

# 安全性向上評価の継続的な改善に係る 取組み状況について (大飯4号機第2回届出時点)

関西電力株式会社

2021年 9月17日



【全体的な考え方】

1. 「实用発電用原子炉の安全性向上評価届出に係る改善の考え方」（2018年1月17日原子力規制委員会）に示された改善の方向性に沿った当社の取組み状況を本資料にて説明する。
2. 安全性向上評価の目的に照らし、今後とも、大飯4号機の次回以降の評価及び他ユニットの評価の機会を通じて、届出書がより分かりやすく、より良いものになるよう記載内容を改善していく。また、長期的な改善事項について計画的に改善を進めていく。

【本資料の構成】

- 高浜3号機第1回届出後面談にて提出した資料「安全性向上評価の継続的な改善に係る今後の取組みについて」（改訂版）（2018年4月関西電力）にて示した、課題1～課題11に対する更なる改善に向けた実施計画について、それぞれの課題に対する大飯4号機第2回届出時点での取組み状況を次ページ以降で説明する。

## 【課題項目一覧】

No.	内 容	説明項
課題1	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (1)No.1) 安全性向上評価届出書の記載について、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。	12～13
課題2	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (1)No.2) 第1章の記載内容について、最新のプラントの設計及び運用、最新の知見を反映した安全評価を記載する。 記載にあたっては、米国のUFSARやIAEA安全ガイド (DS449) 等を参考にプラントの最新状態を1つの図書で把握できるようにする。	3～4
課題3	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (1)No.3) ①確率論的リスク評価 (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。 ②PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。	14～18
課題4	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.1) 第2章国内外の最新知見の記載に関して、結果だけではなくプロセス等の詳細も記載する。	5～6
課題5	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.2) 第2章追加措置 (自主設置設備) について、自主的に設置した設備に関する記載を充実する。	19～20
課題6	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.3) 取組みの内容や評価の客観性を高めるため、届出書全体について、外部評価を活用する。	21～22
課題7	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (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、結果だけではなく、プロセス等の詳細も記載する。	23～24
課題8	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.5) 決定論的安全評価の既存安全評価コードの妥当性確認結果についてプロセス等の詳細を届出書へ記載。	7～8
課題9	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.6) PRA の専門家が実施内容を理解できる程度の記載とする。	25～26
課題10	(実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (2)No.7) 第3章の中長期的な評価について、IAEA安全ガイド (SSG-25) に基づく評価を行い、その考え方と結果を記載する。	9～10
課題11	(その他) 安全裕度評価 (ストレステスト) に関する改善事項	27～29

**課題 2 (実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (1)No.2)**

届出書 1 章の記載内容について、既存の許認可図書の記載を形式的に合本した記載ではなく、最新のプラントの設計及び運用、最新の知見を反映した安全評価を記載する。記載にあたっては、米国のUFSARやIAEA安全ガイド (DS449) 等を参考にプラントの最新状態を 1 つの図書で把握できるようにする。

**【課題の趣旨に対する考え方】**

- 届出書第1章の役割として、安全性向上評価届出書の第2章～第4章における、調査及び評価を実施する対象範囲を明確化するとともに、現場設備や手順等の最新状況を示すものであるが、記載内容として国際標準なども参考としつつ、全体像を把握できる図書とすることが重要である。

**【2018年1月時点における当社届出書の状況】**

現状は、以下に示すとおりであり、上記の趣旨を踏まえ、改善に取り組んでいく必要があると認識している。

- 最新の許認可図書をもとに、技術基準への適合性が確認された範囲についてプラントの状況を取りまとめた。
- 許認可済みであるが、工事未完了の設備等について注記することにより、最新状況を明確化した。
- 国際標準を参考とした記載にすることは、これまでの会合の動向を踏まえ、今後の検討事項としている。

**【更なる改善に向けた実施計画等】**

- プラントの最新状態をまとめたものを安全性向上評価届出書 1 章の記載にとどめるのではなく、安全上必要な要求事項を明確化するための図書として、今後整備を図っていく。
  - 最新のプラント設計、運用及び安全評価を記載する
    - 安全上必要な要求と現場の状況を整合させるための管理に用いる図書として、評価時点のプラント設計、運用、安全評価を記載。
  - 国際的な動向 (米国UFSARやIAEA安全ガイド等) を参考にする
    - 国際的な動向を把握することは重要と理解し、1 章の記載を検討する際に参考にする。
  - 1 つの図書で把握できる
    - 管理に用いることも考えており、全体像が把握できる図書としてまとめる予定。

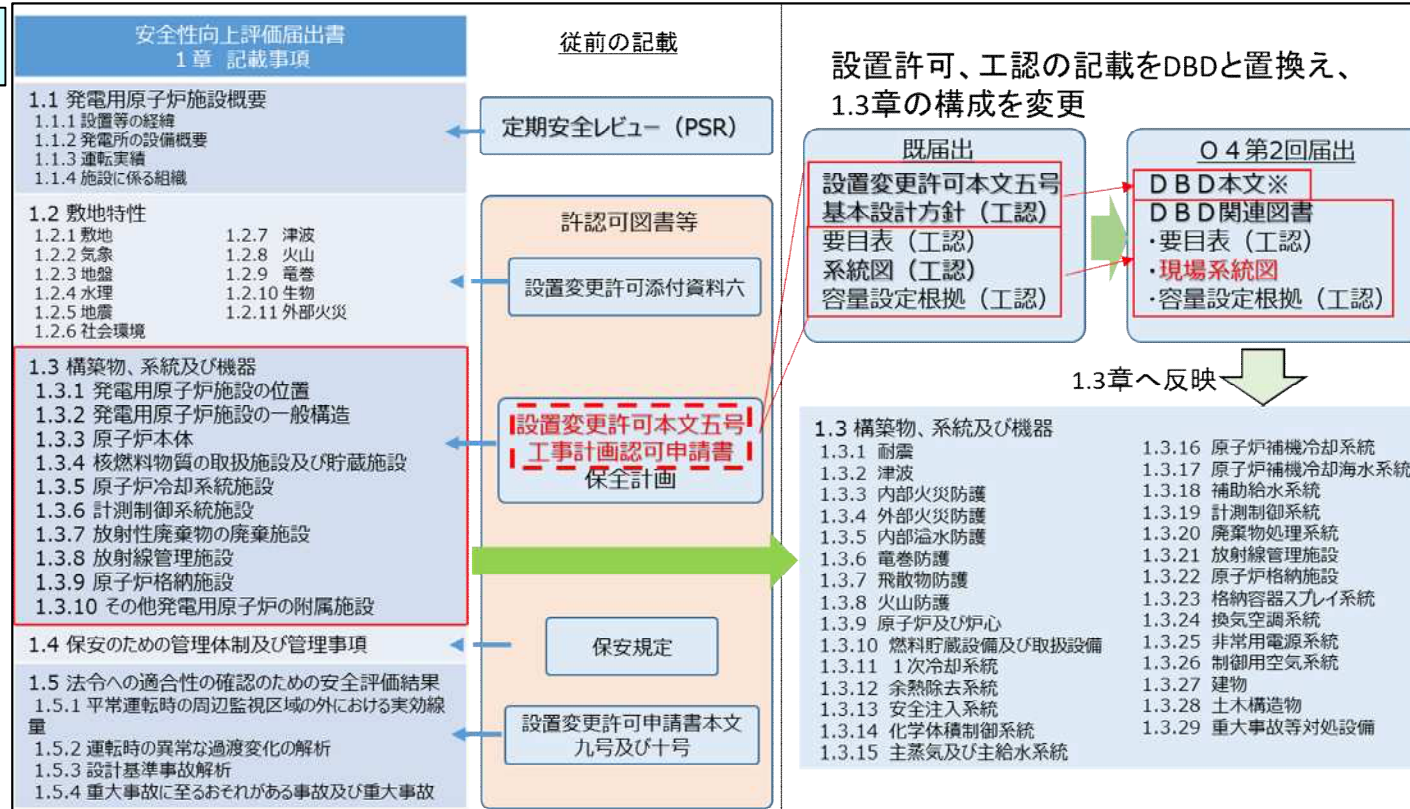
課題 2 (実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方 (1)No.2)

届出書 1 章の記載内容について、既存の許認可図書の記載を形式的に合本した記載ではなく、最新のプラントの設計及び運用、最新の知見を反映した安全評価を記載する。記載にあたっては、米国のUFSARやIAEA安全ガイド (DS449) 等を参考にプラントの最新状態を 1 つの図書で把握できるようにする。

【大飯 4 号機 (第 2 回) 届出時点における取組み状況】

○今回の届出にかかる評価開始時点 (2021年2月) では、第 1 回届出において安全性向上措置として抽出した設計基準文書の整備が完了したことから、第 1 章への取込みを実施している。また、それに合わせ、記載していた系統図を工事計画認可申請に係る系統図から、最新の現場系統図に変更を実施している。今後届出を行う、大飯 3 号機、高浜 3, 4 号機にも同様に展開予定である。

資料 1 再掲



### 課題4（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.1）

届出書2章国内外の最新知見の記載に関して、最新知見の反映について、結果だけではなくプロセス等の詳細も記載する。

#### 【課題の趣旨に対する考え方】

- 反映すべき最新知見の抽出にあたり、その抽出プロセスが妥当であることを示す必要がある。

#### 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

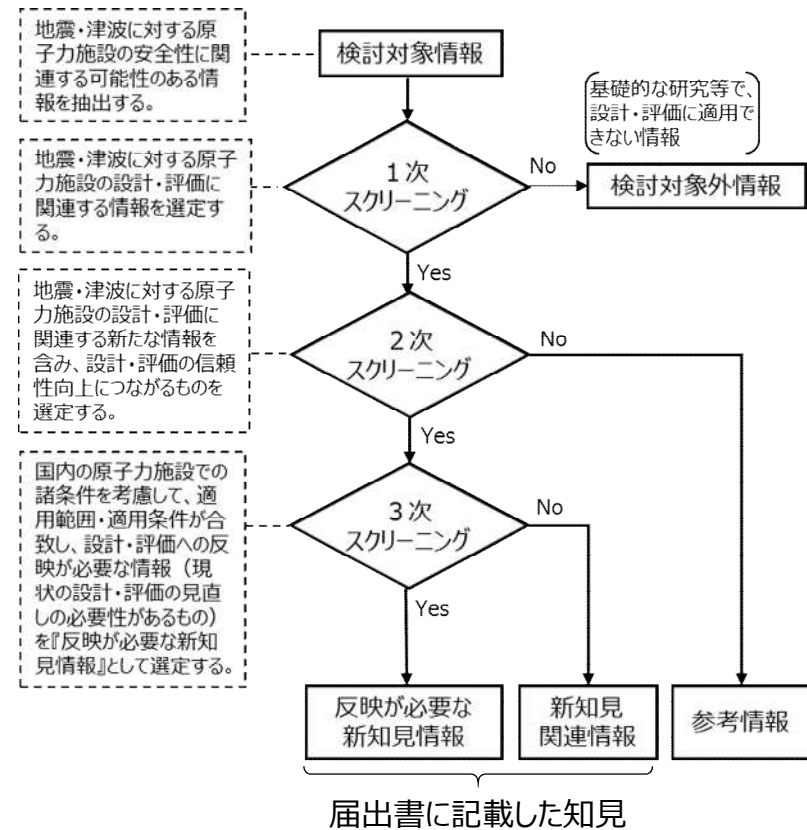
- 結果に至るプロセスをより詳細に記載した。具体的には、知見の判断・検討を行うフローを届出書に記載する等、結果に至るプロセスを明記したことにより、一定の改善は図れていると評価する。

#### 【更なる改善に向けた実施計画等】

- 知見反映に係る採否判断プロセスの説明の更なる充実を図る観点で、以下の項目について検討する。
  - ・反映すべき知見の選定に係る全般的な考え方の記載充実
  - ・最新知見に係る評価のインプットとして安全性を高める知見（メーカ提案、他電力安全性向上措置等）の取込み
  - ・採否検討中又は今後の動向を注視していく知見に関する記載充実

#### 記載の充実例：

#### 新知見のスクリーニング基準 [地震・津波] (届出書第2.2.2.6図抜粋)



課題４（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.1）

届出書２章国内外の最新知見の記載に関して、最新知見の反映について、結果だけではなくプロセス等の詳細も記載する。

【大飯４号機（第２回）届出時点における取組み状況】

○知見反映に係る採否判断プロセスの説明の更なる充実を図る観点で、以下の項目について届出書に反映した。

- ・最新知見に係る評価のインプットとしてメーカ提案を追加した。
- ・既に公開されている情報について、採否検討中又は今後の動向を注視していく知見を参考情報等として届出書に記載した。

→**第1回届出書にて反映済**

<その他>

○他電気事業者の安全性向上措置の検討を行うスキームの運用を開始。

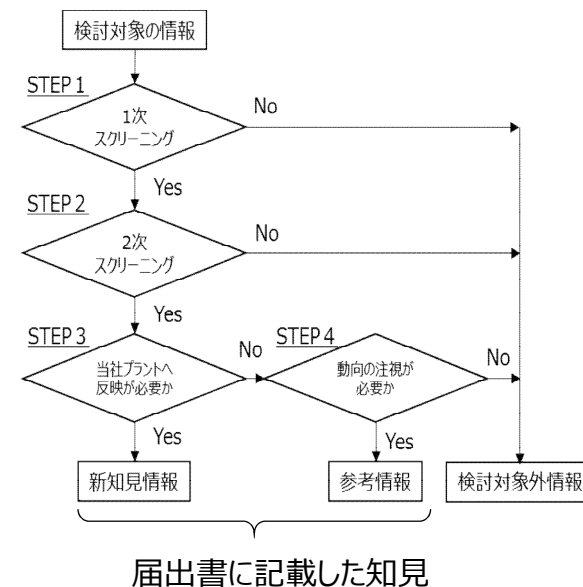
- ・今後の届出にて取組み状況を記載予定。

※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(2021年3月18日)において、他社の改善事例を自社への反映をするスキームに関連する議論があった(第12回原子力規制委員会(2021年6月9日)にも関連した議論有)

記載の充実例：

新知見のスクリーニング基準

(第2.2.2.5図 国内外の学会等の情報：自然現象以外)



**課題8（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.5）**

決定論的安全評価の既存安全評価コードの妥当性確認結果についてプロセス等の詳細を届出書へ記載。また、最新知見を取り入れた評価手法を積極的に採用することで、より多角的にプラントの挙動を評価することができるとともに、事業者としての技術力の向上も期待。

**【課題の趣旨に対する考え方】**

- 決定論的安全評価においては、既存安全評価コード（設置変更許可申請書添付書類十のDBA及びSA評価で使用している安全評価コード）についての海外等の不具合情報等を確認すること、及び安全評価に影響を与える設備の変更有無を確認することにより、コード改良、評価の見直しの要否の確認する必要がある。これらの確認によって、最新知見を踏まえて、既存安全評価が妥当であると判断できる。
- 新しい安全評価手法の取り入れの目的は、今後講じる措置等に応じて、その効果を適切に評価することである。そこで、その目的に照らし、調査、研究・開発に取り組むことが重要である。
- これらの活動について、プロセス等の詳細を届出書に記載することで、結果に至るプロセスを明確に示すことは重要である。

**【2018年1月時点における当社届出書の状況】**

- 安全評価に影響を与える設備の変更がなかったこと、及び、既存安全評価コードの改良を要するような海外等の不具合情報等がなかったことにより、評価の見直しの必要がないことを記載している。ただし、既存安全評価コードの確認及び新しい安全評価手法に対する取組み状況については、結果に至るプロセスを更に明確に示す観点から、届出書の現状記載は改善の余地がある。

**【更なる改善に向けた実施計画等】**

- 既存安全評価コードの更新・バグ等の最新知見について、評価見直し要否の判断に至ったプロセスの詳細（調査対象コード、情報源、評価見直し要否の判断根拠等）を記載する。
- 今後講じる措置等に応じて、その効果を適切に評価すること等を目的として、新しい安全評価手法（最適評価コード、統計的安全評価手法等）について、調査、研究・開発に取り組んでいることを記載する。また、今後もこれらの調査、研究・開発に取り組んでいく。



課題8（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.5）

決定論的安全評価の既存安全評価コードの妥当性確認結果についてプロセス等の詳細を届出書へ記載。また、最新知見を取り入れた評価手法を積極的に採用することで、より多角的にプラントの挙動を評価することができるとともに、事業者としての技術力の向上も期待。

【大飯4号機（第2回）届出における取組み状況】

○既存安全評価コードの更新・バグ等の最新知見について、評価見直し要否の判断に至ったプロセスの詳細（調査対象コード、情報源、評価見直し要否の判断根拠等）を記載した。

→[第1回届出書にて反映済](#)

○今後講じる措置等に応じて、その効果を適切に評価すること等を目的として、新しい安全評価手法（最適評価コード、統計的安全評価手法等）について、調査、研究・開発の取組みに関する説明を記載した。

→[第1回届出書にて反映済](#)

○最新知見を取り入れた評価手法の調査、研究・開発の取組み状況として、SPARKLE-2コード※の設計基準事象への適用性について公開文献としてまとめた最新の状況について記載した。公開文献では以下の事項について確認されている。

→[届出書反映済](#)  
[大飯4号機（第2回）届出にて反映]

- ・SPARKLE-2コードが「原子炉冷却材喪失」事象を除いた設計基準事象に適用可能であること。
- ・SPARKLE-2コードを設計基準事象に適用した評価結果は、MARVELコード等※による評価結果と比較して、裕度が拡大する結果が得られ、より実現象に即した評価となっていること。

※SPARKLE-2コードは、三菱重工業（株）が開発した1次系全体の熱流動と3次元炉心動特性との相互作用が評価可能なプラント過渡特性解析コードである。従来のPWRにおける設計基準事象の解析に用いられているプラント過渡特性解析コードMARVEL等に対して、SPARKLE-2コードでは、過渡時の出力分布変化やボイド生成に伴う反応度帰還効果を適切に取り込むことで、最小DNBRや燃料中心温度の最適評価が可能となる。炉心損傷防止に関する重大事故等対策の有効性評価に適用している。

課題10（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.7）  
届出書3章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について、IAEA安全ガイド（SSG-25）に基づく評価を行い、その考え方と結果を記載する。

#### 【課題の趣旨に対する考え方】

○中長期評価として、多様な視点から、それらの相互関係も考慮に入れた考察を通じて、安全性向上に資する追加措置を抽出し、継続的改善につなげていくことは重要である。

#### 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

- その要因の一つとして、中長期的な評価に係る一部の安全因子について、新規規制基準導入に伴い状況が大きく変化していることから、現時点では中長期（運用ガイドでは10年毎）の評価の実施が難しい。
- このことから、安全因子が整い総合評価を行うことができる状況になるまでの間は、評価結果ではなく、中長期評価の実施に向けた課題認識とその解決に向けた計画を提示することとした。
- IAEA安全ガイド（SSG-25）に基づく評価に関して、具体的な評価はそれと同等の規格である日本原子力学会標準（AESJ-SC-S006:2015）に基づき評価を行うこととし、今後、評価を実施予定。

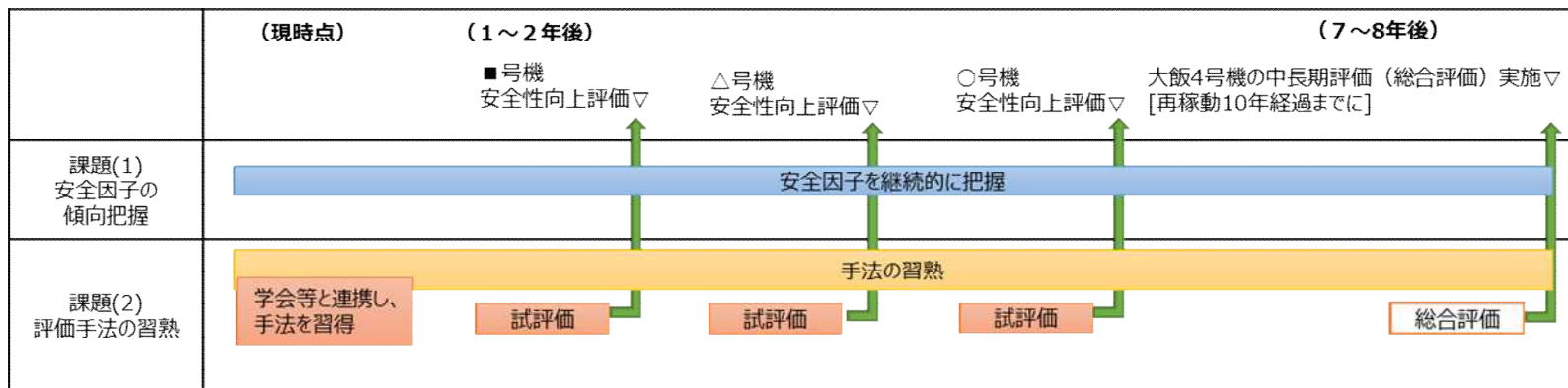
#### 【更なる改善に向けた実施計画等】

- 「3.2 安全性向上にかかる活動の実施状況に関する中長期的な評価」に上記の具体的な進め方を明記する。
- 以下の事項を課題として認識し、課題解決に取り組んでいく。
  - （1）安全因子の傾向把握  
管理方法等が大きく変化した安全因子も含めて、中長期的な傾向が把握できるまで間、実績の収集に努める。  
（プラント毎に再稼動から10年経過までに）
  - （2）評価方法の習熟  
中長期評価における総合評価の実施に向けて、今後の届出書作成作業を通じて、安全因子間の相関関係の分析や安全因子毎の評価等、総合評価に至る一部分の評価を取り出して試評価を行い、評価手法の習熟に努める。

課題 1 0（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.7）  
届出書 3 章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について、IAEA安全ガイド（SSG-25）に基づく評価を行い、その考え方と結果を記載する。

【大飯 4 号機（第 2 回）届出時点における取組み状況】

○今回の届出において具体的な進め方として、下記の図を届出書に記載した。



○課題として認識している事項についての、取組み状況は以下のとおりである。

(1) 安全因子の傾向把握

安全因子の中長期的な傾向を把握するべく、実績の収集に努めており、今後も継続していく。

→継続

(2) 評価方法の習熟

日本原子力学会と連携して作成を進めていた P S R + 指針に関する技術レポートが完成し、現在、具体的な評価の実施手順を作成中である。手順完成後、適宜試評価を行い、その結果を届出書に記載し、公表する。

→継続

<補足>

技術レポートが発行（2020年12月）され、現在、高浜 3 号機第 3 回評価において、一部の因子を対象に試評価を実施中であり、届出書へ記載予定である。（2021年10月頃届出予定）試評価結果を踏まえて、高浜 3 号第 4 回届出にて本評価を実施を予定しており、大飯 4 号機では第 3 回もしくは第 4 回にて本評価を実施、届出書に記載予定である。

---

以降、前回から状況に変化のない課題

**課題1（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（1）No.1）**

安全性向上評価届出書の記載について、結果だけでなく、調査及び評価の方法、プロセスも含めて記載することが必要。各分野の専門家も含めた安全性向上に向けた議論が可能となるよう専門家も含め、広く理解される程度の記載とする。

**【課題の趣旨に対する考え方】**

- 事業者の安全性向上に向けた取組みの状況を幅広い分野の専門家を含めた方々にご理解いただくためには、評価のプロセスを分かりやすく記載する必要がある。

**【2018年1月時点における当社届出書の状況】**

- 評価結果だけを示すのではなく、評価結果を導いた考え方を示す情報として、調査及び評価の方法、評価のプロセスについて、より詳細に記載したことにより、一定の改善は図れていると評価する。
- ただし、改善項目のうち一部項目については、記載の充実等の対応を図る必要がある。
- また、その他届出書全体としての記載充実については、すでに反映を行っているものもあるが、改善の余地がある。

**【更なる改善に向けた実施計画等】**

- 記載の充実等が必要な事項と認識しているものについては、今後の届出にて対応予定。
- なお、今回、一部記載を充実させた事項についても、今後の届出書作成時において、より分かりやすい記載を目指し、引き続き改善に努めていく。（届出書の記載ぶりに係るレベルアップの観点からの外部評価として、電力間レビューも活用する。）

**課題1（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（1）No.1）**

安全性向上評価届出書の記載について、結果だけでなく、調査及び評価の方法、プロセスも含めて記載することが必要。各分野の専門家も含めた安全性向上に向けた議論が可能となるよう専門家も含め、広く理解される程度の記載とする。

**【大飯4号機（第2回）届出時点における取組み状況】**

○記載の充実等が必要と認識しているものについては、記載の充実、記載見直しを実施した。

主な記載充実事項：

- ・（課題3）過去に公開したPRA結果と今回の結果の比較、評価結果の変遷の整理を追記
- ・（課題8）安全解析コードの評価見直しの要否判断の根拠及び新しい安全評価手法の調査、研究開発に取り組んでいる旨を追記
- ・（課題9）PRA評価の詳細に関する記載の充実
- ・3章被ばく評価結果に関して、その評価目的に照らし、説明を充実（敷地境界線量評価について、被ばく経路毎での線量に寄与する核種等について考察を充実）
- ・2章自主的に講じた措置に関して、原子力安全の推進にかかる全社体系を追加

**第1届出書  
にて反映済**

→**届出書に反映済**

（T4第2回より展開中）

○記載の深さ自体が適切であるかの観点で、届出書の第2章～第4章について電力間レビューを活用し、→**継続**  
その結果も踏まえ、記載の見直し・充実を図った。今後の届出書作成時においても、より分かりやすい記載を目指し、引き続き改善に努めていく。（当面の間電力間レビューも活用する。）

**課題3（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（1）No.3）**

- ①確率論的リスク評価（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。
- ②PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。

**【①PRAの目的に照らした手法の見直し】****【課題の趣旨に対する考え方】**

- 届出におけるPRAの目的は評価結果に基づくプラントの脆弱性の把握と安全性向上対策の立案であることから、より現実的な評価を実施することが望ましく、その目的に合った評価手法とする必要がある。また、この考え方は、今後のリスク情報の活用において用いるPRAについても同様である。

**【2018年1月時点における当社届出書の状況】**

- 上記の目的を踏まえ、機器故障率や起因事象発生頻度等の入力データの最新化や海外専門家によるレビュー結果のPRAモデルへの反映（イベントツリーの細分化等）などを行うとともに、個別プラントの故障率データを用いた感度解析や人間信頼性解析（HRA）手法を変更した感度解析を行うなど、より現実的な評価とするよう努めている。ただし、現行手法には課題があり、引き続きその解決に取り組んでいく必要があると認識している。

**【更なる改善に向けた実施計画等】**

- リスク情報を活用した意思決定（RIDM）を導入することによる更なる安全性向上を目的として、PRA手法の見直し（高度化）について、鋭意、進めている。PWR/BWRパイロットプラントによる高度化の取り組み等を踏まえて、適宜、反映していく。
- 地震PRAについては、現実的な評価手法を目指し、翌年度、フラジリティ評価やシステム評価についての課題を抽出する。そのうえで、各課題の優先度等を考慮し、解決に向けた計画を立案する。また、既に課題として明確である、以下については、計画を立案するとともに、対応方針についても検討する。
  - ・階層イベントツリーに代わる手法の検討（階層イベントツリーの適用性検討も含む）
  - ・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翌々年度より、計画に則り、評価手法の構築等に取り組んでいく。
- また、これらの取り組みは、電力大の課題として認識しており、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。

○実施スケジュール

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	
新検査制度		試運用開始（2018年9月）		本格運用開始（2020年4月）			
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 高度化計画 （高浜3,4号機 （大飯3,4号機）		▼ 高浜3号機初回届出 （2018年1月）	▼ 高浜4号機初回届出 （2019年3月）	▼ 大飯3号機初回届出 （2020年1月） ▼ 大飯4号機初回届出 （2020年4月）	▼ 大飯4号機第2回届出 （2021年8月）	▼ 高浜3号機第2回届出 （2021年10月予定）	
地震PRA 現実的な手法に係る計画		モデル構築	モデル高度化※2				
津波PRA 高度化計画		・課題の抽出・計画の立案 ・既に明確な課題の対応方針検討		評価手法高度化※3			
その他	内部火災PRA	研究開発			パイロットプラントによる試行		
	内部溢水PRA	研究開発		パイロットプラントによる試行			

※1 2018年2月8日に電気事業連合会から公表した「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」に基づく計画。

※2 主な高度化の取り組みとして以下の4項目が挙げられる。

○起因事象精緻化 ○人間信頼性解析における最新手法適用 ○イベントツリー・フォールトツリー精緻化 ○個別プラント故障率適用

大飯3,4号機、高浜3,4号機共に上記項目については新検査制度本格運用開始時までに反映実施済みであり、大飯3,4号機は初回にて届出済み。

高浜3,4号機は第2回にて届出予定。

※3 原子力リスク研究センター（NRRC）の研究成果等に応じて、適宜、評価モデルに取り込むとともに、それぞれの時点で目処が立ったものを届出に反映。



## 課題3（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（1）No.3）

- ①確率論的リスク評価（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。
- ②PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。

## 【②PRAの内容の分析】

## 【課題の趣旨に対する考え方】

- 過去に公開したPRA結果との比較・分析を行うことは事業者としての説明責任の観点、また、現行PRA手法の妥当性確認の一助とする観点から、重要である。加えて、この比較・分析を行うことで、事業者としての技術力向上にも寄与するものと考えている。

## 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

- 該当する記載なし。

## 【更なる改善に向けた実施計画等】

- 過去に公開したPRA結果と今回のPRA結果とを比較し、内容の分析を進めている。具体的には、以下の公表済みの結果の比較を通じて、評価結果の変遷について整理・分析している。これらの分析について記載を拡充する。また、過去から評価手法を変更した理由及び変更に係る妥当性の説明について記載する。地震、津波PRAについては、ハザード評価の変遷について記載し、新たに参照した文献についても記載する。
  - ①アクシデントマネジメント（AM）整備後PSA報告書（追加AM対策整備前）
  - ②アクシデントマネジメント（AM）整備後PSA報告書（追加AM対策整備後）
  - ③定期安全レビュー（PSR）報告書
  - ④新規制基準適合性に係る設置変更許可申請書
  - ⑤安全性向上評価届出書（SA対策なしの状態）
  - ⑥安全性向上評価届出書（SA対策ありの状態）

課題3（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（1）No.3）

- ① 確率論的リスク評価（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。
- ② PRAの内容を分析し、その結果を明らかにする。

【①PRAの目的に照らした手法の見直し：大飯4号機（第2回）届出における取組み状況】

- 内部事象出力時PRAはPWR/BWRパイロットプラントによる高度化の取組み等を踏まえて高度化した。[→第1回届出書にて反映済](#)
- 地震PRAについては、現実的な評価を目指し、現状の脆弱性評価やシステム評価の課題を抽出・整理した。[→継続](#)  
 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）  
 ⇒ 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。[→確認済み](#)
  - （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 <P18に詳細>  
 ⇒ 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。[→継続](#)

【② PRAの内容の分析：大飯4号機（第2回）届出における取組み状況】

[→第1回届出書にて反映済](#)

- 過去に公開したPRA結果から今回のPRA結果までの変遷を整理・分析した内容を記載した。また、過去から評価手法を変更した理由及び変更に係る妥当性の説明を記載した。

(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SSCs 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を抽出した。抽出したシナリオの例を以下の表に示す。

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点を踏まえ、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、今回の届出においては、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。

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伝熱管破損は複数本破損を想定し、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 SGへの入力に対する伝熱管の損傷規模（損傷本数）とその不確実さについて検証した結果を踏まえてフラジリティ評価を行う。</li> <li>○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。</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 原子炉容器への入力の大きさに対する各支持構造物部材の損傷程度と、それらの損傷程度に応じた1次冷却材管や炉内構造物の応答変化への影響を検討した結果を踏まえて、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>

## 課題5（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.2）

届出書2章追加措置（自主設置設備）について、自主的に設置した設備に関する記載は、実際の施設の状況を把握するために重要な要素であり、記載を充実する。

## 【課題の趣旨に対する考え方】

- 発電所施設の全体像を把握するにあたり、基本的に許認可対象外である自主設置設備等については、この安全性向上評価制度を活用して、その種類や設備仕様等について示すことは重要である。

## 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

- 自主的に設置した設備は、機能ごとに分類される対応手順に従って表形式で多様性拡張設備を整理しており、本表に紐付く形でその仕様に関する記載を届出書に記載したことにより、一定の改善は図れていると評価する。

多様性拡張設備整理表（例）（届出書第2.2.1.9.1.4表抜粋）

手順分類	機能喪失を想定する （途中略）設備	対応手段	対応手順	対応手順の概要	対応設備
原子炉冷却材 圧力バウンダリ が低圧の（途中略）冷却する ために必要な 手順	余熱除去ポンプ又は余熱除去冷却器	蒸気発生器2 次側による炉心 冷却（注水）	蒸気発生器補給用仮設中 圧ポンプ（電動）による蒸 気発生器への注水	（略）	【重大事故等対処設備】 （略） 【多様性拡張設備】 （略）
			（略）	（略）	・蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動） ・発電機（蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ用）

多様性拡張設備仕様表（例）（届出書第2.2.1.9.2.4表抜粋）

機器名称	常設/可搬	耐震性	容量	揚程	台数
蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ（電動）	可搬	-	30m <sup>3</sup> /h	約300m	2台
発電機（蒸気発生器補給用仮設中圧ポンプ用）	可搬	-	約125kVA	-	1組

## 【更なる改善に向けた実施計画等】

- 自主設備に係る教育・訓練の状況について、第2章の保安活動の調査にて評価していることを記載する。

課題5（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.2）

届出書2章追加措置（自主設置設備）について、自主的に設置した設備に関する記載は、実際の施設の状態を把握するために重要な要素であり、記載を充実する。

【大飯4号機（第2回）届出時点における取組み状況】

○自主設備に係る教育・訓練の状況について、第2章の保安活動にて評価していることを記載した。

→[第1届出書にて反映済](#)

### 課題6（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.3）

届出書に対して外部評価を受けることにより、取組みの内容や評価の客観性を高めることができるため、届出書全体について、外部評価を活用する。

#### 【課題の趣旨に対する考え方】

○届出書に対する外部評価に期待される役割は「①記載ぶりに関して、記載の深さ自体が適切であるか」、「②評価内容に関して、事業者がプラントの現状を適切に把握し、必要な追加措置を抽出しているか」、についての客観的なチェックをいただくものと認識している。

#### 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

○課題の趣旨に沿った外部評価として、評価結果、届出書について、社外の有識者（三島京大名誉教授、小泉阪大名誉教授）による外部評価を実施済。

#### 外部評価における主なコメント（例）（届出書第4.1.2.1表抜粋）

分野	内容	コメントを踏まえた当社の対応
保安活動	○「改善に努めている」との記載にとどめるのではなく、プラントユニークで努力しているところをもっと重視してはどうか。	・改善活動として、発電所独自に取り組んでいる事項も届出書に記載する。 具体的には、原子力防災訓練の改善を図っている状況に関する記載の充実を図った。
確率論的 リスク評価 及び 安全裕度 評価	○対策の検討・実施に当たっては、PRAの結果ありきではなく、現場（対策実施箇所）ときちんとコミュニケーションを取ることが重要。	・対策実施の検討に当たっては、「検討チーム」の場等を活用し、評価担当箇所と発電所の対策実施箇所間でコミュニケーションを図り、評価結果の共有及び相互理解を図った上で、一体となって対策の検討を行った。今後もこの活動を継続していく。
全般	○届出書の記載として「活動ができています」と評価しているところは、根拠を分かりやすく説明すること。	・「活動ができています」と評価した根拠について記載を充実させた。

#### 【更なる改善に向けた実施計画等】

○外部評価を活用する目的や有識者の選定に係る観点について、記載を充実する。

○届出書の記載ぶりに関して、記載の深さ自体が適切であるかの観点で、当面の間、電力間レビューを活用する。

課題6（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.3）

届出書に対して外部評価を受けることにより、取組みの内容や評価の客観性を高めることができるため、届出書全体について、外部評価を活用する。

【大飯4号機（第2回）届出時点における取組み状況】

○外部評価の目的・有識者の選定に係る観点（独立性の確保等）について明確に記載した。

→[第1届出書  
にて反映済](#)

○届出書の記載ぶりに関して、記載の深さ自体が適切であるかの観点で、電力間レビューを活用した。

→[実施済](#)

### 課題7（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.4）

届出書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。

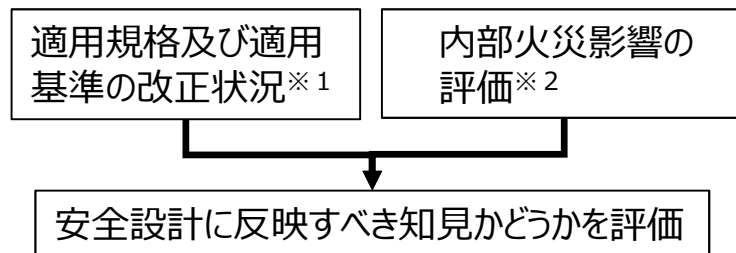
#### 【課題の趣旨に対する考え方】

- 発電所の安全設計の前提となっている内部事象及び外部事象の評価に関して、安全設計に影響するような情報の抽出等にあたり、その評価プロセスが妥当性なものであることを示す必要がある。

#### 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

- 内部事象及び外部事象の評価のプロセスをより明確に記載したことにより、一定の改善は図れていると評価する。

##### 【内部事象の評価に係る届出書の構成（内部火災の例）】



※1 工事計画書の基本設計方針に示す規格・基準の改正内容に関して、安全設計（火災発生防止、感知・消火、影響軽減等）への影響を確認

※2 現場における設備改造または資機材の持込みによる火災評価条件への影響を確認

##### 【外部事象の評価に係る届出書の構成】

評価のプロセスとして、外部事象（地盤、地震、津波、火山、竜巻）に係る評価根拠となる知見は、届出書「2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見」を引用する構成とし、内部事象及び外部事象に係る評価との紐付けを明確にした。

#### 【更なる改善に向けた実施計画等】

- 「3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価」の評価対象をSSG-25の記載などを参考に拡充を図る。  
（高浜3号機の次回評価時及び後続ユニットの届出書作成時から反映予定）



課題7（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.4）

届出書3章内部事象及び外部事象に係る評価について、結果だけではなくプロセス等の詳細も記載する。

【大飯4号機（第2回）届出時点における取組み状況】

- 外部事象の評価対象について、設置変更許可申請書添付資料八において記載の設計上考慮している自然現象、外部人為事象に拡充して評価を実施した。今後、「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」を実施する際に、評価対象についてSSG-25の記載などを参考にさらに拡充を図る。

→[継続](#)

課題9（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.6）  
PRAの専門家が実施内容を理解できる程度の記載とする。

【課題の趣旨に対する考え方】

○事業者として実施したPRAに関する説明責任の観点から、記載の充実は重要である。

【2018年1月時点における当社届出書の状況】

○今回実施したPRAの評価内容が概ね把握できる記載内容としているが、PRAの専門家を念頭に、評価の詳細について説明の充実を図る必要がある。

【更なる改善に向けた実施計画等】

- 今後、P R Aの専門家が実施内容を理解できる程度の記載となるよう、評価に係る説明を拡充していく。
- 説明の充実を図る予定の主な項目は、下記のとおり。
  - ・非公開箇所に係る説明  
（機密上の理由から非公開としている箇所について、機密情報の特定に繋がらない範囲で説明を補足する。）
  - ・プラント個別データの使用箇所に係る説明  
（モデル構築及び評価にあたり使用したプラント個別データの種類について、説明を補足する。）
  - ・人間信頼性解析（HRA）に係る説明  
（操作に係る診断過誤率評価手法や操作間の従属性評価手法についての説明（変更前後の手法の相違）を拡充する。）
  - ・地震に対する建屋・機器フラジリティに係る説明  
（機器フラジリティの評価プロセスについて説明を拡充する。）
  - ・地震PRAの高度化等の今後の取り組みに係る説明 等  
（今後の当社の対応方針を中心に説明を拡充する。）

課題9（実用発電用原子炉の安全性向上評価の継続的な改善の考え方（2）No.6）  
PRAの専門家が実施内容を理解できる程度の記載とする。

【大飯4号機（第2回）届出における取組み状況】

PRAの専門家が実施内容を理解できる程度の記載となるよう、評価に係る説明を充実させた。説明を充実させた主な項目は、下記のとおり。

- ・非公開箇所に係る説明  
（代表的な事故シナリオとそこから抽出された追加措置との関係等、機密情報の特定に繋がらない範囲で説明を追記した。）

→[第1回届出書にて反映済](#)
  
- ・プラント個別データの使用箇所に係る説明  
（モデル構築及び評価にあたり使用した大飯4号機の個別データの種類について、説明を補足した。）

→[第1回届出書にて反映済](#)
  
- ・人間信頼性解析（HRA）に係る説明  
（操作に係る診断過誤率評価手法や操作間の従属性評価手法についての説明を補足した。）

→[第1回届出書にて反映済](#)
  
- ・地震に対する建屋・機器フラジリティに係る説明  
（機器フラジリティについて、機器の例をあげ、評価プロセスの説明を記載した。）

→[第1回届出書にて反映済](#)
  
- ・地震PRAの高度化等の今後の取組みに係る説明 等  
（地震PRAの高度化の取組みの現状及び、今後の対応方針を中心に説明を記載した。）

→[第1回届出書にて反映済](#)

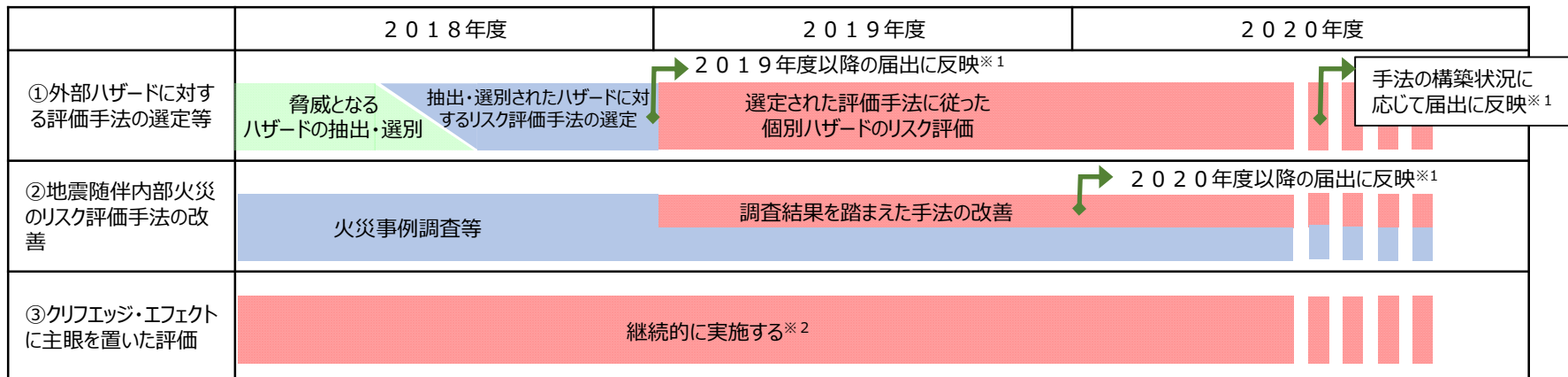
## 課題 1 1（その他） 安全裕度評価（ストレステスト）に関する改善事項

### 【2018年1月時点における当社届出書の状況】

- ① 地震・津波に対するその他の自然現象の重畳について評価を実施。一方、地震・津波以外の単体評価は実施出来ていない。
- ② 地震・津波に対する随伴事象の影響について評価を実施。ただし、地震随伴内部火災に関しては、地震による機器の損傷と火災発生の従属性等に係る知見が十分でないことから、工学的な判断による定性的な影響評価を実施。
- ③ 余裕時間評価や津波遡上評価等の結果からプラントの脆弱点を見つけ出し、安全性向上対策を抽出。

### 【更なる改善に向けた実施計画等】

- ① 火山噴火や竜巻といった地震・津波以外の外部ハザードの影響を適切に評価できる手法について調査等を行うことにより、外部ハザードのリスクに対する評価手法の構築等に取り組んでいく。
- ② 随伴事象に関して、地震随伴内部火災のリスクを適切に評価できる手法について調査等を行うことにより、当該のリスクに対する評価手法の改善等に取り組んでいく。
- ③ クリフエッジ・エフェクトに主眼を置くことによりプラントの脆弱点を見つけ出し、それに対する緩和手段を検討する。



※1 既に初届出を実施した高浜3号機は次回の安全裕度評価実施時に、その他のプラントは初届出時に、それぞれの時点での手法の選定・構築・改善状況について目処が立ったものを届出に反映。

※2 既に初届出を実施した高浜3号機は次回の安全裕度評価実施時に、その他のプラントは初届出時に反映する。

課題 1 1（その他）

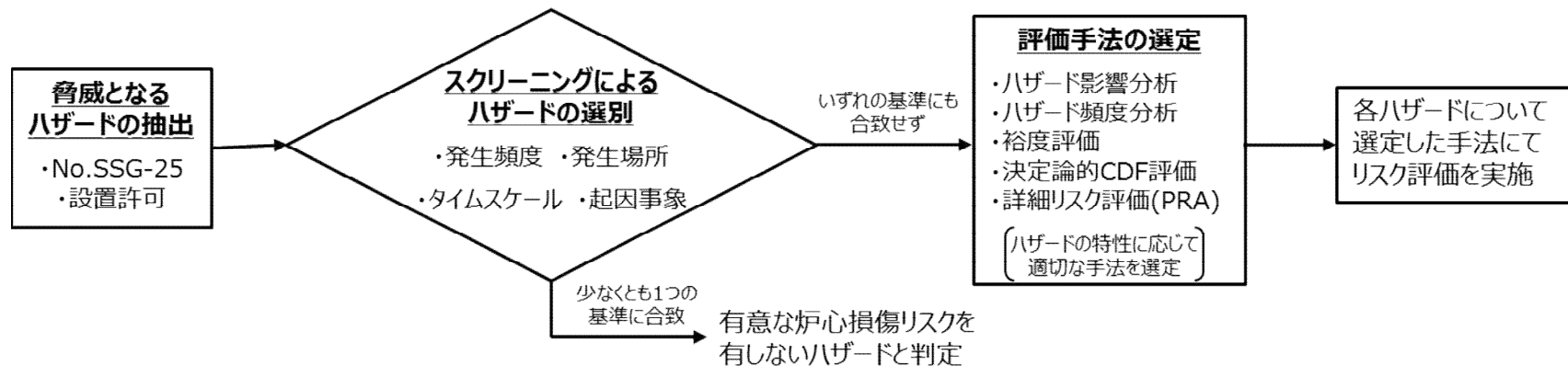
安全裕度評価（ストレステスト）に関する改善事項

【大飯 4 号機（第 2 回）届出における取組み状況】

①外部ハザードに対する評価手法の選定等 →第1回届出書にて反映済

- ✓ 大飯 4 号機第 1 回届出において、IAEA 特定安全ガイド No. SSG-25 に記載されている外部ハザード及び設置許可で評価対象となっている外部ハザードについて、日本原子力学会標準「外部ハザードに対するリスク評価手法の選定に関する実施基準：2014」を基にリスク評価を実施した。
- ✓ 火山については、大山火山の大山生竹テフラ(DNP)の噴出規模に係る許認可のうち設置許可のみ審査完了の状況のため、設工認が完了した段階で評価を検討する。

<外部ハザードに対するリスク評価手法選定の流れ>



②地震随伴内部火災のリスク評価手法の改善 →継続

- ✓ 国内の火災発生事例等を調査したが、新たな知見は得られなかった。
- ✓ 今後は海外の動向等も踏まえて評価手法の改善について検討していくこととする。

③クリフエッジ・エフェクトを主眼においた評価 →第1回届出書にて反映済

- ✓ 高浜 4 号機第 1 回届出においては、全ての緩和手段が喪失し炉心損傷等に至る限界点である「クリフエッジ」だけでなく、それ以下の地震加速度や津波高さで緩和機能等が喪失することによって収束シナリオの数が増える点に着目した評価を試みた。
- ✓ 以降、大飯 3 号機第 1 回届出および大飯 4 号機第 1 回届出においても同様に、収束シナリオの数が増える点に着目した評価を実施した。

＜クリフエッジ・エフェクトに主眼をおいた評価結果の例（地震の出力運転時炉心損傷）＞

地震加速度区分	イベントツリーの起因事象	クリフエッジ・エフェクトを引き起こす地震加速度	クリフエッジ・エフェクト	各クリフエッジ・エフェクトを引き起こす機器	収束シナリオ		
					機能喪失した収束シナリオ	機能する収束シナリオ	機能する収束シナリオ数
区分1 (1.07G未満)	主給水流量喪失 外部電源喪失	1.07G未満	主給水流量喪失	主給水系	—	①～⑥	6
			外部電源喪失	外部電源系			
		1.07G	補助給水による蒸気発生器への給水（電動またはタービン動）機能等の喪失 補助給水による蒸気発生器への給水（タービン動）機能等の喪失	原子炉建屋（主蒸気管室）	①、⑤、⑥	②～④	3
		1.26G	高圧注入による炉心への注水機能等の喪失	原子炉建屋（インナーコンクリート）	②～④	—	0

- ✓ ただし、上記のとおり、収束シナリオの数が増える様子が明らかになったが、この結果から追加措置を抽出するなどの新たな知見を得ることは難しいと考える※

※：例えば、収束シナリオが4つ減少する1.05Gと、2つ減少する1.18Gを比較して、どちらを強化するほうがプラントの脆弱性が緩和されるか、といった優先順位は、ストレステストの結果だけでは判断しにくい。

- ✓ 以上を踏まえ、今回試みた方法にこだわることなく、今後も「クリフエッジがもたらす影響を総合的に評価して脆弱点を見つける」ことを継続していく。