

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の
技術的知見について

平成24年3月
原子力安全・保安院

Ⅱ. 外部電源設備について

【要旨】

〈外部電源の被害状況〉

- 東北地方太平洋沖地震により、東通発電所、女川発電所、第一発電所、第二発電所及び東海第二発電所の外部電源が一部系統を除き停止。
- 第一発電所では、開閉所の遮断器及び断路器の損傷(1・2号機)、送電線路のトリップ(3・4号機)、近傍盛土の崩壊に伴う鉄塔倒壊(5・6号機)等により、全ての外部電源を喪失。

〈被害の原因と現行の対応状況〉

- 第一発電所の開閉所の電気設備が損傷した原因は、地震動が開閉所設備に適用される民間規格の設計基準を超過したこと等であることが判明。
- 近傍盛土の崩壊に伴い送電鉄塔が倒壊したことに関し、保安院の指示に従い、各事業者が現地踏査等による盛土・急傾斜地・地滑りの評価を実施。
- 外部電源の信頼性について、保安院の指示に従い、各事業者が変電所の停電等の想定事象における外部電源喪失の可能性を評価し、必要に応じ対策を立案・実施。

〈技術的知見と対策〉

- 東北地方太平洋沖地震に際し、交流電源確保の成否が原子力発電所の安全確保の結果に大きな差異を生じたことを踏まえ、原子力発電所に直接繋がる変電所までを規制上の視野に入れた外部電源の信頼性向上が必要。
- 原子力発電所内開閉所の多重化されていない電気設備の損傷により外部電源が喪失したことを踏まえ、開閉所の設備の耐震性を向上させることが必要。
- 外部電源の電気設備の損傷により、送電の復旧に長時間を要したケースがあったことを踏まえ、重大な事故に至るリスクを低減するため、外部電源の復旧の迅速化が必要。例えば、作業に必要な資機材等を準備することが求められる。また、送電線路の損傷箇所を迅速に特定する設備を導入することが求められる。

Ⅱ-1 地震による外部電源の被害と影響

(1) 各原子力発電所の外部電源の被害の状況

原子力発電所の外部電源は、所外の変電所設備並びに送電線設備、及び所内の開閉所設備から構成されている(図Ⅱ-1-1 参照)。

東北地方太平洋沖地震では、東通原子力発電所(以下、「東通発電所」という。)、女川発電所、第一発電所、第二発電所、及び東海第二発電所の外部電源22回線のうち、地震後に電力供給できたのは女川発電所及び第二発電所の3回線に過ぎず、工事中又は作業中で停止していた2回線も含め他の19回線は系統中の電気設備のどこか

に地震による損傷等が生じ電力供給が停止した(図Ⅱ-1-2～Ⅱ-1-6、表Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-6 参照)。

この中には、原子力発電所内外の電気設備が地震動により損傷又はトリップしたケースのほか、接続する変電所の更に上位系統が停電したケース(東通発電所、東海第二発電所)、鉄塔が倒壊したケース(第一発電所5・6号機)などが含まれる。

原子力発電所内の開閉設備については、第一発電所において地震動で一部の遮断器又は断路器が損傷したため受電できなかったが、他の原子力発電所(東通発電所、女川発電所、第二発電所、東海第二発電所)においては、概ね受電能力に影響する被害はなかった。

(2) 外部電源に関する設備損傷等の原因と対応状況

① 変電所及び開閉所の電気設備

第一発電所、第二発電所、女川発電所及び東海第二発電所の送電線が接続する変電所において、地震動により断路器、避雷器等の損傷が発生した。また、これら以外にも、原子力発電所に直接繋がるものではないが、第一発電所及び第二発電所が接続する新潟変電所において遮断器等の損傷が発生しており、東京電力が損傷原因に関する詳細評価を実施した。また、原子力発電所内の開閉所設備については、東京電力が第一発電所の遮断器及び断路器の損傷に関する解析による詳細評価を実施した。それらによると、地震動が当該設備に適用されている民間規格の設計基準を上回ったことや地震動により損傷した機器の荷重が電線により接続されている機器に加わったことなどにより、損傷が発生したと推定されている。

また、今般の地震で損傷が発生した第一発電所の大熊線1号線及び2号線に接続する開閉所の遮断器(図Ⅱ-1-7 参照)は、いずれも1978年に設置されたABB(気中遮断器(空気))であった。ABBを含むがいし型遮断器は、タンク型遮断器(ガス絶縁開閉装置(GIS)(図Ⅱ-1-8 参照)等)に比べ耐震性能が低いとの調査結果が1978年の電気協同研究会によって示されており、GISの方が保守点検の利便性が高いこと等とも併せて、現状において8割以上の開閉所の遮断器はGISとなっていたが、第一発電所においては全ての遮断器がABB型のままであった(表Ⅱ-1-7及びⅡ-1-8 参照)。

② 送電鉄塔

東北地方太平洋沖地震において、原子力発電所に送電する送電線を支える送電鉄塔そのものが地震動による揺れで倒壊したものは確認されていない。なお、第一発電所5・6号機は、外部電源の送電線路(夜の森線1・2号線)の鉄塔1基が近傍の盛土の崩壊に巻き込まれて倒壊し、外部電源喪失に至ったと考えられる(図Ⅱ-1-9 参照)。

各事業者は、保安院からの指示を受け、現地踏査等による盛土・急傾斜地・地滑りの評価を実施し、今後、評価結果を踏まえ必要に応じ対策を行うこととしている。

③電線の支持がいし

電線の支持がいしについては、長幹支持がいしの損壊が多数発生した(図Ⅱ-1-10参照)。

これを受け、事業者は、遅くとも平成 23 年度内には長幹支持がいしの懸垂がいし等への取替や長幹支持がいしへの免震金具の取付けなどの信頼性向上策を講じることとしている。

④その他(避雷器等の損壊、トリップ、電力供給の信頼性)

避雷器については、簡易な作業により復旧が可能であるものの、地震動による避雷器の損傷で原子力発電所の外部電源の喪失が生じたケースがある。

また、送電機能に影響する設備被害が生じていない場合であっても、一時的な短絡・地絡等によるトリップで送電が停止したケースがあり、これらの健全性を確認した上で復旧するまでには時間を要している。

原子力発電所等への電力供給の信頼性については、各事業者において、保安院からの指示(4月15日)に従い、1変電所の全停電等の厳しい条件を想定して影響を評価し、外部電源が喪失しないか、あるいは外部電源喪失が発生しても少なくとも送電システムの切換えによる早期復旧が可能となるよう、必要に応じ対策を講じることとしている。

Ⅱ-2 外部電源設備に関する規制の現状

外部電源設備(変電所、送電線、所内開閉所等の原子力発電所に直接給電する電気設備)については、発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針(原子力安全委員会)において、異常発生防止系(PS)のうち、一般産業施設と同等以上の信頼性を有するもの(クラス3)として位置付けられている。(注:異常影響緩和系(MS)としての位置付けはない。)

また、原子力安全委員会では、外部電源に対し更なる信頼性を図るために送電線の独立性の強化を求めるなど関連する指針の改訂を進めている。

Ⅱ-3 外部電源に関する技術的知見とそれを踏まえた対策

【目標1】～地震等による長時間の外部電源喪失の防止～

要件1 原子力発電所の外部電源の信頼性向上

第一発電所では、後述のとおり津波により施設内の電気設備が水没・被水により機能喪失したため、外部電源が機能していたとしても受電を継続することは難しかったと考えられるが、外部電源の喪失が復旧作業を困難にする一因となるなどシビアアクシデントの進展防止を阻害する要因の一つとなった。また、外部電源を含む

何らかの交流電源を利用することができた女川発電所、第二発電所及び東海第二発電所では、地震後の津波による被害を受けてもシビアアクシデントに至ることなく冷温停止に移行する等の緊急時対応を実施できたことに留意する必要がある。

外部電源の信頼性については、地域全体の停電や山間部を通る送電線路の途絶などによる外部電源喪失のリスクがあるため、原子力発電所の安全確保を外部電源に過度に依存することは適当ではない。しかしながら、東北地方太平洋沖地震に際し、交流電源確保の成否が原子力発電所の安全確保の結果に大きな差異をもたらした。

従って、シビアアクシデントのリスク低減及び事故後の復旧作業容易化のため、外部電源の信頼性を向上させることが必要。

対策1 外部電源系統の信頼性向上

現状では、原子力発電所外の施設は原子力安全確保の観点からの規制対象ではないが、少なくとも原子力発電所に直接繋がる変電所までを規制の視野に入れた上で、異なるルート（送電線及び変電所）からの給電を確保するなどにより、1つのルートを失っても当該発電所が外部電源喪失にならないよう外部電源系統の信頼性を高いものとすることが求められる。

対策2 変電所設備の耐震性向上

変電所設備の信頼性を向上させるため、原子力発電所に直接接続される全送電線路の直近変電所引出口に施設される断路器について、今般の地震で損傷した新福島変電所の断路器と同型の断路器の構造改良並びに高強度がいし及びガス絶縁機器の採用を行うなどにより、耐震性を強化した断路器の回線を2回線以上確保することが求められる。

要件2 原子力発電所の開閉所設備の耐震性向上

原子力発電所の開閉所設備の耐震性を向上する必要がある。

なお、変電所では、電気設備の多重化が図られており、一部の機器に損傷が発生しても当該箇所の切離し等により機能を維持できる可能性がある（図Ⅱ-1-11 参照）。原子力発電所の開閉所については、第一発電所において一部の遮断器及び断路器が地震により損傷し、これが外部電源喪失の一因となった。開閉所内の個々の送電設備は多重化されていないため、より系統のどこかに損傷が発生すると外部電源喪失に繋がる可能性が高い。

対策3 開閉所設備の耐震性向上

開閉所の電気設備（遮断器、断路器等）の地震による機能喪失のリスクを低減させるため、耐震性の強化及び設備の多重化等を組み合わせるなどにより、耐震性を向

上させることが求められる。また、がいし型遮断器(空気遮断器(ABB)等)については地震による機能喪失リスクを評価した上でタンク型遮断器(ガス絶縁開閉装置(GIS)等)等への設備の更新等を行うことが求められる。

要件 3 外部電源の復旧の迅速化

東北地方太平洋沖地震では、遮断器のトリップによる送電の停止が多数発生した他、変電所又は送電線の電気設備が損傷したため、例えば東海第二発電所に接続する送電線路では設備を復旧し、送電を再開するまでに数日以上の時間を要したケースがあった(注:東海第二発電所では非常用 DG により電源を確保)。また、外部電源による安定的な電力供給を回復できれば、シビアアクシデント等の重大な事故に至るリスクを低減することができる。

従って、地震等により損傷した外部電源設備の復旧を迅速化することが必要である。

対策 4 外部電源設備の迅速な復旧

外部電源設備の復旧に要する時間を短くするため、損傷した場合に復旧に時間を要する外部電源設備の予備、又はそれらを迅速に復旧する作業のための資機材の確保及び手順をまとめた事故対応マニュアルの整備等を準備しておくことが求められる。また、より早期に復旧作業に着手できるようにするため、電線路が長い場合には、損傷箇所を迅速に特定できる設備(フォルトロケータなどの事故点標定装置)を導入することが求められる。