

実用発電用原子炉の安全性向上評価届出に  
係る改善事項に対する取組み状況について  
(玄海4号機第1回及び川内2号機第3回 安全性向上評価届出時点)

2020年 7月31日

九州電力株式会社

# 安全性向上評価に係る改善事項に対する取組み状況

1

| 改善が必要な主な事項   | 対応状況   | 詳細頁 |
|--|--------|-----|
| (1)-No.1<br>届出書の記載の深さについて、各分野の専門家も含め、広く理解される程度の記載とする。  | 継続的に改善 | 2   |
| (1)-No.2<br>最新の状態 (as is) の記載について、米国のUFSARやIAEA安全ガイド (GS-G-4.1の改訂版 (DS499))等を参考にプラントの最新状態を一つの図書で把握できるように記載する。              | 対応中    | 3   |
| (1)-No.3<br>確率論的リスク評価 (PRA) について、<br>○PRAの目的に照らして評価手法の妥当性を判断し、目的に沿ったPRA手法への見直しを行い、その内容を明らかにする。<br>○PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。 | 対応中    | 4～7 |
| 改善が必要なその他の事項   | 対応状況   | 詳細頁 |
| (2)-No.1 (第2章)<br>国内外の最新知見について、結果だけでなく、プロセス等の詳細も記載する。  | 継続的に改善 | 8   |
| (2)-No.2 (第2章)<br>追加措置 (自主設置設備) の記載について、自主的に設置した設備の記載を充実する。  | 継続的に改善 | 8   |
| (2)-No.3 (第2章)<br>届出書全体について、外部評価を活用する。   | 継続的に改善 | 9   |
| (2)-No.4 (第3章)<br>内部事象及び外部事象に係る評価について、結果だけでなく、プロセス等の評価も記載する  | 対応中    | 10  |
| (2)-No.5 (第3章)<br>決定論的安全評価について、結論だけでなく、プロセス等の詳細も記載する。  | 継続的に改善 | 11  |
| (2)-No.6 (第3章)<br>確率論的リスク評価 (PRA) について、PRAの専門家が実施内容を理解できる程度の記載とする。   | 継続的に改善 | 12  |
| (2)-No.7 (第3章)<br>中長期的な評価について、SSG-25に基づく評価を行い、その考え方と結果を記載する。   | 対応中    | 13  |
| 自主的な改善事項   | 対応状況   | 詳細頁 |
| (3)-No.1 (第3章) 安全裕度評価に関する改善  | 対応中    | 14  |
| (3)-No.2 (第4章) 総合的な評価に関する改善  | 継続的に改善 | 15  |

## 【改善が必要な主な事項 (1)-No.1】 (全般)

届出書の記載の深さについて、各分野の専門家も含め、広く理解される程度の記載とする。

### 【玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第2回届出書までに反映した以下の改善内容について、玄海4号機第1回届出書（2020年5月20日提出）及び川内2号機第3回届出書（2020年7月22日提出）にも同様に反映した。

|     | これまでに改善を行った項目                      | 概要   |
|-----|------------------------------------|--|
| 第2章 | 2.2.1 保安活動の実施状況                    | ・ 自主的に設置した設備の仕様、運用方針及び教育・訓練に関する記載の充実                                 |
|     | 2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見          | ・ 収集対象とした情報源及びスクリーニング基準に関する記載の充実<br>・ 収集した情報、知見に関する記載の充実             |
|     | 2.5 外部評価の結果                        | ・ 今回の補正において電力各社によるレビューを行い、その結果を反映したことについて追記                          |
| 第3章 | 3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価              | ・ 評価対象とした全事象を記載<br>・ 評価に用いた情報・知見に関する記載の充実                            |
|     | 3.1.2 決定論的安全評価                     | ・ 評価で使用している解析コードの更新・不具合情報及び最新知見による評価への影響について追記                       |
|     | 3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価 (PRA) | ・ モデル化の範囲、起因事象、モデル化手法、使用するデータに関する記載の充実<br>・ 今回の評価と過去に公表している評価との比較を追記 |
|     | 3.1.4 安全裕度評価                       | ・ モデル化の範囲、起因事象、モデル化手法、使用するデータに関する記載の充実<br>・ 今回の評価と過去に公表している評価との比較を追記 |
|     | 3.2 安全性向上に係る活動の実施状況に関する中長期的な評価     | ・ IAEA特定安全ガイドSSG-25に基づく評価を行うまでの計画について追記                              |
| 第4章 | 4.2 安全性向上計画                        | ・ RIDMの導入に向けたPRAの基盤整備について追記  |

- なお、今後も継続して、安全性向上評価で実施する調査、分析、解析等に対し、各分野における専門家が、これらの内容を判断できる程度の記載となるよう改善に取り組む。（以降の各事項においても同様）

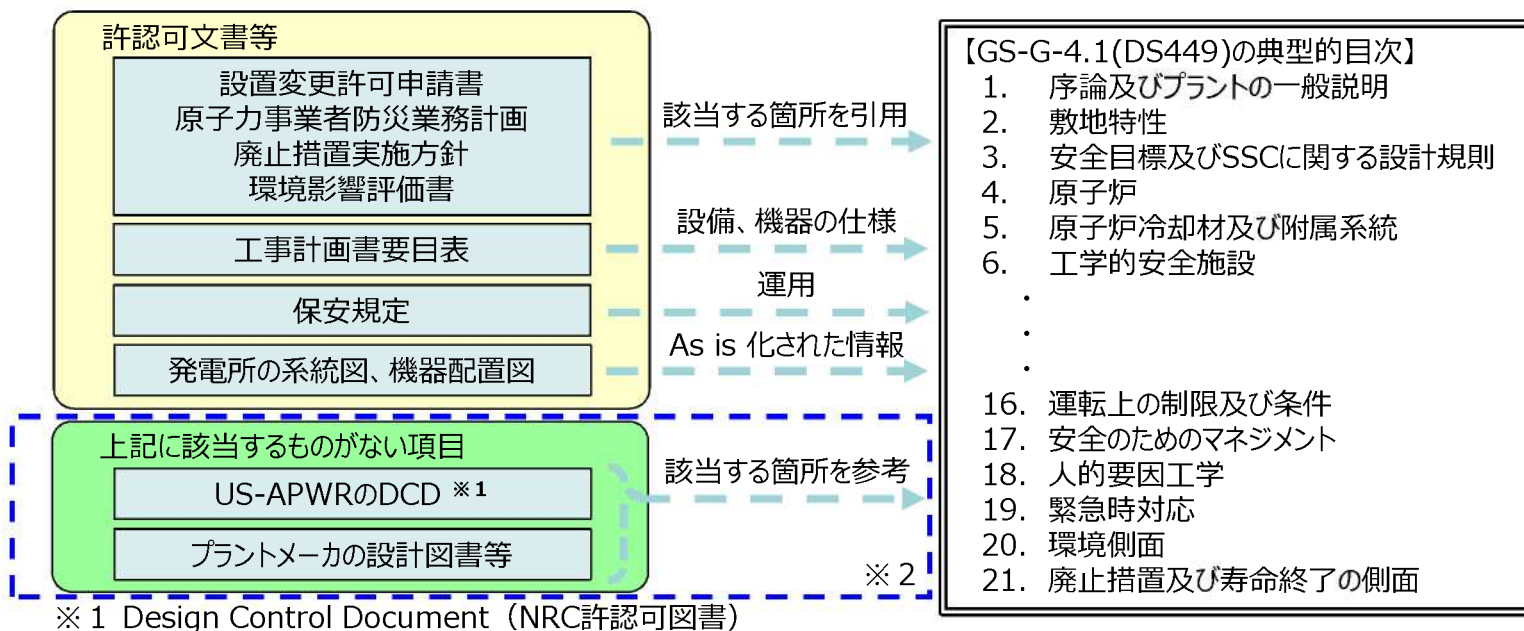
# (1) 改善が必要な主な事項に対する今後の取組み

## 【改善が必要な主な事項 (1)-No.2】 (第1章)

最新の状態(as is)の記載について、米国のUFSARやIAEA安全ガイド (GS-G-4.1の改訂版 (DS449)) 等を参考にプラントの最新状態を一つの図書で把握できるように記載する。

### 【玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出の対応状況】

- IAEA安全ガイドGS-G-4.1(DS449)の典型的目次ごとに、最新の許認可文書等により評価時点 (玄海4号機 ; 2019.11.20、川内2号機 ; 2020.1.23) における最新のプラント状況を記載した。川内2号機では「今後検討」箇所について、記載の充実を図った。また、玄海4号機では、許認可文書等に該当するものがない項目については、玄海3号第1回届出書と同様に「今後検討」と記載した。



### 【今後の改善計画】



- ◇ 「今後検討」と記載した項目について、継続的に記載の充実を図る。
- ◇ 玄海については、第2回の届出において川内と同様の記載の充実を図る。(※2に示す記載の充実)

## 【改善が必要な主な事項 (1)-No.3】 (第3章)

確率論的リスク評価 (PRA) について、

- PRA の目的に照らして評価手法の妥当性を判断し、目的に沿ったPRA 手法への見直しを行い、その内容を明らかにする。
- PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。

## 【玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出時点における取組み状況】

- 内部事象出力運転時PRAは、PWR/BWRによる高度化の取組み等を踏まえ、原子力規制検査運用開始に向けた高度化を実施した。現在は原子力規制庁殿によるPRAモデルの適切性確認を進めて頂いているところである。
- 地震出力運転時PRAについては、現実的な評価を目指し、現状のフラジリティ評価やシステム評価の課題を抽出・整理した。また、既に明確な課題とされていた、以下の課題についても検討を行った。
  - (1) 階層イベントツリーに代わる手法の検討 (階層ETの適用性検討も含む)  [スライド 5](#)  
⇒ 現状の階層ET手法による評価が、過度に保守的な評価になっていないことを確認した。 →完了
  - (2) 炉心損傷に直結する機器・建屋等の損傷時のシナリオ精緻化の検討  [スライド 6](#)  
⇒ 保守性を含むシナリオを抽出し、精緻化の検討を行った。これらのシナリオが持つ保守性については、PRA結果への影響度の大きさ等から優先度をつけて対応していく。 →継続
- これらの取組みは引き続き電力大の課題として、電力大研究・原子力リスク研究センター(NRRC)の活用により、より効果的な取組みとなるよう進めている。

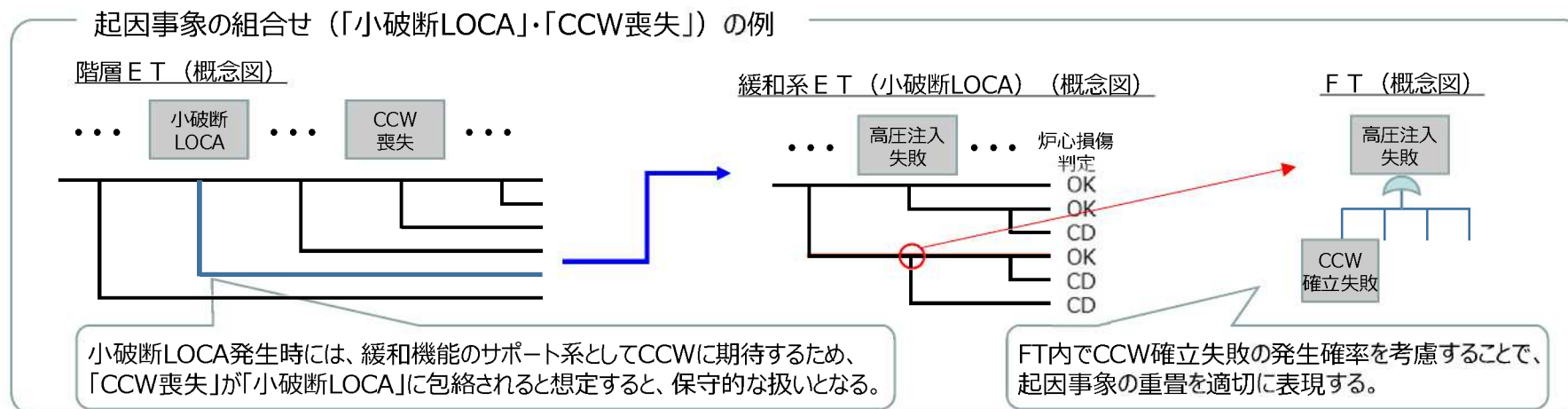
## (1) 階層イベントツリーに代わる手法の検討

国内プラントで用いられている階層イベントツリー手法（階層ET）は、下位の起因事象を上位の起因事象に包絡させて（必ず発生するとして）モデル化する手法であるため、起因事象の重畳の影響を保守的に評価してしまう可能性がある。

### <課題に対する検討>

以下のとおり、現状の階層ETの構成について確認し、過度に保守的なモデルとはなっていないことを確認した。

- 階層ETでは、上位と下位の起因事象が同時発生した場合のシナリオを上位の起因事象のシナリオに代表させて評価する。
- 下位の起因事象の発生が上位の起因事象の成功基準に影響しない場合、階層ETを用いても過度に保守的な想定とはならない。
  - 例：「大破断LOCA」（上位）、「2次系破断」（下位）の場合、大破断LOCA発生時には、2次系による炉心冷却に期待しないため、「2次系破断」は「大破断LOCA」の成功基準の観点から重要ではなく、これらを階層ETでモデル化しても過度に保守的な扱いとはならない。
- 下位の起因事象の発生が上位の起因事象の成功基準に影響する場合、上位と下位の起因事象の同時発生を想定すると、階層ETを用いるのは保守的な評価となる。そのため、上位の起因事象のFTにおいて下位の起因事象に繋がる故障の発生確率を考慮し、起因事象の組み合わせを考慮した評価にしており、過度に保守的な扱いとならないように工夫している。
  - 例：小破断LOCA発生時は、緩和機能のサポート系として、CCW（「CCW喪失」は起因事象でもある）に期待するため、小破断LOCAの緩和系のFT内で、CCW確立失敗の発生確率を考慮することで、起因事象の組み合わせを考慮している。（下図参照）



## (2) 炉心損傷に直結する機器・建屋等の損傷時のシナリオ精緻化の検討

地震PRAにおける直接炉心損傷に至るとしている起因事象は、その要因となるSSC 損傷時の影響を保守的に扱くと、地震PRA結果を過大に評価し、現実的な地震リスクを評価できなくなる可能性がある。

### <課題に対する検討>

現状の地震PRAモデルにおいて直接炉心損傷に至るとしているシナリオのうち、保守性を含むシナリオの例を下表のとおり抽出した。

| シナリオ (例)     | 現状の想定・課題  | 精緻化の方策の例   |
|--------------|---|--|
| ①SG伝熱管破損シナリオ | SG伝熱管破損本数ごとのフラジリティを評価できないことから、SG伝熱管破損は全数破損を想定し、CVバイパスにより直接炉心損傷に至る事象としている。               | <ul style="list-style-type: none"> <li>○フラジリティ評価上の課題<br/>SGへの入力に対して、損傷する伝熱管の本数を不確実さも含めて検証し、伝熱管の損傷規模（損傷本数）に対応するフラジリティ評価を行う。</li> <li>○システム評価上の課題<br/>SG伝熱管の破損本数や破損基数をパラメータとし、また他の起因事象との重畳も考慮した成功基準解析を実施し、緩和シナリオを明確にする。</li> </ul> |
| ②原子炉容器破損シナリオ | 原子炉容器支持構造物の損傷が発生すると原子炉容器に予期しない振動が発生することで1次冷却材管や炉内構造物を損傷させることにつながると想定し、直接炉心損傷に至る事象としている。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○フラジリティ評価上の課題<br/>原子炉容器への入力に対する各支持構造物部材の損傷程度と損傷程度に応じた1次冷却材管や炉内構造物応答の変化を検証し、1次冷却材管や炉内構造物のフラジリティ評価を行う。</li> </ul>   |

これらのシナリオが持つ保守性は、システム評価及びフラジリティ評価において評価技術が成熟していないものであるものの、安全性向上評価の目的を踏まえると精緻化を検討していく必要があると考えており、PRA結果への影響度の大きさ等から優先度をつけて対応していきたいと考えている。

なお、玄海4号機第1回届出の評価結果においては、炉心損傷に直結するシナリオの発生頻度が地震PRAの結果に占める割合が低いことを確認している。

# (1) 改善が必要な主な事項に対する今後の取組み

## 【改善が必要な主な事項 (1)-No.3】 確率論的リスク評価(PRA) (続き)

### 【今後の改善計画】

| 届出時期<br>項目 | 2017年度                                      | 2018年度 | 2019年度     | 2020年度～            |
|------------|---|--------|------------|--------------------|
| 原子力規制検査    |   |        |            | ▽ 本格運用開始           |
| RIDM導入※1   | フェーズ1 (既存ツールを用いたリスク情報活用実践による機能の整備及び仕組みの構築等) |        |            | フェーズ2 (改善及び活用範囲拡大) |
| 内部事象PRA    | モデル高度化 (内部事象L1・L1.5) ※2                     |        |            |                    |
| 地震PRA      | ・課題の抽出・研究計画の立案<br>・既に明確な課題への対応方針検討          |        | 評価手法の構築等※3 |                    |
| 津波PRA      | 評価手法高度化※3                                   |        |            |                    |
| その他        | 内部火災PRA※4                                   | 研究開発   |            | パイロット              |
|            | 内部溢水PRA※4                                   | 研究開発   |            | パイロット              |

- ※1 「リスク情報活用の実現に向けた戦略プラン及びアクションプラン」(2020年6月19日電気事業連合会公表)に基づく計画
- ※2 PWRパイロットプラントによる高度化より導入する内容として主に以下の項目が該当する。  
○イベントツリー等の高度化 ○PRAパラメータの高度化 ○人間信頼性評価の高度化
- ※3 原子力リスク研究センター(NRRC)の研究の進捗を踏まえて、適宜、評価モデルに取り込むとともに、届出に反映
- ※4 「NRRC研究ロードマップ」(2019年3月27日NRRC公表)に基づく計画



### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.1】 (第2章)

国内外の最新知見について、結果だけでなく、プロセス等の詳細も記載する。

#### 【玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第2回届出までに反映した以下の改善内容について、玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出書にも同様に反映した。
  - ・ 収集対象とした情報源及びスクリーニング基準に関する記載の充実
  - ・ 収集した情報、知見に関する記載の充実（反映不要新知見を追記、反映要否の検討状況を追記）
  - ・ 最新知見に係る評価のインプットとして、メーカー提案を取り込んだ。

### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.2】 (第2章)

追加措置（自主設置設備）の記載について、自主的に設置した設備の記載を充実する。

#### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第2回届出までに反映した以下の改善内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ 多様性拡張設備及び自主的に設置した設備について、仕様及び運用方針、並びに、教育・訓練について記載した。

#### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 川内2号機第3回届出書の評価期間中において、追加された自主設置設備はなかったことから、当該記載箇所については川内2号機第2回届出書と同様の内容を記載している。

【改善が必要なその他の事項 (2)-No.3】(第2章)  
届出書全体について、外部評価を活用する。

### 【玄海4号機第1届出書における対応状況】

- 外部評価として、下記項目を実施し、その結果を反映した。
  - ・ 電力間レビュー（川内1、2号機第1届出書補正以降）
  - ・ 原子力安全性向上分科会※<sup>1</sup>（川内1号機第1届出書以降）
- ※<sup>1</sup> 外部有識者※<sup>2</sup>により原子力の安全性向上の取組み状況（PRA 等による原子力発電のリスクの分析・評価など）をモニタリングし、より専門的・技術的観点から議論を深めるとともに、その視点を、更なる安全性向上に活かすことを目的とした外部評価。
- ※<sup>2</sup> 玄海4号機第1届出書においては、以下の方（五十音順、敬称略）に評価して頂いた。
  - 出光 一哉（九州大学大学院 工学研究院 教授）
  - 高田 孝（日本原子力研究開発機構 システム安全解析評価グループ グループリーダー）
  - 野口 和彦（横浜国立大学 リスク共生社会創造センター センター長）
  - 松田 尚樹（長崎大学 原爆後障害医療研究所 教授）

### 【川内2号機第3届出書における対応状況】

- 2020年3月に「原子力安全性向上分科会」が活動を終了し、2020年4月からは原子力安全性向上分科会の機能を継承しつつ、原子力規制検査制度への対応等についてもご意見を頂く「原子力に係る安全性・信頼性向上委員会」を設置した。下記の委員が加わるとともに、野口委員を委員長とした体制となり、川内2号機第3届出書時は、この委員会に評価していただいた。
  - 天日 美薫（一般財団法人 九州環境管理協会 技術部 品質管理課長）
  - 藤本 望（九州大学大学院 工学研究院 教授）

### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.4】 (第3章)

内部事象及び外部事象に係る評価について、結果だけでなく、プロセス等の詳細も記載する。

#### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】



- 川内1、2号機第2回届出までに反映した以下の改善内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ 内部事象として、内部火災、内部溢水、配管ホィップ、内部ミサイル、重量物落下、蒸気放出、爆発、振動を、外部事象として、自然現象（風(台風)、凍結、降水、積雪、高潮、地盤、水理、地震、基礎地盤及び周辺斜面の安定性、津波、火山、竜巻、生物）及び人為事象（社会環境(産業活動、交通運輸)、外部火災(森林火災、危険物タンク火災、航空機落下、船舶の火災、産業施設の火災、爆発))、有毒ガス、電磁的障害を記載した。
  - ・ 評価対象とした情報源及びスクリーニング基準に関する記載の充実
  - ・ 評価に用いた情報・知見に関する記載の充実（反映不要新知見を追記、反映要否の検討状況を追記）

#### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 内部事象及び外部事象に係る評価結果が変わるような大規模な工事を行っていないため、改めて調査、分析又は評価を実施する必要がなく、第1回及び第2回届出書の記載内容の大きな変更はないことから、改訂の必要はない。

なお、今後改めて調査、分析又は評価を実施する場合には、結果だけでなく、プロセス等の詳細を含む記載となるように継続して改善に取り組む。

#### 【今後の改善計画】

- ◇ 特定重大事故等対処施設の設置後の届出時に実施するPRAに併せて、最新の解析手法を採用したハザード解析を実施する。この場合、その手法の妥当性について併せて記載する。  [スライド13](#)
- ◇ 設置変更許可で対象外とした内部事象及び外部事象は、今回の評価時点において1サイクルしか経験していないため、運転経験を蓄積した後、SSG-25に基づく評価時に他の内部事象及び外部事象とあわせて評価を実施する。  [スライド13](#)

### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.5】 (第3章)

決定論的安全評価について、結論だけでなく、プロセス等の詳細も記載する。

#### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第1回届出書の補正時に反映した以下の内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ 評価で使用している解析コードの更新・不具合情報及び最新知見による評価への影響について記載
- 川内1、2号機第2回届出書に反映した以下の内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ 不確かさを考慮した最適評価(BEPU)手法を含めた最新の評価手法の調査を継続し、決定論的安全評価への適用の検討状況を記載

#### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 決定論的安全評価の評価結果が変わるような大規模な工事を行っていないため、改めて調査、分析又は評価を実施する必要がなく、第1回及び第2回届出書の記載内容の大きな変更はないことから、改訂の必要はない。

なお、今後改めて調査、分析又は評価を実施する場合には、結果だけでなく、プロセス等の詳細を含む記載となるように継続して改善に取り組む。

### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.6】 (第3章)

確率論的リスク評価 (PRA) について、PRA の専門家が実施内容を理解できる程度の記載とする。

#### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第2回届出までに反映した以下の改善内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ モデル化の範囲、起因事象、モデル化手法、使用するデータに関する記載の充実
  - ・ 過去に公表しているPRAから変更した内容、変更理由、手法の妥当性及び結果の変化に関する分析の実施
  - ・ 地震PRAにおける条件付炉心損傷確率が1となる加速度領域までの評価の実施
  - ・ 被ばく評価について、評価目的に照らし記載の充実・改善を実施

#### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 確率論的リスク評価(PRA)の評価結果が変わるような大規模な工事を行っていないため、改めて調査、分析又は評定を実施する必要がなく、第1回及び第2回届出書の記載内容の大きな変更はないことから、改訂の必要はない。

なお、今後もPRAを実施する際は、専門家が実施内容を理解できるよう、継続して記載の改善を行う。

### 【改善が必要なその他の事項 (2)-No.7】 (第3章)

中長期的な評価について、SSG-25 に基づく評価を行い、その考え方と結果を記載する。

#### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】





- 「2.2.1 保安活動の実施状況」をもとに、運用ガイドにおける11項目の安全因子ごとに整理し、中長期的な観点からの有効性について評価を実施した。

#### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- IAEA特定安全ガイドNo.SSG-25に基づく評価を実施するに当たり、運転実績等を蓄積しているところであり、それまでの期間は、「第2章 2.2.1 保安活動の実施状況」において、保安活動の実施状況調査及びその傾向分析を継続する。

#### 【今後の改善計画】

- ◇ 新規制基準への適合性審査合格後約5年の運転経験が蓄積する、特定重大事故等対処施設の設置後の届出時に実施する。(内部事象及び外部事象に係る評価、決定論的安全評価、確率論的リスク評価(PRA)のレビューを含む)
- ◇ 評価に使用したインプット、得られたアウトプット(肯定的なもの及び否定的なもの)、その判断根拠を記載する。

|         | 2019年度   | 2020年度   | 2021年度以降   |
|---------|--|--|--|
| 川内1/2号機 |  | ★ 1号第3回届出<br>特定重大事故等<br>対処施設の設置<br>★ 2号第3回届出 ▽ ▽ | 評価の実施<br> |
|         |  評価のためのデータ(新規制基準に基づく運転実績、運転経験)の収集・蓄積 |  |  |
| 玄海3/4号機 | ★ 3号第1回届出  | ★ 4号第1回届出  | ★ 3号第2回届出<br>特定重大事故等<br>対処施設の設置<br>★ 4号第2回届出 ▽ ▽   |
|         |  評価のためのデータ(新規制基準に基づく運転実績、運転経験)の収集・蓄積 |  |  |
|         |  |  | 評価の実施<br> |

#### 【自主的な改善事項 (3)-No.1】 (第3章) 安全裕度評価に関する改善


##### 【玄海4号機第1回届出書における対応状況】

- 川内1、2号機第2回届出までに反映した以下の内容について、玄海4号機第1回届出書にも同様に反映した。
  - ・ モデル化の範囲、起因事象、モデル化手法、使用するデータに関する記載の充実
  - ・ 今回の評価と過去に公表している評価との比較を追記
- 川内1、2号機第2回届出時に実施したその他自然現象に対する安全裕度評価を、玄海4号機第1回届出にて実施し、各検討事象において影響を受けないことを確認した。

##### 【川内2号機第3回届出書における対応状況】

- 第2回届出において実施したその他自然現象に対する評価加え、火山(降灰)に対して、より保守的なシミュレーションによる安全裕度の確認とその向上を図ることを目的に、設計を超えるハザードの規模定し、安全裕度評価を実施した。

##### 【今後の改善計画】

- ◇ 津波に対する評価に、フラジリティの適用を検討する。
- ◇ モデルに含まれている過度の保守性は極力排除する。\*2
- ◇ クリフエッジエフェクトを防止(緩和)するために実施可能な措置を多様化する。\*2  
( \*2 特定重大事故等対処施設の設置後の届出に併せて対応予定  スライド 13 )

#### 【自主的な改善事項 (3)-No.2】 (第4章) 総合的な評価に関する改善

##### 【玄海4号機第1回及び川内2号機第3回届出書における対応状況】

内容を判断できる程度の記載となるように、継続的に取組みを行っている。

なお、RIDMプロセスの構築については、以下のとおり、取組みを行っている。

- リスク情報の活用を行う項目の検討を行い、2020年4月よりRIDMプロセスを運用開始した。
- 川内1号機第1回届出書の補正(2018年3月30日提出)において記載した計画に基づき、引き続き PRAに係る情報活用の取組みを継続する。