

リスク情報活用と保全

Risk Informed Maintenance Activity

東京電力㈱

宮田 浩一

Koichi MIYATA

Non-Member

In recent years, risk informed activities are being investigated as scientifically rational measures. Some Risk informed activities using Core Damage Frequency (CDF) have been already employed. Examples are extraction of accident management strategies, risk informed maintenance importance and such.

This paper describes risk information such as CDF, risk profile, risk importance of equipments' contribution to risk, gained from Probabilistic Analysis (PSA).

Furthermore, risk informed activities conducted and/or considered are also introduced. The examples are investigation of accident management strategies, on-line maintenance and risk informed In Service Inspection (ISI).

In the end, open issues for further employment of risk information in the NPP activities are summarized. Technical quality of PSA methodology is one of these issues and it should be continuously addressed, however, the risk information as it is still useful for better activities in NPP.

Keywords: risk, PSA, CDF, on-line maintenance

1. 原子力発電所におけるリスク情報活用

原子力開発の黎明期においては技術的知見が少なく、保守的な決定論的手法に基づき安全設計等に関し工学的に判断していた。しかしながら現在では、運転経験やシビアアクシデント研究成果等が蓄積され、より科学的・合理性の高い非決定論的手法（リスク情報）の活用が可能となってきた。

決定論的手法とは、原子力発電所の設計の妥当性評価の手法として、代表的な設計基準事象を想定し、その事象の影響を緩和する設備（止める、冷やす、閉じ込める）に単一故障を仮定し、保守的な判断基準を満足することを確認する手法である。安全性を確認する手法としては十分であるが、やや語弊があるものの守るべき安全に対して、大蛇をふるって安全対策を採るようなイメージの手法となっている（Fig.1）。したがって、守るべき安全に対する厚み（安全裕度）が領域によって大きく異なる場合がある。

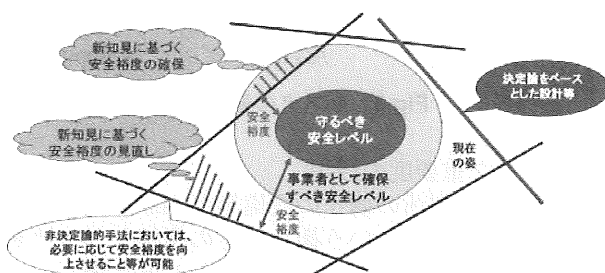


Fig.1 安全確保における決定論と確率論

このような安全裕度の凸凹は、安全設計だけでなく、運転管理や保全活動にも存在し、原子力安全を

前提とした科学的・合理的な活動とするためには、安全のレベルを「丸く」評価できる手法が必要で、それが確率論的安全評価（PSA：Probabilistic Safety Assessment）の手法である。PSAの手法を用いることで、安全裕度の凸凹が把握可能であり、安全裕度が過度に大きいところに掛けるリソースを安全裕度の小さいところにシフトさせることで、トータルの安全性を維持・向上させつつ、リソースの適正配分が可能となる。

我が国では、段階的安全規制として原子炉設置許可の判断が、運転段階にまで引き継がれており、前述の決定論的手法が後段規制においても継承されている。元来、原子炉安全の判断基準である「災害の防止上支障がないものであること」は PSA 等から評価し得るリスクを制限することと解釈できる。であるならば、単一故障の仮定に代表される決定論的手法は、基本設計段階におけるリスク制限の一手法と考えることができ、具体的な設計が確定し、手順書等の運転に係る情報が得られた段階では、PSAの実施が可能であり、科学的・合理的な観点から PSA を活用し、リスクをコントロールする活動に資するのが適切である。

2. リスク情報

原子力発電所における“リスク情報”とは、PSAから得られる原子力施設のリスクの程度についての定量的な情報や系統・機器等のリスクへの寄与に関する情報といった様々な情報の総称である。すなわち、起因事象から安全機能、プラント応答、炉心損傷頻度（CDF：Core Damage Frequency）等に至るま

での検討の過程・結果から得られる情報が“リスク情報”である。

リスク情報には、狭義では、CDF や格納容器機能喪失頻度 (CFR: Containment Failure Frequency) の絶対値、事故シーケンスの寄与割合、リスク増加価値 (RAW: Risk Achievement Worth) や Fussel Vesely 指標 (F-V 指標) などのリスク重要度が挙げられる。広義では、例えば起因事象発生頻度を評価するうえでの運転経験、冗長性・多様性・機能的依存性などの安全設備の設計情報、運転手順やヒューマンファクターなどの情報といった、およそ原子力発電所の活動に係わる広範な情報がリスク情報には含まれている。リスク情報の活用では、これらの情報を活用対象毎に適宜組み合わせるようになる。以下、CDF を利用した場合の活用指標を説明する。

(1) 絶対値の活用

CDF は年平均のリスクを表わすものであり、原子力発電所の定常的な状態を把握することに向いている。具体的には、当該原子力発電所の設計やそれに基づく運転・保守の全体的な活動が適切であるか否か、ある特定の運転状態のリスクはどの程度であるか、といった情報が得られる。供用期間中検査 (ISI: In Service Inspection) の検査部位や頻度の変更を検討する際には、この CDF の絶対値が変更前後でどのように変わるかを確認する手法がとられ、米国では多くのプラントで適用実績がある。また、米国では運転中保全実施時には、リスクが若干高い状態になる場合があるが、リスクレベルに応じた管理を実施している。

(2) リスクプロファイルの活用

CDF は、多くの事故シーケンスの頻度の総和であり、これらの事故シーケンスを起因事象毎に束ね、あるいは、事故の終状態毎 (止める機能の喪失、冷やす機能の喪失、閉じ込める機能の喪失など) に束ねることで、リスクプロファイルを得ることができ、脆弱性の検討が可能となる。アクシデントマネジメントの検討では、このリスクプロファイルを参考とし、具体的な対策を抽出している (Fig.2)。運転中保全実施時には、通常状態と異なるリスクプロファイルとなる可能性があり、例えば、非常用 DG の運転中保全実施時には、電源の信頼性を確保する管理的手段を講じる、あるいは、台風等の外部電源が脆弱になりがちな時期には非常用 DG の運転中保全を実施しないとといった活用が可能となる。

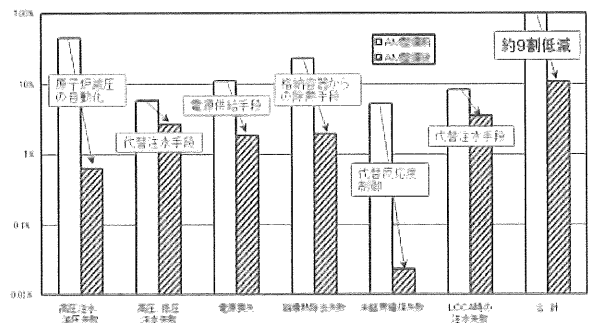


Fig.2 アクシデントマネジメント策の効果 (BWR5 の炉心損傷頻度低減の例)

(3) 積分値の活用

原子力発電所の運転の状態、もしくは設備の状態が変わると、リスクの絶対値が変化するが、その絶対値の観点からは問題ないとしても累積のリスクの観点から検討を要する場合がある。運転中保全実施時には、(1) で記述したように絶対値を確認すると共に、累積値を管理する必要が生じる。Fig.3 に積分値の概念図を示す。「CDF ベース」、「CDF 条件付」はそれぞれは通常状態の CDF、設備状態が変わった場合の CDF であり、その一時的な待機除外時間でのリスク増分の積分値が ICCDP (Incremental Conditional Core Damage Probability、運転中保全で使う ICDP: Incremental Conditional Core Damage Probability も同様の概念の指標) となっている。なお Fig.3 では、便宜上、許容待機除外時間 (AOT: Allowed Outage Time) の例を示している。具体的には、どの程度の時間までその状態を許容するかということであり、現在の保安規定にも、AOT の制限として、要求される措置の完了時間が規定されている。

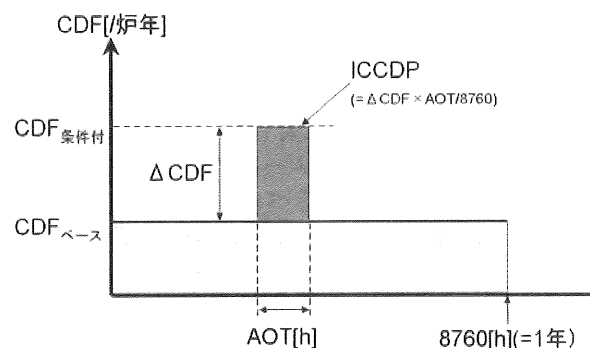


Fig.3 リスクの変化と積分値

(4) リスク重要度の活用

原子力発電所の個々の設備等が CDF にどのように寄与しているかという観点からの指標がリスク重要度であり、代表的なものに RAW と F-V 指標がある。RAW は当該設備が使用できない場合にどの程度 CDF が増加するかの割合を示す指標、F-V 指標は、当該設備の故障が CDF にどの程度寄与しているかの割合を示す指標である。運転中保全実施時に直接的にこ

これらの指標を使うことは少ないと考えられるが、保全としては、保全重要度の設定や保全活動管理指標の設定・監視に活用している。保全重要度は、保全方式や頻度を定める上でのベースとなるものであり、現在は、安全重要度のクラス 1,2 の設備やリスク重要度が高い設備は、保全重要度を高く設定する運用が採られている (Fig.4)。

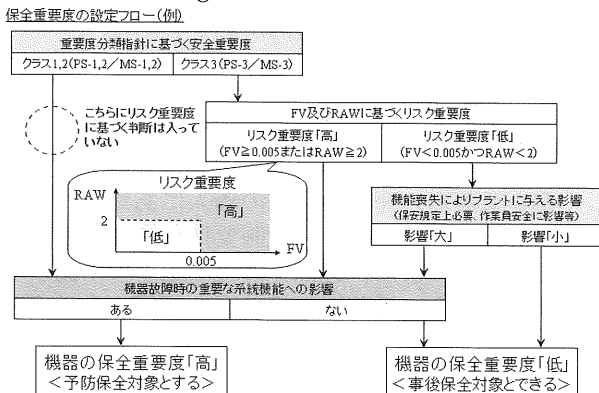


Fig.4 リスク重要度に基づく保全重要度の設定例

3. リスク情報活用案

国内外において、以下に示すようなリスク情報活用が検討されている。

(1) 保全プログラムにおける活用

米国では、従来から安全系、非安全系の区分をし、主として安全系に対して多くのリソースをかける仕組みが構築されていた。2004年になって、連邦規則 (10CFR50.69) が追加され、これらの区分にリスク重要度を加味し、Risk Informed Safety Class (RISC) と呼ばれる4つの区分に設備を分類し、それぞれの区分ごとに管理項目を割り当てる仕組みが導入された。

これと類似の活動として、我が国の原子力安全委員会の「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」が平成21年3月に改訂され、運転段階においてリスク重要度を考慮して設備の管理手法等を柔軟に検討できるようになった (Table 1)。この考え方を適用すると、冗長性が高い場合などには、クラス1,2の設備であっても、合理的な保全や運転管理の方策を採ることが可能である。ただし、保全の見直しにあたっては原子炉安全のみではなく多角的な観点から総合的に判断する必要がある。

Table1 重要度分類審査指針追記文 (抜粋)

例えば、運転管理段階において、各構築物、系統及び機器に係る保全・運転管理の具体的な対策や要件等を決める際には、本指針に示された安全機能の重要度を維持しつつ、運転経験や確率論的安全評価 (PSA) の結果などのリスク情報を活用することが適切である。

(2) 発電に関するリスク情報の活用

保全は、原子炉安全の確保を前提に、安定な運転を目的に実施するものであり、通常使用される CDF 等のリスク情報だけではなく、発電の観点からの指標の使用が期待される。具体的には、原子炉安全の観点では、炉心損傷に至る故障の組み合わせを PSA モデルとして構築しているが、発電の観点から、例えば、原子炉スクラムに至る故障の組み合わせ、発電機出力が低下する故障の組み合わせ、原子炉の手動停止に至る故障の組み合わせ、等を考慮した、発電リスクモデル (GRA : Generation Risk Assessment) を構築する (Fig.5)。このモデルから算出される発電重要度を保全重要度の設定等に活用することで、発電リスクの観点からの保全リソースの重点化が可能になる。なお、発電リスクは、原子炉安全と独立に存在するものではなく、原子炉に擾乱を与える起因事象の発生頻度に相当し、発電リスクを抑制することは、原子炉安全に寄与するものでもある。

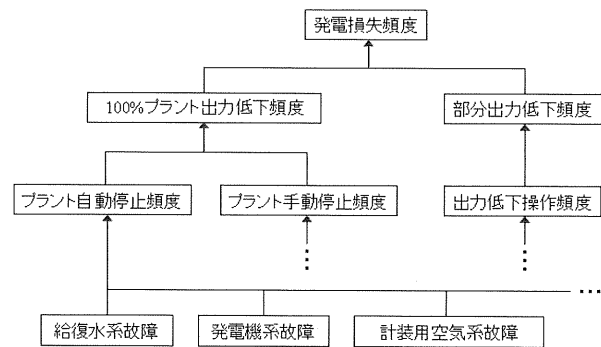


Fig.5 発電リスクモデルの例

(3) 保全実施時期柔軟化に向けた活用

我が国においては、保全作業は主として原子炉停止中に実施してきている。これは、原則として原子炉停止中に定期検査が実施されるという制度に依存するところが大きかった。2008年に導入された新検査制度では、「適切な機器を、適切な時期に、適切な方法で」保全活動を実施できる仕組みとなったことで、従来、限定的に実施してきた運転中保全の範囲を拡大する環境が整備された。具体的な運転中保全の実施方法や規制の掛け方については、原子力安全・保安院の原子炉安全小委員会運転管理WG (以下、運転管理WG) にて議論がなされてきている。同WGでは、従来はその実施が制限されていた保安規定の運転制限 (LCO: Limiting Condition for Operation) に係る設備につき、その運転中保全の実施と設置許可申請書の安全解析との関連を整理し、また、運転中保全実施時のリスク増加 (積分値) も確認した上で、単一系統の運転中保全の実施を検討している。

運転中保全は、リスク情報の活用によりその範囲を順次拡大していくことが可能である (Fig. 6)。

第一段階：有意なリスク増分とならないことが確認されている単一系統の範囲

第二段階：リスク情報を活用した AOT の延長による対象範囲拡大

第三段階：リスク評価を積極的に活用する形で複数系統の運転中保全

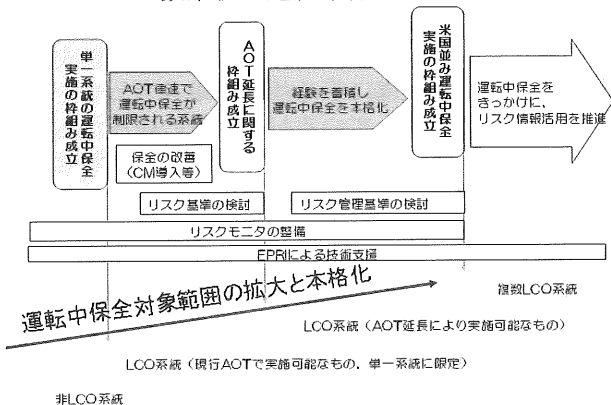


Fig.6 運転中保全実施範囲の拡大のイメージ

(4) 供用期間中検査への活用

米国における先駆的なリスク情報の活用として、リスク情報を活用した供用期間中検査 (RI-ISI) の導入が挙げられる。1990年代の早い時期から、米国機械学会 (ASME) において検討が進められ、米国の大多数のプラントで採用されている。RI-ISI の手法にはいくつかのバリエーションがあるが、概念としては、検査対象部位のリスク上の重要度の高いものは検査内容・頻度を充実し、低いものは軽減を図るというもので、安全とコストの両立が可能な技術である。また、検査頻度を見直すことで、従事者の被ばくの低減にも結びつく技術である。

Fig. 7 に我が国での検討結果を示す。従来の検査部位をリスク重要度のひとつである F-V 指標と類似の RRW (Risk Reduction Worth、リスク低減価値) の大小で分類し、RRW の小さな部位は検査を緩和すると、リスク (ここでは CDF) の絶対値が若干増加する。この ΔCDF が有意なものでなければ、このような検査内容・頻度の変更はリスクの観点からは正当化される。 ΔCDF が有意であるならば、RRW が大きな検査部位の検査を強化することで ΔCDF を小さくできる。

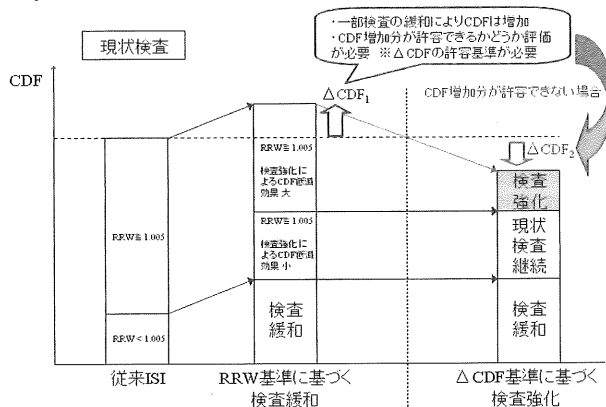


Fig.7 RI-ISI の検討例

4. リスク情報活用における課題

リスク情報活用は、前述の通り、原子炉安全の観点から科学的・合理的な活動に結びつくものであり、原子炉安全に対する意識を高めるものであることから、それ自体、推奨されるべきものであるが、活用の仕方によっては、これらの意義が生かされなくなる場合もあり、適切な検討が必要である。

保全方式を変更する場合には、その決定プロセスを具体的に検討し、デメリットが少なく、メリットを最大限に引き出せる仕組みを事前に検討し、よく見通しを得ることが肝要である。

安全系機器の運転中保全の導入にあたっては、安全性が低下しないよう、規制要件を含む適切なルールを確立し、また、運転中保全実施中の不測の事態に備えるよう、事前に作業計画を準備する必要がある。

リスク情報活用に共通で必要となる基盤整備においては、PSA の品質を確保するため、その構成要素である、「PSA の範囲」、「モデル及びデータ等の妥当性」、「解析結果に対する分析・評価の妥当性」を充実させる必要があり、既に故障率データに国内の故障率を使用できる状況になっているなど、継続的改善がなされているが、現時点では外部事象の PSA 手法など整備途上のものもあり、学協会規格等を活用した対応が必要である。なお、リスク情報は、品質向上の途上であっても、その範囲において有用なものであり、その活用を進めることが適切である。

5. まとめ

原子力発電所におけるリスク情報を活用した保全について、国内外で検討されている活用案を紹介した。早期導入に向けた課題解決とともに、リスク情報活用に向け、原子炉安全担当者と保全担当者が協力して、具体的な検討を実施していくことが必要である。

以上