

原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について

平成23年5月16日

東京電力株式会社

## 目 次

1. はじめに .....	1
1. 1 経済産業大臣指示文書に基づく要求事項 .....	1
1. 2 対象となる原子力発電所および再処理施設 .....	2
2. 外部電源の信頼性の分析・評価（指示事項1） .....	3
2. 1 評価の進め方 .....	3
2. 2 評価結果（基幹系統） .....	5
2. 3 評価結果（柏崎刈羽原子力発電所） .....	5
2. 4 評価結果（東海第二原子力発電所） .....	5
2. 5 評価結果（核燃料サイクル工学研究所） .....	6
2. 6 評価結果のまとめ .....	7
3. 電源線の各号機への接続（指示事項2） .....	8
3. 1 柏崎刈羽原子力発電所における所内電源系統について .....	8
4. 電源線鉄塔の耐震性（指示事項3） .....	9
4. 1 送電設備の耐震性について .....	9
4. 2 送電鉄塔の耐震性について .....	10
4. 3 基礎の安定性について .....	12
5. 原子力発電所の開閉所等の津波対策（指示事項4） .....	14
5. 1 柏崎刈羽原子力発電所における開閉所等の津波対策について .....	14
5. 2 電気設備浸水対策における対象設備 .....	14
5. 3 電気設備の浸水対策 .....	14
6. まとめ .....	19

## 1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波に起因する福島第一原子力発電所事故については、皆さまに大変なご心配とご迷惑をおかけしており、現在も、国、地方自治体及び当社を含む事業者等の関係機関が一体となって、この事態の収束に向け、全力を挙げて取り組んでいるところである。

一方、平成23年4月7日に発生した宮城県沖地震により、東北電力の主要変電所における地絡事故を発端として、北東北全体を供給する電力系統が停止する事態となり、それに接続されている原子力施設への電力供給が停止した。

本書は、かかる事象により電力系統の信頼性に課題が生じたことを踏まえ、平成23年4月15日に受領した経済産業大臣指示文書「原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について（指示）」（平成23・04・15 原院第3号）に基づき、外部電源の信頼性の確保に関する対応について、実施状況を報告するものである。

### 1. 1 経済産業大臣指示文書に基づく要求事項

以下について対応するとともに、これらの実施状況について、報告すること。

#### 【具体的要求事項】

1. 地震等による供給支障等により原子力発電所等（原子力発電所及び再処理施設）の外部電源に影響を及ぼす事態が生じることにに関して、原子力発電所等への電力供給に影響を与え得る貴社の電力系統の供給信頼性について分析及び評価するとともに、当該分析及び評価を踏まえ、当該原子力発電所等への電力の供給信頼性を更に向上させるための対策（原子力発電所内電源の強化を含む。）を検討すること。再処理施設にあっては、当該施設への電力系統の供給信頼性に係る上記対策に対応した施設内の設備の整備について検討すること。
2. 貴社原子力発電所の各号機の電力供給の信頼性向上に資するよう、複数の電源線に施設されている全ての送電回線を各号機に接続し、電力供給を可能とすること。
3. 貴社原子力発電所の電源線の送電鉄塔について、耐震性、地震による基礎の安定性等に関して評価を行い、その結果に基づいて必要な補強等の対応を行うこと。

4. 貴社原子力発電所等の開閉所等の電気設備について、屋内施設としての設置、水密化など、津波による影響を防止するための対策を講じること。

1. 2 対象となる原子力発電所および再処理施設

本書では、当社の柏崎刈羽原子力発電所に加え、日本原子力発電株式会社の東海第二原子力発電所、及び独立行政法人日本原子力研究開発機構の核燃料サイクル工学研究所（東海再処理施設）について、指示への対応を行った。

なお、東海第二原子力発電所及び核燃料サイクル工学研究所については、指示事項2および4に関する対応は各事業者が行うため、当社は指示事項1および3に関する対応のみを行った。

## 2. 外部電源の信頼性の分析・評価（指示事項1）

### 2. 1 評価の進め方

現在の設備形成の考え方においては、以下を踏まえ、原子力発電所の電源線を含む外部電源系統を構成することを基本としている。

- (1) N－2故障（機器装置2箇所同時喪失を伴う故障）については、稀頻度事故であることから一部の電源脱落や供給支障は許容する。ただし、供給支障規模が大きく社会的影響が懸念される場合などは、対策を行うよう考慮する。

（「電力系統利用協議会ルール」より抜粋）

- (2) 外部電源系は、2回線以上の送電線により電力系統に接続された設計であること。

（「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」より抜粋。  
「再処理施設安全審査指針」においても同様に規定）

今回、宮城県沖地震の際に一部原子力施設への電力供給が停止したことを踏まえ、原子力発電所等の外部電源の信頼性が確保されているか、上記(1)・(2)の考え方に加え、以下(3)・(4)の観点も新たに考慮し、評価を行うこととした。

- (3) 稀頻度事故（N－2故障）においても、外部電源の信頼性が確保されていること。

すなわち、外部電源の喪失を伴わないこと、もしくは原子力発電所等の所内電源による一時的な対応を許容しつつ、速やかに外部電源が回復されること。

- (4) 更に過酷な事故についても、外部電源の信頼性を一層考慮するため、これについて評価を行い、必要により対策を検討すること。

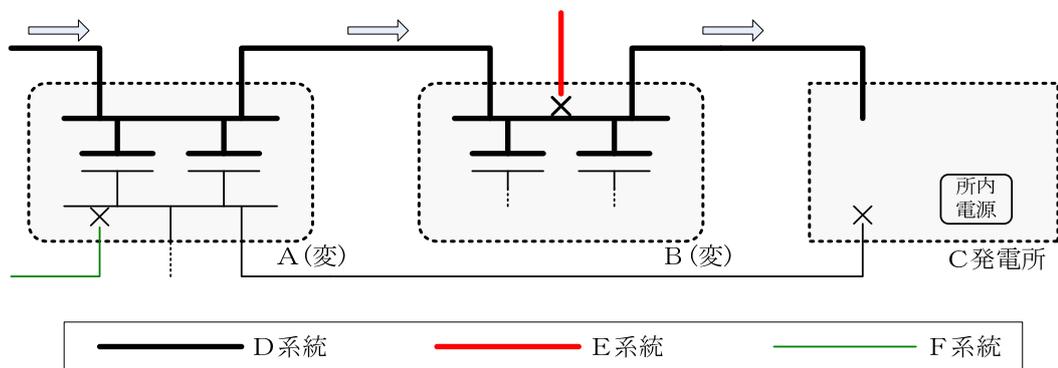
なお、評価を行うケースについては、以下の通りとした。宮城県沖地震の際に東北地方において発生した主要変電所における地絡事故は、1変電所1電圧階級の事故であることから、以下では②の「過酷ケース」に相当するが、今回はこれを更に上回る①の「超過酷ケース」まで評価を行うこととした。

【評価ケース】

- ① 超過酷ケース … 1 変電所（開閉所を含む。以下同じ）の全停電  
（全ての電圧階級が停電）
- ② 過酷ケース … 1 変電所の 1 電圧階級の母線全停電
- ③ その他 … 上記①②以外（N-2 故障を含む）

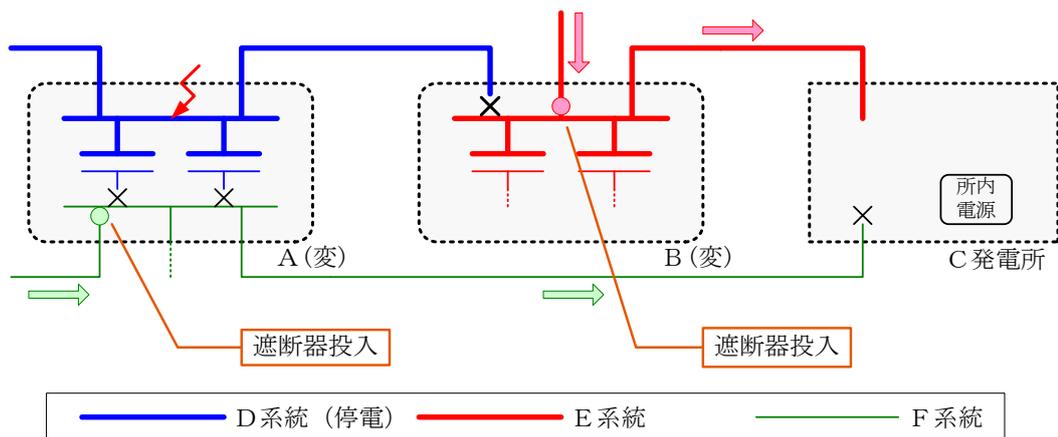
（参考）評価のイメージ（「②過酷ケース」の場合）

< 常時系統 >



- ・ C 発電所へは、常時は D 系統より外部電源を供給。

< A 変電所で上位電圧母線事故が発生（送電線・変圧器まで停止） >



- ・ 事故発生直後、C 発電所は一時的に外部電源を喪失。  
（所内電源により対応）
- ・ その後、系統切替により E 系統から速やかに外部電源を回復。  
（なお、F 系統からも供給可能）

## 2. 2 評価結果（基幹系統）

はじめに、当社の基幹系統について評価を行った。

具体的には、2. 3～2. 5において評価対象となる 500kV（キロボルト）変電所を除く全ての 500kV 変電所について、ケース①の場合の電力系統の供給信頼性を評価した。この評価により、500kV 及び下位電圧階級の全ての変電所・送電線についての、ケース①～③の評価は網羅されている。

評価の結果、上記 500kV 変電所におけるケース①の場合、電力系統の供給信頼性は充分であると評価した。当社の基幹系統においては、高需要地域である東京を東西に取り巻く二重ないし三重の送電ルートを、複数の南北送電ルートにより相互に連系することにより、多ルート化・グリッド化が図られている。上記の評価は、こうした基幹系統についてループ運用を行うことにより、供給信頼性の向上を図ってきたことによるものである。

## 2. 3 評価結果（柏崎刈羽原子力発電所）

起点となる 500kV 変電所から柏崎刈羽原子力発電所への供給ルートにある送変電設備について評価を行った。

その結果、全ての設備におけるケース①～③の場合について、外部電源の喪失がない（※）ことから、電力系統の供給信頼性は充分であると評価した。

（※）一部のケースでは、柏崎刈羽原子力発電所において健全回線から受電するための操作（30 分以内）が必要となる。

万が一、その操作時間内に所内電源も含めた全交流電源が喪失した場合でも、原子炉隔離時冷却系（R C I C）の制御電源は 8 時間維持されるように設計されている。

柏崎刈羽原子力発電所の電源線は、500kV 送電線 2 ルート 4 回線、および東北電力系統 154kV 送電線 1 回線により構成されている。上記の評価結果は、異なる 2 つの系統から外部電源の確保が可能なことによるものである。

## 2. 4 評価結果（東海第二原子力発電所）

起点となる 500kV 変電所から東海第二原子力発電所への供給ルートにある送変電設備について評価を行った。

その結果、評価ケースによっては外部電源が一旦喪失し、所内電源による一時的な対応が必要となるものの、系統切替により外部電源が速やかに回復（※）することから、電力系統の供給信頼性は充分であると評

価した。

(※) 万が一、所内電源も含めた全交流電源が喪失した場合でも、原子炉隔離時冷却系（R C I C）の制御電源は8時間維持されるように設計されている。外部電源はこれに比べ充分速やかに回復する（最長となるケースの場合、系統切替に約80分、及び東海第二原子力発電所における受電操作に約30分）。

東海第二原子力発電所の電源線は、275kV送電線1ルート2回線、および154kV送電線1回線により構成されている。上記の評価結果は、異なる2つの送電ルートが電源線として確保されており、系統切替による外部電源の確保が可能なことによるものである。

## 2. 5 評価結果（核燃料サイクル工学研究所）

起点となる500kV変電所から核燃料サイクル工学研究所への供給ルートにある送変電設備について評価を行った。

その結果、一部の評価ケースを除き外部電源が一旦喪失し、所内電源による一時的な対応が必要となるものの、系統切替により外部電源が速やかに回復（※）すること、また最も過酷なケースにおいても複数の送電ルートを確保可能なことから、電力系統の供給信頼性は充分であると評価した。

(※) 核燃料サイクル工学研究所には、使用済燃料の再処理施設があり、現在、研究開発運転を行っている。

万が一、所内電源も含めた全交流電源が喪失した場合、緊急時安全対策により崩壊熱除去機能等の回復を図ることとしているが、交流電源が必要となる高放射性廃液及びプルトニウム溶液の冷却については、沸騰状態に至るまでには約30時間以上を要する。外部電源はこれに比べ速やかに回復する（最長となるケースの場合、6kV電線路との接続に約12時間）。

核燃料サイクル工学研究所の電源線は、154kV送電線1ルート2回線により構成されている。上記の評価結果は、核燃料サイクル工学研究所において冷却に必要な電力が小規模であることから、6kV系統まで有効に活用した系統切替による外部電源の確保も可能なことによるものである。

なお、具体的な回復時間や、電源線が1ルート2回線構成であることまで考慮すると、外部電源の回復をより確実とし、もしくは短縮する方策を新たに講じることについて、一定の意義が認められるものと判断される。

## 2. 6 評価結果のまとめ

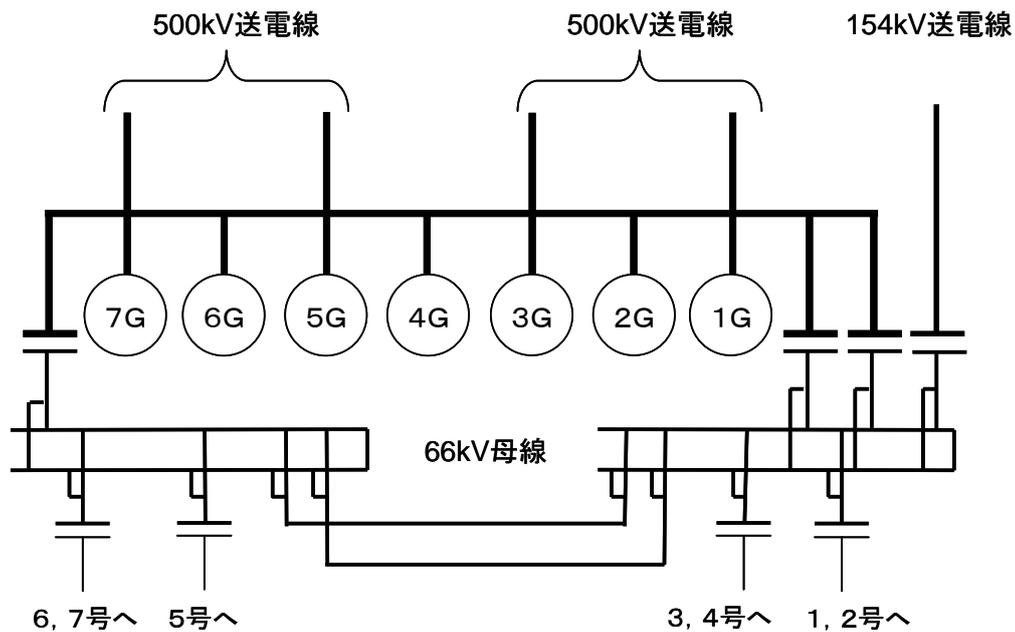
以上2. 2から2. 5において、いずれも電力系統の供給信頼性は充分であるとの評価結果が得られたことから、2. 1に示した考え方に基つき、1. 2に示した対象施設に対する当社電力系統の供給信頼性は充分であると評価した。その上で、核燃料サイクル工学研究所については、外部電源の回復をより確実とし、もしくは短縮する方策を新たに講じることについて、一定の意義が認められるものと判断した。

このため、核燃料サイクル工学研究所については、外部電源のより一層の信頼性確保に資するよう、新たに66kV送電ルートの新設に向けた取り組みを行うこととし、今後、同所とともに検討していくこととする。併せて、6kV電線路との接続についても、同所所内の設備形成を、平成23年9月を目途に行う予定である。

### 3. 電源線の各号機への接続（指示事項2）

#### 3. 1 柏崎刈羽原子力発電所における所内電源系統について

原子力発電所の外部電源系統は2回線以上の送電線により電力系統に接続されることが安全規制上の要求である。柏崎刈羽原子力発電所では、1～7号機のすべてが、送電電圧500kVの送電線4回線および154kV送電線1回線にて連系されており、かつ号機間で電力融通が可能な設備となっている。したがって、追加の対応は必要ないものと考えている。



【柏崎刈羽原子力発電所 所内電源系統概略図】

## 4. 電源線鉄塔の耐震性（指示事項3）

### 4. 1 送電設備の耐震性について

「防災基本計画」（平成7年7月 中央防災会議決定）に基づき、「電気設備防災対策検討会」（資源エネルギー庁長官の私的検討会）の報告書（平成7年11月24日）において、下記の通り各電気設備の耐震性確保に関する基本的考え方が示されている。

#### (1) 一般的な地震動に際し、

個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと。

#### (2) 高レベルの地震動に際しても、

著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じないよう、代替性の確保、多重化等により総合的にシステムの機能が確保されること。

また、報告書では、兵庫県南部地震における地震動や被害の程度が設計で想定した範囲内かどうかの分析を行うとともに、被害実態を踏まえた実証的な検討を併せて行い、現行耐震基準の妥当性に関する検討が行われた。

この検討の結果、現行耐震基準は、各電気設備が確保すべき耐震性を規定するものとして妥当であると評価された。すなわち、各電気設備の現行耐震基準は、一般的な地震動に際して機能に重大な支障が生じない耐震性を確保するとともに、高レベルの地震動に際しても著しい（長期的かつ広範囲）供給支障が生じることのないよう、代替性の確保、多重化等により、総合的にシステムの機能を確保するものであることを確認し、現行耐震基準は妥当であると評価された。

そこで、上記評価に加えて、東北地方太平洋沖地震（以下、今回の地震という）における被害実態を踏まえ、原子力発電所に外部電源供給系統として直接接続している送電設備 7線路（510基）を対象に耐震性の評価を行った。

#### 【耐震性評価対象送電設備】

電圧	線路名	基数
500kV	新新潟幹線	214 基
500kV	南新潟幹線	201 基
275kV	東海原子力線	44 基
275kV	原研那珂線	4 基
154kV	原子力線	8 基
154kV	村松線	38 基
154kV	村松北線	1 基

#### 4. 2 送電鉄塔の耐震性について

##### (1) 今回の地震での被害実態と推定原因

###### 【被害実態】

- ・原子力発電所の電源線およびそれ以外の送電線を含め、鉄塔倒壊は1基。
- ・送電鉄塔に設置されている支持がいしの折損が多数発生し、送電線によっては、絶縁距離不足による送電不能事象が発生。

###### 【推定原因】

- ・鉄塔倒壊の原因は、隣接地の大規模な盛土が地震動により崩壊し、鉄塔敷地になだれ込み、その土圧により倒壊したものと現時点では推定。
- ・支持がいしの折損は、地震動によるものと推定。

##### (2) 耐震性の評価

###### 【鉄塔】

- ・今回の地震においても、当社および東北電力ともに、地震動が直接原因となり倒壊した鉄塔は無い。
- ・今回の地震を含め、過去の大規模地震（兵庫県南部地震、中越地震）で倒壊した鉄塔は3基であるが、その原因は、全て地震による鉄塔敷地周辺の影響による被害（以下、二次的被害という）であり、地震動による鉄塔倒壊は無い。
- ・従って、今回の地震においても、平成7年の報告書どおり、鉄塔は十分な耐震性を有していると評価できる。
- ・ただし、今回の地震では、隣接地の大規模盛土の崩壊による鉄塔倒壊が1基発生しているため、鉄塔敷地周辺の影響による基礎の安定性について検討する必要がある。

【支持がいし】

- ・地震動による折損が多数発生しているため、耐震性が確保されているとは言い難い。
- ・従って、より耐震性に優れたものに取り替えるなどの対応が必要である。
- ・今回、電気事故の原因は、長幹支持がいしを用いたジャンパー支持がいしの破損によることから、原子力電源線における類似設備の抽出を行った。
- ・対策方法としては、長幹支持がいしを懸垂がいしや有機がいしに変更する方法を検討する。

【評価対象線路と類似設備箇所数】

対策線路名	対策基数	対策期間
500kV 新新潟幹線 (全 214 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－
500kV 南新潟幹線 (全 201 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－
275kV 東海原子力線 (全 44 基)	16 基	暫定対策：－ 本対策：H23.5 ～ H23.12
275kV 原研那珂線 (全 4 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－
154kV 原子力線 (全 8 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－
154kV 村松線 (全 38 基)	1 基	暫定対策：－ 本対策：H23.5 ～ H23.12
154kV 村松北線 (全 1 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－

【対策スケジュール】

項目	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
耐震設計	■							
性能確認 試験		■	■	■				
製造					■	■	■	
改修工事								■

#### 4. 3 基礎の安定性について

一般に、送電線ルートは、ルート選定の段階から、地滑り地域等を極力回避するルートを選定しており、地震による鉄塔敷地周辺の影響による被害の最小化を図っている。また、やむを得ずこのような地域を経過する場合には、個別に詳細調査を実施し、基礎の安定性を検討して基礎型を選定する等の対策を実施している。

しかしながら、今回の地震においても二次的被害による鉄塔倒壊が発生しているため、更に送電設備の信頼性を向上させるには、4. 2で評価したとおり、鉄塔敷地周辺の影響による基礎の安定性について検討する必要がある。

##### (1) 評価項目

二次的被害を引き起こす要因としては、今回の地震の盛土崩壊の他に、地滑り、急傾斜地の土砂崩壊が考えられる。そこで、以下の3項目について評価を行う。

##### ① 盛土の崩壊

送電鉄塔近傍に大規模な盛土がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

##### ② 地滑り

地滑り防止地区、地滑り危険箇所、地滑り地形分布図をもとに地滑りの可能性がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

##### ③ 急傾斜地の土砂崩壊

急傾斜地で土砂崩壊が発生する可能性がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

(2) 評価対象線路と基数

対象線路名	対象基数	評価期間 ※
500kV 新新潟幹線 (全 214 基)	214 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
500kV 南新潟幹線 (全 201 基)	201 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
275kV 東海原子力線 (全 44 基)	44 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
275kV 原研那珂線 (全 4 基)	4 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
154kV 原子力線 (全 8 基)	8 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
154kV 村松線 (全 38 基)	38 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～
154kV 村松北線 (全 1 基)	1 基	評価期間：H23.5～H23.8 (対策期間) H23.9～

(3) スケジュール

項目	5月	6月	7月	8月	9月	10月以降
図面等による対象抽出	■					
現地確認等		■	■			
リスク評価			■	■		
対策設計 ・対策工					■	■

## 5. 原子力発電所の開閉所等の津波対策（指示事項4）

### 5. 1 柏崎刈羽原子力発電所における開閉所等の津波対策について

原子力発電所の開閉所等の電気設備について、屋内施設としての設置、水密化など、津波による影響を防止するための対策を講じる。

なお、本対策の実施に際しては、平成23年3月30日の経済産業大臣指示による緊急安全対策を着実に進めているところであり、既に実施している電源車の配備等により、原子炉毎の冷却機能に必要な電源の信頼性は担保できると考えていることから、今般、更なる信頼性向上の観点から、今後の津波対策とあわせ検討・実施していく。

### 5. 2 電気設備浸水対策における対象設備

対象設備は、外部電源、および今後配備するガスタービン発電機車からの電力を受電するために必要な電気設備とする。

ただし、高台に設置されており、津波の影響がないと予想されるものは対象設備から除外する。

具体的な電気設備は以下のとおり。

（なお、外部電源を受電する開閉所設備は高台に設置されており、設置レベルは海拔13.2m以上である。また、ガスタービン発電機車についても高台へ配備する。）

#### a. 開閉所設備

500kVG I S, 154kV 開閉器, 66kVG I S

#### b. 高起動変圧器

#### c. 工所用変圧器

#### d. 緊急用M/C等の配電盤（今後設置予定）

### 5. 3 電気設備の浸水対策

電気設備浸水対策の検討にあたっては、柏崎刈羽原子力発電所の緊急安全対策における浸水防止措置を参考に、「福島第一事故を踏まえ考慮すべき浸水高さ」として、TP+13.2m（土木学会手法による平成14年の柏崎刈羽原子力発電所の津波評価値TP+3.7mに9.5mを加えたもの）を考慮しても問題ないものとする事とした。

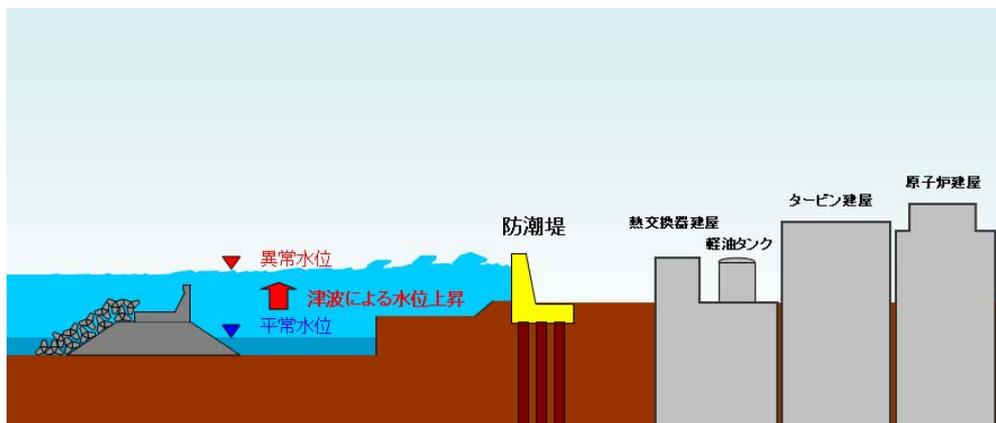
なお、外部電源を受電する開閉所設備は高台（設置レベルは海拔13.2m以上）に設置されているが、さらなる信頼性確保に向けた対策を検討することとした。

(柏崎刈羽原子力発電所共通)

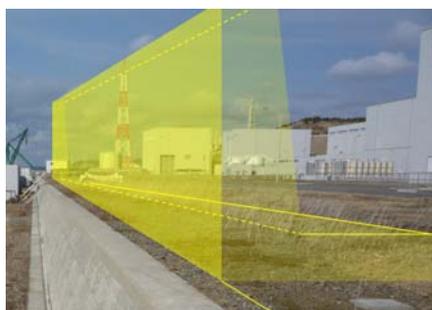
	対象設備	対策内容	対策時期
1～7号機	発電所全体	海岸前面に防潮堤等の設置	平成25年度第1四半期頃
	開閉所設備	開閉所(66kV、500kV)に防潮壁等の設置	平成24年度下期頃
	変圧器	高起動変圧器に防潮壁等の設置(開閉所設備と合わせて実施)	平成24年度下期頃
	M/C等電源盤	原子炉建屋等の水密扉化	平成24年度下期頃
	緊急用高圧配電盤, ケーブル(新設)	緊急用高圧配電盤の新設、及び原子炉建屋内非常用高圧配電盤への常設ケーブルの布設	平成24年度上期頃

(1) 防潮堤の設置

海岸前面に設置する防潮堤により津波の浸入・衝撃を回避し、敷地内にある建物・構築物等(開閉所設備を含む)を防御する。



【津波に対する裕度向上イメージ図】



(擁壁タイプ)

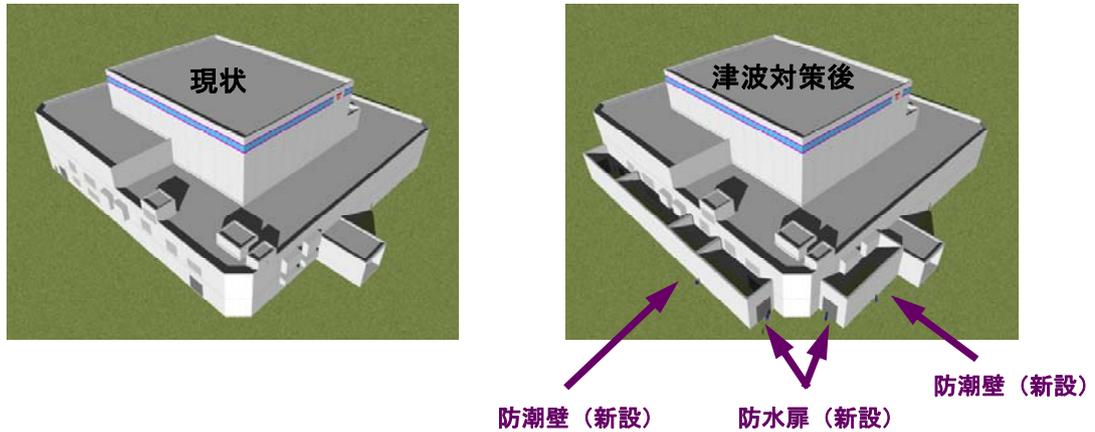


(盛土タイプ)

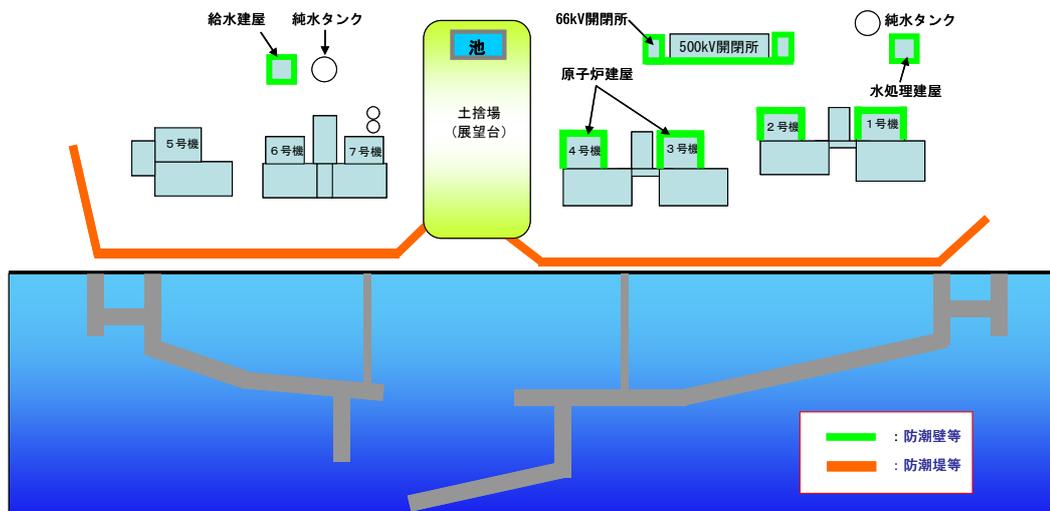
【防潮堤イメージ図】

## (2) 防潮壁等の設置

津波浸入を防ぐための対策として防潮壁等を設置し、電源設備や非常用ディーゼル発電機などの安全上重要な設備が設置されている原子炉建屋内や、開閉所等への津波の浸水を防止する。



【原子炉建屋への防潮壁イメージ図】

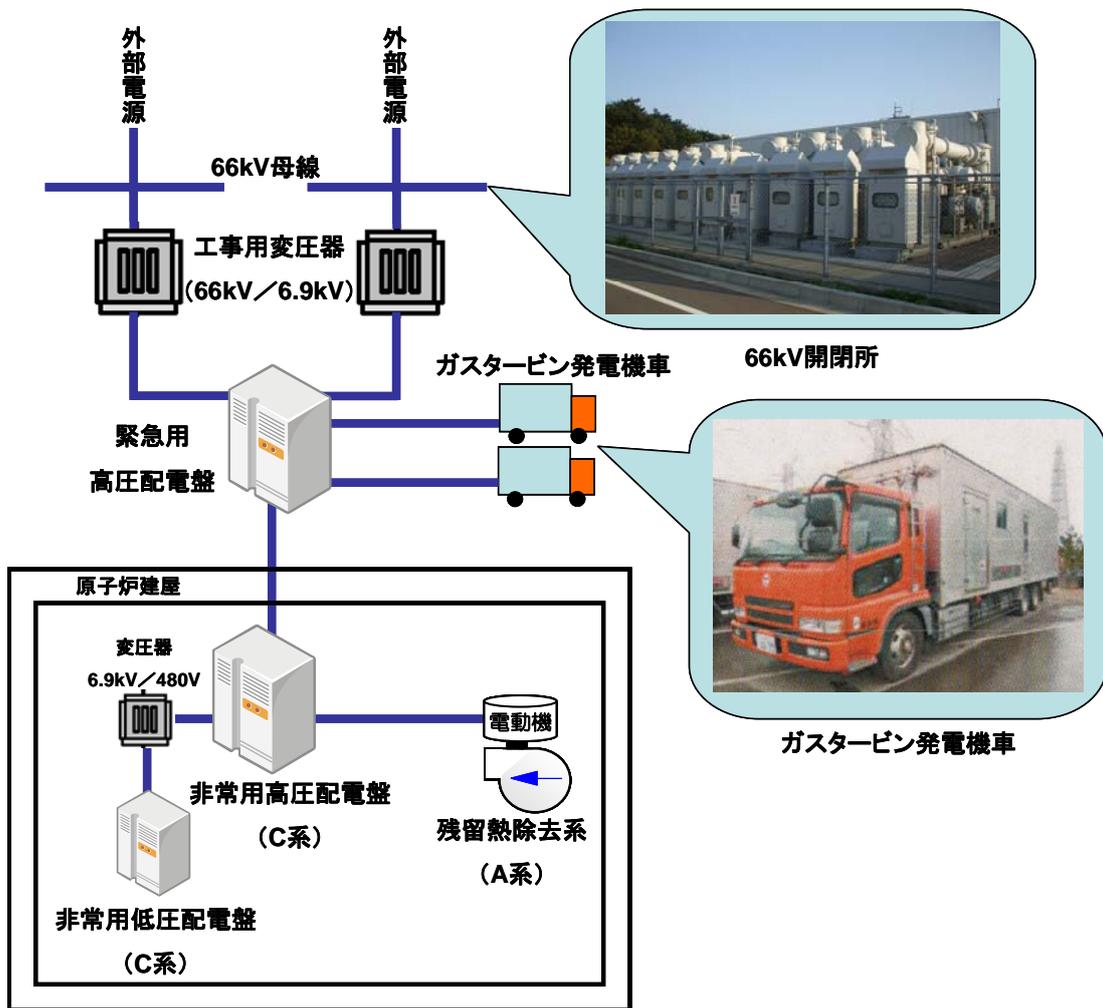


【防潮壁等の設置イメージ図 (平面図)】

## (3) 原子炉建屋等の水密扉化

原子炉建屋等の水密扉化を実施し、建屋内にあり、原子炉の冷温停止に必要となる非常用高圧配電盤や非常用低圧配電盤等への浸水を防止する。

(4) 緊急用高圧配電盤（以下、緊急用M/C）の新設及び原子炉建屋内非常用高圧配電盤（以下、非常用M/C）への常設ケーブルの布設  
 全交流電源喪失時における電源復旧対応の迅速化を図るため、緊急用M/Cから各号機（1～7号機）の非常用M/Cへ常設ケーブルを布設し、緊急用の電源供給ラインを常時確保し、残留熱除去系ポンプ等に電力を安定供給できるようにする。このケーブルが建屋を貫通する箇所については水密化を図ることとする。なお、この緊急用M/Cは高台に設置することから、津波による影響を受けないものと想定している。



【緊急用高圧配電盤を介した電源確保イメージ図】

以上のとおり、開閉所等の電気設備について、防潮堤の設置、防潮壁等の設置により発電所敷地内への津波の浸水防止をはかるとともに、66kV 開閉所～緊急用M/C～非常用M/C（各号機）の電源供給ラインを常設することにより、残留熱除去系ポンプ等に電力を供給するラインを常時確保する対策を実施する計画である。

## 6. まとめ

本書では、外部電源の信頼性の確保に関する対応について、以上の通り実施状況を報告した。今後実施を予定するものについては、着実に取り組んでいく。

当社は今後も、外部電源の信頼性の更なる向上について、真摯に取り組んでいく所存である。

以 上