧器において、1 相開放故障の発生を検知できた場合には、当該変圧器を使用しないように待機状態を解除し、1 相開放故障の原因調査を行う。

(2) 外部電源系における 1 相開放故障の状態が検知されない場合、発生すると予想される状態及び安全上の問題について^(注)

(注) 1 相開放故障の状態が検知されない場合には、検知可能な場合でも設備故障により検知されない場合を含む

発電所の運転中に当該変圧器の 1 次側で 1 相開放故障が検知されない状態で発生した場合には、1 相開放故障の影響を受けた高圧母線に連なるポンプや空調ファンなどの補機類が過負荷トリップし、機器によっては待機中の補機類が自動起動するが、これらも過負荷トリップすることが予想される。

具体的には、Byron 2 号機と同様に 1 相開放故障の影響を受ける高圧母線の負荷である給復水系のポンプが過負荷により停止し、原子炉水位が低下することにより、原子炉が自動停止することが考えられるが、原子炉水位は原子炉隔離時冷却系が作動することにより維持することが可能である。また原子炉停止に伴い、電源が所内変圧器側または起動変圧器側から待機側の変圧器に自動切り替えられ、さらに非常用ディーゼル発電機が待機していることから、健全な電源で対応できる。

発電所の停止中に起動変圧器または予備変圧器の 1 次側で 1 相開放故障が検知されない状態で発生した場合にも、1 相開放故障の影響を受けた高圧母線に連なるポンプや空調ファンなどの補機類が過負荷トリップし、機器によっては待機中の補機類が自動起動するが、これらも過負荷トリップすることが予想される。

具体的には、発電所停止中に原子炉や燃料の冷却に使用しているポンプが過負荷により停止することが考えられる。

しかし、いずれの場合においても、これらの事象が発生した後、運転員が電源系の異常と判断し、待機系への電源の切り替え操作や、非常用ディーゼル発電機の起動操作等、5.(1).(b)の検知が可能である場合と同様の対処により事象を収束することができ、安全上の問題には至ることなく対応をとることが可能である。

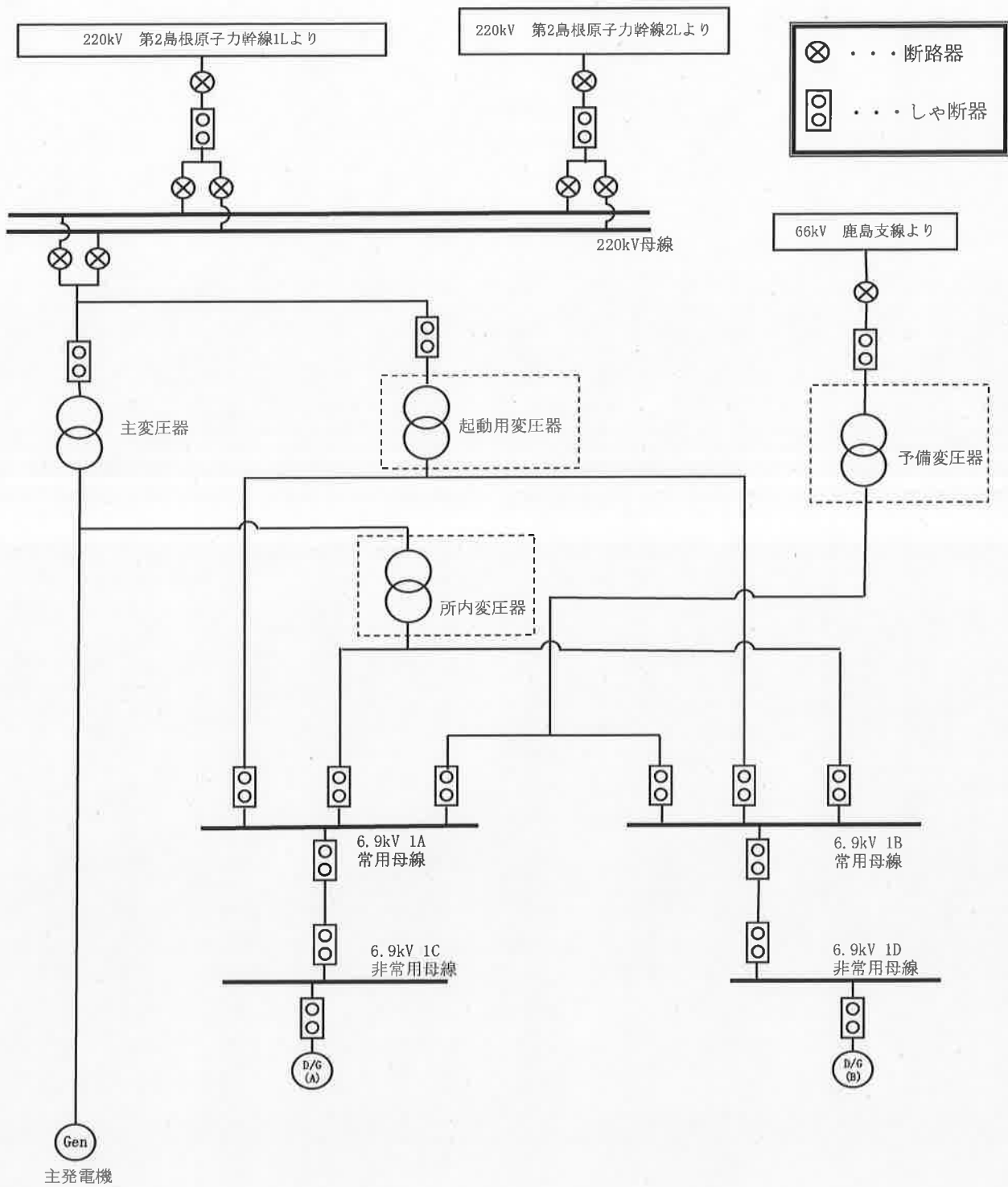
6. まとめ

以上のとおり、1相開放故障が発生した場合でも、待機系の電源への切り替えや、非常用ディーゼル発電機の起動により、事象を収束することが可能であり、当該事象に対して迅速かつ確実な対応操作を行うため、運転員に対して当該事象の内容について周知し注意喚起を行っている。また、待機中の電源系への切り替え等の操作手順は既に整備しているが、1相開放故障を検知した場合の対応については、運転操作手順書へ反映する予定である。

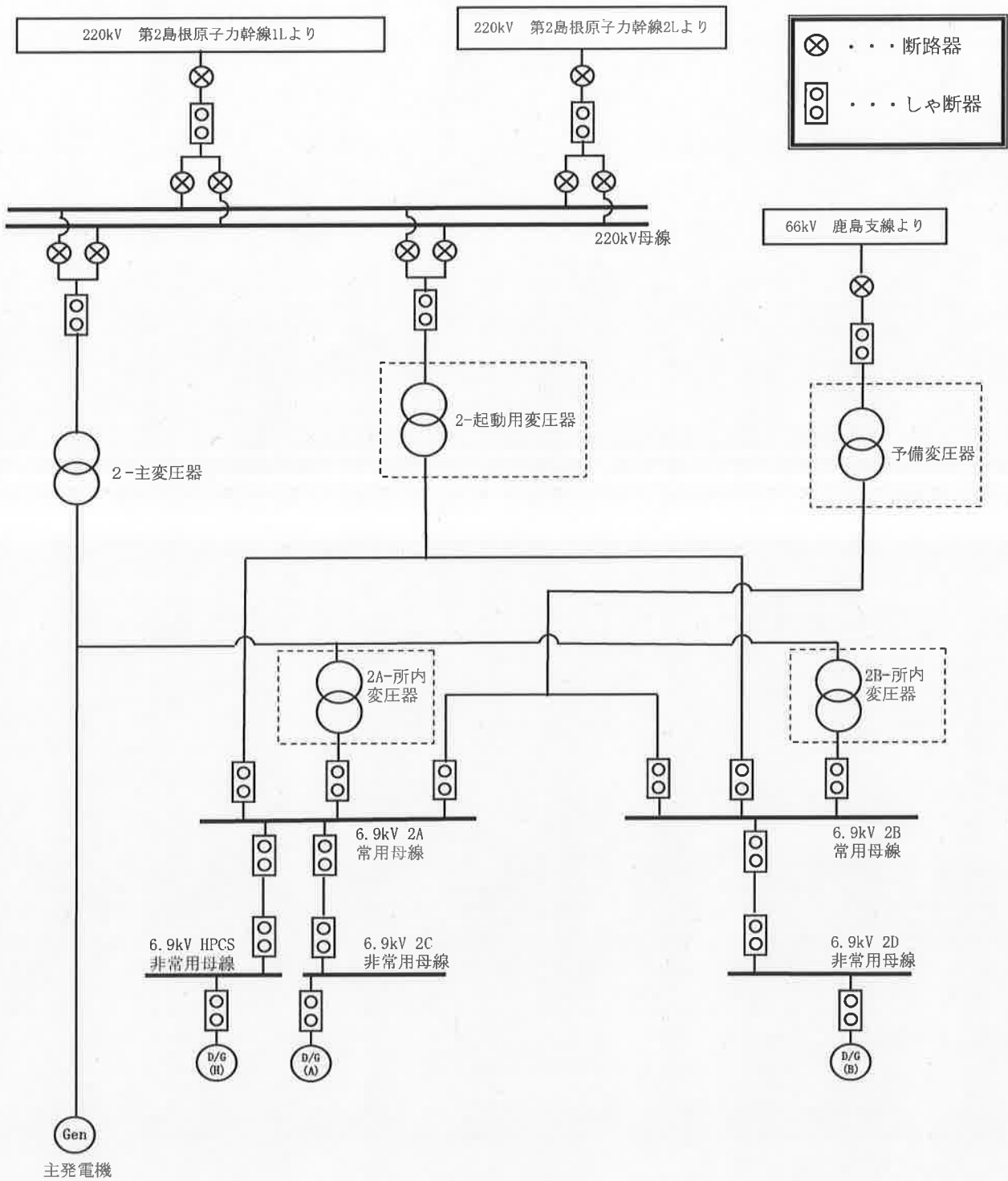
また、日々の巡視点検および定期的な保全活動により、異常の早期発見が可能である。

なお、外部電源系における1相開放故障は、通常発生する確率は非常に低く、過去に国内の原子力発電所においても発生事例はないが、今後のNRC（米国原子力規制委員会）および米国事業者において検討/研究中である内容について動向を注視しながら、必要により設備面の追加対策についてもその要否を含め検討を行っている。

以上



島根1号機 所内電源系 全体構成図



島根2号機 所内電源系 全体構成図

島根原子力発電所 主要負荷リスト

1号機

6. 9 k V 1 A 常用母線	循環水ポンプ (A)
	復水ポンプ (A) / (B)
	復水昇圧ポンプ (A) / (B)
	給水ポンプ (A) / (B)
	原子炉浄化系循環ポンプ (A)
	原子炉再循環ポンプ (A)
6. 9 k V 1 B 常用母線	循環水ポンプ (B) / (C)
	復水ポンプ (C)
	復水昇圧ポンプ (C)
	給水ポンプ (C)
	原子炉浄化系循環ポンプ (B)
	原子炉再循環ポンプ (B)
6. 9 k V 1 C 非常用母線	残留熱除去系ポンプ (A) / (C)
	炉心スプレイポンプ (A)
6. 9 k V 1 D 非常用母線	残留熱除去系ポンプ (B) / (D)
	炉心スプレイポンプ (B)

2号機

6. 9 k V 2 A 常用母線	循環水ポンプ (A) / (B)
	原子炉再循環ポンプ (A)
	復水ポンプ (A)
	復水昇圧ポンプ (A)
	給水ポンプ (A)
6. 9 k V 2 B 常用母線	循環水ポンプ (C)
	原子炉再循環ポンプ (B)
	復水ポンプ (B) / (C)
	復水昇圧ポンプ (B) / (C)
	給水ポンプ (B)
6. 9 k V HPCS 非常用母線	高圧炉心スプレイポンプ
6. 9 k V 2 C 非常用母線	制御棒駆動水圧ポンプ (A)
	原子炉浄化循環ポンプ (A)
	原子炉補機冷却水ポンプ (A) / (C)
	原子炉補機海水ポンプ (A) / (C)
	残留熱除去ポンプ (A)
	低圧炉心スプレイポンプ
6. 9 k V 2 D 非常用母線	制御棒駆動水圧ポンプ (B)
	原子炉浄化循環ポンプ (B)
	原子炉補機冷却水ポンプ (B) / (D)
	原子炉補機海水ポンプ (B) / (D)
	残留熱除去ポンプ (B) / (C)