

リスクに基づく合理的な安全の考え方の確立 ーリスク研究開発センターの抱負ー

氏田 博士* 井手 善広**

Establishment of Rational Safety Concept based on Risk Studies - Plan of Risk Research and Development Center -

Hiroshi Ujita* and Yoshihiro Ide**

原子力の安全の考え方を、リスクに基づく定量的で合理的な手段で整理することが望まれる。本来、確率論的リスク評価（PRA）とリスクベネフィット解析は、わが国のエネルギー政策を合理的に進めるうえで不可欠なものである。そのための必須の技術であるリスクを定量化するリスク評価の概要を紹介する。

Key word: リスクベネフィット解析、深層防護、安全設計・運用、PRA、リスク研究開発、ソフトウェア、システム解析

1. リスク情報に基づく安全の考え方

原子力発電プラント、化学プラント、航空・鉄道のような社会ー技術システムや大規模複雑システムでは、トラブルや事故は単に故障だけで起こるものではなく、実際には安全設計や運用で想定した以外の事象も起こる。そのため、網羅的に起こるトラブルや事故を想定することは容易ではなく、どうしても確率論的アプローチになる。つまり、想定漏れとならないように、事象の組み合わせの連鎖（事象シーケンス）を可能な限り体系的に想定して、それら個々の事象シーケンスについても安全解析を行い、もし現行の設計案に重大な事象が発生する可能性が発見されれば、設計にフィードバックするあるいは運用時の対策を立案するなどして、事前にシステムに安全策を組み込むようにする。これが確率論的リスク評価（PRA, Probabilistic Risk Analysis）の方法であり目

的である。

確率論的リスク評価：PRA は、プラントシステムの安全性のバランスを把握する有効なツールである。特に、起因事象と有効な対策の洗い出しによりシナリオの網羅性が大切であり、また安全性の問題の特徴は、「部分最適は全体最悪をもたらす」可能性があることから、バランスのよい安全設計・運用のために、システムの安全対策の過不足を定量的に把握するために、必須の手法である。表1に示すように、リスク情報の活用に期待されるメリットは大きい。また、安全目標：「どこまで安全であれば安全と言えるか？」を議論できる PRA の考え方を示し、安全評価と対策立案に有効活用する方法を検討する必要がある。さらに、原子力などの大規模複雑システムは社会性が高いため、システムを合理的にとらえるリスクマネジメントの視点で安全を評価し総合的な対策を取ることが必要とされるため、リスクを定量化するリスク分析（PRA）が必須となる。またリスク評価の結果が安全目標を満足するかあるいは対策が必要かを判断する基準となる。

1F 事故後に採用した SA 対策の有効性も含めたトータルシステムに対する統一的な PRA を実施

*アドバンスソフト株式会社 リスク研究開発センター
Risk Research and Development center,

AdvanceSoft Corporation

**アドバンスソフト株式会社 第4事業部

4th Computational Science and Engineering Group,
AdvanceSoft Corporation

し定量化することにより、対策の十分性や過剰対策か否かなどの判断が可能となり、本当の意味で安全評価が達成可能となる。リスクの要因を系統的に分析し総合的に安全の水準を評価する PRA を活用することにより、深層防護の考え方に基づく安全の強化策がどれほど安全の水準を向上させているか（リスクを低減しているか）を科学的に議論し、設計・運用・規制に反映する土俵を与えることができる。

米国では、規制局である NRC のリスク情報を活用した実績に基づく規制（RIPBR）宣言に基づき実応用が進んでいるため、日本においても電気事業者が今後の自主的安全性向上活動の中で実現していくことに期待したい。この際、コストベネフィット解析を活用することにより、無用な設備投資を回避しつつ安全上重要な施設に資源を集中的に投入可能である。

エネルギー源選択の議論には、リスクだけではなくベネフィット（気候変動対策、環境対策、エネルギーセキュリティ等の有効性）も考慮してエネルギーシステムとして比較評価する方法が必要となる。

2. リスク研究開発センターの抱負

PRA を高度化しシステム安全の実現に寄与するうえで、アドバンスソフトの強みは以下の2つであると考える。

- ・博士号を持つ研究者を多数擁しており、モデル作成、解法開発、プログラミング、解析は当然として、さらに研究開発の提案と実施が可能。
- ・現象解析とシステム分析の実績があり、両者を融合した総合的なシステム評価が可能。

PRA の所掌範囲は広いが、その全てのスコープを理解し、解析評価できる実力をつけるべく努力している。まず、レベル 1・内的事象・通常運転の解析ができる実績を作るとともに、内部外的事象、外部事象、レベル 1.5、レベル 2 まで範囲の拡大を図りつつある。この解析業務と並行して、人間信頼性評価（HRA）、コモンモード故障、不確定性等の理解と方法論の確立を試みている。また、これらの知識を基に、安全目標、深層防護、安全文化、組織論、システム安全などについて、

他組織の専門家と議論を積み重ねている。

海外動向を把握するため、米国の規制委員会（NRC, Nuclear Regulatory Commission）や研究機関また国際原子力機関（IAEA, International Atomic Energy Agency）や大学などの報告書をサーベイしている。それとともに、主要機関の活動との協調を図っている（原子力学会、大学、研究機関）。

これらの活動を通じて、以下の2つの技術の確立を図っていく。

(1) 確率論的リスク評価、PRA

PRA は、プラントシステムの安全性のバランスを把握する有効なツールであり、起因事象と有効な対策の洗い出しによりシナリオの網羅性が大切となる。安全性の問題の特徴は、「部分最適は全体最悪をもたらす」可能性があることを認識し、バランスのよい安全設計・運用のために、システムの安全対策の過不足を定量的に把握する PRA が必須である。このため、現象解析とシステム分析を統合した PRA 解析技術の確立を図る。

1F 事故は、地震や津波などの外的事象により大規模災害となったが、その外的事象の評価手法は未だ開発途上であり、外的事象に対する深層防護のあり方や有効性は議論できるレベルには至っていない。この評価手法に精力的に取り組んでいる。

1F 事故後に採用した SA 対策の有効性も含めたトータルシステムに対する統一的な PRA を実施し定量化することにより、対策の十分性や過剰対策か否かなどの判断が可能となり、本当の意味で安全評価が達成可能となる。米国では、規制局である NRC のリスク情報を活用した実績に基づく規制（RIPBR, Risk-Informed Performance-Based Regulation）宣言により、合理的な安全性の議論が実現している。日本では、電気事業者が今後の自主的安全性向上活動の中で実現していくことに期待したい。その際、コストベネフィット解析を活用することにより、無用な設備投資を回避しつつ安全上重要な施設に資源を集中的に投入可能となる。これらの日本における安全向上活動に寄与できる評価の方法論を築き上げていく。

リスクの要因を系統的に分析し総合的に安全の水準を評価する PRA の活用により、深層防護の考え方に基づく安全の強化策がどれほど安全の水準を向上させているか（リスクを低減しているか）を科学的に議論し、設計・運用・規制に反映する基礎情報を与えることができる。これらの議論に積極的に参加して、システム安全の実現に寄与していく。

(2) リスク評価とリスクベネフィット解析

リスクを定量化するリスク分析（PRA）を行い、それを基にさらなる対策の要否や方向性を検討するリスク評価を行い、評価結果に基づき社会と対話するリスクコミュニケーションを図ることが重要である。そのための定量的安全目標設定の有効性については、事故影響の多面性、PRA の不確かさなど課題が指摘されているが、それを踏まえて効果的な安全性向上を進めるための指標として使うことに価値がある。この課題は、難しい

課題であるが、積極的に取り組んでいく。

エネルギー源選択の議論には、リスクだけではなくベネフィット（気候変動対策、環境対策、エネルギーセキュリティ等の有効性）も考慮してエネルギーシステムとして比較評価する方法が必要となる。これらの方法論の確立についても検討している。

参考文献

- [1] 氏田博士、柚原直弘、「システム安全学」、海文堂出版、2015.
- [2] 原子力安全研究会（氏田 博士、村松 健、富永 研司、安藤 弘、2014-2017）における議論.
- [3] Hiroshi UJITA, Kazuki ITOH, Hidetoshi MORITA, “Systems Safety Realization by PRA Application,” Asian Symposium on Risk Assessment and Management, ASRAM 2017 13-15 November 2017, PACIFICO Yokohama, Yokohama, Japan.

表1 リスク情報の活用に期待されたメリット

利用分野	利用方法	PRAの役割
規制行為の価値／影響解析	NRCにおいて、規制行為を追加（削除）することの正当性を、リスク低減の価値と負担増加の影響をドル換算で評価して、検討している。	設計や手順、規制等の永続的な変化の安全への影響を評価する
AM等によるリスク低減策の検討	安全上重要な事故シーケンス、機器、運転操作、従属性等を同定し、リスク低減策検討の参考とする	
サーベランス試験評価	試験頻度を変えて、炉心損傷への影響を評価し、最適化を図る	
許容待機除外期間評価	待機状態の機器の故障が発見されたとき、プラントの運転継続の許される時間がテックスベックに定められている。許容待機時間の一時的変更の炉心損傷頻度への影響を評価し、安全上許容できるかの判断に用いる	短期間の変化の安全への影響を評価する
コンフィギュレーション管理	サーベランス試験、故障機器の検査、補修等のための安全設備の構成状態（コンフィギュレーション）が変化する。変化を考慮して炉心損傷頻度を評価し、安全上許容できるかの判断に用いる	
メンテナンスルール	NRCのメンテナンスルールでは、安全に関連する機器の性能を監視することが要求されている。安全上重要な機器の選定にPRAによる重要度指標を用いる	機器や設備の信頼性の安全への影響を評価する
等級別品質保証	品質保証のレベルを安全上の重要度に応じて定める	
検査計画	供用期間中検査の計画を安全上の重要度に応じて定める	

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイルがダウンロードできます。（ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。）

リスク研究開発センター長 氏田 博士 紹介

1974 年 3 月 九州大学 工学部 原子核工学科 卒業
 1988 年 9 月 東京大学 大学院 工学系研究科より 工学博士
 1974 年 4 月- (株) 日立製作所入社、エネルギー研究所 主任研究員
 2011 年 4 月- 東京工業大学 大学院 理工学研究科 原子核工学専攻 特任教授
 2011 年 4 月- キヤノングローバル戦略研究所 上席研究員
 2017 年 3 月 アドバンスソフト リスク研究開発センター長
 東京工業大学、慶應大学、東北大学、東京都市大学の非常勤講師

専門は、確率論的リスク評価 (PRA, Probabilistic Risk Analysis)

他に、ヒューマンファクタ研究、シビアアクシデント解析、地球温暖化対策

主な論文に、

1. Ujita, H., “A Probabilistic Analysis Method to Evaluate the Effect of Human Factors on Plant Safety (BWR) ”, Nucl. Technol. Vol.76 pp.370-376 Mar. 1987
2. Ujita, H., Takaragi, K., Matsushima, H. (FBR) , “Development of Phased Mission Analysis Method for Large Plants”, J. Nucl. Sci. Technol, Vol.23, No.2, pp.160-167 Feb. 1986
3. Ujita, H., “Development of SUPKIT-II: Computer Aided Fault Tree Analysis System”, J. Nucl. Sci. Technol, Vol.21, No.8, pp.625-633 Aug. 1984
4. Komata, M., Ujita, H., “Natural Language Retrieval in Nuclear Safety Information System”, J. Nucl. Sci. Technol, Vol.20, No.1, pp.48-62 Jan. 1983
5. Ujita, H., Osawa, Y., Takeda, S., “Application of Unavailability Analysis Method to Determining Periodic Test Procedure of Emergency Core Cooling System (BWR) , J. Nucl. Sci. Technol, Vol.19, No.7, pp.521-527 July. 1982

主な著書に、

『IT リスク学 情報セキュリティ技術を超えて』2012、共立出版社
 『エネルギービジョン 地球温暖化抑制のシナリオ』2014、海文堂
 『エネルギー科学と地球温暖化』2015、共立出版社
 『システム安全学 文理融合のための専門知』2015、海文堂 他多数。

主な表彰に、

日本人間工学会 橋本賞 (平成 5 年度最優秀論文)
 計測自動制御学会 第 10 回ヒューマンインタフェースシンポジウム 優秀プレゼンテーション賞
 人工知能学会 1994 年度研究奨励賞
 日本原子力学会 平成 15 年度技術開発賞
 日本信頼性学会 優秀記事コラム賞
 日本原子力学会 社会環境部会 優秀発表賞 他