

別 紙

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26年 7月

日本原燃株式会社

## 目 次

1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・ 1
2. 米国 Byron 2 号機の事象概要と米国の対応状況	・ ・ ・ ・ ・ 1
3. 電源構成及び負荷の状態	・ ・ ・ ・ ・ 2
4. 外部電源系の 1 相開放故障の発生想定箇所	・ ・ ・ ・ ・ 2
5. 報告内容	・ ・ ・ ・ ・ 3
6. まとめ	・ ・ ・ ・ ・ 5
添付資料-1 六ヶ所再処理施設 電源構成概要図	
添付資料-2 六ヶ所再処理施設 主要な負荷一覧	
添付資料-3 再処理工場の安全上の問題に至る事象の収束について	

## 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」(Bulletin2012-01)に記載された米国 Byron 2 号機で発生した所内電源に給電している外部電源の三相のうち、1相開放故障した事象を受け、原子力規制委員会より平成26年6月5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」(原規規発第1406051号)に関して、当社の再処理施設において同事象が発生した場合の検知の可否ならびに検知されない場合に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 号機の事象概要と米国の対応状況

### (1) 米国 Byron 2 号機の事象概要

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(架線碍子の破損)により、三相交流電源の1相が開放故障した事象が発生した。(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、外部電源系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。

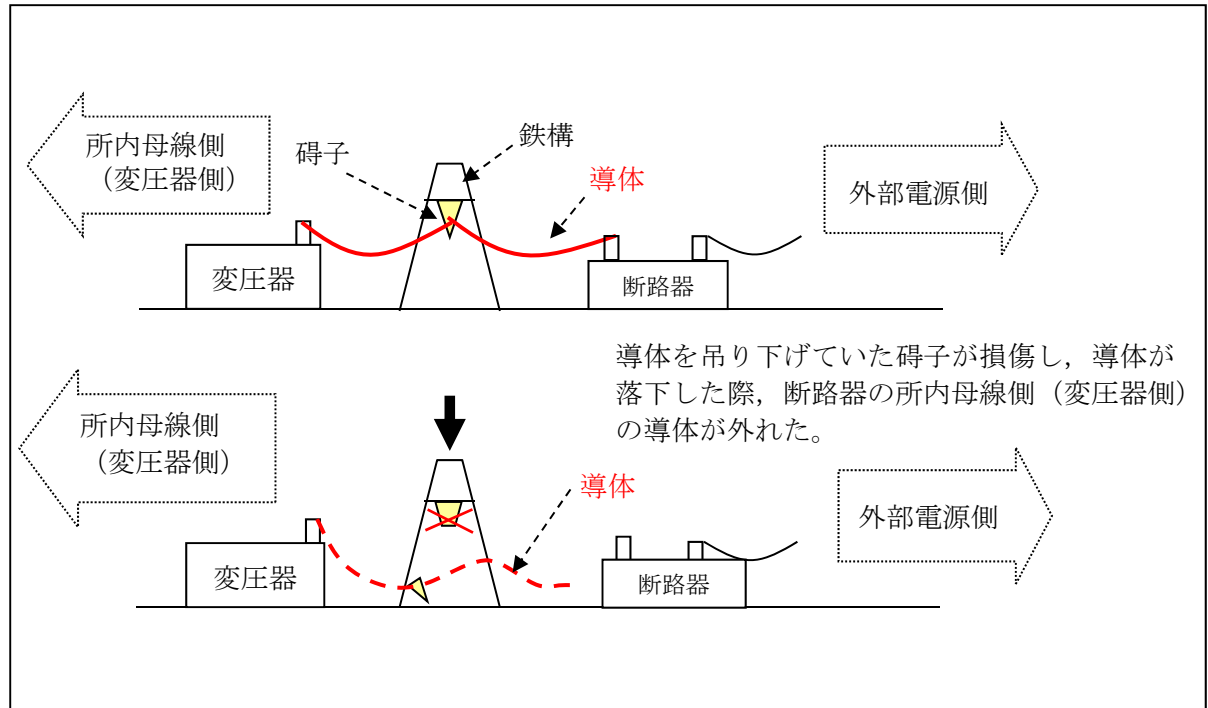


図 1. 米国 Byron 2 号機の 1 相開放故障の概要

## (2) 米国の対応状況

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. 電源構成及び負荷の状態

六ヶ所再処理施設（以下「当施設」という）における外部電源は、154 kV 送電線 2 回線（東北電力株式会社 鷹架線）で構成されている。当施設の電源構成概要図及び主要な負荷を添付資料-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

当施設の非常用主母線及び非常用母線に電源を供給するための外部電源は、以下の 2 つの経路が存在する。

- a. 1 号受電変圧器からの電源
- b. 2 号受電変圧器からの電源

当施設の非常用所内電源系各母線は、非常用主母線を有する非常用電源建屋と非常用母線を有する使用済燃料受入れ・貯蔵建屋にある。

双方の建屋の受電部には、三相の各相に電圧低下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、三相のうちの 1 相開放故障が発生し受電変圧器 2 次側の 1 相の電圧が定格電圧の 75% 以下まで低下した場合には、交流不足電圧

継電器により 1 相開放故障を検知することが可能である。

a, b の各受電変圧器 2 次側（所内電源側）の接続部位は、接地された筐体内に収納されており、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に至ることから、交流不足電圧継電器または地絡継電器により検知することが可能である。

また、所内電源設備のしゃ断器は、機械的に三相が連動して動作する構造のため、1 相開放故障の可能性は低い。

一方、受電変圧器の 1 次側（外部電源側）のガス絶縁開閉装置（以下、「GIS」という。）内のしゃ断器については、三相が機械的に連動しないものがあり、地絡を伴わない 1 相開放故障が発生する場合は考えられるが、このしゃ断器の 1 相が不動作となった場合には、警報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(G I S)から所内電源設備に給電する受電変圧器の 1 次側（外部電源側）を想定箇所とする。

## 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

#### a. 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

「4. 外部電源系の 1 相開放故障の発生想定箇所」に示した発生想定箇所（1 号、2 号受電変圧器 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、電圧が定格電圧の 75% 以下まで低下した場合、所内電源系各母線の受電部三相に設置されている電圧低下を検知するための交流不足電圧継電器により、母線電圧低下に係る警報が発報し、電源系の異常を検知することが可能である。

上記の他に、各受電変圧器 2 次側にも同様に三相の各相に電圧低下を検知する交流不足電圧継電器が設置されており、三相のうちの 1 相開放故障が発生し変圧器 2 次側の 1 相の電圧が定格電圧の 75% 以下まで低下した場合には、交流不足電圧継電器により 1 相開放故障を検知することが可能である。

一方、一般的には、受電変圧器負荷が非常に少ない場合や受電変圧器に△結線の安定巻線を含む場合、所内電源系側の交流不足電圧継電器への入力電圧が動作範囲まで低下せず、当該交流不足電圧継電器での 1 相開放故障が検知できない可能性がある。（三相交流は、1 相のみの開放故障では受電変圧器鉄心に磁束の励磁が継続されるため 2 次側（所内電源側）が三相不平衡になることはなく、ほぼ正常な電圧が維持されるケースがある。）

当施設では、受電変圧器の△結線の安定巻線があるため、所内電源系側の電圧が交流不足電圧継電器により電圧低下を検知するまで低下せず、1 相開放故障が検知できない可能性がある。

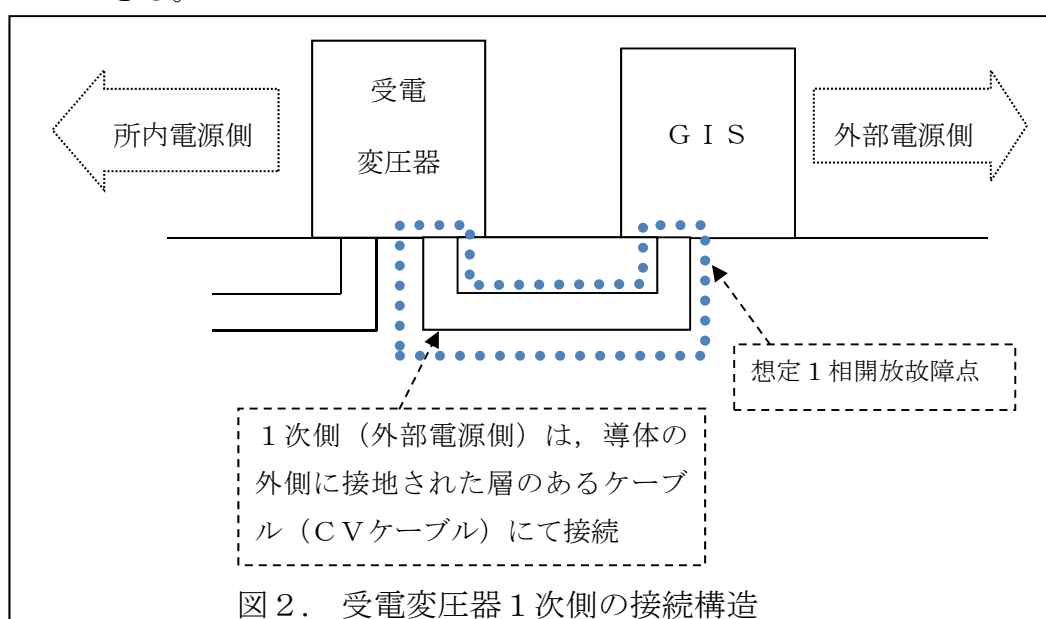
ただし、当施設の受電変圧器の 1 次側（外部電源側）の接続部位は、米国 Byron 2 号機のような架線による接続構造ではなく、接地された筐体内に導体が収納された構造または、導体の外側に接地された層のあるケーブル（CV ケー

ブル) で接続された構造である。(図 2 参照)

このため、受電変圧器の 1 次側 (外部電源側) に破損が想定される架線の碍子は存在せず、また仮に導線の断線による 1 相開放故障が発生したとしても接地された筐体または接地された層 (CV ケーブル) を通じて完全地絡になるため、保護継電器による検知が可能である。

また、外部電源の電源状態を常時監視する装置としてイベントレコーダ盤 (自動オシロ装置) が設置されており、受電変圧器の 1 次側 (外部電源側) の電圧について 80% 低下まで低下すると警報が発報する。

他に、送電線保護リレー盤等での電流不平衡の警報の発報、受電点の電流指示値の監視でも異常を検知することも可能であり、電源系の異常を検知することができる。



#### b. 外部電源系に 1 相開放故障が発生した場合の検知後の対応

受電変圧器の 1 次側で 1 相開放故障が発生した場合には、交流不足電圧継電器の警報発報により、運転員が電源系の異常と判断し、手動にて給電中の受電変圧器を切離すことで、各建屋の起動機器が停止する。

また、給電中の受電変圧器を切離すことで非常用主母線及び非常用母線における電圧低下を示す警報が発報、非常用ディーゼル発電機が自動起動し、非常用ディーゼル発電機の電圧が確立した後に非常用ディーゼル発電機用受電しゃ断器の投入を行うことにより、非常用主母線及び非常用母線に給電される。

非常用主母線及び非常用母線に給電後は、安全系機器が自動起動し設備を安定状態へ移行させる。

また、受電変圧器に故障が発生した場合には、待機側の受電変圧器に切替える事も可能である。

(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

受電変圧器の 1 次側 (外部電源側) において地絡を伴わない 1 相開放故障が発生した場合、再処理施設の運転中の機器に異音や振動が発生し、過電流保護継電器の動作等により過負荷トリップすると想定される。

また、機器によっては待機中の機器が起動しない、もしくは自動起動しようとするが過負荷トリップすると想定され、過負荷トリップにより各建屋の起動中の機器が停止する。

過負荷トリップで各建屋の起動中の機器が停止する事象が各建屋で同時に発生することにより、運転員は電源系の異常と判断して、手動にて給電中の受電変圧器を切離す。

給電中の受電変圧器を切離すことで非常用主母線及び非常用母線における電圧低下を示す警報が発報するとともに、過負荷トリップにより停止した機器の状態を復旧したうえで、非常用ディーゼル発電機を手動起動することにより、非常用主母線及び非常用母線に給電され、安全上の問題に至る前に事象を収束 (添付資料-3 参照) することが可能である。

運転再開の可否については、故障の原因や復旧するまでに要する時間などの状況に応じて適宜、判断する。

## 6. まとめ

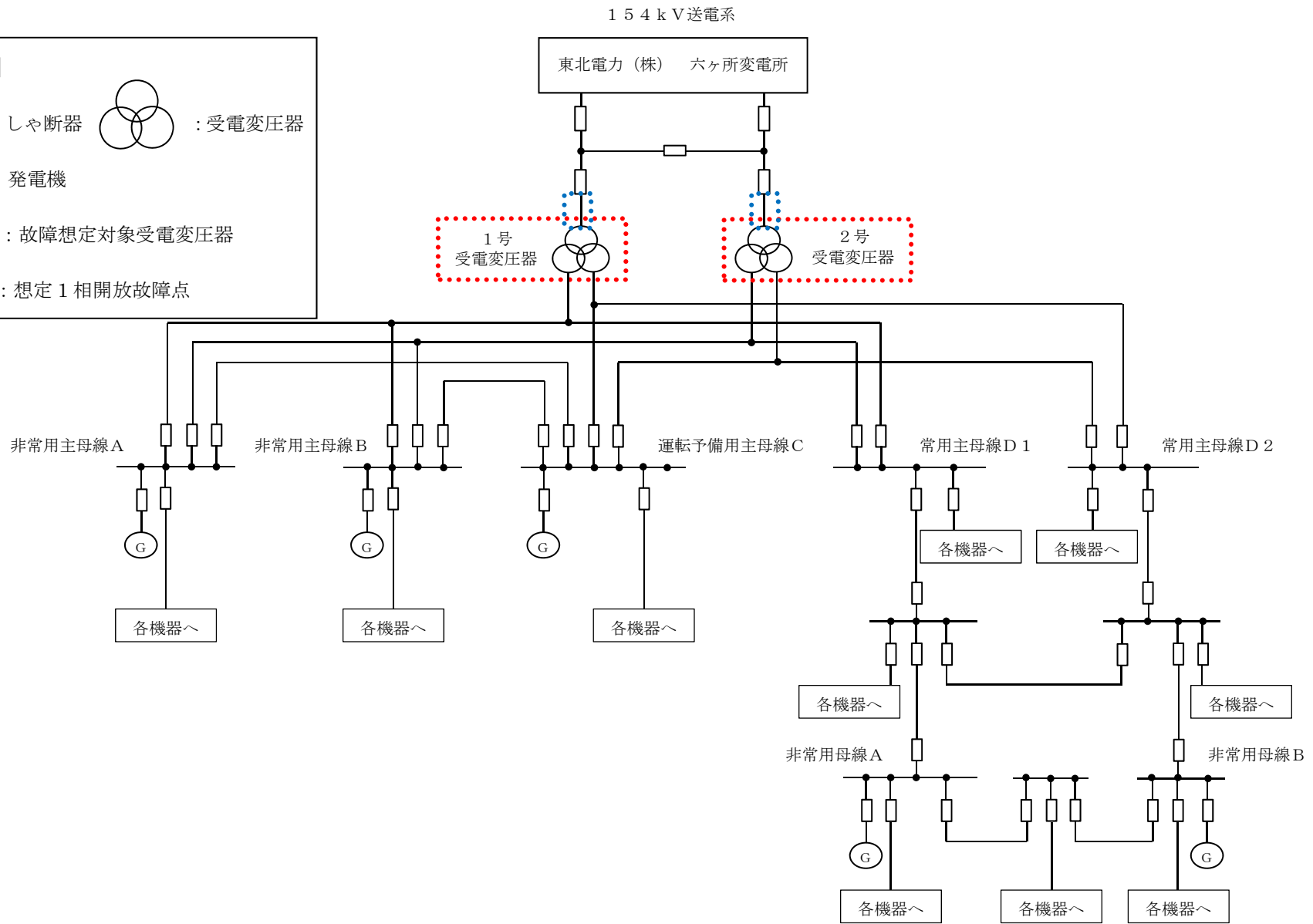
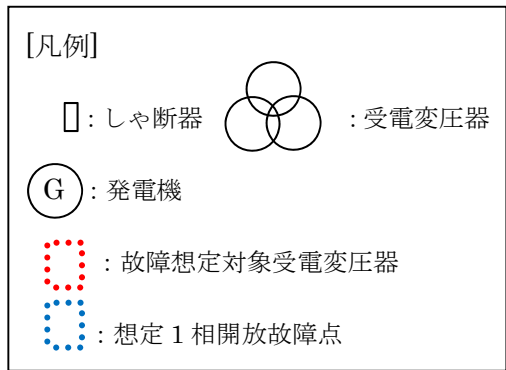
六ヶ所再処理施設においては、受電変圧器 2 次側の各母線には三相の各相に電圧低下を検知する交流不足電圧継電器が設置されており、三相のうちの 1 相に開放故障が発生して、1 相の電圧が所定の電圧まで低下した場合には、交流不足電圧継電器により検知することができるが、受電変圧器の△結線の安定巻線があるため、1 相開放故障が発生した状態を検知できない可能性がある。

国内の原子力発電所において、米国 Byron 2 号機のような三相交流電源の 1 相が地絡・短絡を伴わず開放故障した事例はないが、1 相開放故障が検知できなかった場合でも、待機側の受電変圧器への切替や非常用ディーゼル発電機の起動などの対応により、事象を収束することが可能であることから、安全上の問題には至らないことを確認した。

しかしながら、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十分な知見を持たず、状況が把握できていない場合には、対応が遅くなる事が考えられる。

よって、当該事象の内容及びその対応方法について、運転員への周知、手順書の整備ならびに定期的に教育を行うとともに、日常監視や巡視点検においても異常の早期発見に努めていく。

今後は、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、必要により追加対策についてもその要否を含め検討を続ける。 以上



六ヶ所再処理施設 電源構成概要図



## 六ヶ所再処理施設 主要な負荷一覧

所内電源系各母線	主要な負荷
非常用母線	建屋排風機
	非・常用空調機器冷水系冷凍機
	安全冷却水系冷却水循環ポンプ
	プール水冷却系ポンプ
	補給水設備ポンプ
	安全冷却水系冷却塔
非常用主母線	グローブボックス・セル排風機
	換気設備用冷凍機
	安全冷却水冷却塔
	排風機
	安全冷却水循環ポンプ
	冷却水循環ポンプ
	第一排風機
	第二排風機
	固化セル換気系排風機
	セル排風機
	第1 高レベル濃縮廃液貯槽冷却水ポンプ
	第2 高レベル濃縮廃液貯槽冷却水ポンプ
	高レベル廃液共用貯槽冷却水ポンプ
	安全冷却水冷凍機スクリー圧縮機
	ルテニウム吸着塔加温器
	第1 加温器
	第2 加温器
	溶解槽セル排風機
	安全空気圧縮装置
	排ガス加熱器
安全蒸気ボイラ	

## 再処理工場の安全上の問題に至る事象の収束について

再処理工場で外部電源喪失等の電源喪失事象が発生した場合、起動中の機器が停止するとともに、電圧低下を検知し非常用ディーゼル発電機が15秒以内に自動起動し、非常用母線及び非常用主母線の主要な負荷へ給電し、安全上の問題に至る前に事象を収束することができる。

一方、地絡を伴わない1相開放故障が発生した場合、再処理施設の運転中の機器に異音や振動が発生し、過電流保護継電器の動作等により過負荷トリップすると想定される。

また、機器によっては待機中の機器が起動しない、もしくは自動起動しようとするが過負荷トリップすると想定され、過負荷トリップにより各建屋の起動中の機器が停止する。

過負荷トリップで各建屋の起動中の機器が停止する事象が各建屋で同時に発生することにより、運転員は電源系の異常と判断して、手動にて給電中の受電変圧器の切離しを行う。

受電変圧器を切離すことにより外部電源喪失状態となるが、安全上の問題に至る事象（現在審査中である再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の重大事故等対処対象事象）が発生するまでの数時間の猶予の中で、非常用ディーゼル発電機を手動起動することにより非常用母線及び非常用主母線の主要な負荷への給電が可能である。

以上のことから、地絡を伴わない1相開放故障が発生した場合においても、給電中の受電変圧器を切離し非常用ディーゼル発電機を手動起動することにより非常用母線及び非常用主母線の主要な負荷への給電対応を数時間の猶予時間内に完了することが出来ることから、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。