

## PRAによるシステム安全の実現ーリスク研究開発センターの抱負

氏田 博士\*

## Realization of system safety by PRA application- Plan of center for risk research and development

Hiroshi Ujita \*

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、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分析（PRA）を紹介する。

**Key word:** システム安全、リスクマネジメント、リスクコミュニケーション PRA、リスク研究開発、ソフトウェア、システム解析

### 1. システム安全の実現のために

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。

「部分最適は全体最悪を生む」の認識に基づき、システムのバランスを見て総合的に安全性を向上させる「システム安全」の考え方が重要であり、システムを過不足なくバランスよく設計するだけでなく、通常時の運用において安定的に運転を

継続することにより、安全を作り上げることが望まれる。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。

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も重要なことである。そのためには、システムを合理的に比較評価できるリスクとベネフィットの解析も必要である。その手順は、まずシステムが合理的な安全対策のレベルにあることを確認する。次に、同一産業の他のシステムのリスクとベネフィットを相互比較して、どのシステムをどの程度受け入れるかをリスクコミュニケーションに基づき決めることになる。

原子力の分野では、福島第一発電所事故を受け、各機関において安全思想の基本概念である「深層防護」についてさまざまな議論がなされているが、深層防護の両輪である「安全設計」と「安全運用」の役割分担は未だに結論が見いだされていない

\*アドバンスソフト株式会社 第4事業部

4<sup>th</sup> Computational Science and Engineering Group,  
AdvanceSoft Corporation

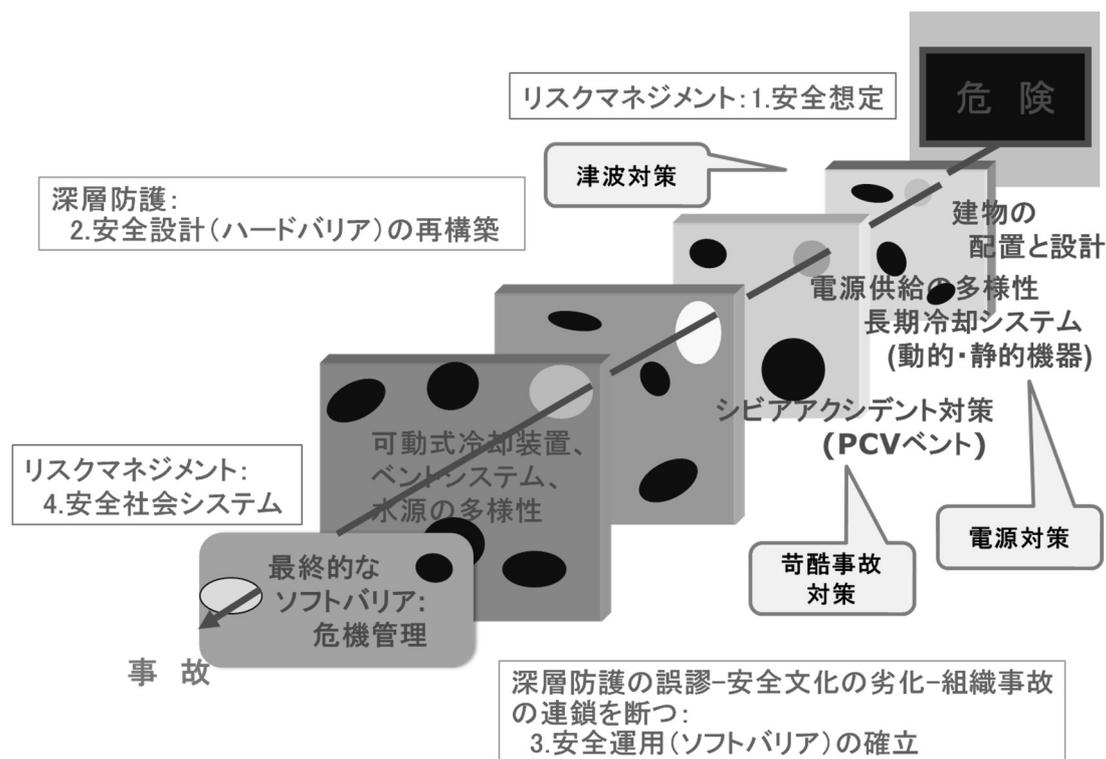


図1 深層防護の再構築—スイスチーズモデル

状況にある。安全設計や安全運用に加え、「安全規制」も加わりそれらが分担・協力して原子力の安全性を高めている。しかし、この安全の議論のもととなる定量的なリスクの評価結果が不在のために、本当に過不足なく対策されているかあるいは過剰に対策しているのではないかが不明となっている。このため多数個別の安全対策に追われ、結果的に国民に負担を掛けることになっている。以上の問題意識から、以下のような2つの課題に対し、議論することが望まれる。

1. 現在の安全の水準を総合的に評価し有効な対策を立案する過程に、PRA と人間信頼性評価 (HRA, Human Reliability Analysis) を活用する方法を検討する。この方法を用いて、シビアアクシデントに対する人間の対応を含む深層防護の考え方を論理的に再構築する(図1参照)。
2. 原子力の社会的受容を考えるに際し、リスクの評価だけではなく、ベネフィット (例えば、気候変動対策、環境対策、エネルギーセキュリティなどの有効性) 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を検討する。

## 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つであると考えます。

- ・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、その上に研究開発の提案と実施ができる。
- ・現象解析とシステム分析の実績を積んでおり、両者を融合した総合的なシステム評価ができる。

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、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)、原子力エネルギー協会 (NEI, Nuclear Energy Institute)、電力研究所 (EPRI, Electric Power Research Institute)、原子力発電運転者協会 (INPO, Institute of Nuclear Power Operator)、原子力学会 (ANS, American Nuclear Society) や国際原子力機関 (IAEA, International Atomic Energy Agency) などの報告書をサーベイしている。また、主要機関の活動との協調を図っている (原子力学会 (部会参加、標準購入、各種講習会)、原子力規制庁、電中研原子力リスク研究センター (NRRC, Nuclear Risk Research Center)、JAEA、東大、東工大、都市大、横浜国大、電力、メーカーなどとのコンタクト)。

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、バランスの良い安全設計・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行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.

※ 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  
東北大学、東京工業大学、慶應大学、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)

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