

原子力発電部会セッション

国内原子力発電所における新規規制基準、運転期間延長等への対応状況について
Status of response to new regulatory requirements and extension of operational period
in the domestic nuclear power plants

(3) 川内原子力発電所 1号機の安全性向上評価について

(3) Safety Improvement Assessment for Sendai Nuclear Power Station Unit 1

*江藤 和敏¹¹九州電力株式会社 原子力発電本部

1. はじめに

川内原子力発電所 1号機は、所謂「新規規制基準への適合性審査」に国内で初めて合格、平成 27 年 9 月 10 日に通常運転に復帰、その後、約 13 ヶ月間、安全・安定運転を続けた。平成 28 年 10 月 6 日から施設定期検査を開始し、平成 29 年 1 月 6 日に終了、通常運転に復帰した。

再稼働した原子炉施設は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第四十三条の三の二十九に基づき、施設定期検査終了毎に、施設定期検査終了時点の状態を対象とし、当該検査終了後 6 ヶ月以内に安全性向上評価を実施し、その後、原子力規制委員会に遅滞なく届け出ることとされており、国内で初めて平成 29 年 7 月 6 日に川内 1 号機の初回届出を行った。

本稿は、川内 1 号機安全性向上評価の初回届出内容を概説するものである。

2. 安全性向上評価の概要

簡素化した安全性向上評価のフローを第 1 図に示す。

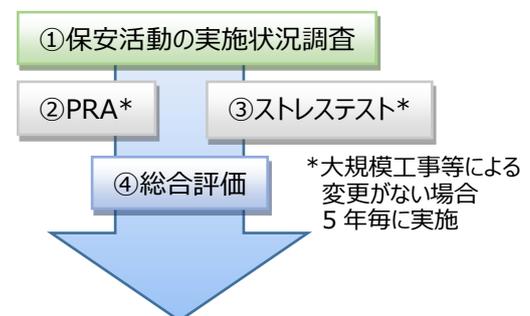
まず、①保安活動の実施状況調査を実施し、施設定期検査終了時点の発電所の状態(設備、運用)を調査する。

この調査結果に基づき、②確率論的リスク評価(PRA)、③安全裕度評価(所謂、ストレステスト)等により保安活動の効果を評価するとともに、安全性向上対策を抽出する。

これらを踏まえ、④総合評価を実施し、安全性向上計画を策定する。

なお、PRA、ストレステストは、大規模工事等による変更がない場合、5 年毎に実施する。

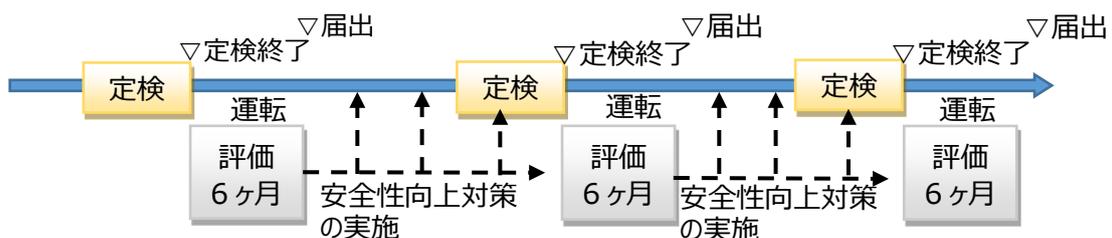
第 2 図に安全性向上評価による継続的な安全性向上の仕組みを示す。安全性向上評価を施設定期検査毎に実施し、継続的に原子炉施設の安全性を向上させる。



《更なる安全性向上対策の抽出・実施》

- 安全性向上に資する設備対策
- 安全性向上に資する運用面の対策

第 1 図 安全性向上評価フロー



第 2 図 安全性向上評価による継続的な安全性向上

3. 安全性向上評価届出書の内容

安全性向上評価届出書記載事項は、原子力規制委員会が決定した「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド(平成 29 年 3 月 29 日付け原規規発第 17032914 号)」に定められており、4 章構成となっている。この構成に沿って、以下に届出書の主な内容について述べる。

3-1. 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲

建設から施設定期検査終了時点までの設置許可、工事計画、保安規定の変更履歴を調査し、最新の許認可の状態を以下の構成でとりまとめた。

- (1) 発電用原子炉施設概要
- (2) 敷地特性
- (3) 構築物、系統及び機器
- (4) 保安のための管理体制及び管理事項
- (5) 法令への適合性確認のための安全性評価結果

3-2. 安全性の向上のため自主的に講じた措置

前回の定期安全レビュー(Periodic Safety Review; PSR)の評価対象期間が平成 23 年 3 月迄だったことを考慮し、平成 23 年 3 月の福島第一原子力発電所事故以降の保安活動の実績、最新の科学的・技術的知見の反映状況を調査し、保安活動が適切かつ有効であることを確認した。

また、保安活動の結果として、安全性向上対策を抽出した。主なものを第 1 表に示す。

第 1 表 保安活動から抽出した主な安全性向上対策

	主な安全性向上対策	概要
保守管理	メタクラ*保護継電器のデジタル化	長期保守信頼性
	原子炉容器出口管台保全工事	国内運転経験の予防処置
緊急時措置	特別高圧開閉所の更新	回線数増強、高台移設による信頼性向上
	運転シミュレータへの重大事故解析コード導入	運転員の知識・技能向上
外部要請	敷地周辺地震観測装置の追加	地震動評価に関する信頼性向上

* メタルクラッドスイッチギアの略で、高圧電源スイッチのこと。

3-3. 安全性の向上のため自主的に講じた措置の調査及び分析

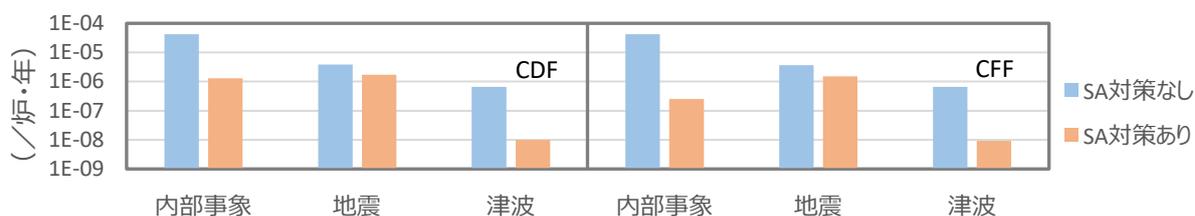
前 2 項で調査した発電所の最新の状態に基づき、確率論的リスク評価、安全裕度評価等を実施し、これらの評価結果から、安全性向上対策を抽出した。

(1) 確率論的リスク評価

炉心損傷頻度(Core Damage Frequency; CDF)、格納容器機能喪失頻度(Containment Failure Frequency; CFF)等を評価した。また、Fussell-Vesely 重要度を活用し、安全性向上対策を抽出した。

a. 炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度の評価

施設定期検査終了時点での発電所の構築物、系統及び機器の状態に基づき炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度を評価した結果、第 3 図に示すとおり、従来から自主的に取り組んできた重大事故(SA)対策及び新規規制基準への適合のための重大事故対策によるリスク低減効果が確認できた。



第 3 図 炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度の比較

2017年秋の大会

b. Cs-137 の放出量が 100TBq を超えるような事故の発生頻度

格納容器が機能喪失する場合には、Cs-137 の放出量は 100TBq を超えると定性的に判断し、Cs-137 の放出量が 100TBq を超えるような事故の発生頻度は、格納容器機能喪失頻度と同じとした。

c. 敷地境界における実効線量

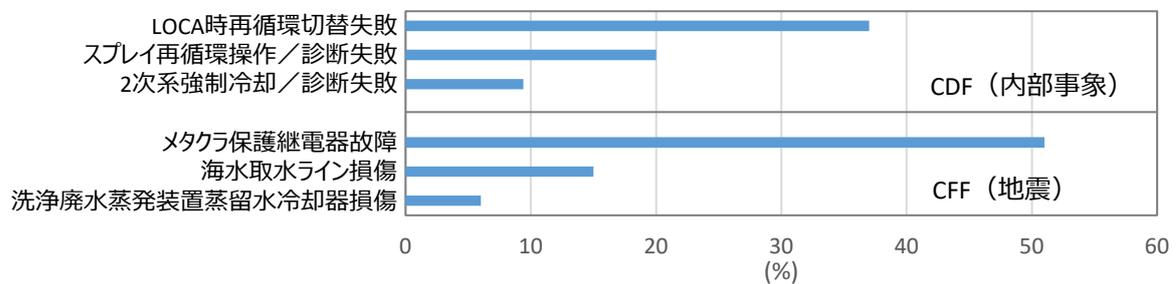
炉心損傷後に格納容器の機能が維持されている場合の 7 日間の敷地境界における実効線量を評価した。

この条件下で大気中に放出される最大の放射能量は約 3.2TBq となり、これを基に敷地内で観測した 1 年間の気象データを使用した年間の種々の気象条件を網羅するような気象シーケンスで敷地境界における 7 日間の実効線量を評価した。これらの結果から、全気象シーケンスの評価結果の平均値は約 43mSv となった。

d. 安全性向上対策の抽出

Fussell-Vesely (FV) 重要度分析の例を第 4 図に示す。内部事象では操作失敗による非常用炉心冷却系再循環機能喪失、地震時ではメタクラ保護継電器故障の FV 重要度が高いことが分かった。

これらをもとに抽出した安全性向上対策を第 2 表に示す。



第 4 図 FV 重要度分析

第 2 表 PRA から抽出した安全性向上策

主な安全性向上対策	期待される効果
重要シナリオ(再循環切替)に対する教育・訓練の強化	事故時の再循環切替に対する運転員の意識を高め、事故対応能力を向上できる。
メタクラ保護継電器のデジタル化	耐震信頼性向上により、地震時の CDF を 1.7×10^{-6} から 8.5×10^{-7} へ、CFF を 1.5×10^{-6} から 6.3×10^{-7} へ低減できる。

(2) 安全裕度評価

設計基準を超える地震、津波に対して、発電所がどこまで頑健性を確保できるかを確認するとともに、クリフエッジに到達した際の対応を検討した。また、これらの結果を踏まえ、安全性向上対策を抽出した。

a. 評価結果

地震、津波に対する出力時炉心の安全裕度評価結果を第 3 表に示す。

第 3 表 安全裕度評価結果

事象	クリフエッジ事象	クリフエッジ	クリフエッジに到達した際の対応
地震	タービン動補助給水ポンプから蒸気発生器への給水不能*	1029 Gal	駆動蒸気入口弁を手動で開弁し、タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水を再開
津波	タービン動補助給水ポンプ故障による蒸気発生器への給水不能	15 m	可搬型ディーゼル注入ポンプによる蒸気発生器又は炉心への注水

* 804Gal の地震でメタクラ保護継電器が故障し、非常用所内電源が喪失、冷却手段がなくなり炉心損傷に至るが、故障した保護継電器の除外処置により非常用所内電源を復旧させることができることから、このクリフエッジは回避できるとした。

b. 安全性向上対策の抽出

安全裕度評価から抽出した主な安全性向上対策を第4表に示す。

第4表 安全裕度評価から抽出した安全性向上対策

主な安全性向上対策	期待される効果
クリフエッジ到達後の措置を含む安全裕度評価結果の発電所員への教育・訓練	設計を超える自然現象に対する緊急時対策要員の対応能力を向上できる。
メタクラ保護継電器のデジタル化	地震によって故障する保護継電器の除外処置が不要となる。

3-4. 総合的な評定

保安活動の実施状況調査、確率論的リスク評価、安全裕度評価等の結果を踏まえ、総合評定を実施し、安全性向上計画を策定した。

(1) 総合評定

- 川内1号機は、高い運転実績を残しており、これは運転開始以降、当社が保安活動を確実に実施していることによると考えられる。
- 今後実施すべき安全性向上対策が抽出されたが、いずれも保安活動の欠陥によるものではなく、プラントの安全性をさらに向上させるためのものである。
- 今後も、保安活動の確実な実施を基本に、リスク情報を活用しつつ、原子力発電所のリスクを合理的に実行できる限り低減させていく。

(2) 安全性向上計画

抽出した主な安全性向上対策の実施計画を第5表に示す。

第5表 主な安全性向上対策と実施計画

主な安全性向上対策	実施時期
メタクラ保護継電器のデジタル化	第23(次回)~26回定検
原子炉容器出口管台保全工事	第23回定検
特別高圧開閉所の更新	2023年7月
運転シミュレータへの重大事故解析コード導入	2018年7月
敷地周辺地震観測装置の追加	今年度中
重要シナリオ(再循環切替)に対する教育・訓練の強化	届出後遅滞なく
クリフエッジ到達後の措置を含む安全裕度評価結果の発電所員への教育・訓練	届出後遅滞なく

4. 結言

今後、原子力規制委員会において、運用ガイドに基づく確認が行われるとともに、他プラントへの反映も念頭においた今後の安全性向上評価の継続的な改善に向けた議論等を行うことを目的として、「実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善に係る会合」を開催するとされており、これらに真摯に対応し、安全性向上評価についても継続的に改善する。

* Kazutoshi Eto¹¹ Kyushu Electric Power Co., Inc., Nuclear Power Generation Division.