

福島第二原子力発電所の外部電源の信頼性確保について

平成23年7月7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
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（福島第二原子力発電所）	5
2. 4 評価結果のまとめ	6
3. 電源線の各号機への接続（指示事項2）	7
3. 1 福島第二原子力発電所における所内電源系統について	7
4. 電源線鉄塔の耐震性（指示事項3）	8
4. 1 送電設備の耐震性について	8
4. 2 送電鉄塔の耐震性について	9
4. 3 基礎の安定性について	10
5. 原子力発電所の開閉所等の津波対策（指示事項4）	12
5. 1 福島第二原子力発電所における開閉所等の津波対策について	12
5. 2 電気設備浸水対策における対象設備	12
5. 3 電気設備の浸水対策	12
6. まとめ	13

1. はじめに

当社は、平成 23 年 4 月 15 日、経済産業省原子力安全・保安院より、「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」の指示文書を受領したことから、当社柏崎刈羽原子力発電所、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、外部電源の信頼性の確保に係る対応について取りまとめ、5 月 16 日に同院へ報告書を提出した。

上記報告書については、同院より、内容が妥当であると評価されたが、併せて福島第二原子力発電所における外部電源の信頼性確保に係る対応について、同発電所における設備復旧状況、原子炉の冷温停止状態を維持するために必要な緊急安全対策の実施状況等を踏まえ報告するよう指示を受けていることから、同発電所の原子炉の冷温停止状態を維持することを目的とした外部電源の信頼性確保に係る対応について取りまとめ、報告を行うものである。

福島第二原子力発電所における外部電源の信頼性確保に係る対応については、5 月 16 日の原子力安全・保安院への報告（以下、前回の報告）の分析・評価手法を踏襲している。

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。

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、原子力発電所等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。

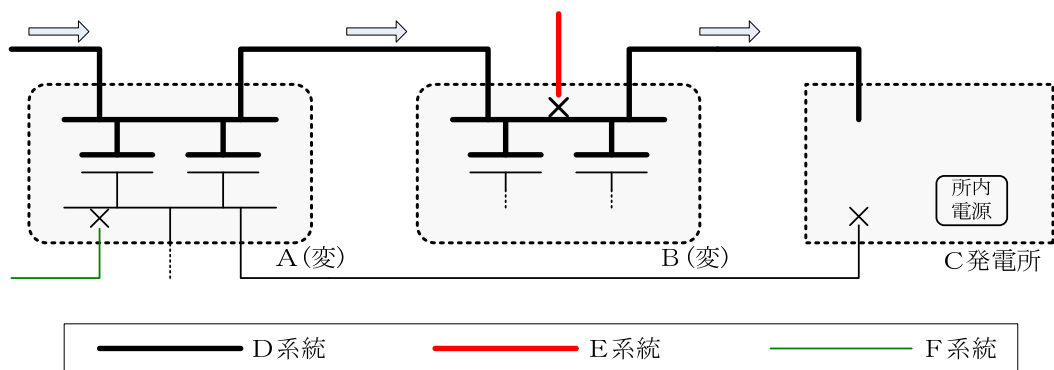
なお、評価を行うケースについては、以下の通りとした。宮城県沖地震の際に東北地方において発生した広域停電は、主要変電所の近傍で電力系統事故が多数発生したことにより、1変電所の1電圧階級で電力系統が南北に分断されたことに起因している。これは以下では②の「過酷ケース」に相当するが、今回はこれを更に上回る①の「超過酷ケース」まで評価を行うこととした。

【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）

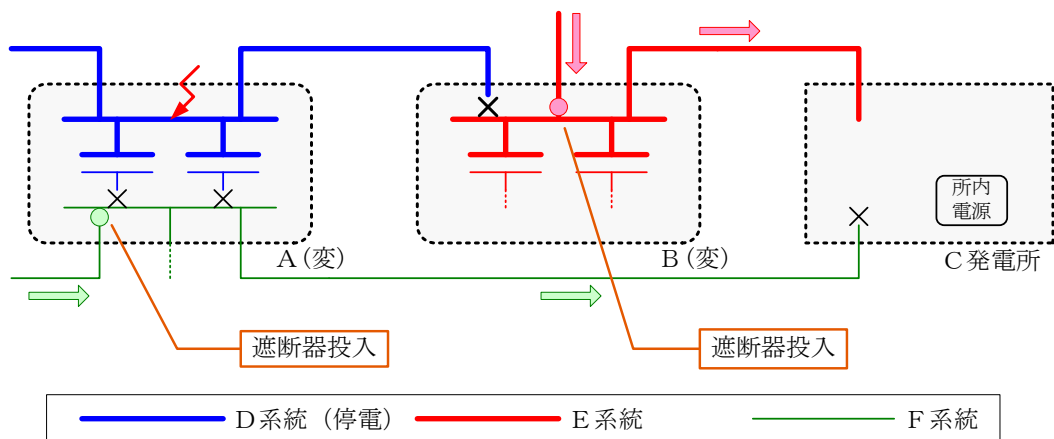
（参考）評価のイメージ（「②過酷ケース」の場合）

< 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（福島第二原子力発電所）

福島第二原子力発電所の電源線は、500kV送電線2回線、および66kV送電線2回線により構成されている。

起点となる500kV変電所から福島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、ケース①～③のうち、①の超過酷ケースについては、外部電源が一旦喪失し、かつ電力系統から外部電源が確保できない場合がある。このようなケースにおいて更に所内交流電源までもが喪失した場合でも、現在、福島第二原子力発電所は冷温停止状態が確保され安定した状態にあり、崩壊熱は十分に低減していることから時間的余裕をもって対応が可能であり、かつ緊急安全対策により速やかに必要な電力を供給することが可能であることから、現在の原子炉の冷温停止状態を安定的に維持するための電力供給の信頼性は確保されていると評価される（※）。更に、平成23年度下期頃には、発電所構内に大型の電源設備を配置する予定であり、更なる信頼性の向上を期待することが可能である。

（※）万が一、所内電源も含めた全交流電源が喪失した場合、緊急安全対策において、監視・制御用機能の維持ならびに代替注水による炉水位維持を行うためには、10時間以内に電源車等による電力供給を行うこととしている（訓練実績における接続所要時間は約3時間）。なお、全交流電源の喪失が更に継続したと仮定しても、現在、福島第二原子力発電所は冷温停止状態が確保

され安定した状態にあり、事象発生から約4ヶ月経過し崩壊熱は十分に低減していることから事象の進展は緩慢であるため時間的余裕をもって対応が可能であり、今後、燃料の除熱がすすむことから、時間的な余裕もさらに長くなることとなる。

また、上記以外の全ケースについては、外部電源は喪失しない、もしくは系統切替により外部電源は速やかに回復する（最長となるケースの場合、系統切替に約60分、及び福島第二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に約20分）。

2. 4 評価結果のまとめ

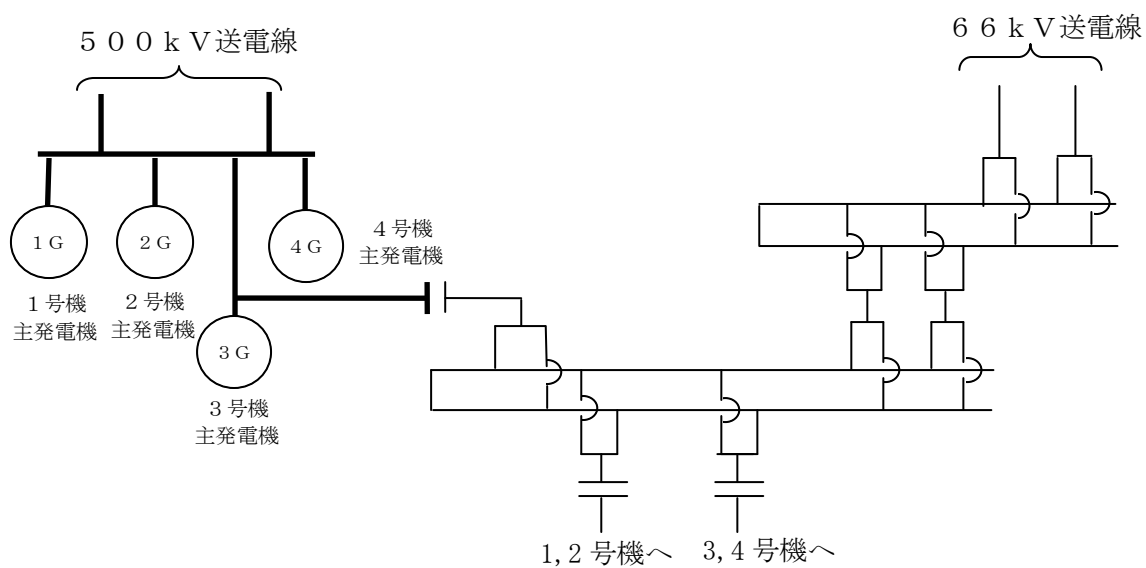
以上の通り、福島第二原子力発電所においては、冷温停止状態が確保され安定した状態にあり、崩壊熱は十分に低減していることから時間的余裕をもって対応が可能であり、かつ既に緊急安全対策を実施しており、速やかに必要な電力を供給することが可能であることから、現在の原子炉の冷温停止状態を安定的に維持するための電力供給の信頼性は確保されている。

ただし、同発電所については、1変電所の全停電といった超過酷ケースについてのみ外部電源が確保できない場合がある。このため、原子炉の冷温停止状態を安定的に維持するためのより一層の電力系統の供給信頼性向上を目的として、外部電源受電のための東北電力系統からの66kV送電ルート確保策について、今後、スケジュールも含め関係各所と調整の上、取り組んでいくこととする。

3. 電源線の各号機への接続（指示事項2）

3. 1 福島第二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。福島第二原子力発電所では、1～4号機のすべてが、送電電圧500kVの送電線2回線および66kV送電線2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。



【福島第二原子力発電所 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、前回の報告同様に上記評価に加えて、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、福島第二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2線路（24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	富岡線	21基
66kV	岩井戸線	3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、福島第二原子力発電所の電源線における類似設備の抽出を行った。
- ・この結果、類似の設備箇所はなかった。

【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 富岡線 (全 21 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－
66kV 岩井戸線 (全 3 基)	0 基	暫定対策：－ 本対策：－

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 富岡線 (全 21 基)	21 基	評価期間：H23.6 ～ H23.8 (対策期間) H23.9 ～
66kV 岩井戸線 (全 3 基)	3 基	評価期間：H23.6 ～ H23.8 (対策期間) H23.9 ～

(3) スケジュール

項目	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 福島第二原子力発電所における開閉所等の津波対策について

福島第二原子力発電所の開閉所は高台（OP. 33000）に設置されていることから、津波に対する浸水対策を講じる必要はない。他電気設備については、水密化対策等の実施により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、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、更なる信頼性向上の観点から、今後の津波対策をあわせ検討・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大型の電源設備から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、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。

具体的には以下のとおり。（なお、外部電源を受電する開閉所設備は高台（OP. 33000）に設置されており、津波による浸水対策を講じる必要がない設置レベルである。また、今後設置を検討している大型の電源設備についても、配置場所は津波の影響を受けない高台へ配備する。）

- a. 開閉所設備（OP. 33000）
500kV 開閉器、66kV G I S
- b. 高起動変圧器（OP. 33000）
- c. 受電側M/C等の配電盤（OP. 6000）
- d. 大型の電源設備（平成23年度下期頃 配備予定）

5. 3 電気設備の浸水対策

電気設備の浸水対策の検討にあたっては、3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波と同程度の津波を考慮しても問題ないものとする事とした。

福島第二原子力発電所における対象設備は5. 2に記載されている電源設備のうち、受電側M/C等の配電盤に対しての浸水対策となるが、これについては、平成23年度下期頃までに、浸水防止のため機器搬入口や人員出入用扉等の開口部、配管ダクト等の建屋貫通部の水密

化を実施するとともに、津波発生時の海水進入ルートでもある給気ルーバー開口部についても浸水を防止する構造を採用する。

6. まとめ

福島第二原子力発電所の外部電源の信頼性の確保に係る対応については、本報告書記載の対策に取り組み、信頼性向上をはかっていく所存である。

以 上