

## 原子力安全部会、標準委員会合同セッション

## 外的事象に対する包括的な安全確保の体系の現状と課題

Comprehensive Framework for Safety against External Events -Current Situation and Challenges-

## (2) 柏崎刈羽原子力発電所における外的事象に対する取り組み

## (2) Safety Countermeasures for External Events at Kashiwazaki-Kariwa NPS

\*宮田 浩一<sup>1</sup><sup>1</sup>東京電力

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故は、東北地方太平洋沖地震とこれに伴う津波により引き起こされたものであり、当事者として、その主原因である津波対策を事前にとれなかったことを痛切に反省をしている。

当該事故は、地震により外部電源を喪失し、津波により交流電源のみならず直流電源を全て喪失したことで過酷事故に進展しており、これは外的事象特有の共通要因（没水等による電源喪失）によってもたらされたものである。加えて、津波による瓦礫等により復旧作業も困難を極め、被害の拡大を抑制することができなかった。

柏崎刈羽原子力発電所では、福島第一事故の教訓を踏まえ事故直後から、新規制基準の策定を待つことなく速やかに意思決定をし、防潮堤を設置したり、注水のための可搬設備を多数準備する等、安全対策に取り組んできた。また、新規制基準への適合性審査では、外的事象からの防護を含む厳格かつ慎重な議論を受け、設計の改善等を図ってきている。

本稿では、柏崎刈羽原子力発電所における安全対策を外的事象との関連で説明する。

## 2. 原子力安全確保体系における福島第一事故の位置づけ

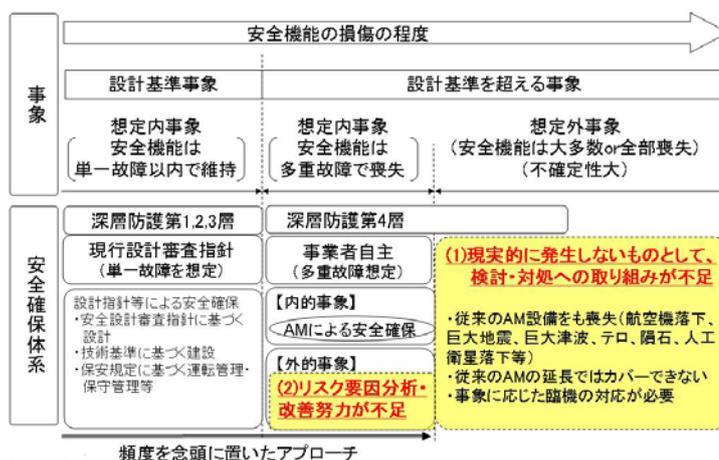
福島第一原子力発電所事故以前は、深層防護の第三層までを設計基準事象でカバーし、単一故障の想定を踏まえた決定論的な評価により設計の妥当性を評価してきた。

設計基準事象を超える領域については、事業者自主のアクシデントマネジメント(AM)で対応することとされ、確率論的リスク評価(PRA)を活用して対策をとってきた。しかしながら、当時は外的事象に対するリスク評価技術が未熟であったことから、このAMの検討は、内的事象を対象としたものとなっていた。

また、それまで、内的事象・外的事象のいずれも、設計上の想定を定め、その想定に対して安全対策を整備してきたことから、想定を超える事態を具体的にイメージした取り組みは不足していた。

このような状況の中で、福島第一事故が発生した。

## 従来の安全確保体系からみた福島事故の原因分析



## 3. 新規制基準を踏まえた安全対策の全体像

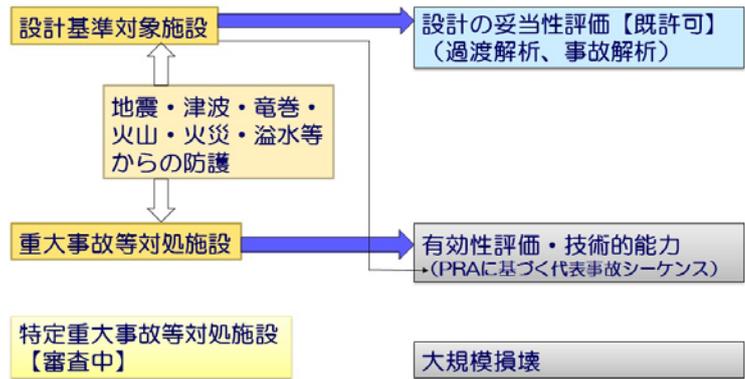
柏崎刈羽原子力発電所では、新規制基準施行前から安全対策に取り組み、6、7号炉の設置変更許可申請を提出し、平成29年12月に設置許可処分が下された。

新規制基準では、従来からある設計基準対象施設（DB設備）の信頼性を向上させるべく、従来より厳し

い自然現象や人為事象に対し DB 設備を防護すること等が要求されている。また、福島第一原子力発電所の事故が外的事象により DB 設備のほとんどが機能喪失したものであったことから、DB 設備が故障した場合に想定される炉心損傷に至る事故シーケンスを確率論的リスク評価 (PRA) により抽出し、新たに設置している重大事故等対処施設 (SA 設備) により炉心損傷が回避できることを確認している (有効性評価)。また、内外の知見を駆使しても炉心損傷を防止できない場合には、格納容器の破損防止ができることを確認、あるいは有意な影響をもたらすことは考え難いシナリオであることを確認している。さらには、深層防護の観点から、これらの事象より厳しい状態を大規模損壊として考慮し、体制や手順書等の適切性を確認している。

このように、安全設計を実際に進める上で設計基準という想定を設けてはいるものの、これを超える領域に対しても、分散配置や機動的対応、人的パフォーマンスの活用といった、設計基準とは異質のロバスト性を確保するようにしている。

#### 設置変更許可申請の全体像



#### 4. 外的事象に対する設計基準の想定

柏崎刈羽原子力発電所に影響をもたらす地震・津波以外の外的事象として、立地点の特徴、ヨーロッパのストレステスト、IAEA の基準などを踏まえ、42 の自然現象と 19 の人為事象を抽出した。次に、以下の 4 つの観点から一次スクリーニングをし、詳細評価すべき事象を選定した。

- A. 影響が及ぶほど発電所近傍では発生しない
- B. 現象の進展が遅く、そのリスクが事前に検知または予測できる
- C. 安全設備等への影響の程度が、設計で考慮している程度に包含される
- D. 影響が他の自然現象で代表できる

この結果、9 つの自然現象 (風 (台風)、竜巻、低温 (凍結)、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、生物学的事象) と 5 つの人為事象 (火災・爆発、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害、内部溢水) を詳細評価対象とした。なお、意図的な人為事象は、故意によるものであるため設計上考慮する外的事象として取り上げないが、その対応力について、技術的能力の中で確認している。

想定する自然現象の規模については、①既存の規格基準、②過去のデータ、③年超過確率  $10^{-4}$  に相当する規模の 3 つを比較検討した上で、より厳しい値を採用することとしている。ただし、竜巻に関しては、規制庁のガイドラインで暫定の基準として年超過確率  $10^{-5}$  としているところ、柏崎刈羽原子力発電所では、将来の気候変動を考慮し、年超過確率  $10^{-6}$  に相当する規模の竜巻を設計基準としている。

また、人為事象の規模については、敷地内外に存在し得る最大のハザードを考慮している。なお、航空機落下については年超過確率を算定し、原子炉建屋等に落下する確率が  $10^{-7}$  を下回ることを確認した上で、 $10^{-7}$  の確率に相当する角丸長方形の外縁部に航空機が落下することを想定し、火災による影響がないと評価している。

さらに、これら外的事象の重畳についても考慮している。具体的には、地震・津波を含む柏崎刈羽原子力発電所にて発生

自然現象	設計基準値	根拠
風	40.1 m/s	②観測記録
竜巻	92 m/s	②観測記録+裕度
低温	-15.2 °C (24 時間 継続)	③ $10^{-4}$ 値
降水	101 cm/h	③ $10^{-4}$ 値
積雪	167 cm	③ $10^{-4}$ 値
落雷	200 kA	③ $10^{-4}$ 値
火山	35 cm	②文献等
地すべり	影響なし	個別評価

可能性がある外的事象 32 事象について、発生頻度の高い事象はベース負荷で考慮することとした上で、設計基準事象相当の主事象 A と年超過確率  $10^{-2}$  相当の副事象 B を重畳させ、影響が増長される組み合わせを抽出した。荷重の大きさ等の観点で代表性のある、地震、積雪、火山の組み合わせに対して個別に影響評価を実施し、問題ないことを確認している。

## 5. 重大事故等対処設備に対する設計上の考慮

DB 設備が使用できなくなった場合でも炉心損傷等を回避するために SA 設備を設けていることから、外的事象の発生において、DB 設備と共通要因で同じ機能をもつ SA 設備が同時に機能を喪失しないよう、可能な限り多様性、独立性、位置的分散を考慮して適切な措置を講じる設計としている。

具体的には、SA 設備は、

- ・可能な限り DB 設備等と位置的分散を図る
- ・外部からの衝撃による損傷の防止が図られた建屋内に設置・保管する
- ・サポート系の故障に対して、異なる駆動源、冷却源を用いる
- ・可能な限り異なる水源をもつ設計とする

さらに、可搬型 SA 設備は、防火帯の内側の複数箇所に分散して保管するとともに、主要建屋から 100m 以上の離隔距離を確保する。さらに、可搬型 SA 設備を原子炉施設に接続する場合、異なる複数の箇所に接続口を設けている。

福島第一の事故では、復旧箇所へ出向するルート選定や被ばく上の問題があり、柏崎刈羽原子力発電所では、あらかじめ複数のアクセスルートを指定し、また、復旧作業に伴う被ばくを実際の作業想定に従って評価し、現実的に作業が可能であることを確認している。

## 6. 大規模損壊対応の評価

外的事象の設計基準を超える事象が発生した場合、原子炉施設は大きく損傷（大規模損壊）する可能性があり、残存する DB 設備、SA 設備を活用し、炉心損傷の緩和、格納容器破損の緩和、さらには放射性物質の放出低減等を図るよう体制・手順等が適切に準備できていることを確認している。

具体的には、柏崎刈羽原子力発電所で発生し得る外的事象を選定し、当該事象から誘引される起因事象を特定、当該起因事象の影響を踏まえ、有効性評価に包絡されない事象を抽出し、整備している手順等に対処が取れることをケーススタディにより確認している。

特にプラントの安全性に影響を与える設計基準超の自然現象として、地震、津波、風（台風）、竜巻、低温（凍結）、降水、積雪、落雷、火山、隕石を選定している。これらの組み合わせも含め、代表性を考慮して、大規模損壊のケーススタディの対象とするシナリオとして、地震、津波、地震と津波の重畳を選定し、評価を実施している。また、同様に大型航空機の衝突についても評価を実施している。

大規模損壊の規模により、炉心損傷を防止できる場合、格納容器破損防止が可能な場合、あるいは放



### 大容量放水設備

- ・原子炉建屋上部への大量の放水が可能（1時間あたり最大で1200m<sup>3</sup>）
- ・放射性物質の大気への拡散を抑制（大量の水滴で叩き落とす）

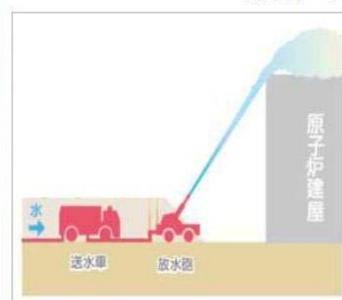


送水車

放水イメージ



放水砲



送水車

放水砲

放射性物質の拡散抑制を図る場合等と結果が異なるものの、様々な対応が可能であることを確認している。

これらの手順を的確に遂行する上では、個々の要員の教育・訓練が重要であり、計画的に実施している。また、福島第一事故で本部長に情報が集中しすぎた反省を踏まえ、個々の機能班が自律的に活動していく体制とするなどしたうえで、総合訓練として、厳しい自然現象や航空機衝突等を想定した訓練を月に一回以上実施し、柔軟な対応力の育成を図っている。

### 個別訓練

社員自ら訓練を積み重ねている

がれき撤去や  
道路の段差を埋める訓練



ガスタービン  
発電機車の  
操作訓練



消防車の  
操作訓練



大容量放水設備  
の操作訓練

## 7. まとめ

柏崎刈羽原子力発電所の安全対策の整備に当たっては、福島第一事故の教訓を徹底的に分析し、その一つの大きな取り組みとして共通要因対応としての外的事象への対策をとっている。従来に増して設計基準を厳しく設定するだけでなく、設計基準を超える事象への対応が可能であることを確認している。これらの対応は、位置的分散等の多様性を考慮した可搬設備等を配備し、具体的な手順や体制として作り込んでいる。特に設計基準を超える対応には柔軟性が必要であり、訓練は日常業務であるとの認識のもと、様々な状況に対応できるよう、個別要員の訓練や総合訓練を繰り返している。これらの取り組みを通じて、発電所員の安全意識が高まり、安全性向上のインセンティブにもつながってきていると考えている。

\* Koichi Miyata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tokyo Electric Power Company HD