

原子力発電施設における安全系機器待機除外時のリスク評価について

Study on the Risk Evaluation for Safety Systems Outage at Nuclear Power Plant

日本原子力発電(株)	五十嵐 祐介	Yusuke IGARASHI	Non-Member
日本原子力発電(株)	森 智美	Tomomi MORI	Non-Member
日本原子力発電(株)	浅野 淳也	Junya ASANO	Non-Member
日本原子力発電(株)	森田 毅	Takeshi MORITA	Non-Member
原電情報システム(株)	山中 勝	Masaru YAMANAKA	Non-Member
原電情報システム(株)	鴨志田 哲雄	Tetsuo KAMOSHIDA	Non-Member
原電情報システム(株)	福山 智	Satoru FUKUYAMA	Non-Member

This study provides an application of the risk evaluation of a nuclear power plant to the improvement of the plant operation and maintenance activities. The risk profiles for assumption of not only single but also double outage of safety systems, obtained from the risk importance analysis, show that the risk increase from single outage of the supporting systems is generally higher than that of the frontline systems, and that the risk increase from double system outage depends on the combination of the outage systems. This risk information is applicable to the decision-making relevant to the system outage management such as on-line maintenance.

Keywords: PSA, Outage Time, On-line Maintenance, Risk Informed Acceptable Outage Time

1. 緒言

原子力施設におけるリスクを定量的に評価する手法として PSA (確率論的安全評価) がある。

PSA は施設の安全管理レベルを評価することや、系統・機器等の相対的な脆弱点を見出すのにも有効であることから、近年、各国において安全規制や安全管理へのリスク情報の活用が進みつつある。

特に米国では、長年蓄積された運転経験や研究成果を基にリスク評価技術を向上させており、リスク情報を活用した運転管理等が行われている。

我が国においても、アクシデントマネジメントの整備や定期安全レビュー等において既にリスク情報を活用しており、今後はより広い範囲での活用が期待されている。規制行政庁においては、検査の対象とする系統・機器等の範囲や検査頻度等の決定にリスク情報を活用する方法について検討している。また、今後の運転保守管理の高度化に向けて、事業者側としてもリスク情報の更なる活用に向けた検討が重要である。

本検討においては、機器故障、出力運転中保守等により原子炉施設の安全系機器が待機除外となった場合の実機プラントリスクに焦点を当て、PSA を用いた具体的な評価を実施し、今後の運転保守分野へのリスク情報活用の可能性について検討した。

2. 安全系機器待機除外時のリスク評価

2.1 PSAを活用した機器待機除外時リスク評価手法の概要

PSA は、原子力施設において公衆に被害を及ぼし得る重大な事故の発生するリスクを定量的に評価するものである。

今回の評価で用いた内的事象出力運転時レベル 1 PSA は、炉心の健全性評価を行うものであり、原子力施設の異常や事故の発端となる事象 (起因事象) の発生を起点に、原子炉を安全に停止・冷却するために必要なシステムの成功/失敗の組み合わせによって事象進展を評価し、炉心損傷頻度 (CDF) を算出するものである。これにより、原子力施設の安全性を総合的・定量的に評価するものである。

今回使用した PSA モデルで考慮されている系統・機

連絡先: 五十嵐祐介、〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町 1-1、日本原子力発電(株)、電話: 03-4415-6097、e-mail: yusuke-igarashi@japc.co.jp

器は、炉心損傷や格納容器破損の防止・緩和に関する系統・機器であり、具体的には、①反応度停止、②炉心冷却、③崩壊熱除去、④これら安全機能をサポートする機能に係る系統・機器である。

サーベランス等により安全系機器 A の故障が発見された場合、当該機器の系統は待機除外となる。この状態において異常事象が発生した場合、当該系統は使用不能であるため、CDF は増加する。待機除外時におけるリスク増加のイメージを Fig.1 に示す。

このときの CDF を条件付 CDF として $CDF_{A=1}$ 、待機除外がない場合の CDF を基準 CDF として CDF_{BASE} とすると、機器 A が待機除外となることによるリスク増加 ΔCDF は、(1) 式で表される。

$$\Delta CDF = CDF_{A=1} - CDF_{BASE} \quad (1)$$

また、待機除外時間の累積リスクは、条件付炉心損傷確率増分 (ICCDP) として、(2) 式で表される。

$$ICCDP = \Delta CDF \times OT/365 \quad (2)$$

OT: 待機除外時間 (日)

本検討では、これらパラメータを用いて、待機除外時リスク評価を実施した。

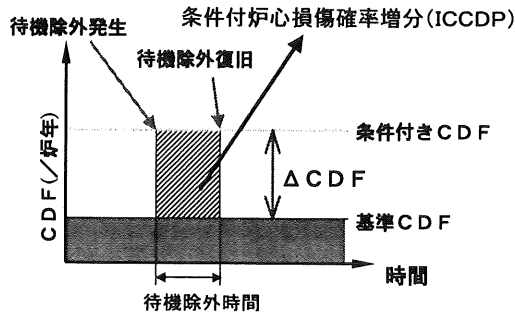


Fig.1 待機除外時リスク増加イメージ

2.2 機器待機除外時のリスク評価

本検討では Mark II 型格納容器を持つ定格電気出力 1,100MWe 級 BWR-5 プラントを評価対象プラントとした。評価対象プラントの主要な設備として、原子炉停止に関する系統として原子炉緊急停止系、ほう酸水注入系等、炉心の冷却に関する系統として高圧炉心スプレイ系 (HPCS)、自動減圧系 (ADS)、低圧炉心スプレイ系 (LPCS) 及び低圧注水系 (LPCI) からなる非常用炉心冷却系 (ECCS)、高圧注水が可能で短期間の全交流電源喪失時にも炉心を冷却できるタービン駆動の原子炉

隔離時冷却系 (RCIC) 等、放射性物質の閉じ込めに関する系統として格納容器本体、残留熱除去系等、さらにこれらの安全機能をサポートする系統として非常用所内電源系、補機冷却海水系等を備えている。主要設備の概要を Fig.2 に示す。

本検討において待機除外を仮定した系統は、炉心冷却機能及びこのサポート系である。具体的には、HPCS、RCIC、LPCS、LPCI、残留熱除去海水系 (RHRS)、非常用ディーゼル発電機 (DG)、非常用ディーゼル海水系 (DGSW)、HPCS-DG 及び HPCS-DGSW である。これらの系統は Fig.3 に示すように、3つの ECCS 区分に分類され、独立性を保持している。これら系統について、待機除外を想定したリスク増加及び ICCDP を評価し、待機除外時のリスク上の特徴を検討した。

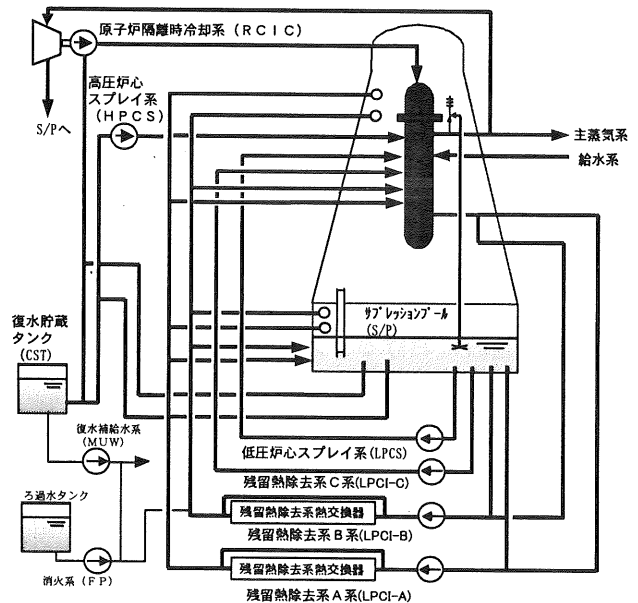


Fig.2 BWR-5/Mark II 主要設備概要

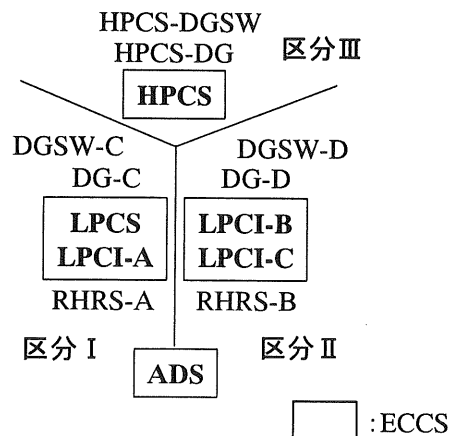


Fig.3 ECCS 区分

2.3 評価結果

今回実施したリスク評価のうち、待機除外時間に対する各系統の待機除外中のリスク増加割合を Fig. 4 に示す。この結果より、以下のことが確認された。

- ECCS 及び RCIC (以下「ECCS 等」という) の 1 系統待機除外時、高圧注水機能を有する HPCS 及び RCIC の待機除外のリスク増加が大きい。これは、高圧注水機能を有する系統は原子炉圧力条件に依存せず炉心冷却機能を達成できるためであると考えられる。一方、低圧注水機能は多重化が図られていることと、LPCS 又は LPCI 単独では原子炉圧力高圧条件下では炉心冷却機能を達成できないことにより、LPCS 及び LPCI については、高圧注水機能の待機除外時と比べてリスク増加は小さい。
- ECCS 等以上に、サポート系の待機除外によるリスク増加が大きい。これは、安全機能のサポート機能の喪失により、複数の ECCS も機能喪失することによる。

LPCS 又は LPCI-C の待機除外中にその他 1 系統が待機除外となった場合のリスク増加割合を Fig. 5 に示す。この結果より、以下のことが確認された。

- LPCS 又は LPCI-C が待機除外の場合、ECCS 等は待機除外系統と同じ区分の系統、サポート系は逆区分の系統の待機除外発生時リスク増加が大きい。

以上から、次のような知見が得られた。

- ① 現行の原子炉施設保安規定では、安全上重要な系統に対し許容待機除外時間 (AOT) が、ほぼ一律で定められているが、待機除外時のリスクは系統ごとに大きく異なる。
- ② リスクを指標として AOT を設定すれば、待機除外による大幅なリスク増加をもたらさない系統については、AOT 延長の可能性が考えられる。
- ③ ある系統に待機除外が発生した状態において、別の系統に待機除外が発生した場合のリスク増加は、その組み合わせによって異なる。したがって、1 系統に待機除外が発生した場合に、信頼性維持に努めるべき系統をリスクの観点から抽出することにより適切なプラント状態管理を行うことができる。

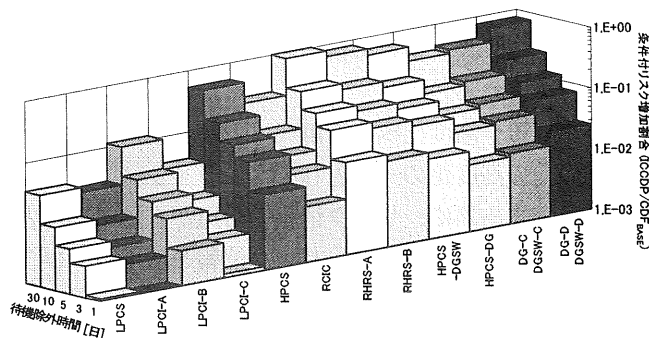


Fig. 4 各系統待機除外時のリスク増加割合

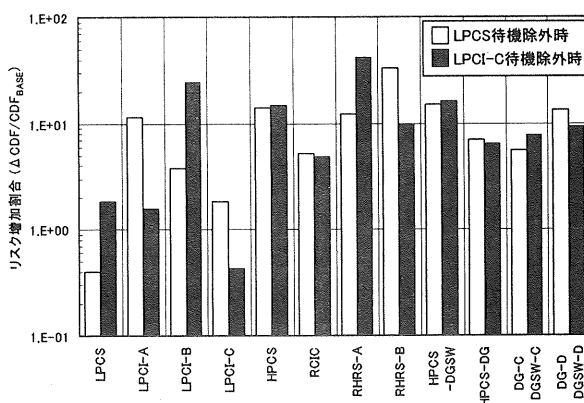


Fig. 5 LPCS 又は LPCI-C 待機除外中の各系統待機除外発生時リスク増加割合

2.4 運転保守分野へのリスク情報の活用

前節のリスク評価結果では、同一機能を有する系統であっても待機除外時のリスク増加が同一ではないこと、待機除外系統によって安全管理上配慮すべき系統が異なることを示した。これは、実機プラントの運転保守管理において、従来の決定論的考え方に加えてリスク情報を活用することにより、管理の実効性や意思決定における透明性の向上、資源の適正配分に期待できることを意味している。本検討によって得られた知見の実機プラントの運転保守分野への活用可能性について検討した。

(1) 機器故障等発生時の活用

出力運転中に機器故障等による待機除外が発生した場合、プラントのリスク増加を定量的に示すことが可能であると共に、安全管理上機能維持すべき系統を定量的な情報を元に抽出することが可能である。また、トラブル発生時等により運転制限を逸脱した場合に現

在の AOT の妥当性を示す場合や、今後合理的な AOT 設定を検討する場合において、客観的な情報を与えるものとしてリスク情報の活用が有効な手段の一つであると考えられる。

(2) 保全高度化への活用

保全の高度化の一環としてオンラインメンテナンスを計画する際に、リスク情報の活用が有効であると考えられる。具体的には、リスク情報を活用し、プラントリスクを有意に上昇させない系統の抽出や妥当な待機除外時間の設定、オンラインメンテナンス中に機能維持すべき安全機能の選定等、安全管理に関する情報を提供することが可能である。

(3) リスク情報の整備

上記事項をより実効的にするためには、状況に応じたリスク情報を与えることが重要である。重要なリスク情報として、複数系統待機除外発生を含めたリスク評価や昨年度検討した機器別リスク重要度評価等があげられる。これらを、事前にデータベースとして整備することで、状況に応じたリスク情報を柔軟かつ迅速に提供できる。

3. 結言

今回、BWR-5 プラントを対象として、確率論的手法を用いて待機除外時リスク評価を実施し、待機除外発生時のプラントリスクの特徴を評価した。この結果を元に、運転保守分野へのリスク情報の活用可能性を示した。

今後、運転保守分野へのリスク情報の活用を進めていくことにより、運転保守の更なる高度化を図ることが可能である。

参考文献

- [1] (財)原子力安全研究協会、“確率論的安全評価 (PSA) 実施手順に関する調査検討—レベル 1 PSA、内の事象—”、平成 4 年 7 月
- [2] NRC、“REGULATORY GUIDE 1.177
AN APPROACH FOR PLANT-SPECIFIC, RISK-IMFORMED
DECISIONMAKING : TECHNICAL SPECIFICATIONS
August 1998
- [3] 青木孝行他、日本保全学会 第 1 回学術講演会 要旨集、2004、 pp. 217-221