

川内原子力発電所の安全裕度評価について

Overview of the Stress-test on Sendai Nuclear Power Station

九州電力	今村 和紀	Kazunori IMAMURA	Non-member
九州電力	江藤 和敏	Kazutoshi ETO	Non-member

Sendai Nuclear Power Station is the first one in Japan whose units has restarted under new regulatory requirements after Fukushima-Daiichi Nuclear Disaster. For these restarted units, Safety Improvement Assessment is mandated to be conducted after every outage by the new regulatory requirements. The assessment shall be reported to Nuclear Regulatory Authority (NRA) and disclosed on the Web. Kyushu Electric Power Company submitted the assessment report first in Japan to NRA on July 6, 2017 for Sendai unit 1, on September 25, 2017 for Sendai unit 2 in compliance with this requirement.

As a part of the assessment, we conducted stress-test for seismic event and flooding to identify robustness of the unit and also developed the countermeasures to mitigate the impact caused by such events when cliff-edge was reached. This paper describes the overview of stress-test in the assessment.

Keywords: Stress test, Safety improvement, Cliff-edge, Robustness

1. はじめに

川内原子力発電所第 1 号機は、「新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い、この結果を公表した[1] [2]。

1 号機に引き続き、川内 2 号機が再稼働し、その後の施設定期検査を平成 29 年 3 月 24 日に終了したことか

ら、同様に、安全性向上評価を平成 29 年 9 月 25 日に届出、公表した。

安全性向上評価では、原子力発電所の保安活動の実施状況調査結果をもとに、確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment; PRA)、安全裕度評価 (所謂、ストレステスト) を実施し、これらの評価結果をもとに総合評価を実施し、安全性向上計画を策定する。

今回、川内原子力発電所 1 号機及び 2 号機の安全性向上評価のなかで実施した安全裕度評価について、その概要を説明する。

2. 安全裕度評価の概要

安全裕度評価の実施事項を表 1 に示す。

安全裕度評価では、設計基準を超える事象に対して、発電所がどの程度の事象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する。また、これらの結果を踏まえ、安全性向上対策を抽出する。

表 1 安全裕度評価の実施事項

実施事項	内容
①安全裕度評価 a. 地震 b. 津波 c. 地震及び津波の重量	炉心(出力運転時、運転停止時)、使用済燃料ピット(SFP)の燃料の著しい損傷を発生させることなく、また原子炉格納容器機能喪失を発生させることなく、どの程度の事象まで耐えることができるかを評価
②事象進展と時間評価	①で特定したクリフエッジシナリオの事象進展において、安定状態に至るまでの対策が有効であること、また、対策を開始するまでの余裕時間、緩和機能の継続を必要とする時間について評価
③号機間相互影響評価	敷地内の他の号機からの影響を評価

3. 安全裕度評価結果

3.1 地震

地震評価では、地震発生時に想定される事象のうち、建屋の損壊、緩和系の広範囲の故障を引き起こし、炉心損傷や格納容器機能喪失等につながる事象について抽出、その事象進展の成立性を確認し、発電所がどの程度の地震加速度に耐えうるのか評価を実施した。以下に、その評価手順を示す。

- ① 起回事象の選定
- ② イベントツリーの作成
- ③ 各影響緩和機能の機能喪失地震加速度の特定

④ クリフエッジの特定

地震に対するクリフエッジ及びクリフエッジに達した際の措置を表 2 に示す。

3.2 津波

津波評価では、津波発生時に想定される事象のうち、緩和系の広範囲の故障を引き起こし、炉心損傷や格納容器機能喪失等につながる事象について抽出、その事象進展の成立性を確認し、発電所がどのくらいの津波高さに耐えうるのか評価を実施した。以下に、津波評価の手順を示す。

- ① 起回事象の選定
- ② イベントツリーの作成
- ③ 各影響緩和機能の機能喪失津波高さの特定
- ④ クリフエッジの特定

津波に対するクリフエッジ及びクリフエッジに達した際の措置を表 3 に示す。

3.3 地震及び津波の重量

前述の地震・津波単独評価の結果を用い、地震と津波が重畳して発生した場合の発電所の頑健性について、評価を実施した。

評価では、地震単独評価で特定されたクリフエッジにかかる事象進展において、クリフエッジ高さの津波が襲来した場合の影響を確認するとともに、逆に、津波単独評価で特定されたクリフエッジにかかる事象進展において、クリフエッジ加速度の地震が発生した場合の影響

表 2 安全裕度評価結果(地震)

項目	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
炉心	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 ^{*1}	1029Gal (1026Gal) ^{*2}	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
格納容器	炉心損傷	1029Gal (1026Gal) ^{*2}	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 ^{*3}
SFP 燃料	SFP 補給水用水中ポンプ故障による海水注入不能	1149Gal (1149Gal) ^{*2}	可搬型ディーゼル注入ポンプ等による SFP への注水
停止時	常設電動注入ポンプによる炉心への注水不能 ^{*1}	1029Gal (1026Gal) ^{*2}	代替再循環隔離弁を手動で開弁し、常設電動注入ポンプによる炉心への注水を再開

^{*1} 804Gal (882Gal) ^{*2} 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。

^{*2} () の数値は 2 号機の評価結果

^{*3} 炉心がクリフエッジに達した際の影響を緩和し、炉心損傷を防止することで、格納容器機能損失を防止。

表 3 安全裕度評価結果(津波)

項目	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
炉心	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	15m	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
格納容器	中容量発電機車からの給電不能 による格納容器隔離不能	15m	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*1
SFP 燃料	タンクローリー機能喪失による SFP 補給用水中ポンプからの海 水注水不能	27m	発電所外より手配した燃料を用いた SFP 補給用水中ポンプによる海 水注水または、発電所外より手配した消防自動車による使用済燃料 ピットへの注水
停止時	中容量発電機車からの給電不能 による炉心への注水不能	15m	可搬型ディーゼル注入ポンプによる炉心への注水

*1 炉心がクリフエッジに達した際の影響を緩和し、炉心損傷を防止することで、格納容器機能損失を防止。

響確認を行った。

これらの評価の結果、地震単独評価のクリフエッジ加
速度、津波単独評価のクリフエッジ津波高さは、互いに
影響し合うことなく地震及び津波が重畳して発生した
場合にも、発電所は各単独評価のクリフエッジまで頑健
性を維持することが確認できた。

3.4 事象進展及び時間評価

今回の評価で特定した地震・津波のクリフエッジとな
る事故収束シナリオの事象進展に沿って、炉心や SFP
の燃料の著しい損傷を防止のため講じる重大事故等
対策の成立性を評価し、これらの重大事故等対策の有
効性を評価した。また、各重大事故等対策を開始する
までの余裕時間及び緩和機能の継続を必要とする時
間を評価した。

以下に評価結果を示す。

(1) 対策の有効性評価結果

事象進展は、運転員、重大事故等対策要員その他発電所の要
員で対処可能であり、炉心・SFP が安定状態に至るまでの対策が
有効であることが確認できた。

(2) 余裕時間評価結果

各重大事故等対策を開始するまでの余裕時間を評価した結果、
タービン動補助給水ポンプの起動について、事故収束に向けた
余裕時間(47 分)までに対処が必要である。なお、対策の有効性
評価のなかで、余裕時間内に対処可能であることが確認でき
ている。

(3) 継続時間評価

事象収束までに必要となる水源、燃料、電源について、その供
給を継続する必要時間について評価した。なお、対策の有効性
評価のなかで、これらの供給継続が可能であることが確認でき
ている。

3.5 号機間相互影響評価

川内原子力発電所には、2 基の原子炉が設置されて
おり、単独号機の評価結果に対して敷地内の他号機が
及ぼす影響を以下の観点から確認した。

(1) 耐性を考慮した相互影響評価

耐性(クリフエッジ地震加速度、津波高さ)が異なるこ
とにより、片ユニットの炉心や使用済燃料ピットの燃料
が先に損傷し、発電所内の放射線量が上昇した場合
でも、他ユニットのクリフエッジ評価結果に影響しないこ
とを確認した。

(2) 事象進展過程を考慮した相互影響評価

両ユニットが同時に発災した場合においても、現在
の重大事故等に対応する体制で対応可能であること、
発電所内の資源(燃料、水、電力)は 7 日間連続で供
給可能であることを確認した

(3) 停止中ユニットから運転中ユニットへの影響評価

片ユニットが停止中(モード外)で、他ユニットが運
転中である場合を考える。停止中ユニットは機器搬入口
が開放されており、津波高さが 13.3m を超えた場合、当
該ユニットの格納容器内に浸水する。加えて、エアロッ
クが開放されていることから、当該ユニットの補助建屋

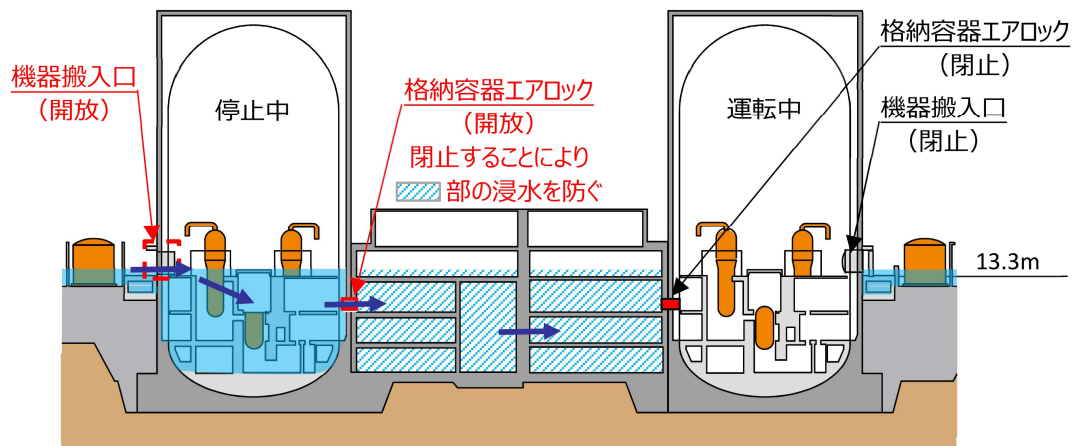


図1 停止中ユニットから運転中ユニットへの浸水の概念図

に浸水し、更に、連絡している運転中の他ユニットの補助建屋に浸水することにより、運転中ユニットの安全機能を喪失させる。この概念図を図1に示す。

しかし、停止中ユニットのエアロックを閉止することにより、補助建屋への浸水を防ぐことができることから、運転中の他ユニットへの影響は生じないことを確認した。

3.6 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表4に示す。

表4 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。
大津波警報時の停止中ユニットのエアロック閉止	運転中の他ユニットへの浸水を防ぐ。

4. 今後の展開

今回の評価では、地震、津波に関する安全裕度評価を実施した。今後、地震、津波の随件事象、火山噴火、竜巻、雷等の外部事象に対する評価を実施すべく検討を進めている。

参考文献

- [1] 九州電力ホームページ、
<https://www.kyuden.co.jp>
- [2] 江藤和敏、今村和紀、井上政春、“川内原子力発電所の第1回安全性向上評価の概要について”、日本保全学会第15回学術講演会予稿集(2018)。
- [3] 江藤和敏、“川内原子力発電所の安全性向上評価について”、日本原子力学会誌、Vol.60、No.2(2018)、pp.21-24。
- [4] 江藤和敏、“川内原子力発電所の第1回安全性向上評価の概要について”、第18回保全セミナー予稿集(2018)、pp.1-36。