

原子力発第13300号
平成25年12月24日

原子力規制委員会 殿

四国電力株式会社
取締役社長 千葉 昭

米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に係る報告について

平成25年10月24日付「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」（原規技発第1310091号 平成25年10月24日）の指示に基づき、別紙のとおりまとめましたので報告します。

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

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

平成25年12月
四国電力株式会社

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. 伊方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

添付資料－ 2

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)(以下、「指示文書」という。)に関して報告するものである。

報告指示事項

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 起動用変圧器の故障（架線の碍子の破損）により、3 相交流電源の 1 相が開放故障した状態が発生した。
- 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 3 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、外部電源のしゃ断器を手動で動作させることにより、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。

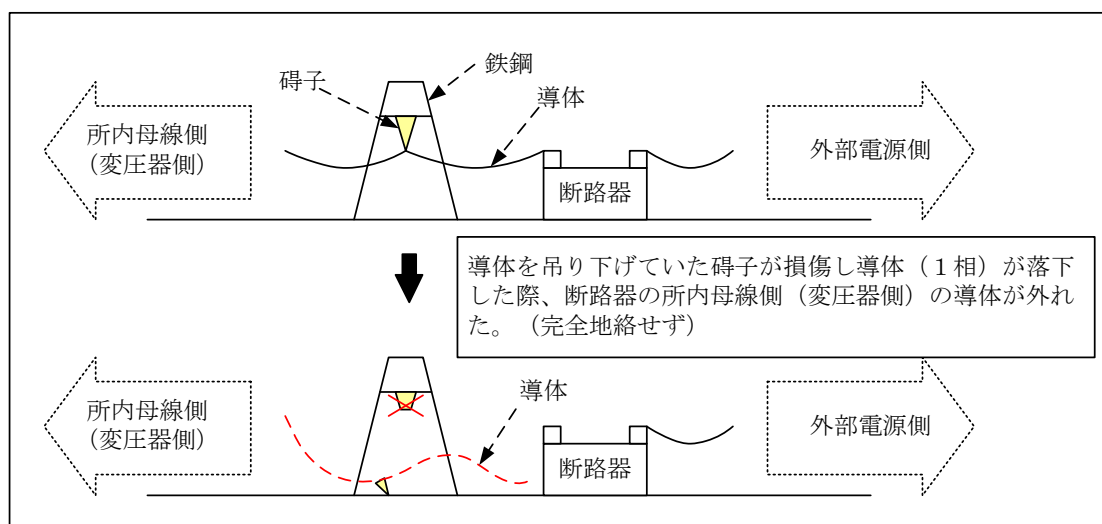


図 1. 米国 Byron 2 号機の 1 相開放故障の概要

(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 3 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、米国原子力産業界は 2017 年を問題解決の期限としている。

3. 伊方発電所の電源系の設備構成及び負荷の状態について

伊方発電所の外部電源として接続する送電線は、500kV 送電線 2 回線（四国中央西幹線）、187kV 送電線 4 回線（伊方南幹線、伊方北幹線）、66kV 送電線 1 回線（平瀨支線）で構成されている。

また、各号機の電源系の設備構成を添付資料－1、主要な負荷を添付資料－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

発電所の所内電源系の非常用高圧母線に電源を供給するための外部電源として、以下の経路が存在する。

- (a) 所内変圧器からの電源（伊方 3 号機）
- (b) 起動変圧器からの電源（伊方 1, 2 号機）
- (c) 予備変圧器からの電源（伊方 1, 2, 3 号機）

このうち、所内電源系統の高圧母線における 3 相の各相には電圧低下を検知する低電圧継電器が設置されていることから、3 相のうち 1 相の開放故障が発生して検知電圧がある程度（約 3 割）低下すれば、低電圧継電器が動作し、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。

加えて、所内母線のしゃ断器は機械的に 3 相連動型であることから、1 相のみの開放故障発生の可能性は極めて低い。

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、低電圧継電器により検知することが可能である。

一方、変圧器 1 次側は、米国 Byron 2 号機と同様に架線接続を有しているものもある。

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、米国 Byron 2 号機と同様に、外部電源から非常用母線に直接給電している変圧器の 1 次側を想定箇所としている。

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および検知後の対応

a. 1相開放故障が発生した場合の検知の可否について

4. の発生想定箇所（変圧器の1次側）において、米国 Byron 2号機の事象のように1相開放故障が発生した場合、4. に記載のとおり、所内電源系の各相には電圧低下を検知する低電圧継電器が設置されていることから、検知電圧がある程度（約3割）低下すれば、同継電器が動作し警報が発生することにより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。

一方、一般的には、変圧器負荷が非常に少ない場合、所内電源系側の低電圧継電器の検知電圧が継電器動作範囲まで低下せず、1相開放故障が検知できない可能性がある。（3相交流は1相のみの開放故障では変圧器鉄心に磁束の励磁が継続されるため2次側が3相不平衡になることなく、ほぼ正常な電圧が維持されるケースがある）

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、低電圧継電器が動作することにより検知できる場合もあるものの、発生時の負荷の状態などによっては検知できない可能性が否定できない。

ただし、当社変圧器の1次側（外部電源系側）の接続部位は、米国 Byron 2号機のように全面的な架線接続（図1参照）ではなく、一部を除いて接地された筐体・管路内等に配線された構造である。（図2、図3、図4参照）

筐体・管路内等の配線においては、断線による1相開放故障が発生したとしても、各変圧器2次側（所内母線側）と同様に接地された筐体・管路等を通じ完全地絡となることで、保護継電器による検知が可能である。

また、対象変圧器1次側のしゃ断器は、所内母線と同様に機械的な3相連動型であることから、しゃ断器の動作不良等に伴う1相開放故障の可能性は極めて低い。

1号起動変圧器および2号起動変圧器の1次側（外部電源側）は、図4のように、埋設ケーブルおよび一部架線にて接続しているが、架線部分の導体は接続部において複数のボルトで固定されており、米国 Byron 2号機のように碍子の割れで断線する構造ではないこと、架線部分は屋内開閉所内に設置され、環境影響を受けにくいこと、また、運転員による毎日の巡視点検において外観確認をしていることから、1相開放故障が発生する可能性は極めて低い。

なお、対象変圧器1次側の埋設ケーブル等の電路については、1～6定検に1回の外観確認を行い、健全性を確認している。

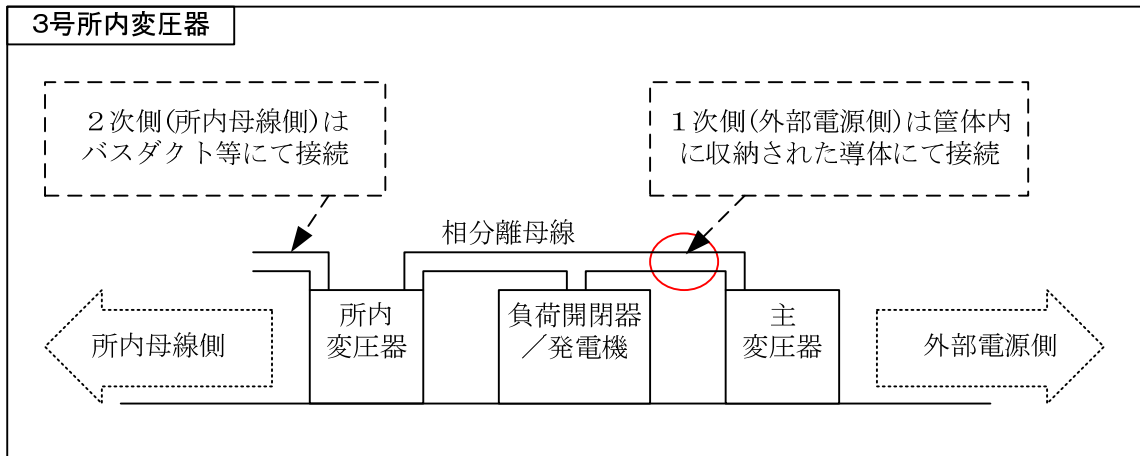


図2. 変圧器1次側の接続構造例(相分離母線にて接続)

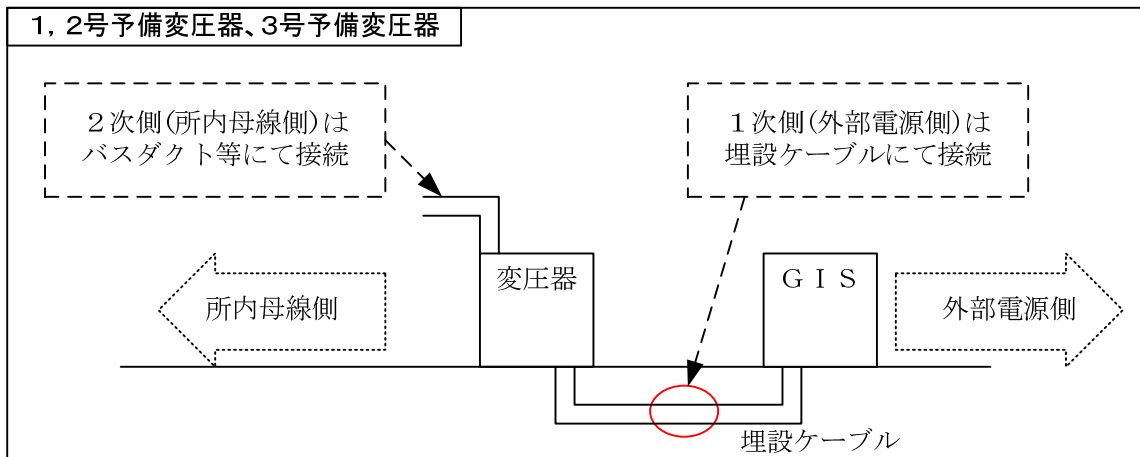


図3. 変圧器1次側の接続構造例(埋設ケーブルにて接続)

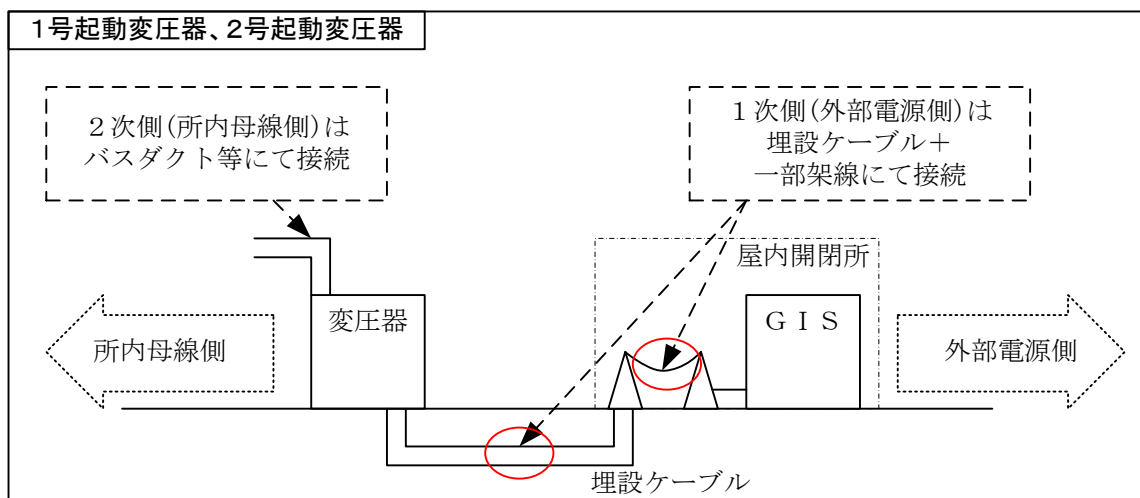


図4. 変圧器1次側の接続構造例(埋設ケーブル+一部架線にて接続)

b. 1相開放故障が発生した場合の検知後の対応

非常用母線に給電中の変圧器1次側の1相開放故障を検知した場合、手動にて給電中の変圧器を切り離すことにより、待機側の変圧器に自動で切り替わり、事象が収束する。仮に待機側の変圧器が使用できない場合は、非常用ディーゼル発電機の起動により非常用母線に給電される。また、当該給電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。

待機中の変圧器の1相開放故障を検知できた場合には、当該変圧器の待機状態を解除し、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、検知設備の故障等により検知されない場合も含む

プラントの起動、停止中または運転中にこれらの変圧器の1次側で、地絡を伴わない1相開放故障が発生した場合、給電構成によっては常用母線の1次冷却材ポンプの過負荷トリップ等により、原子炉が自動停止する可能性がある。また、非常用母線の海水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、空調ファンなどが過負荷トリップし、待機中の補機が自動起動するが、これらも過負荷トリップすると想定される。

プラントの停止中にこれらの変圧器の1次側で、地絡を伴わない1相開放故障が発生した場合は、非常用母線の海水ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ、空調ファンなどが過負荷トリップして、待機中の補機が自動起動し、これらも過負荷トリップすると想定される。

ただし、運転員はこれらの事象に対して電源系の異常と判断し、待機側への電源切替や、非常用ディーゼル発電機の起動等、5.(1)-b.における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可能である。

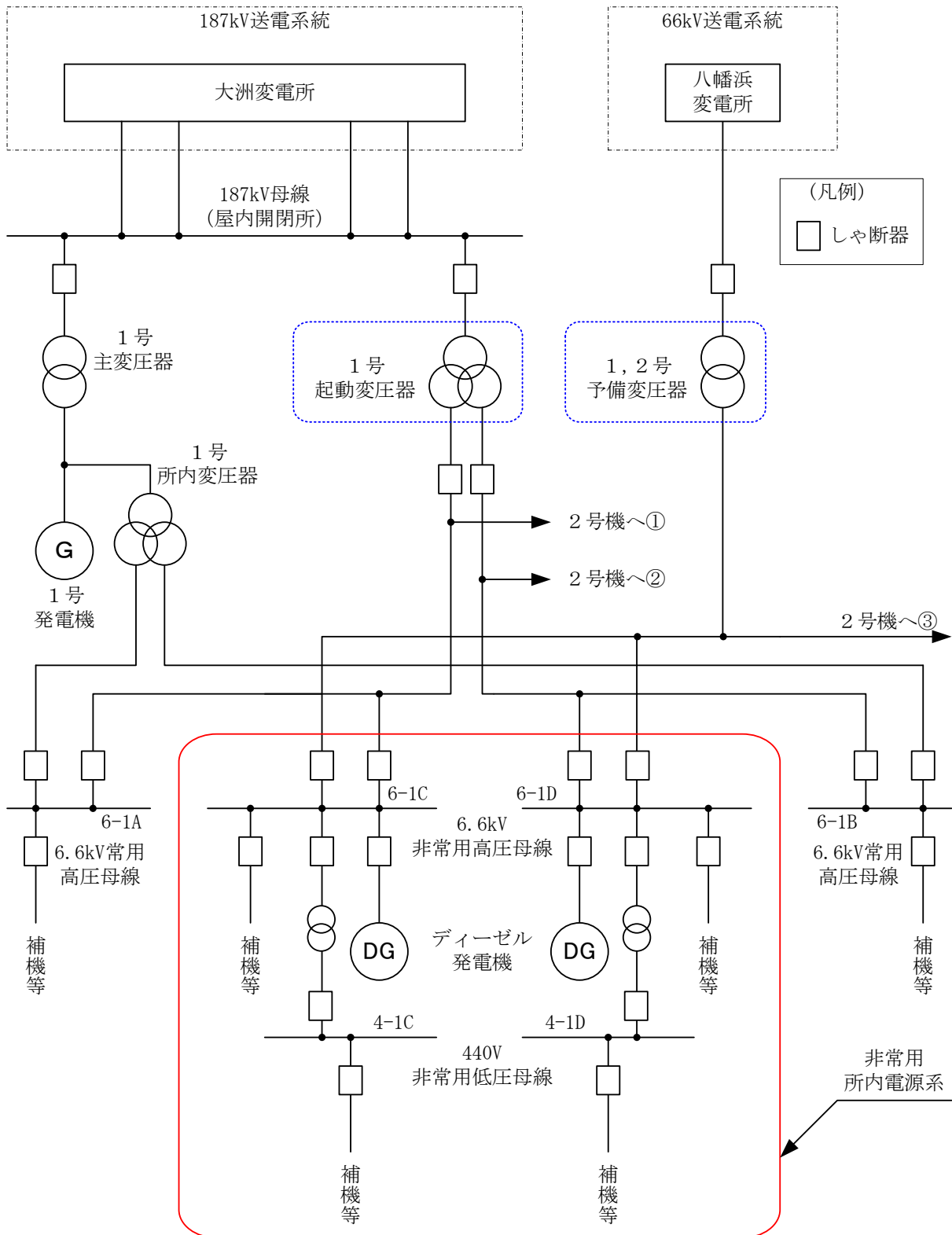
6. まとめ

以上のとおり、想定される変圧器の1相開放故障は、通常発生する確率は非常に低く、過去国内においても当該事象の発生事例はないが、仮に発生した場合においても、以上のとおり、当社の対象変圧器においては、何らかの方法で事象を把握することが可能であると考えられ、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る。

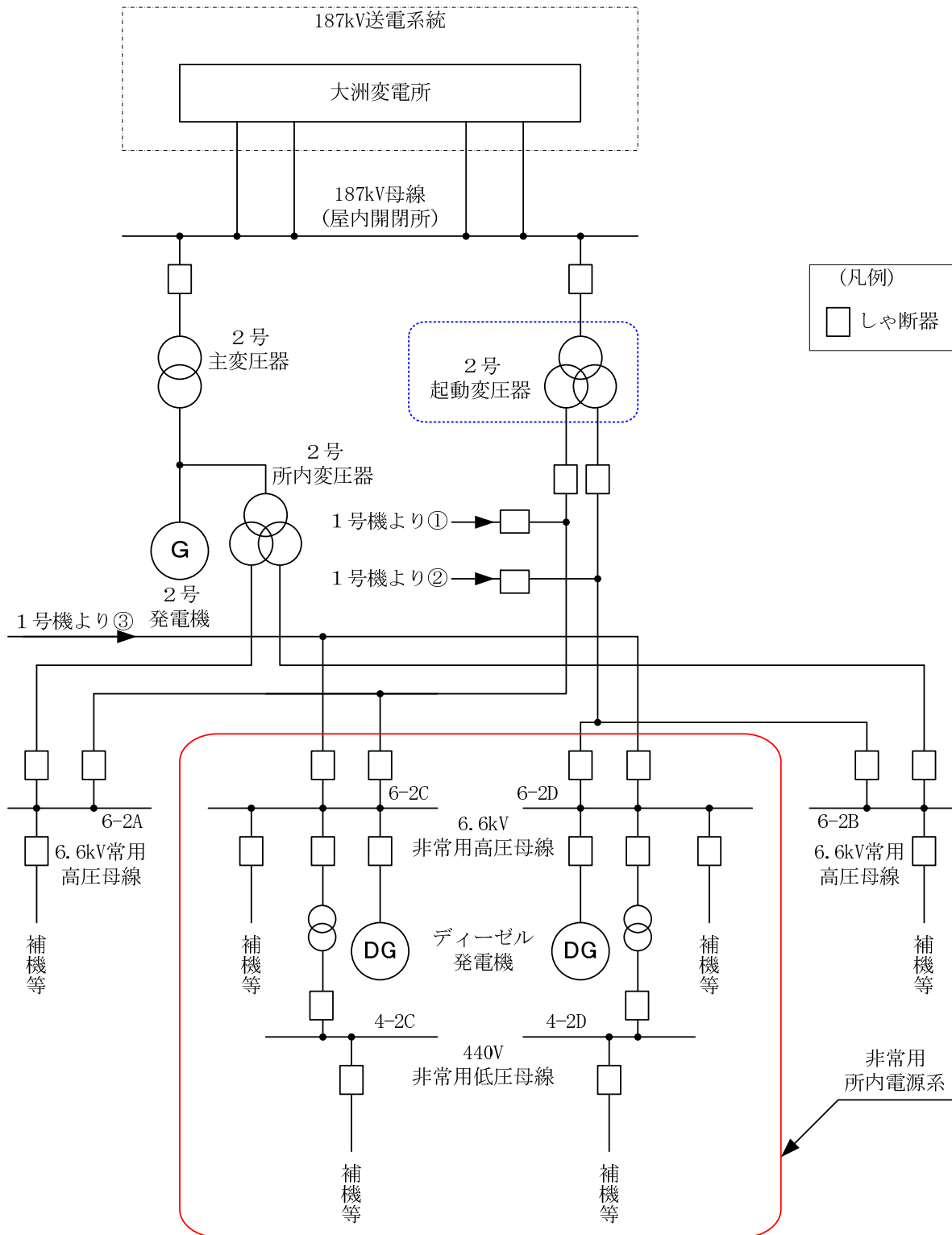
なお、当該事象に対して迅速かつ確実な対応操作を行うため、運転員に対して当該事象の内容およびその対応方法について周知・教育を行うとともに、1相開放故障への対応について手順書に反映する。また、毎日の巡視において類似箇所の確実な外観確認を行い、異常の早期発見に努めることとする。

今後、米国 NRC および米国事業者において検討ならびに研究中である本事象の対策内容や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続ける。

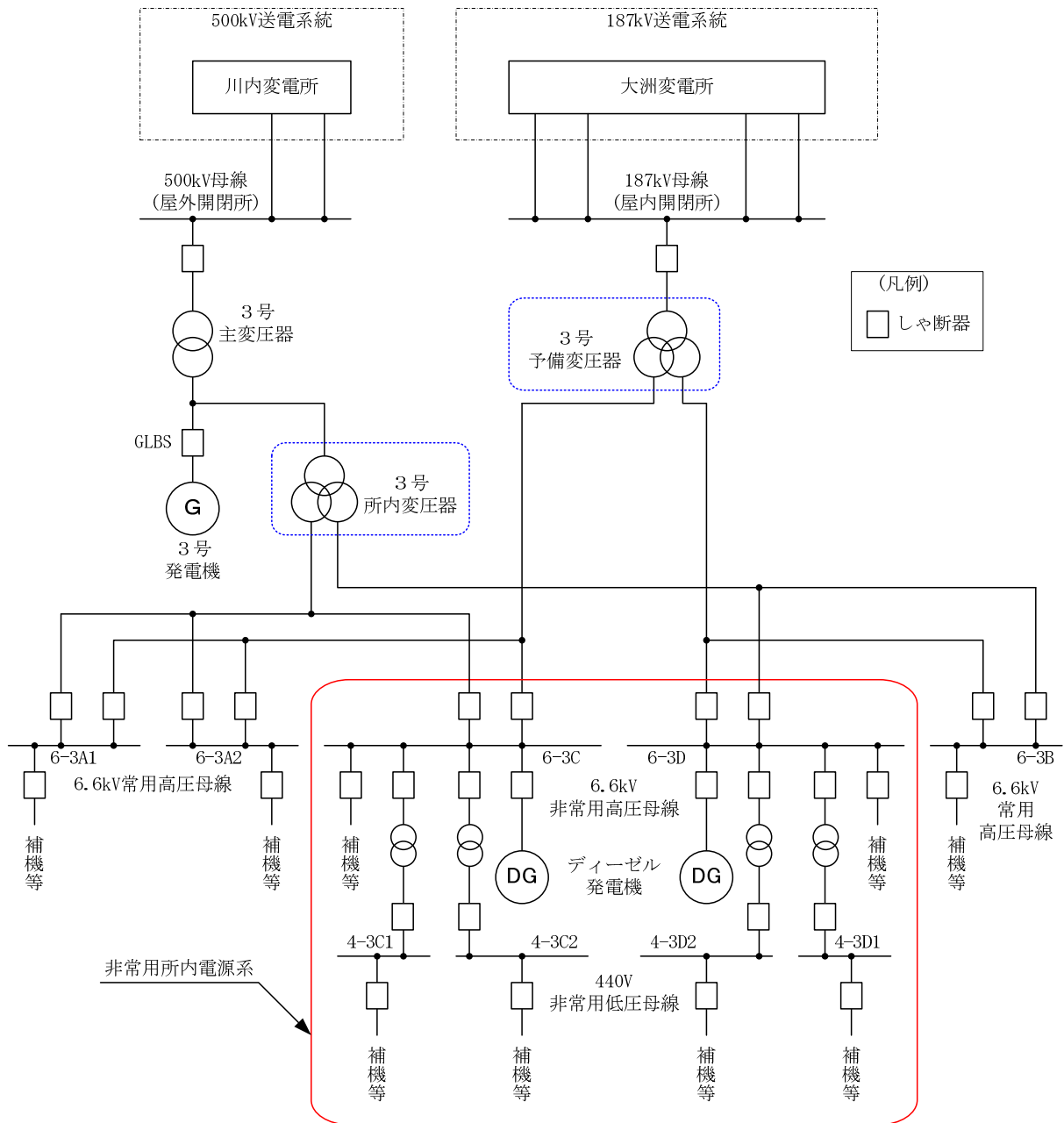
以 上



伊方発電所 1号機 電源構成概要図



伊方発電所 2号機 電源構成概要図



伊方発電所3号機 電源構成概要図

伊方発電所 主要負荷一覧表

号機	所内電源		主要負荷	対象変圧器
1/2	常用母線	高圧	1次冷却材ポンプ	1号起動変圧器 2号起動変圧器
			循環水ポンプ	
			復水ポンプ	
			復水ブースタポンプ	
			給水ブースタポンプ	
			主給水ポンプ	
	非常用母線	高圧	海水ポンプ	1号起動変圧器 2号起動変圧器 1, 2号予備変圧器
			原子炉補機冷却水ポンプ	
		低圧	充てんポンプ	
			使用済燃料ピットポンプ	
			制御用空気圧縮機	
			中央制御室空調ファン	
中央制御室再循環ファン				
3	常用母線	高圧	1次冷却材ポンプ	3号所内変圧器 3号予備変圧器
			循環水ポンプ	
			復水ポンプ	
			復水ブースタポンプ	
			給水ブースタポンプ	
			海水ポンプ	
	非常用母線	高圧	充てんポンプ	
			原子炉補機冷却水ポンプ	
		低圧	使用済燃料ピットポンプ	
			制御用空気圧縮機	
			中央制御室空調ファン	
			中央制御室再循環ファン	