

原子力安全、社会と共に考える －リスクの顕在化の抑制－

For Discussions with the Public for the Safety of Nuclear Power
－Applying Risk Information to Prevention/Mitigation of SA－

| | | | |
|--------|------|--------------------|--------|
| 法政大学 | 宮野 廣 | Hiroshi MIYANO | Member |
| 東京都市大学 | 村松 健 | Ken MURAMATSU | |
| 横浜国立大学 | 野口和彦 | Kazuhiko NOGUCHI | |
| ○ 関西電力 | 成宮祥介 | Yoshiyuki NARUMIYA | |
| JAEA | 高田 孝 | Takashi TAKATA | |
| 東京都市大学 | 牟田 仁 | Hitoshi MUTA | |
| 東京大学 | 糸井達哉 | Tatsuya ITOI | |
| MRI | 松本昌昭 | Masaaki MATSUMOTO | |
| JANUS | 松永陽子 | Yoko MATSUNAGA | |

Abstract

In order to grasp efficiency of risk information, we tried to apply an insight of PRA to considering of severe accidents; TMI, Chernobyl, and Fukushima Dai-ichi. Based on this analysis, three points are disclosed. At first, PRA can product adequate countermeasures for low-likelihood events; huge earthquake or Tsunami. Next, PRA can prove weak points in design or operation reasonably. Third point is safety culture. PRA and safety culture are seemed to be connected deeply. These analyses revealed PRA is one of the most efficient and systematic risk analysis methods to prevent/mitigate severe accidents.

Keywords: Risk、 Nuclear Safety、 PRA、 Prevention、 Mitigation、 Severe Accident

1. はじめに

リスク活用は、単に対象となるシステムのリスクを計算することではなく、リスクの特定と分析を通じて得たリスク情報をもとに、リスクに対する対応策を決めることである。リスク情報は多くの多面的な要素を含んでおり、意思決定に至るまでのプロセスは、対象とするシステムと課題と目的に応じて様々な複雑さをみせる。ここでは、原子力発電所を対象に、潜在していたリスクが顕在化することへの備えを実例を引きながら解説し、システムの信頼性との関係を分析する。

2. 過酷事故とリスク評価

過去に経験したスリーマイル島（TMI）発電所事故、チェルノブイリ発電所事故、福島第一原子力発電所事故の3つを事例として、リスク評価により防止あるいは対策の可能性を分析する。

1) TMI 事故

1979年米国で発生したTMI原子力発電所事故は、蒸気発生器2次側への給水系故障、逃がし弁開固着から、冷却材喪失事故に至り、その後、高圧注水系を運転員が誤って停止してしまい炉心溶融に至った事故である。溶融した炉心は原子炉容器内で留まり、格納容器が健全で維持されたことにより、放射性物質の環境への影響は極めて小さく終息した。しかし、緊急時の対応として周辺住民に批判命令が出された。

TMI事故の数年前にWASH-1400^[2]がNRCより発行され、蒸気発生器2次側の冷却不具合に多重故障が重なること、炉心損傷に至る事故が発生しうること、そしてそのような事故の炉心損傷頻度への寄与度は高いことが予想されていた。もしWASH-1400を配慮して、運転管理にリスク情報活用の考え方を取り入れ、安全系の機器故障率やプラントシステムとしての信頼性が監視されていれば、TMI事故の発生可能性は低くなっていたと考えられる。

連絡先:成宮祥介、〒530-8270 大阪市北区中之島
3-6-16、関西電力、
E-mail: narumiya.yoshiyuki@d5.kepco.co.jp

このように PRA は設計や運用の改善、アクシデントマネジメント整備、防災計画立案に有効であることが判る。

2) チェルノブイリ事故

1986 年旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所 4 号機の事故は、核的暴走事故から大量の放射性物質の環境への放出に至った事故である。外部からの電力供給が停止した際に、タービン発電機の慣性回転でどの程度電気がとり出せるかという試験の過程で、原子炉出力が急上昇し、燃料過熱、激しい蒸気の発生、圧力管破壊から原子炉と建物の破壊に至り、大量の放射性物質が環境に放出された。放射性物質はウクライナ、旧ソ連に留まらず、欧州各国にも到達した。

この事故の根本的な原因として、ポジティブ・スクラムという設計上の欠陥と安全文化の欠如という二つが指摘されている¹³⁾。設計上の欠陥が安全性にどの程度の影響を及ぼすかは、リスク評価を行えば把握でき改善につながったと推察する。安全文化の欠如はリスク評価を行うこと自体にも影響を及ぼすことであり、定量評価は難しいが、リスク活用とは深い関係にある。

3) 福島第一原子力発電所事故

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故は、地震とそれに続く津波により、複数の機器が同時に機能を喪失し、炉心溶融が起こったが用意していたアクシデントマネジメントが有効に働かず複数炉の炉心損傷事故となったものである。この事故にかかる提言として原子力学会事故調査委員会は「最終報告書の概要および提言」の中で、

- ・ 外的事象への対策の強化
- ・ 過酷事故対策の強化
- ・ 緊急事態への準備と対応体制の強化
- ・ 原子力安全評価技術の高度化

が示されている¹⁴⁾。

リスク評価では、評価時点のプラント状態を評価することになる。特に数千年に一度などの低頻度事象では、経験したデータの更新により発生頻度は大きく異なるため、PRA の曖昧さ（不確かさ）を指摘される。しかし、もともと対象にしている自然ハザードが不確かさを有していることから PRA の結果に不確かさが含まれることはむしろ、好ましいことであり、重要なことは、残余のリスクが存在することを理解することである。これは特に想定外の不確かさに対する備えとしての過酷事故対策に重要である。地震や津波のような外的事象は、同時に複

数の機器・系統に影響を及ぼすことから、個々の機器・系統の強度（耐震、耐津波）を高めるだけでなく、システムとして多様性を考慮に入れて対処することが有効である。PRA は対処とその効果の関係を定量的に示すことが可能である。

3. 過酷事故への備えのためのリスク活用

3.1 深層防護のための手段としてのリスク活用

原子力安全のための深層防護の考え方とは、事前に充分だと考えていた対策でも思いがけない理由で失敗するかもしれないという不確かさの影響を考慮し、別の対策、次の防護レベルの対策を繰り返し準備する¹⁵⁾ことにより、防護策全体の実効性を高めることが必要である。したがって、深層防護の徹底のためには、不確かさを評価する必要があり、リスク評価方法はまさにこの不確かさを考慮したものである。

原子力発電所においてなされている過酷事故防止のための設計・運用の対策をもってしても、過酷事故の発生をゼロにすることはできない。特に地震や津波などの自然現象に起因するシナリオは様々であり、体系的なシナリオ分析とリスク評価が有効である。

3.2 過酷事故防止へのリスク活用

前節で 3 つの過酷事故とリスク評価の関係を分析したが、これらの事故には共通点がある。第 1 に事故の原因は一つではなく、複数の故障や失敗、自然現象、組織要因などが作用し合ったものであったこと。独立事象が重複して発生する確率は小さいため対策対象から除かれることがあるが、対策の想定としていた範囲を超える自然現象であり、その想定を超えた条件下で機器や操作が想定どおりには実現しないこと、などが独立事象ではなくし、結果を想定以上に拡大してしまった。PRA は個々の機器や操作の機能（効果）の関係性を定量的体系的な方法で表現でき、一見して把握することが出来るので、発生頻度が小さいから除外するような厳しい条件による事態も描くことが出来る。どこまで低頻度の事象を考慮するかは、よく議論になるところであるが、その頻度と影響を考慮して対策に変化をつければ、対策に抜けはなくなる。

第 2 に安全設計の弱点が指摘され、安全向上のための多数の改善が抽出されたことである。多重故障や自然現象への対応には限界があり、それが実際どこまで大きな

事象を対称にするかは、個別の設計に基づいて限界（クリフエッジ）を認識する努力が必要である。個々の機器やシステムの弱点だけではなく、システムとしての弱点を見出せるのはPRAの特徴である。対策に事前に過酷事故の備えを検討する際、過去の実例や設計条件を厳しくしただけの想定では、不十分になることを補完できる。

第3に、組織や国の安全文化の不十分さがあったことである。安全文化は、チェルノブイリ事故の教訓としてだけでなく、TMI事故でも多くの故障を放置したまま運転していたことが指摘されている。福島第一事故では、安全神話があったことがシビアアクシデント対策を遅らせたと言われている。このことから、さらなる過酷事故の発生を防ぐには、これらの要因の全て及びその他の考え得る原因を考慮できる体系的な分析方法が組み入れられた仕組みを導入し、意思決定することが重要である。

前述したように安全文化の安全への影響はPRAでモデル化することはできない。認識すべきことは、過酷事故の防止には、従来の決定論的安全評価だけでは不十分であり、PRAと組み合わせることが重要であるということである。また、安全文化の向上とリスク評価の推進という二つの活動は、相互に高め合う関係にある。安全文化の向上には、現在の規制や内部規定を含めて、安全の状態を常に疑い、確認し、改善する意識を維持することが重要であるが、リスク評価は、そのような活動のための有力なツールとなる。また一方で、リスク評価は想定するシナリオを絞り込まず考える状態を可能な範囲で広く考慮し定量化するものであり、この姿勢は安全文化の重要な要素である Questioning Attitude に通じるものである。

過酷事故をPRAで分析し対策を検討するプロセスにおいて、有効な点を図1にまとめる。

図1 SA対策へのPRAの有効な点

4. まとめ

過去に起こった3つの過酷事故、TMI事故、チェルノブイリ事故、福島第一事故の対策にリスク評価がどのように効果を発揮するか、発揮できたか、を分析した。複数の原因、それも設計や運用、人的過誤など多種多様な原因から、発生頻度は小さいと見なされていた事故が過酷事故に発展してしまい、甚大な環境影響を及ぼしてしまったことに対し、PRAからの知見があれば、防止あるいは緩和の対策の実効性を上げることが出来た、と結論した。次にプラントの弱点を網羅的に見つけ出すことは難しいが、PRAからのリスク情報を用いて体系的にかつ定量的な重要度も合わせて、設計や運用上の弱点を見出すことが可能である。さらに、安全文化とリスク評価の相互補完性と両者を合わせて構築することにより、一層効果的なリスク活用が行えることを示した。

参考資料

- [1] 日本原子力学会、原子力安全の基本的考え方について 第I編別冊 深層防護の考え方、AESJ-SC-TR005(ANX)、2013。
- [2] U.S. NRC、Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants、NUREG-75/014 (WASH-1400)、1975。
- [3] 高度情報科学技術研究機構原子力百科事典 ATOMICA ホームページ <http://www.rist.or.jp/atomica/>
- [4] 日本原子力学会 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会、最終報告書の概要および提言、p.41、2014年3月8日、
<http://www.aesj.or.jp/jikocho/jikochohokoku20140308.pdf>

