

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
(川内1号機第3回安全性向上評価届出)

2020年 6月11日

改善が必要な主な事項	対応状況	詳細頁
(1)-No.1 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 最新の状態 (as is) の記載について、米国のUFSARやIAEA特定安全ガイド (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 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。	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) 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) 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) 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) 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) 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) 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	11
(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。	対応中	12
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	13
(3)-No.2 (第4章) 総合的な評価に関する改善	継続的に改善	14

【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。

【川内1号機第3回届出書における対応状況】

- 川内1、2号第2回届出書までに以下の改善を図り、川内1号第3回届出書（2020年5月11日届出）についても、同程度の記載を行った。

	これまでに改善を図った項目	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 ・ 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 ・ 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、起回事象、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
	3.1.4 安全裕度評価	・ モデル化の範囲、起回事象、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
	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

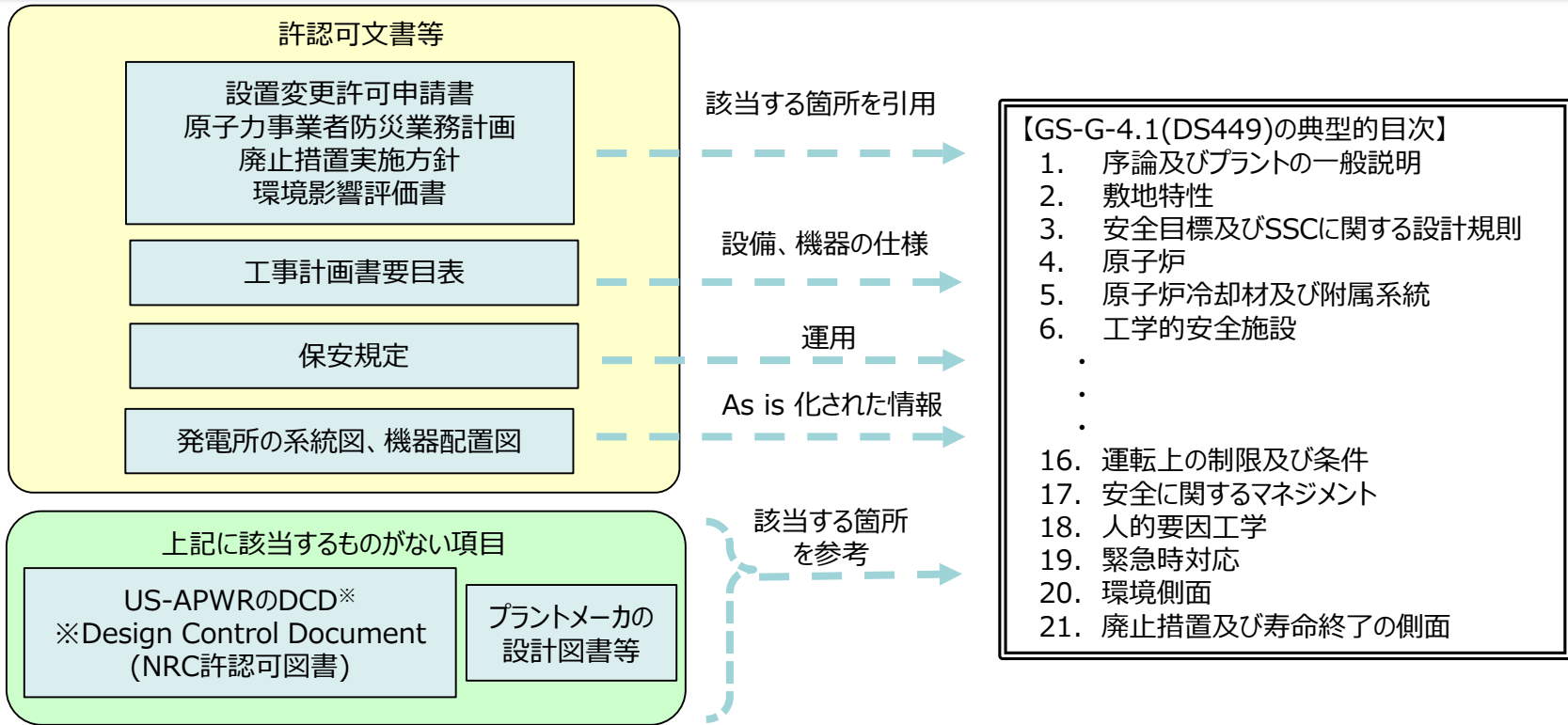
- なお記載内容については、現状にとどまらず広く理解される程度の記載になるよう、今後も改善に努める。

【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特定安全ガイド (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。

【川内1号機第3回届出書の対応状況】

- 許認可文書等に該当する項目がない、IAEA特定安全ガイドGS-G-4.1(DS449)の典型的目次の箇所について、前回の届出より記載の充実を図った。



【今後の改善計画】



- ◇ 今後も継続的に記載の充実を図る。

【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。

【川内1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による高度化の取り組み等を踏まえ、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に向けたPRAモデル貸与の手続きを進めている。
- 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
- これらの取り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、より効果的な取り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、下位の起因果象を上位の起因果象に包絡させて（必ず発生するとして）モデル化する手法であるため、起因果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。

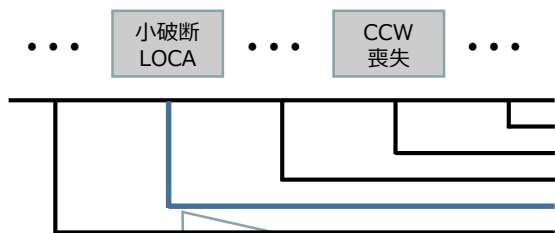
<課題に対する検討>

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、上位と下位の起因果象が同時発生した場合のシナリオを上位の起因果象のシナリオに代表させて評価する。
- 下位の起因果象の発生が上位の起因果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。
- 下位の起因果象の発生が上位の起因果象の成功基準に影響する場合、上位と下位の起因果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、上位の起因果象のFTにおいて下位の起因果象に繋がる故障の発生確率を考慮し、起因果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」は起因果象でもある）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、起因果象の組み合わせを考慮している。（下図参照）

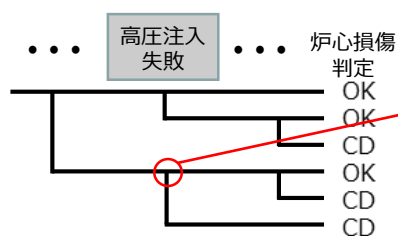
起因果象の組合せ（「小破断LOCA」・「CCW喪失」）の例

階層ET（概念図）



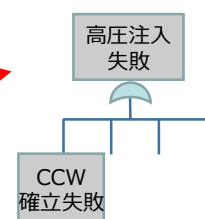
小破断LOCA発生時には、緩和機能のサポート系としてCCWに期待するため、「CCW喪失」が「小破断LOCA」に包絡されると想定すると、保守的な扱いとなる。

緩和系ET（小破断LOCA）（概念図）



FT内でCCW確立失敗の発生確率を考慮することで、起因果象の重畳を適切に表現する。

FT（概念図）



(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"> ○フラジリティ評価上の課題 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。 ○システム評価上の課題 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。
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"> ○フラジリティ評価上の課題 原子炉容器への入力の大ささ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。

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。

【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 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 ▽ 安全性向上評価届出(参考)
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 ・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」(平成30年2月8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。

【川内1号機第3回届出書における対応状況】

- 川内1、2号第2回届出までに反映した以下の改善事項について、川内1号第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、メーカー提案を追加

【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。

【川内1号機第3回届出書における対応状況】

- 本届出書の評価期間中においては、追加された自主設置設備はなかった。従って当該記載箇所については川内1号第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。

【川内1号機第3回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

- ・原子力安全性向上分科会※1

- ※1 外部有識者※2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。

- ※2 川内1号第3回届出においては、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）

- 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。



【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。

【川内1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等を行っていないため、改めて調査、分析又は評定をする必要がなく、第1回及び第2回届出の記載内容を変更する必要がないことから、評価を実施しない。
- なお、今後改めて調査、分析又は評定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12](#)
- ◇ 設置変更許可で対象外とした内部事象及び外部事象は、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12](#)

【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。

【川内1号機第3回届出書における取組み状況】

- 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等を行っていないため、改めて調査、分析又は評価をする必要がなく、第1回及び第2回届出の記載内容を変更する必要がないことから、評価を実施しない。
- なお、今後改めて調査、分析又は評価を実施する場合には、結論だけでなく、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。

【川内1号機第3回届出書における取組み状況】

- PRAの評価結果が変わるような大規模な工事等を行っていないため、改めて調査、分析又は評価をする必要がなく、第1回及び第2回届出の記載内容を変更する必要がないことから、評価を実施しない。
- 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。

【川内1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あたり、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。

	2020年度	2021年度以降
川内1号機	★ 第3回届出 特定重大事故等 対処施設の設置 ▽	評価の実施
	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	
川内2号機	☆ 第3回届出 特定重大事故等 対処施設の設置 ▽	評価の実施
	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	

【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

【川内1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に加え、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を設定し、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。*
- ◇ 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。*
(* 川内1号機特定重大事故等対処施設の設置以降の届出に併せて対応予定)

【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

【川内1号機第3回届出時点における取組み状況】

- 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。
- なお、川内1号第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。