

平成25年12月24日
日本原子力発電株式会社

米国情報「電源系統の設計における脆弱性」に対する 当社発電所の調査結果の報告について

当社は、平成25年10月24日に、原子力規制委員会から発出された指示『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』^(※1)を受け、東海第二発電所および敦賀発電所について、米国 Byron 2号機で発生した、外部電源の1相開放故障に関する検討を行い、その結果を取りまとめ、本日、原子力規制委員会に報告しました。

検討の結果、当社発電所の所内電源系の非常用母線に電源を供給するための外部電源は、1相開放故障が発生する可能性は非常に低く、仮に当該事象が発生した場合も、事象の把握は可能であり、当該事象発生後の対応も、待機側の電源系への切り替えや、非常用ディーゼル発電機の起動によって、安全上の問題に至る前に事象を収束することが可能であることを確認しました。

1相開放故障が発生した際の事象把握を確実にするために、当社は当該事象の内容及びその対応方法について、運転員に充分周知・教育を行っており、運転手順書に反映する予定です。

今後、米国原子力規制委員会及び米国原子力産業界の動向を注視しながら、追加対策の可否を含め検討を続け、設備の安全性・信頼性の更なる向上に努めていきます。

※1：原子力規制委員会からの指示

原子力規制委員会（以下「当委員会」という。）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1相開放故障に係る事象について、発電用原子炉設置者に対し、下記のとおり、平成25年12月24日までに当委員会へ報告するよう求めることとする。

記

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。

添付資料：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

以 上

添付資料

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 24 日
日本原子力発電株式会社

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	1
3. 各発電所の電源系の設備構成及び主要な接続負荷について	2
4. 外部電源系の 1 相開放故障の発生想定箇所について	2
5. 報告内容	3
6. まとめ	6
添付資料－1	7
添付資料－2	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) における報告事項

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。

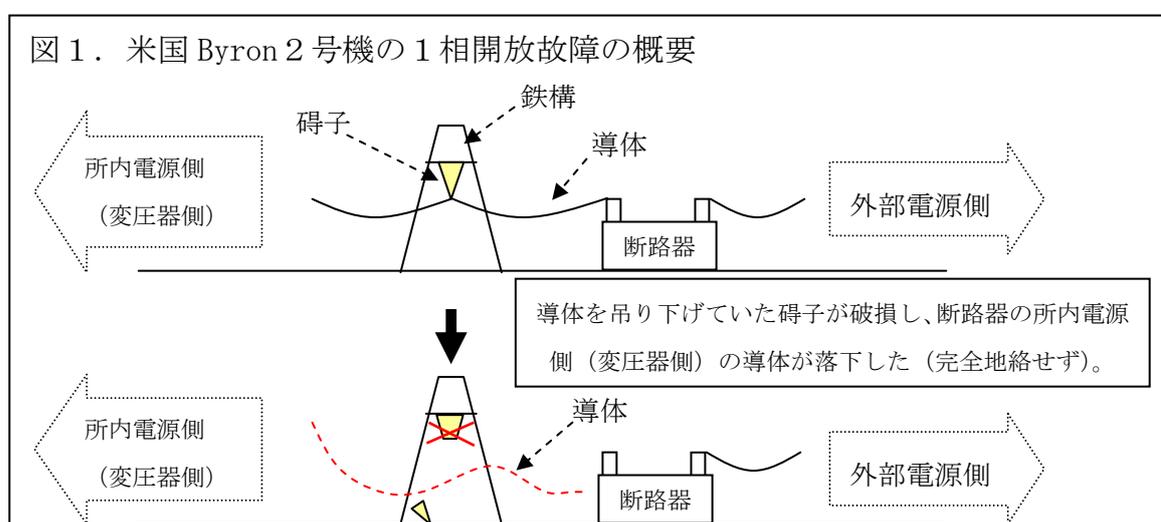
に関して報告するものである。

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。(図 1 参照)

- ① 起動変圧器の故障(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付き、外部電源の遮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。



(2) 米国の対応状況について

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相開放故障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. 各発電所の電源系の設備構成及び主要な接続負荷について

各発電所の外部電源系の概要を以下に示す。また、各発電所における電源系の設備構成及び主要な接続負荷について添付資料-1、2に示す。

(1) 東海第二発電所

東海第二発電所に接続する送電線は、275kV送電線2回線（東京電力株式会社東海原子力線）及び154kV送電線1回線（東京電力株式会社原子力1号線）で構成されている。

(2) 敦賀発電所（1～2号機）

敦賀発電所（1～2号機）に接続する送電線は、500kV送電線2回線（関西電力株式会社原電敦賀線）、275kV送電線2回線（関西電力株式会社敦賀線）及び77kV送電線1回線（北陸電力株式会社立石線）で構成されている。

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（東海第二発電所及び敦賀発電所1号機）
- (b) 起動変圧器からの電源（東海第二発電所及び敦賀発電所1，2号機）
- (c) 予備変圧器からの電源（東海第二発電所及び敦賀発電所1，2号機）

このうち、所内電源系の非常用母線における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相の開放故障が発生し、保護継電器の検知電圧がある程度（約3割以上）低下すると、交流不足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、所内母線の遮断器は3相の動作が機械的に連結されていることから、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)の各変圧器二次側（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により検知することが可能である。

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給電している変圧器の一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について

4. の発生想定箇所(変圧器の一次側)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に、所内電源系の3相の各相には、母線の低電圧を検知する交流不足電圧継電器が設置されており、変圧器一次側の1相開放故障に伴い、非常用母線の交流不足電圧継電器の検知電圧がある程度(約3割以上)低下した場合、当該保護継電器が動作し警報が発信することにより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。

ただし、変圧器負荷が非常に少ない場合や、変圧器の結線によっては、所内電源系側の交流不足電圧継電器の検知電圧が保護継電器の動作範囲まで低下せず、当該保護継電器での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二次側が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。)そのため、各発電所とも交流不足電圧継電器による変圧器一次側の1相開放故障が検知できない可能性がある。

しかし、当社変圧器は、一部を除き変圧器の一次側(外部電源系側)の接続部位は、米国 Byron 2号機同様の架線による接続(図2、図3及び図4参照)ではなく、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5参照)

このような構造の場合、変圧器一次側に破損が想定される架線の碍子は存在せず、また仮に導体の断線による1相開放故障が発生したとしても、二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、保護継電器による検知が可能である。

図 2. 変圧器一次側の接続構造例（架線接続）

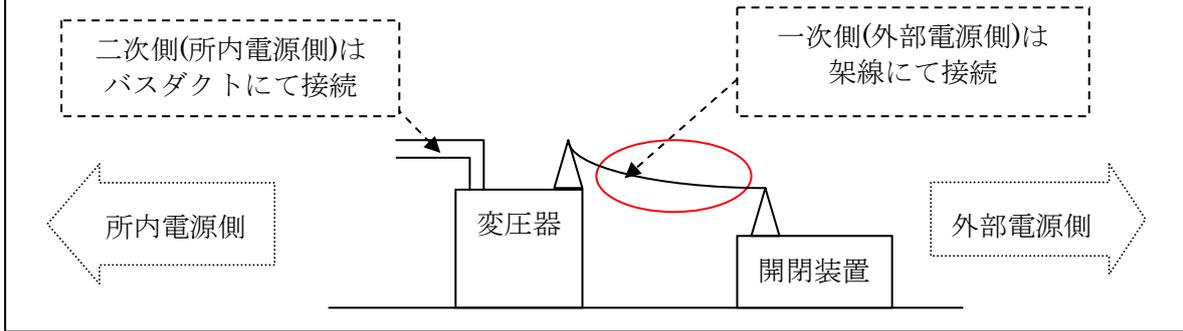


図 3. 変圧器一次側の接続構造例（ケーブル＋一部架線にて接続）

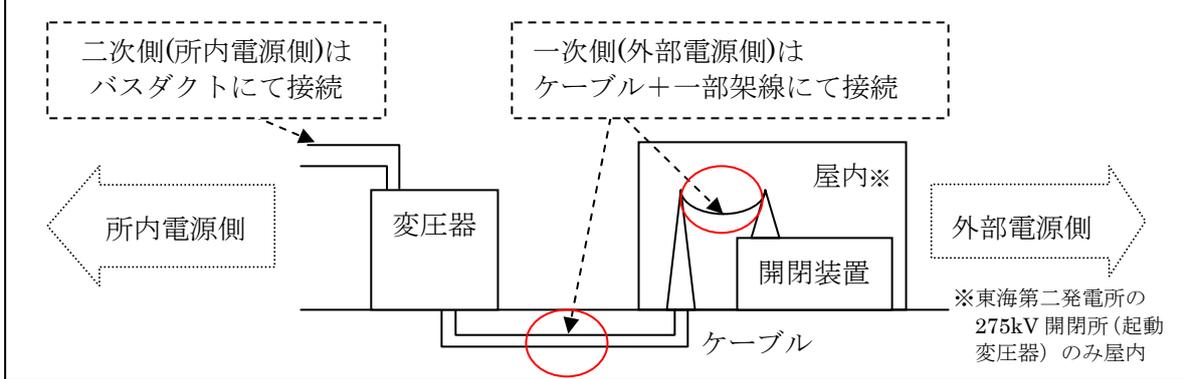


図 4. 変圧器一次側の接続構造例（筐体内に収納された導体＋一部架線にて接続）

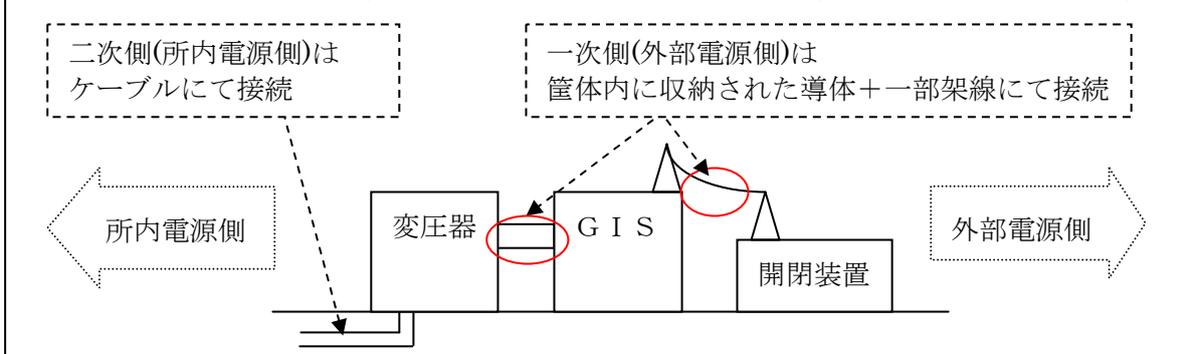
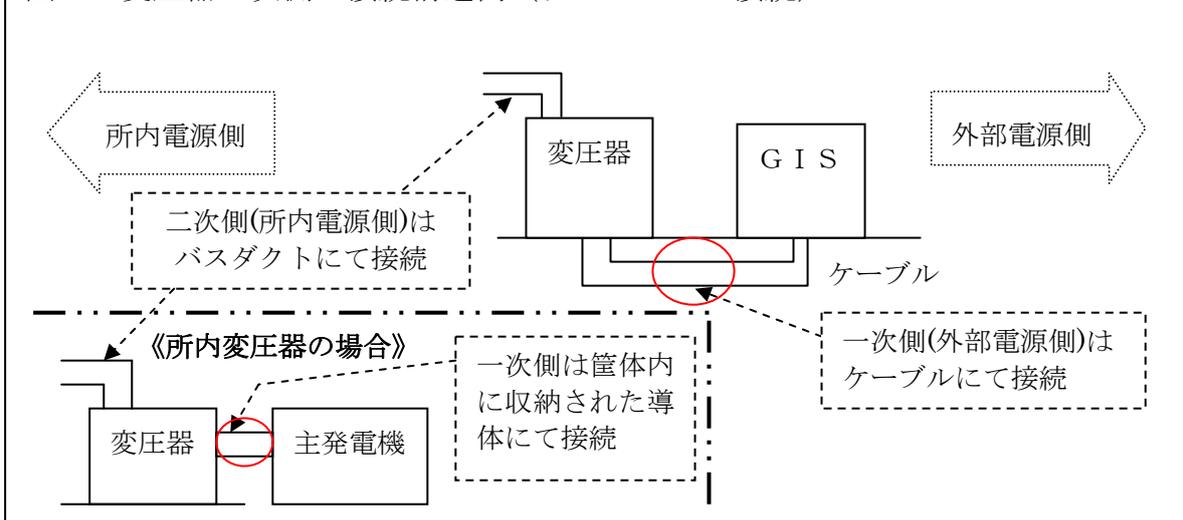


図 5. 変圧器一次側の接続構造例（ケーブルにて接続）



なお、当社において一次側が図2、図3又は図4の構造になっているのは、以下のとおりである。

- ①敦賀発電所1号機の起動変圧器 【図2】
- ②敦賀発電所1号機の子備変圧器 【図2】
- ③東海第二発電所の起動変圧器（2A，2B）【図3】
- ④東海第二発電所の子備変圧器 【図3】
- ⑤敦賀発電所2号機の子備変圧器 【図4】

上記いずれの変圧器においても、米国 Byron 2 号機の事象の内容及びその対応方法について、運転員に充分周知・教育を行っていることから、運転員による巡視により、変圧器一次側に想定される架線の碍子の破損による1相開放故障を発見することが可能であると考えられる。

また、一次側で1相開放故障が発生した場合に、当該母線から給電された電動機に異常な挙動（振動・異音）があったり、連続的に過負荷トリップする等の挙動を示す場合もあり（Byron 2 号機においても確認されている）、これらの事象で1相開放故障が発見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について

非常用母線へ給電中の変圧器の一次側において1相開放故障を検知した場合、給電中の変圧器を手動にて切り離すことにより、待機側の変圧器が受電可能な状態であれば、自動的に切り替わり、健全な変圧器より非常用母線に給電される。仮に待機側の変圧器も健全な状態でない場合や、点検や運用上の理由から、待機側変圧器が無い場合等においては、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、非常用ディーゼル発電機から給電されるまでの短時間は、安全系蓄電池からの直流給電により、必要な監視・操作を継続することができる。）

(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。〕

発電所の運転中にこれらの変圧器の外部電源側で、地絡を伴わない1相開放故障が発生した場合、海水ポンプ、補機冷却水ポンプ等が過負荷トリップして、待機中の機器が自動起動するが、これらも過負荷トリップすると予想され、事象が長期化した場合には、原子炉水位や冷却材流量の低下等により、原子炉が自動停止する可能性がある。

ただし、これらの事象が発生した後、運転員は電源系の異常と判断して、待機側の電源系への切り替えや、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、安全上の問題に至る前に、事象を収束する事が可能である。

6. まとめ

今回想定した変圧器一次側の1相開放故障は、通常発生する可能性は非常に低く、過去国内においても、当該事象の発生事例はない。また、当社の対象変圧器においては、上記のとおり、事象を把握する事が可能であると考えられる。

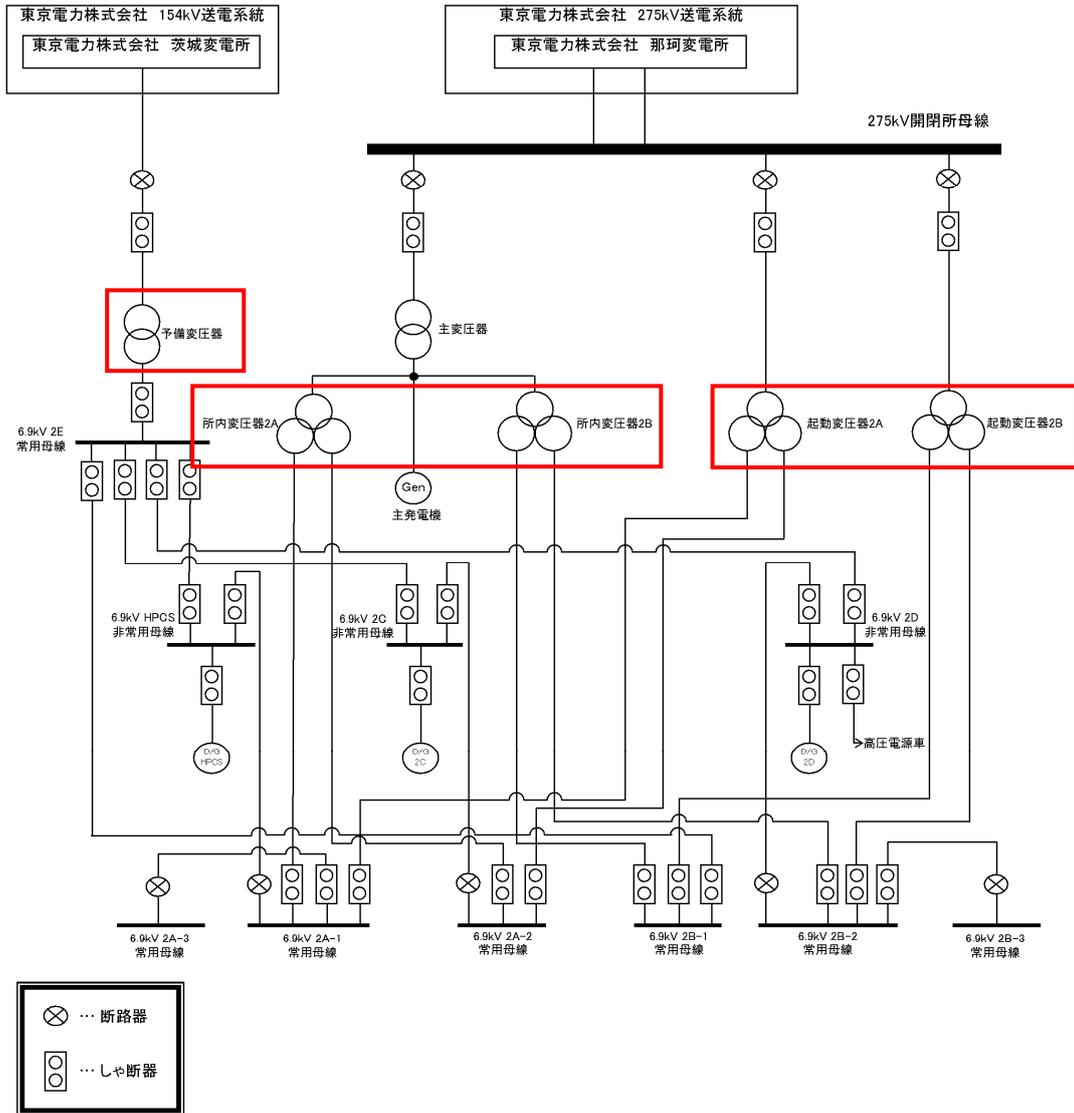
また、仮に発生した場合にも、待機側の電源系への切り替えや、非常用ディーゼル発電機の起動により、安全上の問題に至る前に、事象を収束することが可能である。

しかし、1相開放故障が発生した際に、運転員が当該事象に対して知見がない場合、対応が遅くなる事が考えられるため、当社は当該事象の内容及びその対応方法について、運転員に充分周知・教育を行っており、運転手順書に反映予定である。また、毎日実施している変圧器の巡視点検時にも気を配り、早期の異常発見に努めている。

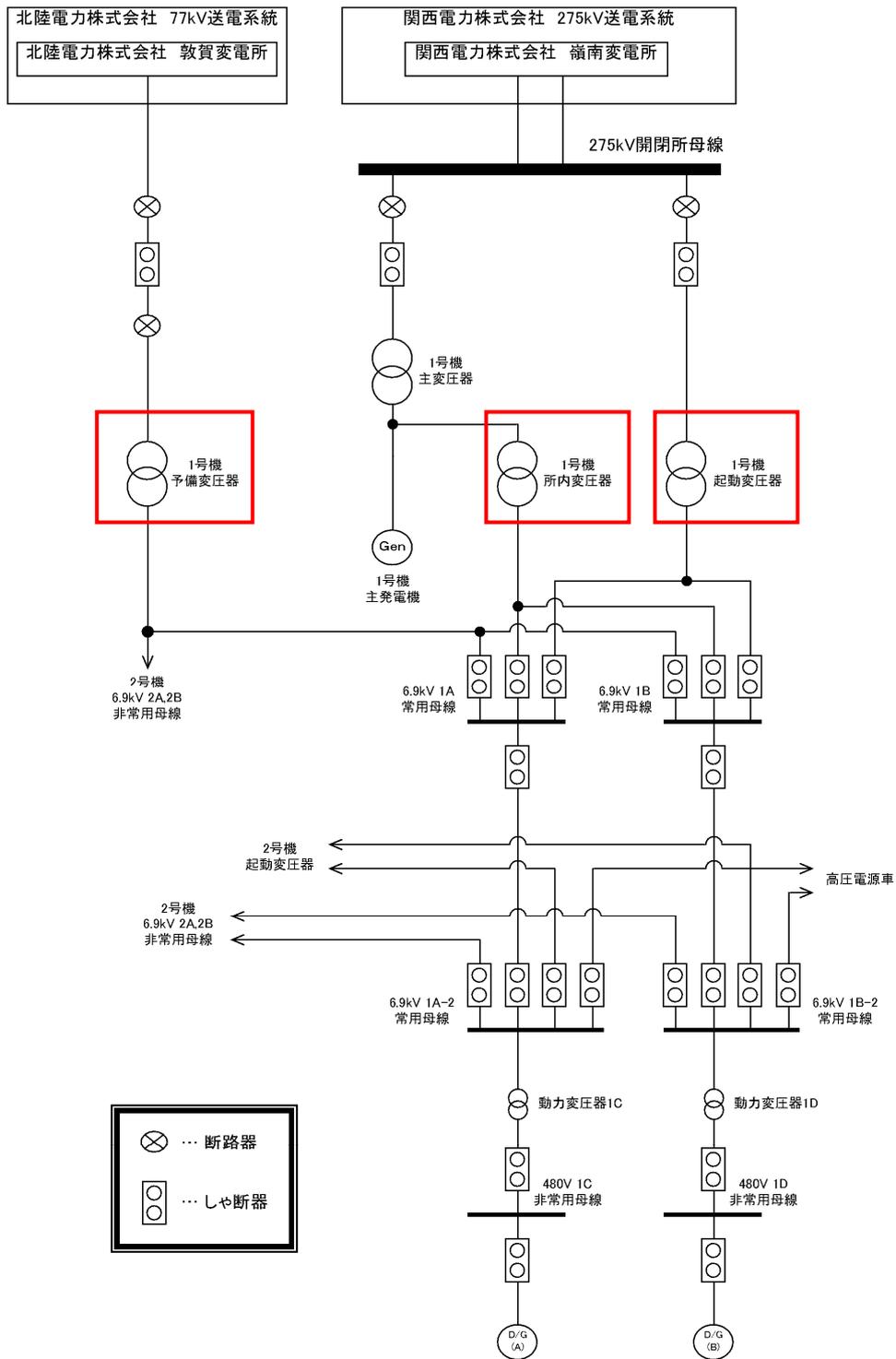
今後、米国原子力規制委員会及び米国原子力産業界において検討・研究中である内容、動向を注視しながら、必要により設備面の追加対策についてもその要否を含め検討を続ける。

以上

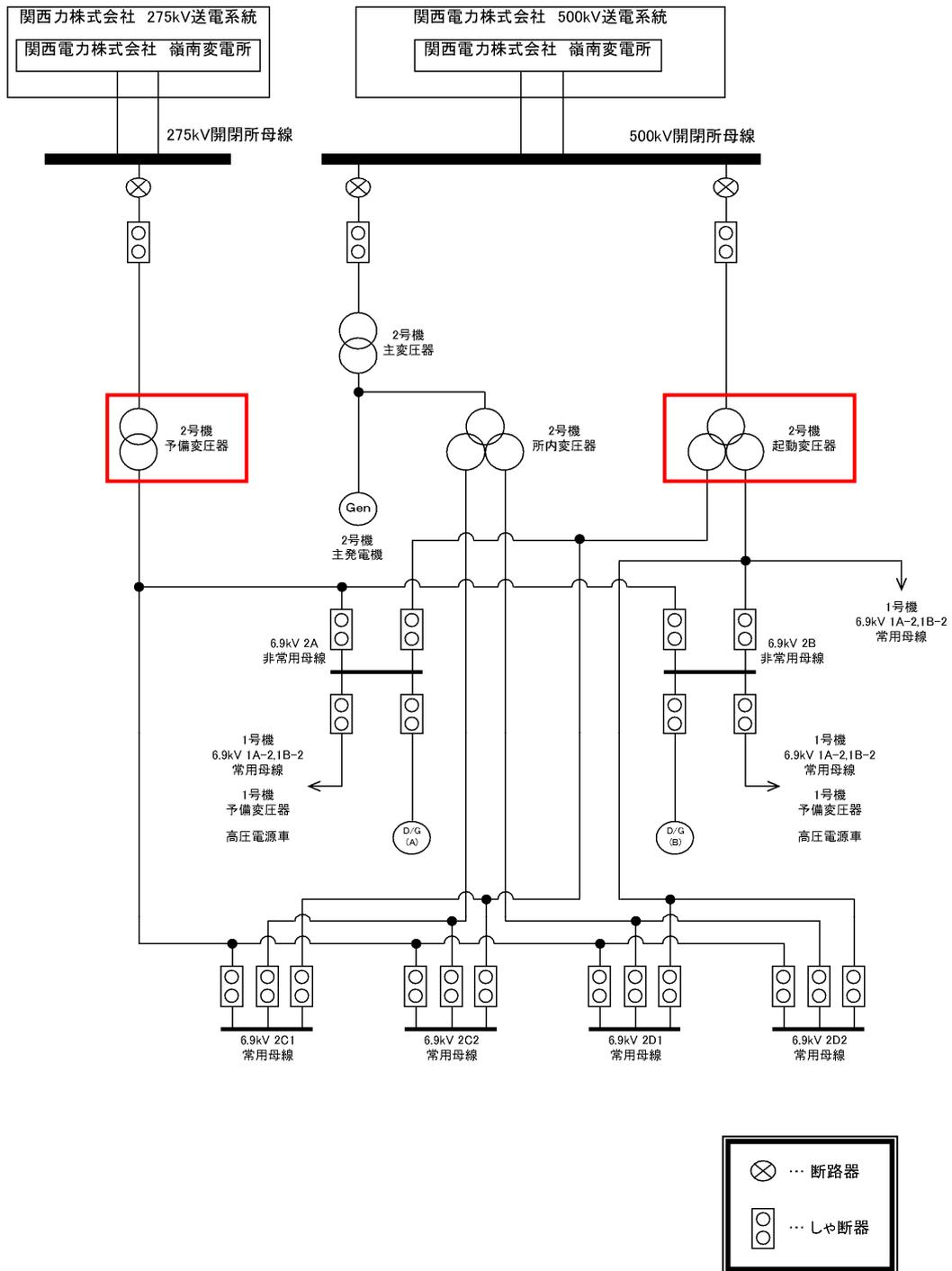
東海第二発電所 電源構成概要図



敦賀発電所1号機 電源構成概要図



敦賀発電所 2 号機 電源構成概要図



各発電所の主要な負荷リスト

発電所		所内電源系		各母線の主要な負荷
東海第二 発電所		安全系	2C、2D、HPCS	海水ポンプ、高圧炉心スプレイ系ポンプ、残留熱除去系ポンプ、低圧炉心スプレイ系ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ
		常用系	2A-1、2A-2、2A-3、 2B-1、2B-2、2B-3、 2E	再循環ポンプ、電動主給水ポンプ、 循環水ポンプ、復水ポンプ
敦賀 発電所	1号機	安全系	1C、1D (480V)	海水ポンプ、炉心スプレイポンプ、 格納容器スプレイポンプ、停止時冷却ポンプ、原子炉補機冷却水ポンプ
		常用系	1A、1B (6.9kV)	再循環ポンプ、給水ポンプ、 循環水ポンプ、復水ポンプ
	2号機	安全系	2A、2B	海水ポンプ、充てん／高圧注入ポンプ、 電動補助給水ポンプ、余熱除去ポンプ、 格納容器スプレイポンプ、 原子炉補機冷却水ポンプ
		常用系	2C1、2C2 2D1、2D2	一次冷却材ポンプ、電動主給水ポンプ、 循環水ポンプ、復水ポンプ