

玄海原子力発電所4号機

第4回 安全性向上評価の概要について

2023年11月13日

九州電力株式会社

補足：「玄海原子力発電所3号機 第3回 安全性向上評価の概要について」との相違箇所を赤字にて示す。

- 届出書本文

- 第1章 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲

- 第2章 安全性の向上のため自主的に講じた措置

- 2-1 安全性の向上に向けた継続的取組みの方針

- 2-2 調査等

- (1) 保安活動の実施状況

- (2) 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見

- (3) プラント・ウォークダウン

- 2-3 安全性向上計画

- 2-4 追加措置の内容

- (1) 構築物、系統及び機器における追加措置

- (2) 体制における追加措置

- 2-5 外部評価の結果

第3章 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

3-1 安全性向上に係る活動の実施状況の評価

(1) 内部事象及び外部事象に係る評価

(2) 決定論的安全評価

(3) 確率論的リスク評価 (PRA)

(4) 安全裕度評価

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

第4章 総合的な評定

4-1 評定結果

4-2 安全性向上計画

- 添付資料 (第1章に係る図書 (保安規定、基本設計方針) を添付)
- 参考資料 (商業機密、防護上の機密等の公開できない情報等)

● 第1章の記載方針

- 評価時点は、第15回定期事業者検査終了時点(2023.3.8)とする。
- 設置許可、設工認、系統図・配置図及びDBD、並びに保安規定を主体とした構成とし、章立ては安全性向上評価の運用ガイドに例示された目次に従う。
 - ✓ SSCに関する記載は、設置許可本文五号を基本とし、設計要件を一元管理しているDBDも記載することで充実を図る。
 - ✓ また、設置許可本文五号やDBDを補足説明する資料として要目表（設工認）及び系統図・配置図を参考資料として添付する。

《第1章の項目名及び情報源》

	項目名	情報源
1.1	発電用原子炉施設概要	—
1.2	敷地特性	設置許可添六
1.3	構築物、系統、機器	設置許可本文五号 設計基準文書 (DBD)
1.4	保安のための管理体制 及び管理事項	保安規定
1.5	法令への適合性の確認 のための安全性評価結果	設置許可本文九号 本文十号
<p>【添付資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基本設計方針 ・保安規定 <p>【参考資料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・要目表 ・1章に係る非公開情報(商業機密、防護上の機密情報) ・系統図、配置図、構造図 		

2-1 安全性の向上に向けた継続的取組みの方針（1/2）

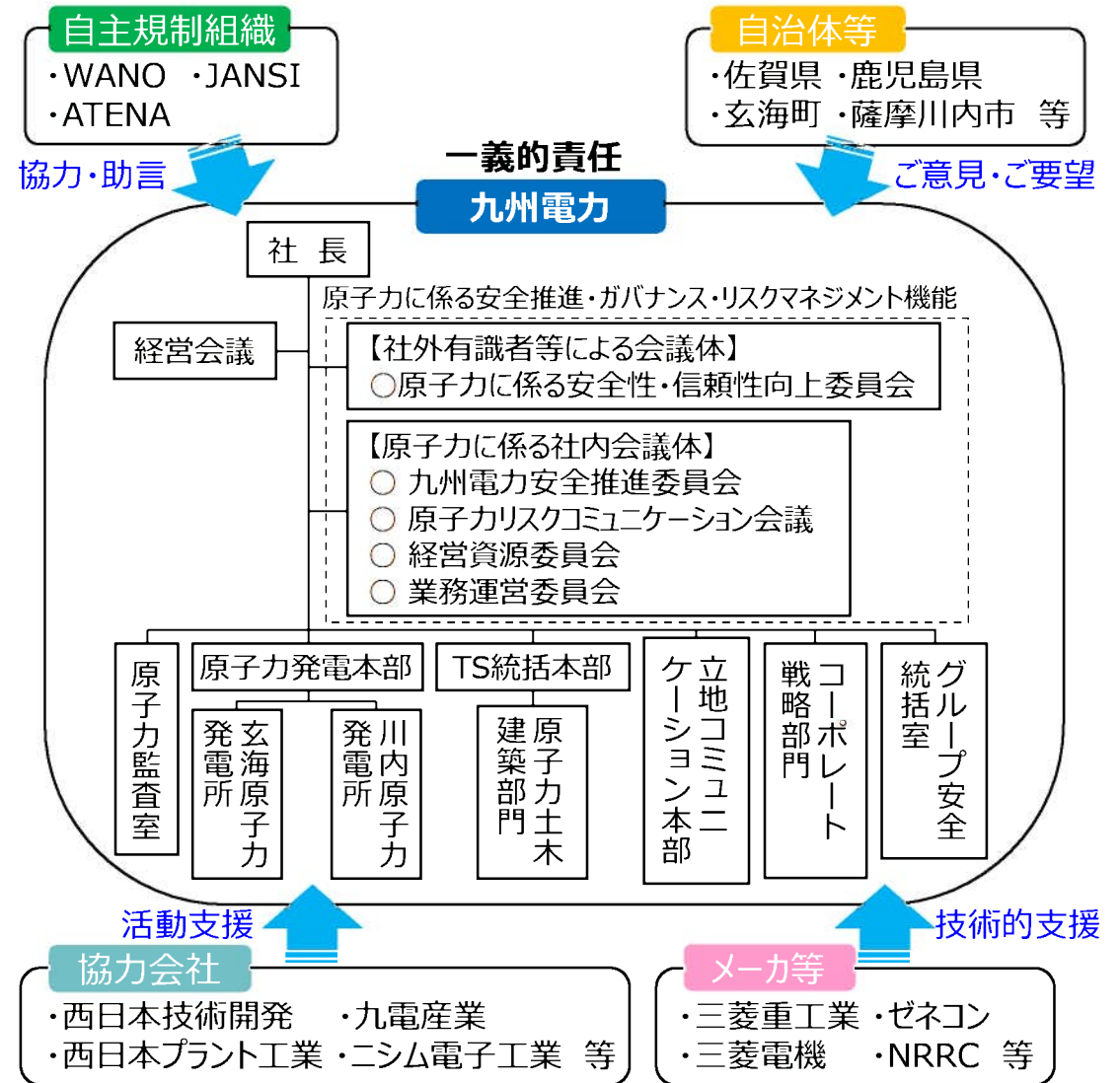
● 安全性の向上に向けた継続的取組みの方針

玄海4号機第4回 安全性向上評価

方針

社長が定める以下の品質方針に従い、より高みを目指した原子力発電所の自主的かつ継続的な改善に取り組む。

1. 原子力安全を最優先とする文化を醸成し続けます
2. 自主的・継続的に安全性・信頼性を向上させます
3. 原子力発電所のリスクマネジメントを確実に実施します
4. 積極的な情報公開と対話活動を行い安心・信頼に繋がります
5. 社内や協力会社との風通しの良い組織風土をつくります

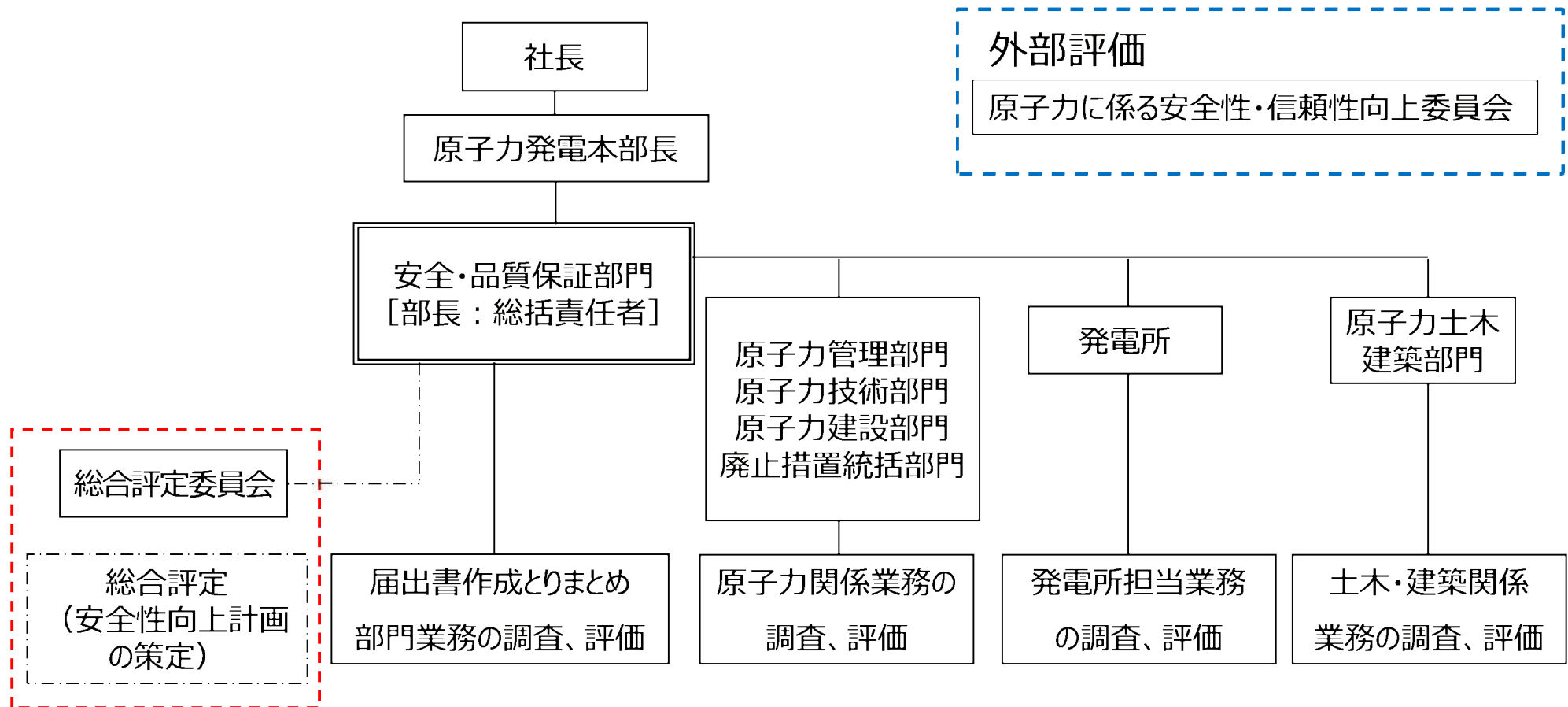


継続的な安全性向上のための取組みの体制

● 安全性向上評価の目的、目標

自主的、継続的に原子炉施設の安全性・信頼性を向上させることを目的とし、原子力のリスクを合理的に実行可能な限り低減する (ALARP; As Low As Reasonably Practicable) ことを目標とする。

● 安全性向上評価の実施体制



2-2 調査等

2-2(1) 保安活動の実施状況（1/2）

玄海4号機第4回 安全性向上評価

保安規定に定められた以下の保安活動に加えて、発電所の安全性及び信頼性のより一層の向上に資する自主的な活動を含めた、活動の実施状況を調査した。

○ 調査対象期間：

- 改善活動の調査期間・・・2022年8月10日～2023年3月8日
- 実績指標の調査期間・・・保安活動ごとに選定した実績指標を対象に、
2023年3月8日までの過去約10年分又は10サイクル分の
確認可能な範囲のデータを評価

○ 評価項目：

品質保証活動、運転管理、施設管理、燃料管理、放射線管理、放射性廃棄物管理、緊急時の措置、安全文化の醸成活動

○ 評価手法：従来の定期安全レビュー手法で実施

○ 評価結果：

- 各保安活動の改善状況について、仕組み（組織・体制、社内マニュアル、教育・訓練）及び設備の側面で調査を行った結果、改善活動が保安活動に定着し、継続的な見直しが行われている。
- 各保安活動の実績指標を調査した結果、時間的な推移が安定している、若しくは、著しい変化がある場合にも原因が明らかにされ適切な対応が取られていることから、各保安活動を行う仕組みは適切かつ有効であると評価した。

主な改善活動

件名	主な改善活動
<p>発電機変圧器保護盤更新工事</p>	<p>第15回定期事業者検査時に、発電機変圧器保護盤をアナログ式保護リレーから運用・保守性に優れたデジタル式保護リレーへ更新した。 この結果、リレーの経年的な特性の安定化、自己監視機能の充実による保守作業の省力化及び機能を2重化することによるシステムの信頼性向上が図られた。</p>
<p>格納容器隔離弁の閉止手順追加に伴う社内マニュアルの改正</p>	<p>最新知見である「国内原子力発電所の確率論的リスク評価用一般機器信頼性パラメータの推定」データにおける機器故障率の反映により、炉心損傷時にP信号（格納容器隔離作動B）が発信していない事故シナリオの寄与が大きくなり、格納容器隔離失敗による格納容器機能喪失頻度が上昇した。本事故シナリオにおいては格納容器隔離弁が自動閉止しないことから、格納容器隔離弁の閉止手順を追加する社内マニュアルの改正を実施した。</p>
<p>常設直流電源設備（3系統目）設置工事</p>	<p>重大事故等時の更なる信頼性向上を図るため、技術基準規則に対応した直流電源設備である蓄電池（安全防護用及び重大事故等対処用）、可搬型直流電源設備のほかに、もう1系統の特に高い信頼性を有する常設直流電源設備（3系統目）を設置した。</p>
<p>海水ポンプ取替工事</p>	<p>事故時におけるポンプの再起動時の信頼性向上を目的として、軸保護管及び軸受潤滑水供給設備が不要な無給水軸受を採用した海水ポンプへの取替えを実施した。</p>

原子力安全に係る国内外で得られた最新の科学的知見及び技術的知見について、

- 玄海4号機の安全評価(決定論的安全評価)の前提となる内部事象・外部事象の変更につながる知見
- 確率論的リスク評価の評価手法や故障データの最新化につながる知見
- 原子力発電所の安全設計の見直しにつながる知見
- 事故・不具合を未然に防止するための知見

を抽出することを目的に、以下の①～⑦を調査した。

- 調査対象期間：2022年8月10日～2023年3月8日
- 調査対象：
 - ① 安全に係る研究
 - ② 国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓
(一般産業の情報含む)
 - ③ 確率論的リスク評価を実施するために必要なデータ
 - ④ 国内外の基準等
 - ⑤ 国際機関及び国内外の学会等の情報
 - ⑥ メーカーからの提案
 - ⑦ 国内事業者の安全性向上評価にて抽出された自主的な追加措置

● 新知見に係る調査結果

玄海4号機第4回 安全性向上評価

新知見に係る調査の結果について以下に取りまとめた。

-：“該当なし”を示す

分類	収集分類	収集数	検討結果（届出記載対象）	
			新知見	参考情報 ^{※1}
①安全に係る研究	電共研	1件	-	-
	自社研		-	-
	NRA等の研究開発	約20件	-	-
	国外機関の研究開発	- ※2	-	-
②国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓	運転経験からの教訓	約60件	19件	-
	NRAの文書指示等	5件	5件	-
③確率論的リスク評価を実施するために必要なデータ	PRAを実施するために必要なデータ	約30件	3件	-
④国内外の基準等	国内の規格基準	約10件	2件	-
	国外の規格基準	- ※2	-	-
⑤国際機関及び国内外の学会等の情報	国内の学会活動	約80件	-	1件
	国外の学会活動	約200件	-	1件
⑤国際機関及び国内外の学会等の情報（自然現象に関する情報）	耐震、津波	約70件	-	10件 ^{※3}
	竜巻、火山	約40件	-	3件
⑥メーカーからの提案	メーカーからの提案	約20件	-	-
⑦国内事業者の安全性向上評価にて抽出された自主的な追加措置	-	約10件	-	-
	計	約530件	29件	15件

※1 直ちに反映は不要だが、今後の動向を把握すべき知見

※2 継続的に収集しているものの、調査対象期間中に収集数の整理（1回/年）を実施していないため。

※3 新知見関連情報。「日本海南西部の海域活断層の長期評価」については、スライド11参照。

➤ 反映が必要な新知見の例

②国内外の原子力施設の運転経験から得られた教訓

(運転経験からの教訓)

件名	概要	反映状況
柏崎刈羽原子力発電所5号機高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の不具合について	<p>定期検査中、高圧炉心スプレイディーゼル補機冷却海水系の点検終了に伴う試運転のための起動操作を行ったところ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機が起動しないことを確認した。</p> <p>原因は、ロックアウトリレーの不具合によるものと推定した。</p>	<p>定期検査において、予防保全によるロックアウトリレーの取替を実施した。</p> <p>また、定期的にロックアウトリレーの取替を実施するよう計画した。</p>

(NRAの文書指示等)

件名	概要	反映状況
原子力規制検査において活用する安全実績指標(PI)に関するガイドライン(ATENA 19-R01 Rev.1) (2023年3月2日)	「原子力規制検査において活用する安全実績指標(PI)に関するガイドライン」(2019年6月28日発行)について、運用実績蓄積に伴う解説追加及び関連する規則、ガイド等の反映を行い、改定版(Rev.1)として発行した。	内容を確認し、社内マニュアルの改正を実施した。

➤ 新知見関連情報（新しい知見を含むが、設計、評価を見直す必要が無い情報）の例

⑤ 国際機関及び国内外の学会等の情報（自然現象に関する情報）

件名	概要	反映状況
日本海南西部の海域活断層の長期評価（第一版）-九州地域・中国地域北方沖-（地震調査研究推進本部）(2022.3.25※)	<p>地震調査委員会では、主な活断層で発生する地震を対象に長期評価を実施している。</p> <p>今回、日本海南西部においてM7.0以上の地震を引き起こす可能性のある断層長さ20km程度以上の活断層を主な評価対象とし、海域活断層の長期評価として、初めて公表した。</p> <p>また、評価対象海域に分布する活断層のいずれかを震源として今後30年以内にM7.0以上の地震が発生する確率を評価した。</p>	<p>社内の「耐震及び耐津波に係る安全性向上検討委員会（2022.11.10）」において、以下の理由により、新知見関連情報として整理した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既許可の活断層の長さ等が異なる断層は、既許可の当社の音波探査記録等に基づく活断層評価と比較・検討を行った結果、見直しの必要はないと考えられること。 ・既許可の活断層評価と異なる断層を考慮して評価しても、基準地震動及び基準津波は見直す必要がないと考えられること。 <p>なお、本知見の既許可への影響評価については、震源を特定せず策定する地震動の基準改正に伴う審査の中でNRAに説明を実施中である。</p>

※評価対象期間中に反映要否を検討中の新知見については、検討が完了した時点の評価対象期間とする届出書に記載しており、収集した全ての新知見を分析・評価し、届出書に記載している。本知見は、2023.3.25の公表以降継続して反映要否を検討しており、社内の検討委員会（2022.11.10）において、新知見関連情報と判断したため、今回の第4回届出（評価対象期間：2022.8.10～2023.3.8）に記載している。

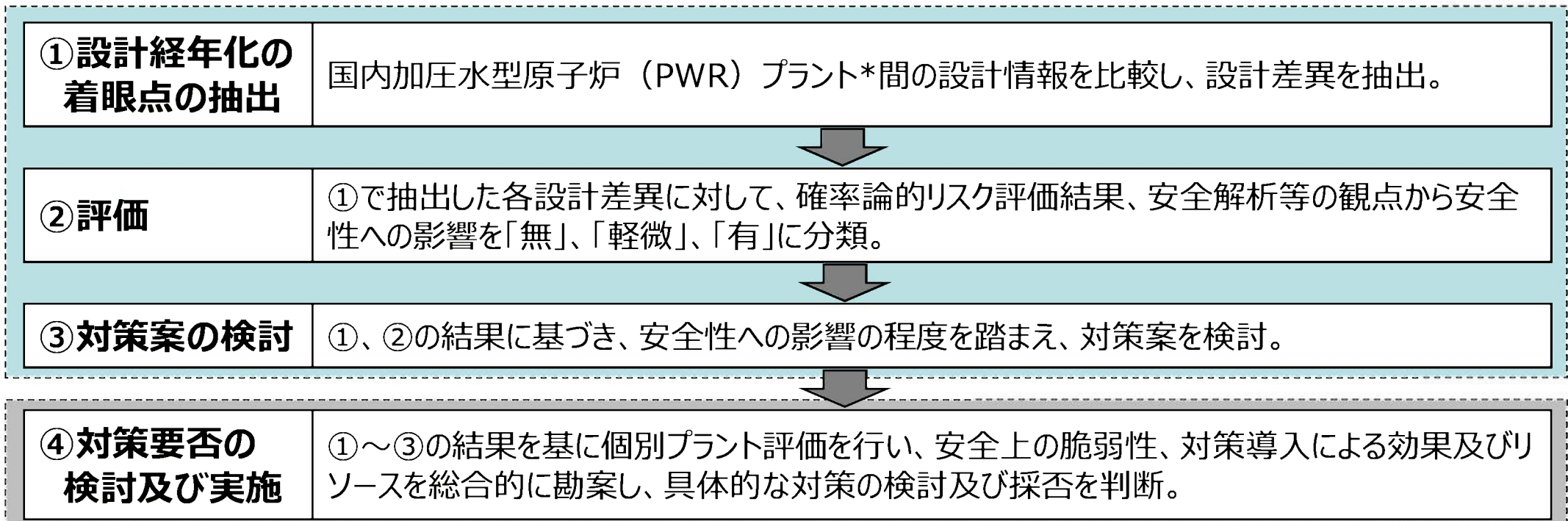
● ATENA発出文書(新知見調査対象)に基づく対応

ATENA発出の「設計の経年化評価ガイドライン（2020年9月）」について、調査対象期間外の発出であるが、同ガイドに基づく一部の評価を実施した。

➤ 設計の経年化評価ガイドラインに基づく評価

時間の経過に従ってプラントの設計に関する知見が蓄積されることにより、プラント設計が変遷すること（設計経年化）によって生じる新旧プラント設計の違いに着目し、安全上の得失を原子炉リスクの観点から分析してプラントの安全上の特徴を理解するとともに、必要に応じて対策を検討する。

【ATENAガイドラインの評価フロー概要】（: 今回届出で実施、: 次回届出で実施）



* 泊1～3号機、高浜1～4号機、美浜3号機、大飯3,4号機、伊方3号機、敦賀2号機、玄海3,4号機、川内1,2号機

● 評価結果

評価フローの①～③に基づき、国内PWRプラント間の設計差異の抽出、評価及び対策案の検討を実施した。安全性への影響「有」と分類した国内PWRプラント間の設計差異は以下のとおり。

評価フロー④の個別プラント評価に基づく対策要否の検討は、次回届出書で実施する。

評価の着眼点 (設計差異)	対策案の検討
<p>【再循環切替操作手段の差異】</p> <p>非常用炉心冷却設備 (ECCS) 再循環切替操作手段は、手動、半自動 (再循環モードへの移行は運転員のスイッチ操作)、自動の方式が採用されている。</p> <p>【玄海4号は手動方式】</p>	再循環切替の自動化
<p>【RCPシャットダウンシールの有無】</p> <p>一部のプラントではRCPシャットダウンシールを導入している。</p> <p>当該設備には、全交流動力電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失時、RCPシールLOCAの発生を防止する効果がある。</p> <p>【玄海4号はRCPシャットダウンシール未導入】</p>	RCPシャットダウンシールの導入
<p>【DG負荷試験時の外部電源喪失対策の差異】</p> <p>負荷試験中に外部電源喪失が発生した場合、外部電源喪失に伴う原子炉トリップにより保護ロジックが作動するプラントと、外部電源喪失に伴う非常用母線の周波数低下により保護ロジックが動作するプラントがある。</p> <p>【玄海4号は非常用母線周波数低信号により保護ロジック動作】</p>	非常用母線周波数低信号の導入

【玄海4号は導入済】

今回の届出において、評価を実施する上で必要な情報について机上情報の補足を必要とするものはなく、プラント・ウォークダウンは実施していない。

2-3 安全性向上計画、 2-4 追加措置の内容

今回の評価では「保安活動の実施状況」及び「国内外の最新の科学的知見及び技術的知見から安全性向上に資する自主的な追加措置は抽出されなかった。

● 原子力に係る安全性・信頼性向上委員会による評価

外部有識者の視点を、更なる安全性向上に活かすことを目的に、本安全性向上評価の骨子について、「原子力に係る安全性・信頼性向上委員会」において、ご意見・ご助言を受けた。

<原子力に係る安全性・信頼性向上委員>

野口 和彦 (横浜国立大学 リスク共生社会創造センター 客員教授)

出光 一哉 (東北大学 金属材料研究所附属量子エネルギー
材料科学国際研究センター 特任教授)

高田 孝 (東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授)

天日 美薫 (博士 (理学)、一般社団法人九州環境管理協会 技術部 企画管理課長)

藤本 望 (九州大学大学院 工学研究院 教授)

松田 尚樹 (長崎大学 放射線総合センター 名誉教授)

(敬称略)

《レビューを依頼する電力各社》

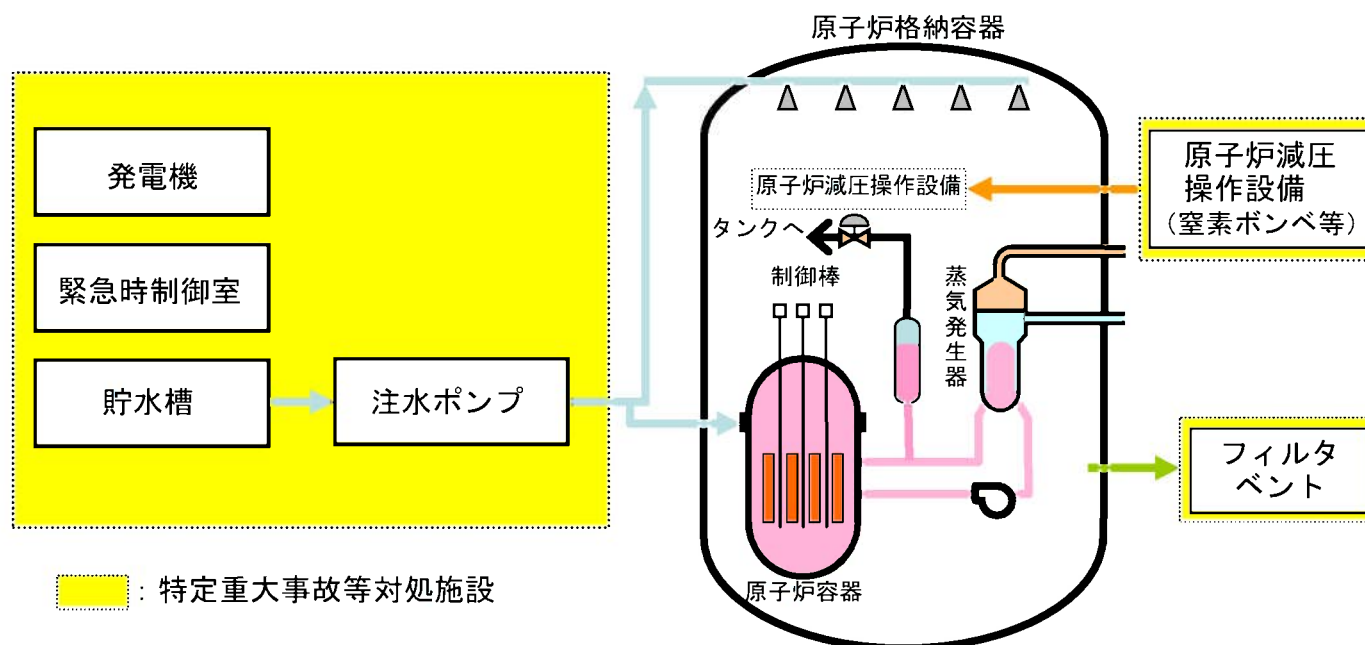
- | | |
|--------------------|---------------|
| ・ 北海道電力株式会社 | ・ 関西電力株式会社 |
| ・ 東北電力株式会社 | ・ 中国電力株式会社 |
| ・ 東京電力ホールディングス株式会社 | ・ 四国電力株式会社 |
| ・ 北陸電力株式会社 | ・ 日本原子力発電株式会社 |
| ・ 中部電力株式会社 | ・ 電源開発株式会社 |

● 原子力に係る安全性・信頼性向上委員会の結果及びその対応

「原子力に係る安全性・信頼性向上委員会」において受けたご意見、ご助言について、以下の通り対応する。

ご意見、ご助言	対応
<p>保安活動のなかで様々な評価や改善活動を実施しており、有効性を評価しているが、ここでチェックできるものは、いずれも予兆を捉えたものに限定される。今まで予兆として捉えていなかったものに対しても安全が担保できる枠組みを明確にして総合的に取り組み、いろいろな目線で可能性を探ることをした方がよいと考える。</p>	<p>「保安活動の実施状況」の調査では、改善活動に加え、状態報告（CR）件数等の先行指標を含む実績指標（PI）の評価において著しい変化がないか等の観点で確認し、原子力安全に影響する予兆を確認している。今まで予兆として捉えていなかったものに対しては、導入を進めている設備保全管理システム（EAM）にて全所員がPIのトレンドを確認できるようにすることで、気づきの機会を増やせるのではと考えている。また、PIのしきい値を細かく設定し、今まで予兆として捉えていなかったものに対し、予兆が見える化するといった改善も検討している。なお、WANOやJANSI等の第三者からの評価を踏まえた改善活動も実施し、改善の効果があったのかPDCAを回し、次の改善につなげている。</p>

- 玄海4号機については、2023年2月2日に特定重大事故等対処施設（特重施設）の運用を開始した。
- 特重施設は、テロ対策だけでなく、重大事故等時における炉心損傷防止及び格納容器破損防止対策にも有効活用することとしており、確率論的リスク評価及び安全裕度評価の結果が変わることが見込まれることから、「3-1 安全性向上に係る活動の実施状況の評価」について改訂を実施した。
- 今回は、特重施設の主たる機能である格納容器破損防止機能に着目した評価等を実施した。



<特定重大事故等対処施設の概要図>

- また、特重施設に係る評価に併せ、「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」として、IAEA特定安全ガイドNo.SSG-25に基づくレビューを実施した。

3-1(1) 内部事象及び外部事象に係る評価 (1/2)

玄海4号機第4回 安全性向上評価

● 概要

評価時点における最新の文献及び調査等から得られた科学的知見及び技術的知見に基づき、設計や安全評価の前提となっている内部事象及び外部事象の評価を行う。

● 確認方法

内部事象として内部火災及び内部溢水等を、外部事象として設計上考慮している自然現象及び人為事象等を対象として、設計や安全評価の方法、前提条件などに変更がないことを確認する。

● 評価結果

- ✓ ①②については、評価時点において、設計や安全評価の方法、前提条件などの変更はないが、現在審査中の事項であり、今後変更の有無を確認する。

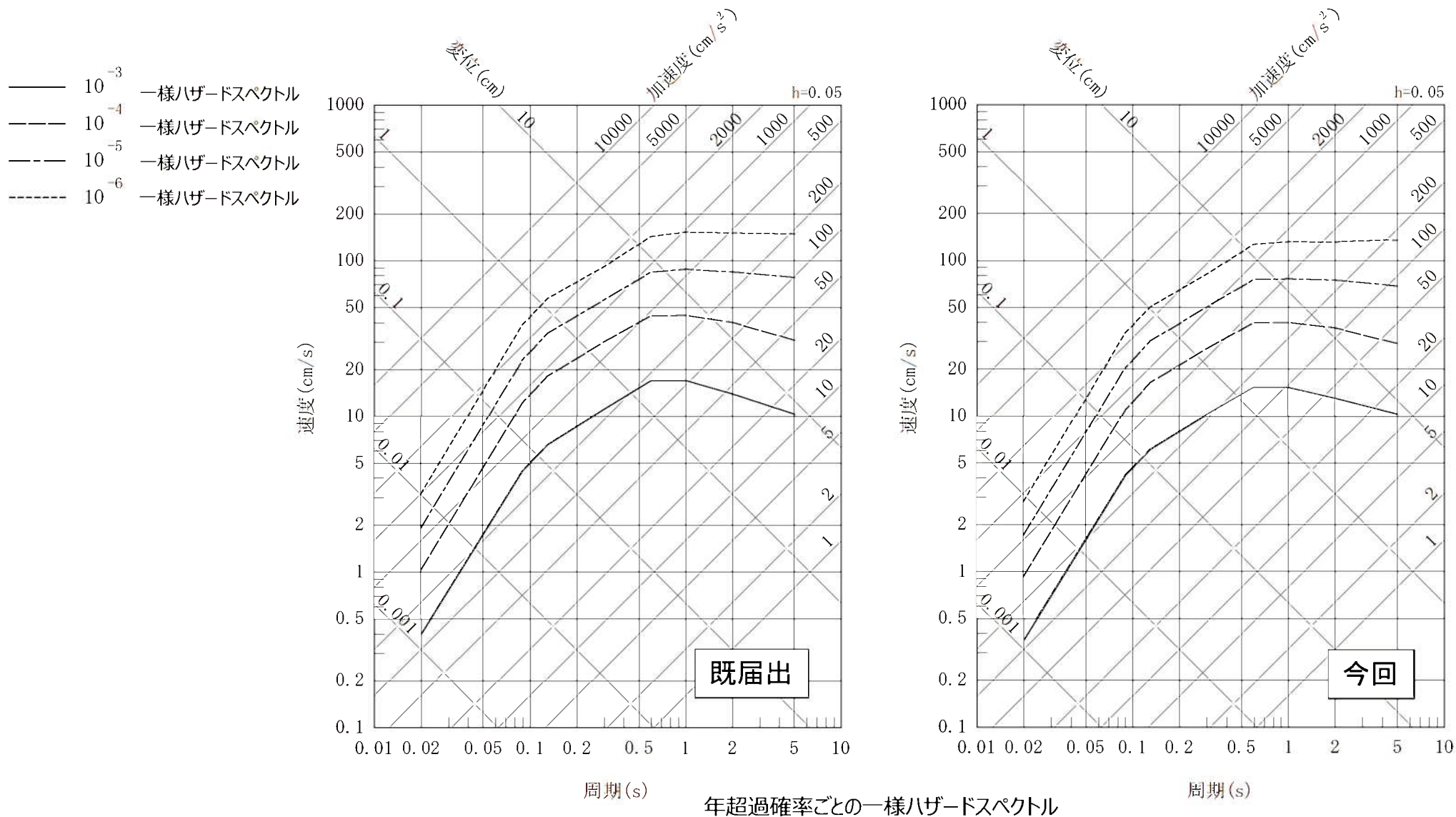
① 「震源を特定せず策定する地震動」に、「標準応答スペクトルを考慮した地震動」を追加する基準改正について、当社は、原子炉設置変更許可申請を行い、審査中である。併せて、文部科学省 地震調査研究推進本部が公表した海域活断層に係る長期評価等の知見について、以下の理由により既許可評価の見直しが必要ないことを確認しており、その内容について当該審査の中でNRAに説明中である。

- ・既許可の活断層の長さ等が異なる断層は、既許可の当社の音波探査記録等に基づく活断層評価と比較・検討を行った結果、見直しの必要はないと考えられること。
- ・既許可の活断層評価と異なる断層を考慮して評価しても、基準地震動及び基準津波は見直す必要がないと考えられること。

② 火災防護審査基準の改正に伴い、火災感知設備の設置要件に関して審査中である。

- ✓ 地震については、確率論的地震ハザード評価においてモデルに含まれている過度の保守性を排除するため、現実的な地震ハザードに関する検討を実施した。（詳細は次葉に示す）
- ✓ 地震以外の事象については、設計や安全評価の方法、前提条件などにおいて、数値・条件を超えない又は同等であること、見直すような知見がないことを確認した。

確率論的地震ハザード評価については、主要な活断層について、震源モデルの多様性の考慮、及び地震動予測モデルとして断層モデルによる手法の追加により、より現実的な地震ハザードを設定した。



● 第4回届出での実施内容

決定論的安全評価について、保安活動及び新知見に係る調査並びに特重施設設置後の現在のプラント状態等を踏まえ、以下を実施した。

- 決定論的安全評価の見直し要否の確認
- 不確かさを考慮した最適手法（BEPU）評価の適用（資料2で説明）
- 重大事故等時において特重施設を活用した場合の効果の確認

● 決定論的安全評価の見直し要否の確認

保安活動や新知見に係る調査等に基づき、決定論的安全評価の変更要否を確認した。

確認の結果、決定論的安全評価について、変更が必要となる項目はなかった。

● 重大事故等時において特重施設を活用した場合の効果の確認

- LOCA時の破断口径が比較的大きく、重大事故等対処設備のみでは炉心溶融を防止できないシナリオに対して、早期に準備可能な特重施設を活用した場合の効果についてプラント挙動解析により確認した。

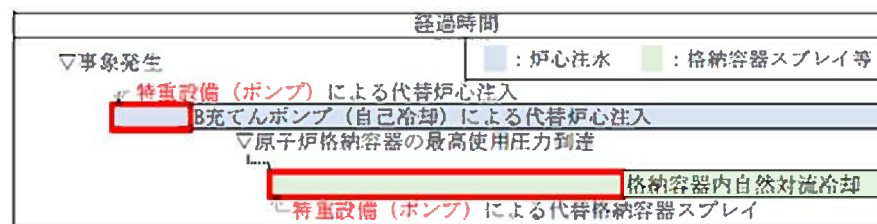
解析シナリオ： 6インチ破断LOCA + ECCS注入失敗 + CVスプレイ注入失敗

重大事故等対策（特重施設による対策含む）：

炉心損傷防止： 特重設備（ポンプ）、B充てんポンプ（自己冷却）

格納容器破損防止： 特重設備（ポンプ）、格納容器再循環ユニットによる格納容器内自然対流冷却

特重施設を活用した解析の操作条件の概略



- 早期に準備可能な特重施設を活用することで、炉心溶融を防止できることを確認した。なお、余熱除去ポンプによる低圧再循環を実施することで長期的な冷却も可能と考えられる。一方PRAの観点からは、特重設備による炉心注水操作の時間余裕が短く、人的過誤による失敗確率が高く評価されること等からPRA上のリスク低減効果は限定的である。
- 更なる安全性向上対策の検討
 - ・運転手順検討等に資するため、特重施設の更なる活用シナリオ等を検討し、解析を実施していく。
 - ・特重施設を活用した場合の効果を確認できたことから、効果が認められた活用方法について操作失敗確率の低減を目的に教育を実施し、事故対応能力の向上を図る。

● 第4回届出での実施内容

PRAについて、特重施設等設置後の現在のプラント状態、新たな知見等を踏まえ、以下を実施した。

- 特重施設設置完了に伴う評価
- 特重施設のSA活用を踏まえた評価
- 追加措置の抽出
- 敷地等境界における実効線量評価（放射性物質管理放出）

● 特重施設設置完了に伴う評価

➤ 実施内容

特重施設の主たる機能である炉心損傷後の格納容器破損防止機能に着目し、重大事故等が発生した場合におけるDBA/SA設備によるCVへの注水機能が喪失しているプラント状態において、特重施設によるCFFへのリスク低減効果を確認した。

➤ 実施範囲

- 内部事象出力運転時レベル2PRA
- 外部事象（地震及び津波）出力運転時レベル2PRA

なお、内部事象停止時レベル2PRAについては、評価手法が未成熟のため実施していない。

➤ 特重施設によるCFFへのリスク低減効果

特重施設によるCV内注水及びフィルタベントに期待することによる、CFFの低減効果は以下のとおり。

	CFF (／炉年)		低減割合
	特重施設なし	特重施設反映	
内部事象 (出力時)	1.8E-06	1.4E-06	約22%
地震 (出力時)	3.0E-07	2.5E-07	約15%
津波 (出力時)	4.6E-11	4.5E-11	約 2%

	格納容器機能喪失モード別のCFF低減割合	
	αモード (格納容器過温破損)	βモード (水蒸気・非凝縮性ガス蓄積による過圧破損)
内部事象 (出力時)	約85%	約20%
地震 (出力時)	約82%	約18%
津波 (出力時)	約85%	約19%

● 特重施設のSA活用を踏まえた評価

➤ 実施内容

第1回安全性向上評価にて構築した内部事象出力運転時PRAモデルについて、設計・運用情報等の更新を行うことにより現在のプラント状態を反映させるとともに、新たな知見の反映による評価手法の高度化等を実施し、炉心損傷頻度（CDF）等の評価を行った。

➤ 実施範囲

- 内部事象出力運転時レベル1PRA
- 内部事象出力運転時レベル2PRA

今回は、全てのPRAモデルのベースとなる内部事象出力運転時PRAを実施した。内部事象停止時レベル1PRA及び外部事象（地震及び津波）出力運転時PRAについては、内部事象出力運転時PRAのモデル更新による影響を把握した上で、結果への影響を踏まえ、次回以降（第6回予定）の安全性向上評価において実施する。

➤ PRAモデルの変更内容

- 第1回安全性向上評価で構築したモデルに対して、設計・運用・運転経験等の情報を更新。
- 電力中央研究所原子力リスク研究センター（NRRC）やメーカー等と協力し、伊方3号プロジェクトによる評価手法の高度化や海外技術者からの技術的コメントの反映を実施。

【主な変更内容】

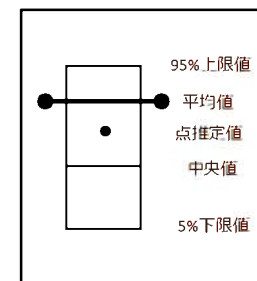
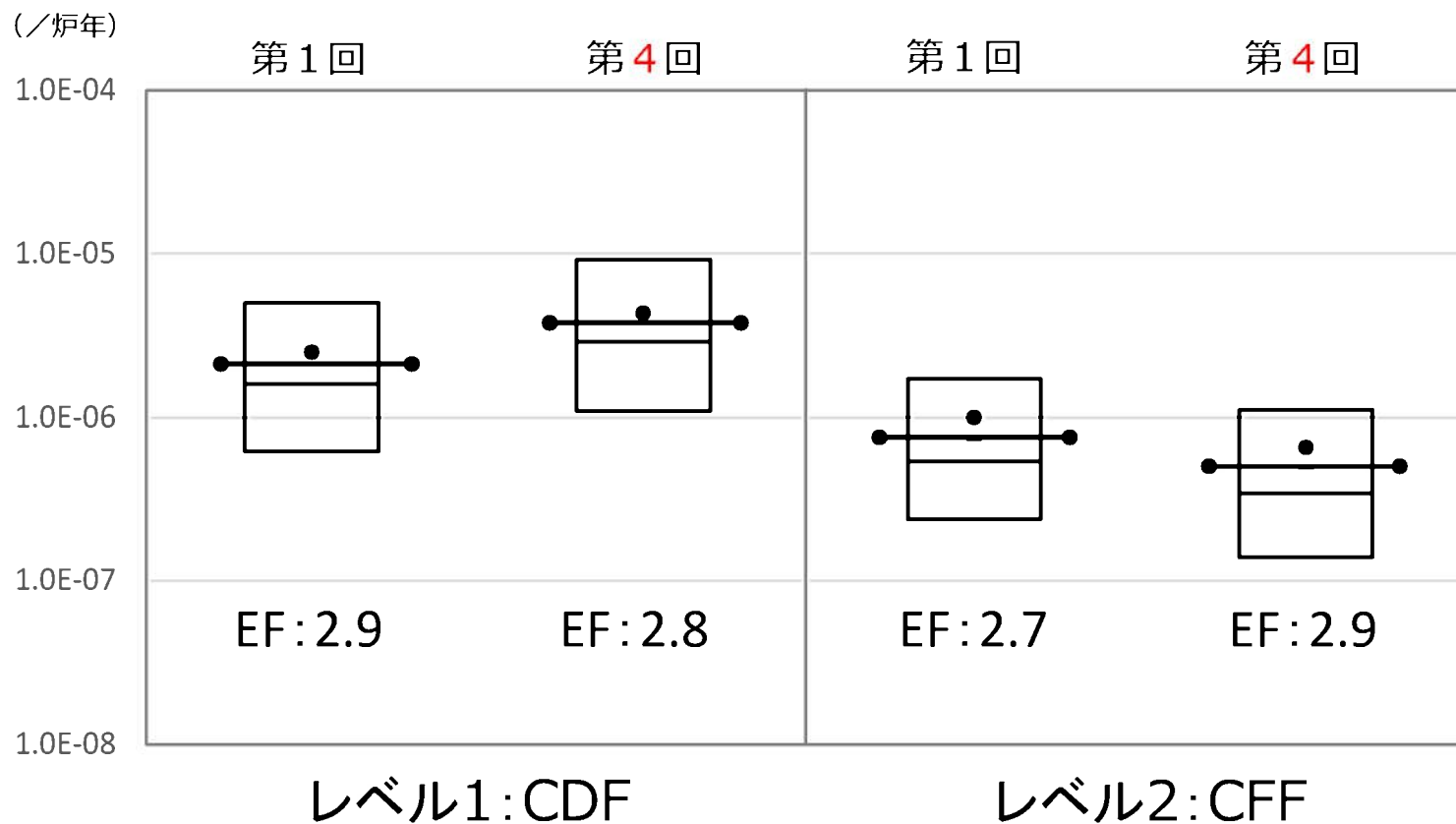
項目	第1回評価	第4回評価	変更内容
機器故障率	NUCIAで公開されているデータを使用（29か年データ）	NRRCデータ+個別プラント実績（プラント固有の機器故障率を使用）	・NRRCデータを事前分布とし、玄海3/4号機の運転経験(2018～2020年度)でベイズ更新
人的過誤評価手法	NUREG/CR-1278（THERP手法）を適用	EPRI手法（HRA Calculator）を適用	・米国における標準的な手法の採用 ・運転員のインタビュー結果に基づく操作の時間余裕等から失敗確率を評価
特定重大事故等対処施設	なし	あり	・レベル1、レベル2 PRAを対象に特重施設を反映
その他変更	なし	あり	・設計、運用、運転経験の更新 ・運転状態の対称化 ・現実的な条件を適用した成功基準解析（原子炉補機冷却機能喪失+全交流動力電源喪失+1次冷却材ポンプ封水LOCA時の2次系強制冷却の設備容量及び時間余裕の変更等）等

➤ 第1回及び第4回評価結果の相違は以下のとおり。

	第1回評価	第4回評価	PRAモデルの変更に伴う主な影響
CDF (/炉年)	2.5E-06	4.3E-06	<ul style="list-style-type: none"> ・機器故障率：CDF増加に寄与 ⇒タービン動補助給水ポンプ等の機器故障率の増加 ・人間信頼性評価手法：CDF増加に寄与 ⇒操作時間余裕に基づき人的過誤確率を精緻に評価できるようになり、時間余裕が短い操作の人的過誤確率が増加 ・特定重大事故等対処施設：有意な影響なし ⇒ディーゼル発電機及び大容量空冷式発電機によるリスク低減効果が十分大きいことから、特重設備（発電機）による有意な影響なし
CFF (/炉年)	9.9E-07	6.5E-07	<ul style="list-style-type: none"> ・機器故障率：CFF増加に寄与 ⇒タービン動補助給水ポンプ等の機器故障率が増加 ・人間信頼性評価手法：有意な影響なし ⇒格納容器破損防止対策については時間余裕が比較的長いことから、有意な影響なし ・特定重大事故等対処施設：CFF低減に寄与 ⇒特重設備（FV）等により、CFFへの寄与割合が大きいモード（水蒸気・非凝縮性ガス蓄積による過圧破損）の発生頻度が低減

➤ 不確かさ解析結果

- 点推定値は不確かさ分布の5%下限値から95%上限値内であり、不確かさ解析に対して点推定値は妥当であると考えられる。



EF(エラーファクタ):
不確かさの幅を示す指標

- Cs-137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度
 - 格納容器健全を含む、各放出カテゴリに対し、Cs-137の放出量及び発生頻度を評価した。
 - Cs-137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は 6.5×10^{-7} (／炉年) となった。
 - 特重設備 (FV) により「放射性物質管理放出」が追加となり、発生頻度は 6.8×10^{-7} (／炉年) となった。

格納容器の状態	分類	発生頻度 (／炉年)	ソースターム解析結果※1 (Cs-137放出量) (TBq)
格納容器バイパス	内的	3.8E-07	>100
	外的	—	>100
格納容器破損	エナジエティック	2.5E-09	>100
	先行破損	4.6E-09	>100
	その他	1.4E-07	>100
	外的	—	>100
隔離失敗	—	1.2E-07	>100
健全 (設計漏えい)	—	2.7E-06	0.086※2
放射性物質管理放出	—	6.8E-07	1.3

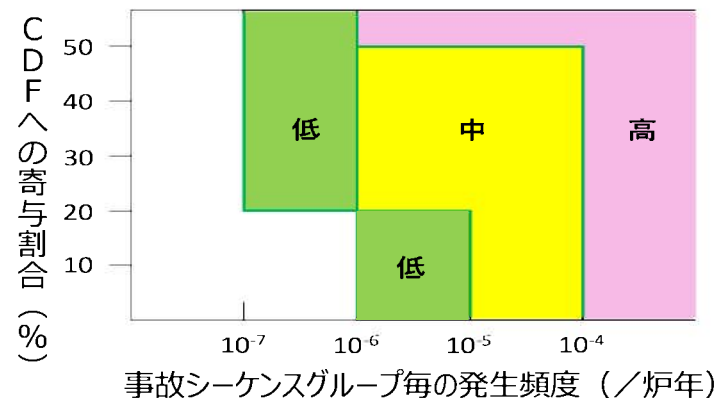
※1 格納容器機能喪失時に対しては定性的評価、格納容器健全時及び管理放出時に対してはMAAPの解析により評価を行った。

※2 原子炉格納容器貫通部における沈着効果を考慮 (考慮前は0.86TBq)

○更なる安全性向上のための追加措置の検討

- ▶レベル1PRA結果から、事故シーケンスグループ毎の発生頻度（/炉年）とCDFへの寄与割合を基に下表の重要な事故シーケンスグループを抽出した。
- ▶抽出した事故シーケンスグループのリスク寄与の大きい代表的な事故シナリオに対して、FV重要度、条件付炉心損傷確率等を基に効果的な改善点を見出し、追加措置案を検討・抽出した。

事故シーケンスグループ	CDF（/炉年）	寄与割合
2次冷却系からの除熱機能喪失	7.7E-07	18.0%
全交流動力電源喪失	2.3E-07	5.5%
原子炉補機冷却機能喪失	1.3E-06	31.1%
原子炉格納容器の除熱機能喪失	4.6E-09	0.1%
原子炉停止機能喪失	7.7E-10	<0.1%
ECCS注水機能喪失	2.3E-07	5.3%
ECCS再循環機能喪失	1.3E-06	31.5%
格納容器バイパス	3.6E-07	8.4%
合計	4.3E-06	100%



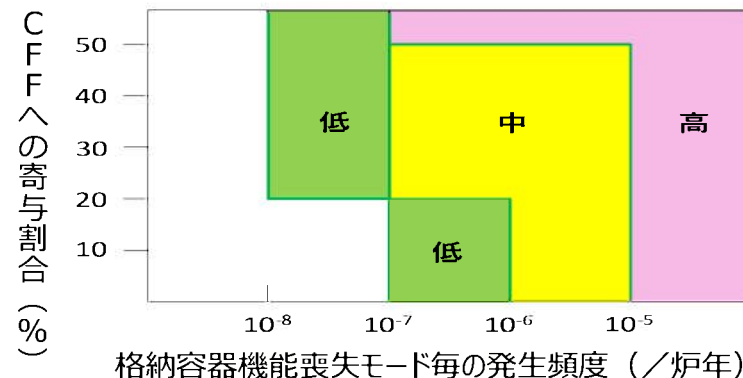
○原子力学会標準「原子力発電所におけるシビアアクシデントマネジメントの整備及び維持向上に関する実施基準：2019」において、重要度ごとの事業者の対応が記載されており、これを参考に対応を実施する。

- 重要度「高」**
⇒起因事象発生防止から緩和策までのあらゆる面からのCDFの低減に着目した手順や設備の変更
- 重要度「中」**
⇒緩和策の面からのCDFの低減に着目した手順や設備の変更
- 重要度「低」**
⇒炉心損傷防止に着目した手順への対処

○更なる安全性向上のための追加措置の検討

- レベル2PRA結果から、格納容器機能喪失モード毎の発生頻度（/炉年）及びCFFへの寄与割合を基に下表のとおり重要な格納容器機能喪失モードを抽出した。
- 抽出した格納容器機能喪失モードのリスク寄与の大きい代表的な事故シナリオに対して、FV重要度、条件付格納容器機能喪失確率等を基に効果的な改善点を見出し、追加措置案を検討・抽出した。

格納容器機能喪失モード	CFF (/炉年)	寄与割合
原子炉容器内水蒸気爆発	1.4E-10	<0.1%
格納容器隔離失敗	1.2E-07	18.2%
水素燃焼 (原子炉容器破損前)	5.0E-12	<0.1%
水素燃焼 (原子炉容器破損直後)	3.2E-10	<0.1%
水素燃焼 (原子炉容器破損後長期)	ε	<0.1%
水蒸気・非凝縮性ガス蓄積による過圧破損	8.6E-08	13.2%
ベースマツト溶融貫通	6.1E-09	0.9%
水蒸気蓄積による格納容器先行破損	4.6E-09	0.7%
原子炉容器外水蒸気爆発	2.0E-09	0.3%
格納容器雰囲気直接加熱	ε	<0.1%
インターフェイスシステムLOCA	9.2E-08	14.1%
蒸気発生器伝熱管破損	2.9E-07	44.6%
格納容器過温破損	5.1E-08	7.8%
格納容器直接接触	ε	<0.1%
合計	6.5E-07	100%



○原子力学会標準「原子力発電所におけるシビアアクシデントマネジメントの整備及び維持向上に関する実施基準：2019」において、重要度ごとの事業者の対応が記載されており、これを参考に対応を実施する。

重要度「高」
 ⇒起因事象発生防止から緩和策までのあらゆる面からのCFFの低減に着目した手順や設備の変更

重要度「中」
 ⇒緩和策の面からのCFFの低減に着目した手順や設備の変更

重要度「低」
 ⇒格納容器機能喪失防止に着目した手順への対処

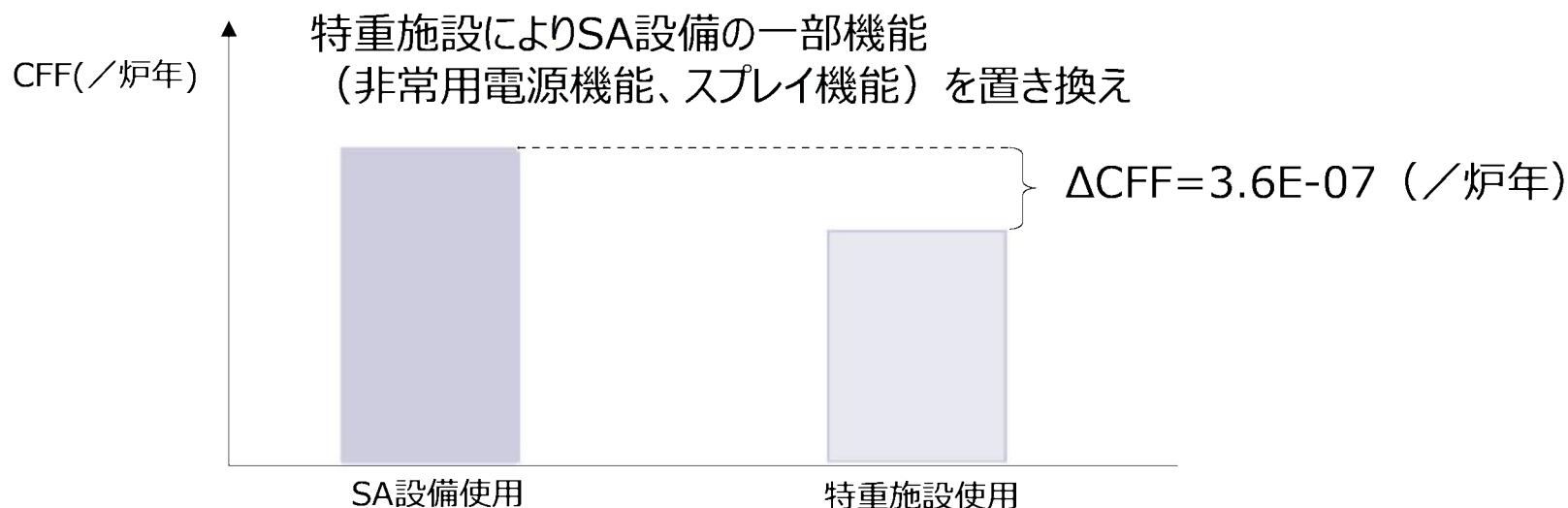
ε：カットオフ値未満

- PRA結果を踏まえ、リスク上重要な事象に対するFV重要度結果等を参考に効果的な追加措置を抽出した。

分類	追加措置	期待される効果
教育・訓練の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・重大事故等時における特重施設の活用に関する評価結果の教育 	<ul style="list-style-type: none"> ・重大事故等時における特重施設の活用に関する教育を実施することにより、事故対応能力の向上とリスク感受性の向上に期待できる。
設備／運用対策 教育・訓練の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・ECCS再循環切替自動化設備の導入 ・ECCS再循環切替操作に関する教育、訓練の継続 	<ul style="list-style-type: none"> ・ECCS再循環切替操作を実施するための時間余裕が短いことから、設備対策及び訓練強化の両面からの対策がECCS再循環切替に対してのリスク低減に期待できる。
教育・訓練の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉補機冷却水系補給操作、1次冷却材ポンプ封水LOCA発生後のSA対策等に関する教育、訓練の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク寄与の大きいシナリオに対して、重要度の高い運転操作に関する教育、訓練を重点的に実施することにより、運転員の意識を高め、事故対応能力の向上に期待できる。
教育・訓練の強化	<ul style="list-style-type: none"> ・破損側蒸気発生器隔離操作及び隔離失敗後のSA対策に関する教育、訓練の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク寄与の大きいシナリオに対して、重要度の高い運転操作に関する教育、訓練を重点的に実施することにより、運転員の意識を高め、事故対応能力の向上に期待できる。

➤ 特重施設の有効的な活用検討 (特重設備とSA設備の非信頼度比較)

特重施設の有効的な活用を検討するため、特重設備とSA設備で同様の機能をもつ「非常用電源機能」及び「スプレイ機能」について、必要となる運転操作の違い等を比較し、各緩和機能の特徴を踏まえたリスク評価上の非信頼度の評価を実施した。



- 評価上は非常用電源機能及びスプレイ機能について、特重設備の信頼性が高く評価され、SA設備を使用する想定を特重設備を使用する想定とすると、格納容器機能喪失頻度は 3.6×10^{-7} (／炉年) 低減が見込まれる。
- 評価上は、特重施設の優位性が表れているが、機器故障率については代用パラメータを設定している等、比較には評価条件を踏まえた考慮が必要。
- PRAの観点のみならず、現場での操作性等を勘案し検討する必要があるが、より確実な事故収束手段として、特重設備の優先的な活用を検討する。

- 敷地等境界における実効線量評価（放射性物質管理放出）
 - 特重施設による放射性物質管理放出を実施した場合における放出放射エネルギー及び実効線量の評価を実施した。
 - 評価事象は、炉心損傷が早く、事象進展中の原子炉格納容器圧力が高く推移することから環境に放出される放射性物質の量が多くなり、被ばく評価上厳しくなる「大破断LOCA + ECCS 注入失敗 + CVスプレイ注入失敗」とした。

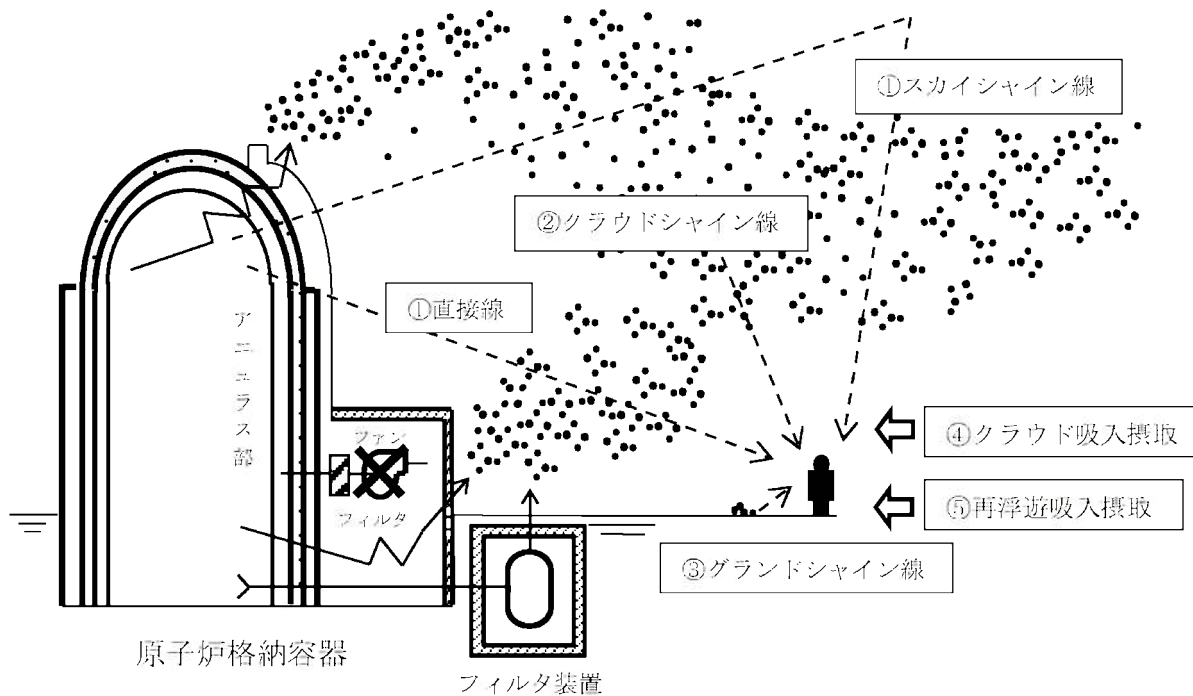
なお、全交流動力電源喪失、原子炉補機冷却機能喪失、監視・制御機能喪失及び直流電源機能喪失の重畳を考慮し、特重設備（ポンプ）を用いた代替格納容器スプレイ及び特重設備（FV）を用いたフィルタベントに期待する。
 また、フィルタベント実施のタイミングについては、特重施設による原子炉格納容器破損防止対策の手順に基づいて設定する。

大気中への放射性物質の放出量（事故後7日間積算）（gross値）

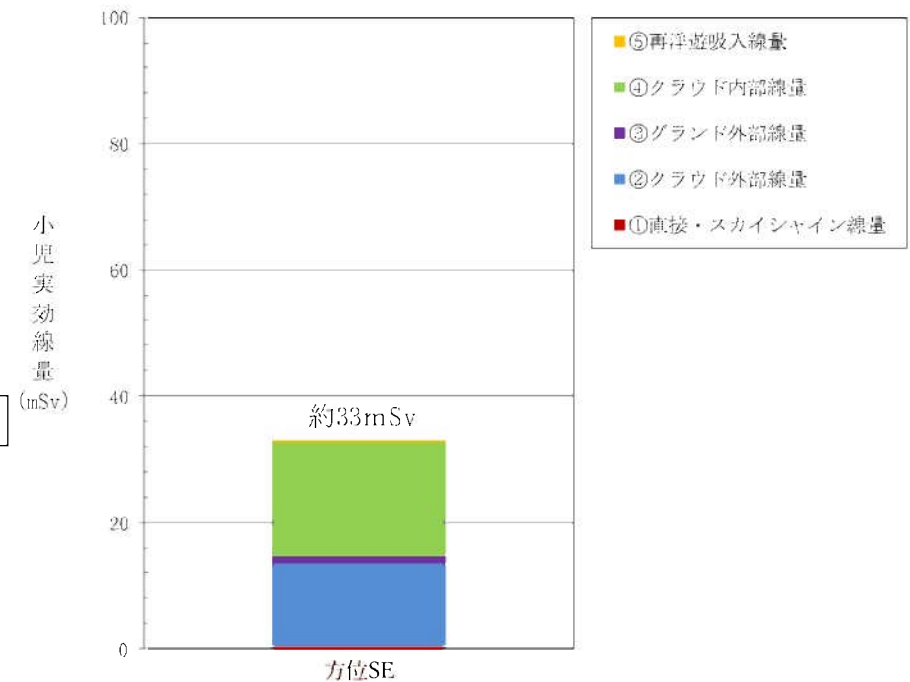
核種グループ (注)	放出放射エネルギー (Bq)		
	設計漏えい	フィルタベント	合計
希ガス類	約 2.3E+16	約 7.0E+18	約 7.0E+18
よう素類	約 1.0E+14	約 1.9E+15	約 2.0E+15
Cs類	約 2.3E+12	約 1.3E+12	約 3.6E+12
Te類	約 1.4E+13	約 1.7E+11	約 1.4E+13
Sr類	約 5.2E+11	約 3.7E+01	約 5.2E+11
Ru類	約 5.3E+12	約 2.4E+03	約 5.3E+12
La類	約 5.1E+10	約 3.0E+01	約 5.1E+10
Ce類	約 4.4E+11	約 5.4E+01	約 4.4E+11
Ba類	約 1.0E+12	約 2.3E+02	約 1.0E+12
合計	約 2.3E+16	約 7.0E+18	約 7.0E+18

(注) 実効線量評価対象核種

- 大気中への放射性物質の放出量をもとに、7日間の敷地等境界における被ばく線量を評価した。
 (本評価では、実効線量換算係数が大きく、評価結果が厳しくなる小児を対象とした。)
 評価に使用する気象データは、敷地内で観測した1年間のデータを使用し、年間の種々の気象条件を網羅するように気象シーケンスを設定した。
 全気象シーケンスの評価点における風向の影響を考慮した評価結果のうち、SE方位が最大であり約33mSvとなった。



敷地等境界における公衆の被ばく経路



敷地等境界における実効線量の評価結果

● 第4回評価内容

特重施設の設置に伴い、以下の事象に対して、特重施設の主たる機能である炉心損傷後の格納容器破損防止機能に着目した評価を実施した。

《評価事象》

- ・地震 ・津波 ・地震及び津波の重畳

● 評価条件

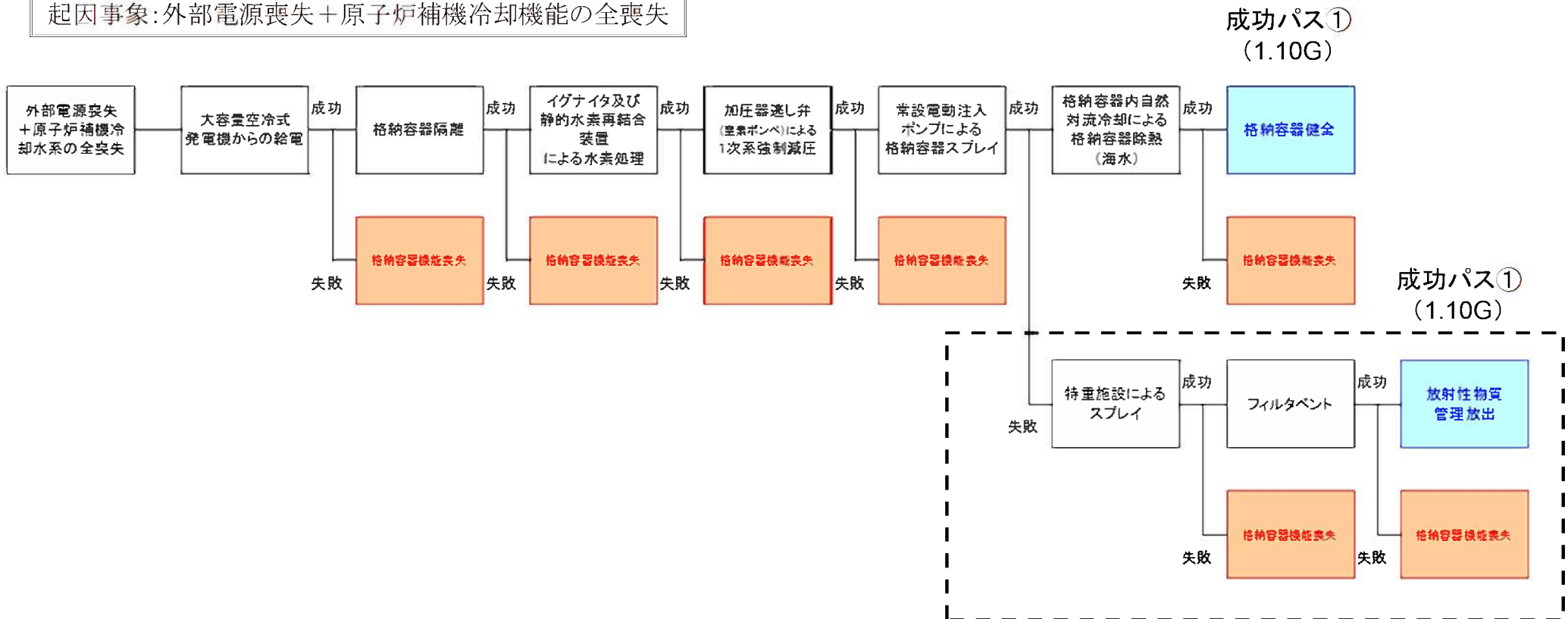
- ✓ 第1回届出における格納容器機能喪失防止対策のクリフエッジシナリオ（イベントツリー）に特重施設を用いた緩和操作を追加
- ✓ 特重施設を活用した影響緩和機能については、設計基準事故対処設備及び重大事故等対処設備による影響緩和機能が喪失した場合に期待できることとし、具体的には以下の場合を想定する。
 - ・ 常設電動注入ポンプによる格納容器スプレイに失敗した後に特重施設によるスプレイ
 - ・ 格納容器自然対流冷却による格納容器除熱（海水冷却）に失敗した後に特重施設によるベント
- ✓ 評価指標は第1回届出と同様に以下を用いる。

地震	フラジリティ評価の95%信頼度における5%損傷確率に相当する地震加速度レベル（HCLPF [G]）を用い、当該加速度で機器が損傷するものとして評価
津波	許容津波高さ[m]として機器の設置高さ及び建屋シール等を考慮した高さを用い、高い方の高さにて機能喪失することを想定

● 評価結果①

・ イベントツリー① (地震、格納容器 (出力時))

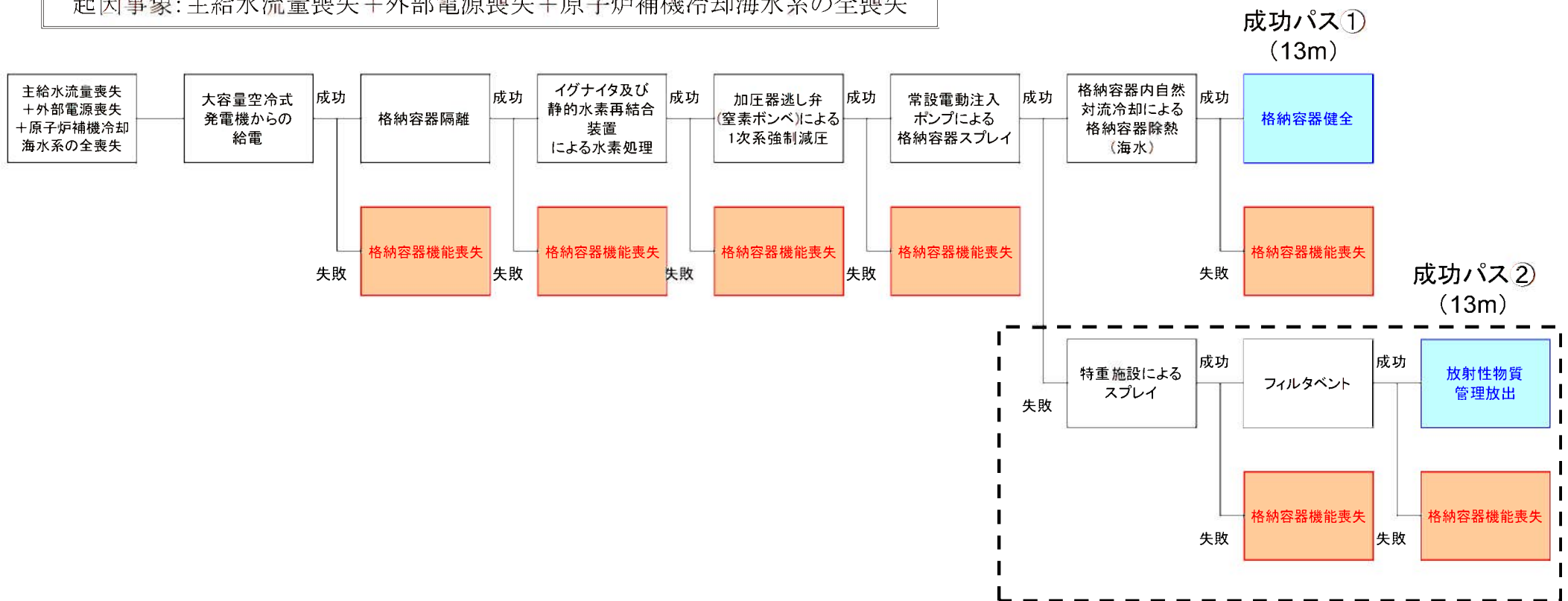
起回事象: 外部電源喪失 + 原子炉補機冷却機能の全喪失



● 評価結果①

・ イベントツリー② (津波、格納容器 (出力時))

起回事象: 主給水流量喪失 + 外部電源喪失 + 原子炉補機冷却海水系の全喪失

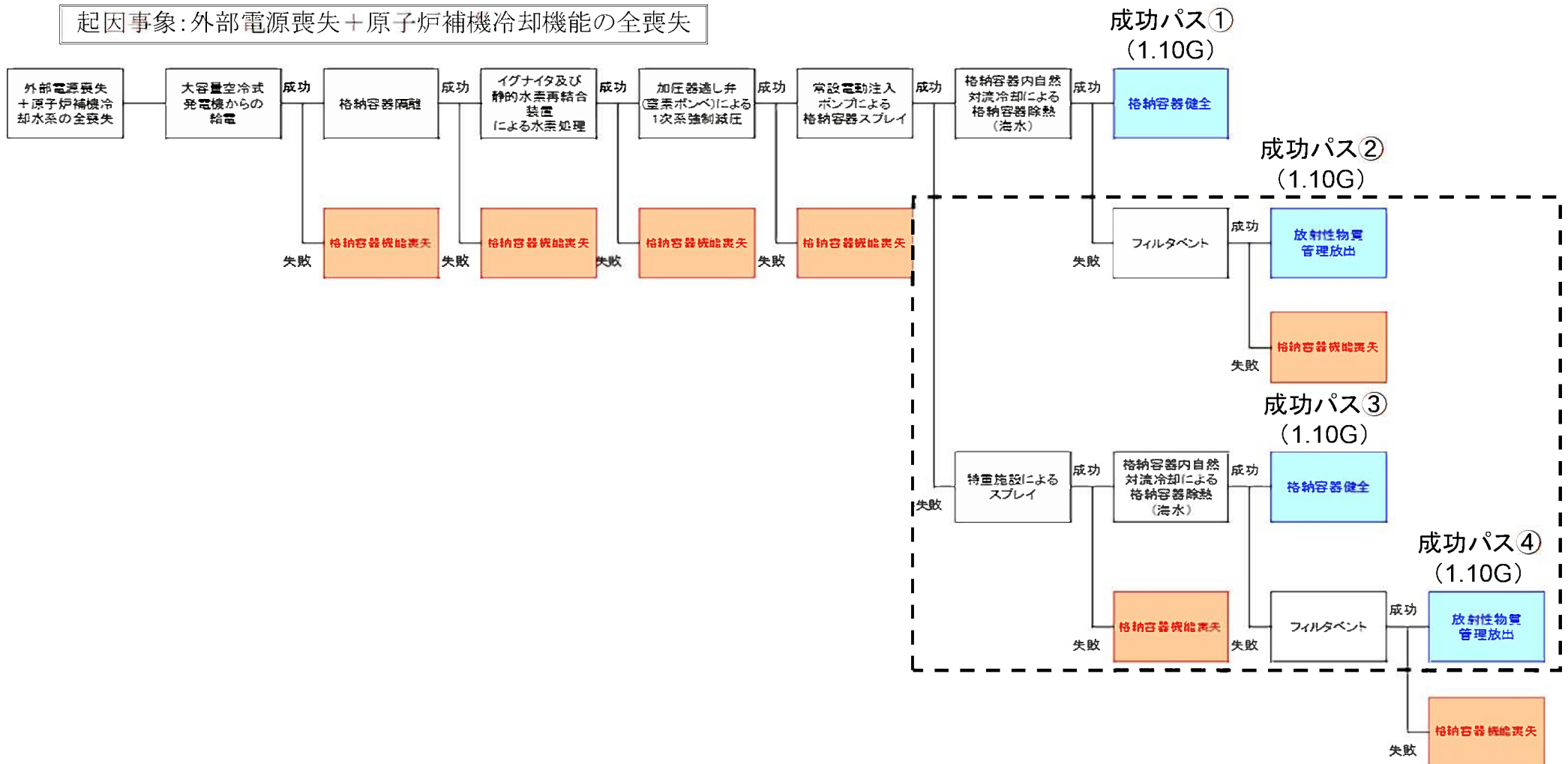


● 評価結果②

評価結果①から更なる検討として、より柔軟な活用（特重施設使用後のSA機器の使用 等）を考慮した評価を実施した。

・ イベントツリー①'（地震、格納容器（出力時））

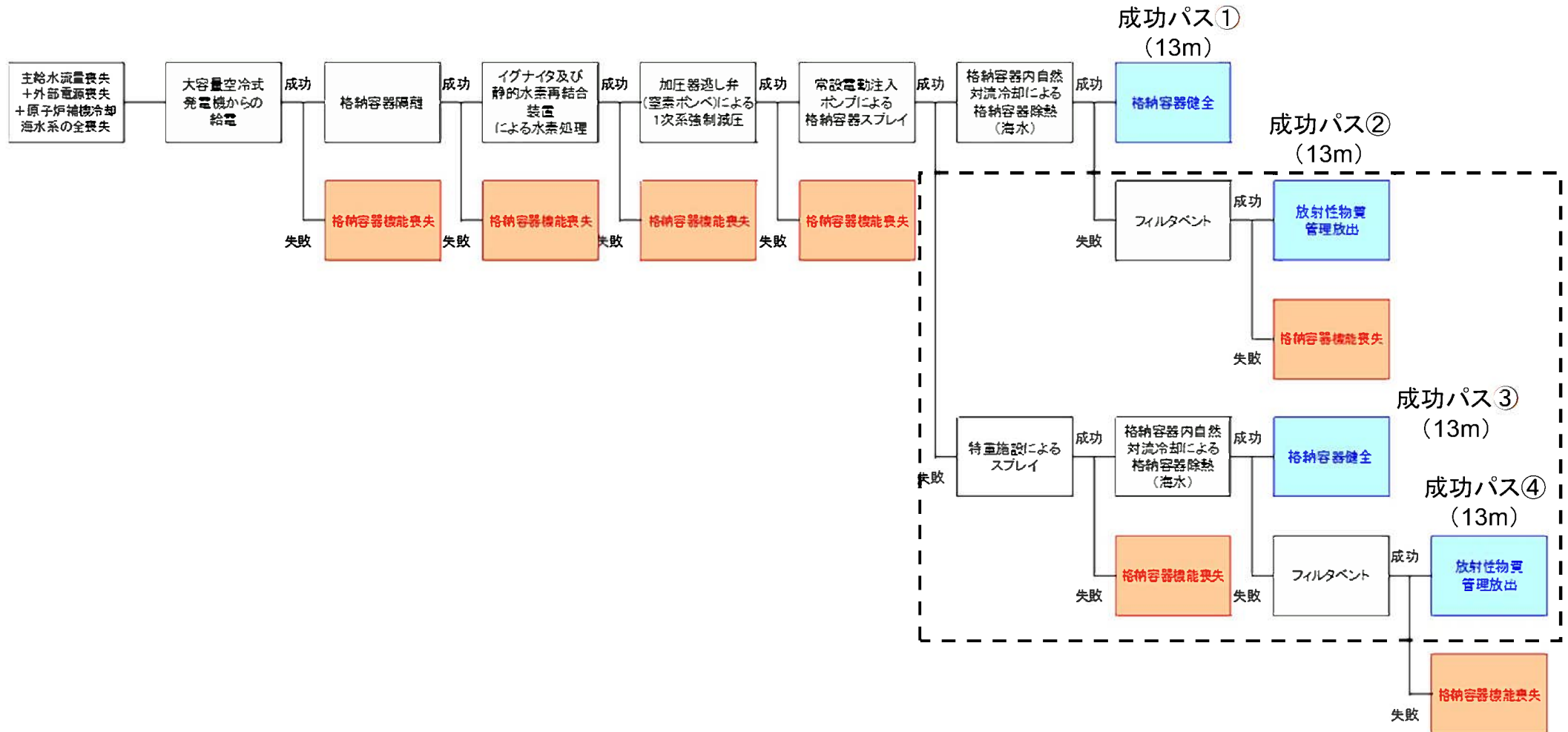
起回事象：外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失



● 評価結果②

・ イベントツリー②' (津波、格納容器 (出力時))

起因事象: 主給水流量喪失 + 外部電源喪失 + 原子炉補機冷却海水系の全喪失



● まとめ

- ・今回の評価は特重施設の主たる機能である炉心損傷後の格納容器破損防止機能に着目した評価であり、第1回評価結果における地震、津波クリフエッジシナリオの起因事象が発生した場合、特重施設活用により、格納容器機能喪失を防止する成功パスの多様化が可能であることを確認した。

● 更なる安全性向上対策の検討

- ・特重施設活用により、格納容器機能喪失を防止する成功パスの多様化について整理したイベントツリーを視覚的に理解することで、重大事故時の事故収束対応のレジリエンス向上の一助となる効果が期待できることから、本評価結果の教育を実施する。

● 今後の評価スケジュール

- ・第6回届出時に、特重施設の重大事故等への活用を踏まえ、炉心損傷防止及び格納容器破損防止対策に対する評価を実施し、更なる安全性向上に向けた検討を実施する。

IAEA安全ガイド「原子力発電所の定期安全レビュー」（SSG-25）に基づき、安全性向上に係る活動の実施状況について、中長期的な観点から有効性評価を実施した。

- 中長期的な評価の目標及び目的

安全性向上に係る活動が、最新の規格・基準や国内外の知見、慣行等に対して有効であることを確実にするとともに、更なる安全性向上措置を抽出し、将来に向けた継続的な安全性向上に資することを目的とする。

- 対象期間

2017.1.18（新規制基準設置変更許可日）～2023.3.8（第15回定事検終了日）

- 実施方法

IAEA SSG-25に基づき、以下の14分野の安全因子（SF：Safety Factor）毎にレビュー項目を体系的に設定し、評価（安全因子レビュー）を行い、安全性向上措置を抽出する。

（プラントに係る安全因子）

SF1：プラント設計

SF2：安全上重要な構築物、系統及び機器の現状

SF3：機器の性能保証

SF4：経年劣化

（安全解析に係る安全因子）

SF5：決定論的安全評価

SF6：確率論的リスク評価

SF7：ハザード解析

（実績及び経験のフィードバックに係る安全因子）

SF8：安全実績

SF9：他プラントでの経験及び研究成果の利用

（マネジメントに係る安全因子）

SF10：組織、マネジメントシステム及び安全文化

SF11：手順

SF12：人的要因

SF13：緊急時計画

（環境に係る安全因子）

SF14：放射性物質が環境に与える影響

- 安全因子レビュー：安全因子毎に設定したレビュー項目に対し、以下のプロセスでレビューする。

文書レビュー等

- 文書・記録を調査し、最新の規格・基準の要求事項や国内外の知見、慣行等に対し、Y(満足)/N(満足していない)を判断する。

レビュー結果の分析・評価

- 得られた所見を「好ましい所見（長所）」、「改善の余地が見込まれる所見（短所）」、「同等の所見」に分類。このうち、「改善の余地が見込まれる所見（短所）」については、更に
 - ・「安全性向上措置案が必要な所見（CR発行）」、
 - ・「安全性向上措置案が必要とは考えられない所見（対応なし）」又は
 - ・「合理的かつ実行可能な改善策を特定できない所見（Hold）」に分類。

所見の安全重要度の評価

- 「安全性向上措置案が必要な所見（CR発行）」について、原子力安全（品質）への影響度からCAQ（影響を及ぼす状態）、Non-CAQ（影響を及ぼさない）に分類し、影響度を評価。

安全性向上措置案の抽出

- 「安全性向上措置案が必要な所見（CR発行）」について、安全重要度に応じて安全性向上措置案を抽出。
- 「好ましい所見（長所）」、「同等の所見」からも更なる改善に繋がる余地があれば安全性向上措置案を抽出。

● 安全因子レビュー結果抜粋 (1/3)

玄海4号機第4回 安全性向上評価

安全因子	Y/N	抽出された所見	所見の整理*	所見の分類**	所見の安全重要度***
SF1	Y	設計要件を取りまとめた設計基準文書（DBD）の更新管理や活用範囲を広げるうえで、改善の余地がある。	同等 (更なる改善)	—	—
SF2,3,4	Y	保安活動の記録及び安全上重要なSSCの記録について、適切に保管されているがアクセス性の向上を図ることで更なる改善に繋がる余地がある。	同等 (更なる改善)	—	—
SF6	N	地震PRA及び津波PRAについて、今回構築した最新図面・手順書を反映した内部事象出力運転時PRAモデルのリスクプロファイルを分析し、影響分析とモデル反映を検討する必要がある。	短所	CR発行	Non-CAQ
SF6	N	地震PRA及び津波PRAについて、人的過誤評価へのEPRI手法の反映や内部事象出力運転時PRAモデルの高度化等による影響を分析し、モデルへの反映を検討する必要がある。	短所	CR発行	Non-CAQ
SF6	N	地震PRA及び津波PRAにおける重要な事故シーケンスグループ等に対してリスク低減方策の検討を実施する必要がある。	短所	CR発行	Non-CAQ

* 抽出された所見について、「長所」、「短所」、「同等」に分類

** 「短所」について、「CR発行」、「対応なし」又は「Hold」に分類

*** 「CR発行」に対してのみ、「CAQ」、「Non-CAQ」に分類し、重要度評価を実施

● 安全因子レビュー結果抜粋（2/3）

玄海4号機第4回 安全性向上評価

安全因子	Y/N	抽出された所見	所見の整理*	所見の分類**	所見の安全重要度***
SF7	N	地震調査研究推進本部の海域活断層の長期評価に関する知見等※ ¹ について、基準地震動および基準津波へ影響を及ぼさないことを確認し、審査中。	短所	対応なし (審査中)	—
SF7	N	「震源を特定せず策定する地震動」に、「標準応答スペクトルを考慮した地震動」を追加する基準改正（令和3年4月21日施行）について、原子炉設置変更許可申請（令和3年8月23日）を行い、審査中。	短所	Hold (審査中)	—
SF7	N	火災防護審査基準の改正（平成31年2月13日）に伴い、火災感知設備の設置要件に関して、設計及び工事計画認可申請（火災感知器追設工事：令和4年2月10日、火災感知器追設工事(特重施設)：令和5年 1月 24日）を行い、審査中。	短所	Hold (審査中)	—

※ 1「日本海南西部の海域活断層の長期評価（第一版）－九州地域・中国地域北西沖－」
及び「日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価（第二版）」

* 抽出された所見について、「長所」、「短所」、「同等」に分類

** 「短所」について、「CR発行」、「対応なし」又は「Hold」に分類

*** 「CR発行」に対してのみ、「CAQ」、「Non-CAQ」に分類し、重要度評価を実施

● 安全因子レビュー結果抜粋 (3/3)

玄海4号機第4回 安全性向上評価

安全因子	Y/N	抽出された所見	所見の整理*	所見の分類**	所見の安全重要度***
SF8	Y	PIの分析手法等において、運用性の向上やしきい値設定によるパフォーマンス評価等の観点で更なる改善の余地がある。	同等 (更なる改善)	—	—
SF8	N	「退域時の有意な汚染の検出件数」(2020年度第4四半期～2021年度第3四半期)、「放射性廃棄物の放出率」及び「液体・気体廃棄物のNDを超えて放出した件数」(2021年度第4四半期)に目標値を超過していた。	短所	対応不要 (改善済)	—
SF10	Y	PRAを含めリスク情報を活用した意思決定(RIDM)の適用範囲及び実績を広げ、日常業務とRIDMの関係に対する理解浸透を図っていく観点で、改善の余地がある。	同等 (更なる改善)	—	—

* 抽出された所見について、「長所」、「短所」、「同等」に分類

** 「短所」について、「CR発行」、「対応なし」又は「Hold」に分類

*** 「CR発行」に対してのみ、「CAQ」、「Non-CAQ」に分類し、重要度評価を実施

● 総合評価（安全性向上措置及び実施計画）（1/2）

玄海4号機第4回 安全性向上評価

抽出した安全性向上措置案について、安全因子間の相互作用を分析した結果、見直す必要がない旨、確認し、安全性向上措置及び実施計画を策定した。

No.	件名	概要	期待される効果	実施時期 (予定)	安全 因子
1	設備保全管理システム（EAM）を活用した設計基準図書の共有	電磁的方法による保存基準を満たすEAMに設計基準図書（DBD）を登録し、電子化・一元化により、更新管理の高度化やアクセス性の向上等の改善を図る。	設計基準図書（DBD）の最新管理、情報共有（アクセス性）を向上できる。	2023年度以降	SF1
2	EAMを活用した保安活動の記録の共有	EAMに保全管理に係る情報を電子化・一元化し、アクセス性の向上を図る。	保全管理に係る情報の最新管理、情報共有（アクセス性）を向上できる。	2023年度	SF2,3,4
3	EAMを活用した安全上重要なSSCの記録の共有	EAMを用いて最新記録を電子化・一元化し、アクセス性の向上を図る。	記録の最新管理、情報共有（アクセス性）を向上できる。	2023年度	SF2
4	外部事象PRAモデルへの伊方プロジェクトにおける海外専門家からの指摘を踏まえた知見の反映	地震PRA及び津波PRAについて、人的過誤評価へのEPRI手法の反映や内部事象出力運転時PRAモデルの高度化等による外部事象PRAへの影響を分析し、モデルへの反映を検討する。	地震PRA及び津波PRAの高度化を図ることができる。	第6回届出時	SF6

● 総合評価（安全性向上措置及び実施計画）（2/2）

玄海4号機第4回 安全性向上評価

No.	件名	概要	期待される効果	実施時期 (予定)	安全 因子
5	外部事象PRAモデルへの最新図面・手順書の反映及び当該PRA結果に基づくリスク低減方策の検討	地震PRA及び津波PRAについて、今回構築した最新図面・手順書を反映した内部事象出力運転時PRAモデルのリスクプロファイルを分析し、外部事象PRAへの影響分析とモデルへの反映を検討する。また、重要な事故シーケンスグループ等に対してリスク低減方策の検討を実施する。	地震PRA及び津波PRAの高度化及びリスク低減対策の充実を図ることができる。	第6回届出時	SF6
6	PI評価手法の改善及びEAMを活用した運用性向上	EAM活用によるPI傾向分析の運用性向上、PIの分析結果の見える化やしきい値設定を行い、パフォーマンス評価の改善を行う。その際、国内外の活用状況に対するベンチマークを実施する。	PI評価結果の分析及び傾向分析の運用性向上を図ることができる。	2023年度以降	SF8
7	リスク情報活用に係る体系的な教育	PRAを含めリスク情報活用に係る体系的な教育を強化する。	PRAを含めRIDMに対する理解浸透を図ることができる。	2023年度以降	SF10

4-1 評価結果（1/2）

玄海4号機第4回 安全性向上評価

● 安全性向上評価の結果

第1章から第3章までの評価結果を踏まえた評価結果を以下に示す。

◆ 安全性に関する長所

- 改善活動が保安活動に定着し、継続的な見直しが行われている。
- 最新の科学的知見及び技術的知見の情報収集、評価及び反映に係る仕組みは有効に機能している。
- 特定重大事故等対処施設の設置に伴い、PRAではCFFが低減されることを確認した。安全裕度評価では格納容器機能喪失を回避する成功パスが多様化できることを確認した。
- 中長期的な評価において、設定した項目の大部分が最新の規格・基準や慣行に対して有効であることを確認しており、得られた所見から更なる安全性向上措置を抽出している。
- これまでの届出書で抽出された安全性向上措置が計画的に実施されている。

◆ 安全性に関する短所

- 第1章から第3章までの評価結果から、安全性に関する短所として抽出されたものはなかった※。

※中長期的な評価における「改善の余地が見込まれる所見（短所）」や安全性向上措置については、更なる改善活動であり、現状の発電用原子炉施設における安全性に関する短所（＝脆弱性等）としては評価しない。

◇ 評価結果

継続的に安全性向上を行う取組みは有効に機能している。今後とも、抽出された安全性向上措置を確実に実施することで、安全性は更に向上する。

● これまでの外部評価の対応状況

原子力に係る安全性・信頼性向上委員会で本届出に関するご意見、ご助言を頂き、その結果を踏まえた対応を検討していく。なお、川内1、2号機の第1～5回、玄海3、4号機の第1～3回届出時にいただいたご意見、ご助言に対する対応状況は以下の通り。

ご意見、ご助言	対応状況 (対応方針含む)
<p>安全裕度評価結果を用いた継続的改善を実施する。</p>	<p>第6回届出にて実施する安全裕度評価において、第1回届出にて特定したクリフエッジの次のクリフエッジを特定し、その影響や対策を検討する。</p>
<p>従来のハードウェア（設備）対策に加えて、リスク評価結果を踏まえた教育訓練の強化等、取り組んでいると理解。</p> <p>しかし、安全性向上に向けた活動は、本当に優先順位が高く、重要なものから順番に着手できているか。これをどうやって確認するのかは議論しないといけない。</p> <p>また、様々な改善活動を実施しているが、見落としはないか、残っているものがないかという観点で見たい。</p>	<p>改善活動については、PRAを含む様々なリスク情報を基に重要度や優先順位を判断し計画的に実施しており、今後も継続的にRIDMプロセスの改善に取り組んでいく。</p> <p>改善活動における見落とし等がないかについては、国内外の最新の科学的/技術的知見の収集・反映等を行っており、引き続き新たに抽出されるリスクに対して、必要に応じて対応していく。</p> <p>また、安全性向上評価における中長期的な評価では、14の安全因子の観点で最新の規格・基準や知見に対する有効性を確認するとともに、追加措置の策定に当たっては、他の安全因子への影響も考慮している。</p>
<p>特重施設設置にあたり、その有効性の評価に注目しがちになるが、新たなものには必ずリスクもあるものである。そうした観点での確認・検証も行うこと。</p>	<p>特重施設の設置にあたっては、現状、貫通部追加に伴う既設建屋の耐震性の確認や、特重施設の追加（火災荷重が増加）に伴う既設建屋の火災影響評価等、「新しいものを取り入れることによって発生するリスク」について確認している。</p> <p>今後も継続的に新たなものを導入する際に生じるリスクに対し確認・検証することに加え、国内外の最新の科学的/技術的知見を収集し、当社としての新たに考慮すべきリスクを検討し取り組んでいく。</p>

● 決定論的安全評価、確率論的リスク評価及び安全裕度評価により抽出された追加措置

具体的な措置	実施時期（予定）
重大事故等時における特重施設の活用に関する評価結果の教育	適宜

● 確率論的リスク評価により抽出された追加措置

具体的な措置	実施時期（予定）
ECCS再循環切替自動化設備の導入	2023～2024年度(第16回定検)にて工事成立性等の確認実施
ECCS再循環切替操作に関する教育、訓練の継続	継続実施
原子炉補機冷却水系補給操作、1次冷却材ポンプ封水LOCA発生後のSA対策等に関する教育、訓練の実施	適宜
破損側蒸気発生器隔離操作及び隔離失敗後のSA対策に関する教育、訓練の実施	適宜

● 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から抽出された追加措置

具体的な措置	実施時期 (予定)
設備保全管理システム (EAM) を活用した設計基準図書の共有	2023年度以降
EAMを活用した保安活動の記録等の共有	2023年度
EAMを活用した安全上重要なSSCの記録の共有	2023年度
外部事象PRAモデル等への伊方プロジェクトにおける海外専門家からの指摘を踏まえた知見の反映	第6回届出時
外部事象PRAモデルへの最新図面・手順書の反映及び当該PRA結果に基づくリスク低減方策の検討	第6回届出時
PI評価手法の改善及びEAMを活用した運用性向上	2023年度以降
リスク情報活用に係る体系的な教育	2023年度以降

● 今後の安全性向上に向けた短期的及び中長期的な方針

今後も保安活動の確実な実施を基本に、以下の安全性向上に向けた短期的及び中長期的な方針により、今回の本届出で抽出した安全性向上に資する措置を確実に実行することにより発電所の安全性向上に努める。

＜今後の安全性向上に向けた短期的及び中長期的な方針＞

- 安全性向上評価の仕組みを活用した取組みを継続し、合理的に実現可能な限りリスクを低減。
- RIDM (Risk Informed Decision Making) プロセスの定着と段階的な拡大を図っていくとともに、本プロセスの実践を通じて原子力部門全体でのリスク管理に係る力量向上を図っていく。
- 発電所の設計・運用情報、運転経験等の情報について、自社で内部事象を対象としたPRAモデルに適宜反映することにより、現状の発電所の実態に即したリスク評価・管理を実施する。
- デジタル技術を活用した業務改革 (DX) を行い、業務や意思決定の品質向上を図る。
(EAM活用による設計情報・保全管理等の情報管理一元化 等)
- 特重施設について、第6回でも重大事故等への活用を踏まえた評価を実施し、更なる安全性向上に向けた検討を実施する。



※1 内部事象出力運転時PRAを実施

※2 内部事象停止時PRA及び外部事象PRA並びに安全裕度評価を実施

☆：予定

● 第1回～第3回届出時に抽出された措置の実施状況（2023年3月31日時点）

第1回～第3回届出時に計画した追加措置*については、下記のとおり計画的に対応を行っている。

* 第3回届出までに完了した工事・運用変更を除く

保安活動から抽出した措置（措置計画時期）	実施時期（予定）	実施状況	備考
原子炉安全保護計装盤等更新（第1回）	第15回定検	完了	—
主タービン制御盤更新（第2回）	第15回定検	完了	—
発電機変圧器保護盤更新（第2回）	第15回定検	完了	—
高pH運転対応設備導入（第2回）	第15回定検	完了	—
海水ポンプ取替工事（第2回）	第15回定検	完了	—
デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障対策工事（第3回）	第16回定検	対応中	—

PRAから抽出した措置（措置計画時期）	実施時期（予定）	実施状況	備考
特定重大事故等対処施設による格納容器スプレイ及びフィルタベントの導入（第1回）	2022年度	完了	—

END



起回事象※1	起回事象発生頻度（／炉年）	炉心損傷頻度（／炉年）	寄与割合	CCDP※2
小破断LOCA	1.9E-04	8.7E-07	20.6%	4.6E-03
原子炉補機冷却水系の全喪失	1.5E-05	7.7E-07	18.1%	5.3E-02
中破断LOCA	9.0E-05	4.8E-07	11.2%	5.3E-03
安全系高圧交流母線の部分喪失	4.9E-04	3.5E-07	8.2%	7.1E-04
外部電源喪失	6.7E-03	3.3E-07	7.8%	5.0E-05
蒸気発生器伝熱管破損	3.8E-03	2.9E-07	6.8%	7.7E-05
制御用空気系の全喪失	2.5E-03	2.6E-07	6.1%	1.1E-04
原子炉補機冷却海水系の全喪失	3.1E-06	2.1E-07	5.0%	6.7E-02
安全系低圧交流電源の部分喪失	1.1E-02	9.8E-08	2.3%	8.8E-06
インターフェイスシステムLOCA	7.4E-07	9.2E-08	2.2%	1.2E-01
主蒸気管破断（主蒸気隔離弁下流）	1.8E-03	9.5E-08	2.2%	5.3E-05
手動停止	1.8E-01	8.9E-08	2.1%	4.9E-07
原子炉容器破損	7.1E-08	7.1E-08	1.7%	1.0E+00
過渡事象	5.6E-02	5.6E-08	1.3%	1.0E-06
大破断LOCA	2.2E-06	4.6E-08	1.1%	2.1E-02
安全系直流母線の部分喪失	3.4E-03	4.6E-08	1.1%	1.4E-05
極小LOCA	2.5E-03	4.1E-08	1.0%	1.6E-05

※1：全炉心損傷頻度に対する寄与割合が1.0%以上のものを記載、※2：条件付炉心損傷確率（Conditional Core Damage Probability）

○PDS別の炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度

- ✓ 炉心損傷頻度については、ECCS再循環機能喪失の事故シーケンスが含まれるAEW及びSLW、原子炉補機冷却機能喪失の事故シーケンスが含まれるTED、2次冷却系からの除熱機能喪失の事故シーケンスが含まれるTEIの寄与割合が大きい。
- ✓ 格納容器機能喪失頻度については、SGTRの事故シーケンスが含まれるG、インターフェースシステムLOCAの事故シーケンスが含まれるV、格納容器隔離の事故シーケンスが含まれるSLW及びSEDの寄与割合が大きい。

PDS	CDF (/炉年)	全CDF への寄与	CFF (/炉年)	全CFF への寄与	CCFP*
AED	1.6E-08	0.4%	1.6E-08	2.4%	0.96
AEW	5.0E-07	11.7%	1.0E-08	1.6%	0.02
AEI	8.1E-08	1.9%	3.4E-09	0.5%	0.04
ALC	ε	<0.1%	ε	<0.1%	—
SED	3.0E-07	7.0%	6.5E-08	10.0%	0.22
SEW	ε	<0.1%	ε	<0.1%	—
SEI	2.1E-08	0.5%	7.4E-09	1.1%	0.36
SLW	1.5E-06	35.9%	7.4E-08	11.4%	0.05
SLI	1.4E-09	<0.1%	5.9E-10	<0.1%	0.42
SLC	4.6E-09	0.1%	4.6E-09	0.7%	1.00
TED	7.4E-07	17.4%	6.4E-08	9.9%	0.09
TEW	2.8E-08	0.7%	7.4E-10	0.1%	0.03
TEI	6.6E-07	15.4%	2.4E-08	3.6%	0.04
V	9.2E-08	2.2%	9.2E-08	14.1%	1.00
G	2.9E-07	6.8%	2.9E-07	44.5%	1.00
合計	4.3E-06	100%	6.5E-07	100%	0.15

※：条件付格納容器機能喪失確率（Conditional Containment Failure Probability）

○ PDSの一覧

PDS	事故のタイプ	1次系圧力	炉心損傷時期	格納容器内事象進展		
				RWST水のCVへの移送	格納容器の機能喪失時期	格納容器内除熱手段
AED	大中LOCA	低圧	早期	×	炉心損傷後	×
AEW	大中LOCA	低圧	早期	○	炉心損傷後	×
AEI	大中LOCA	低圧	早期	○	炉心損傷後	○
ALC	大中LOCA	低圧	後期	○	炉心損傷前	×
SED	小LOCA	中圧	早期	×	炉心損傷後	×
SEW	小LOCA	中圧	早期	○	炉心損傷後	×
SEI	小LOCA	中圧	早期	○	炉心損傷後	○
SLW	小LOCA	中圧	後期	○	炉心損傷後	×
SLI	小LOCA	中圧	後期	○	炉心損傷後	○
SLC	小LOCA	中圧	後期	○	炉心損傷前	×
TED	トランジェント	高圧	早期	×	炉心損傷後	×
TEW	トランジェント	高圧	早期	○	炉心損傷後	×
TEI	トランジェント	高圧	早期	○	炉心損傷後	○
V	IS-LOCA	低圧	—	—	—	—
G	SGTR	中圧	—	—	—	—

○ PDSの略号の説明

事故のタイプと1次系圧力の分類記号

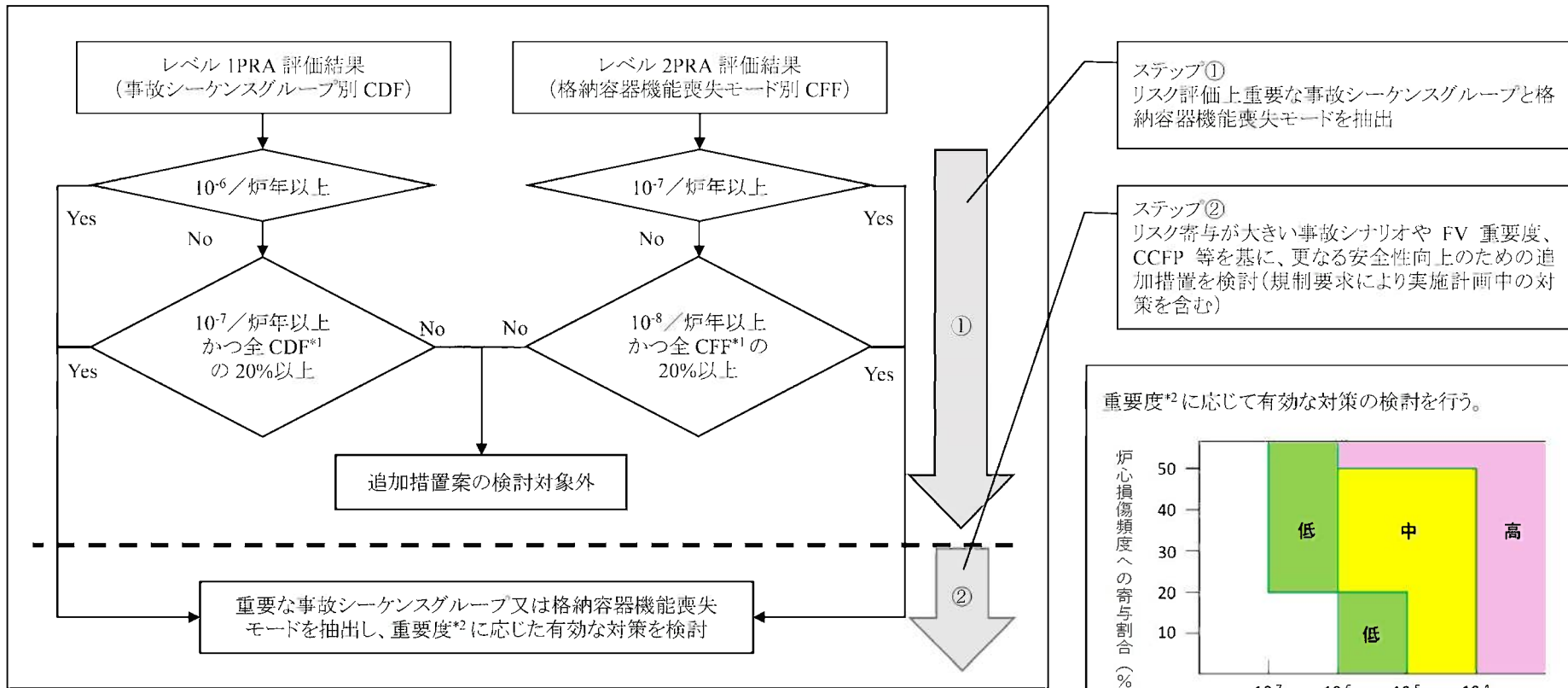
略号	事故の種類
A	大破断LOCA、中破断LOCA
S	小破断LOCA
T	過渡事象(外部電源喪失、主給水流量喪失等)
V	インターフェイスシステムLOCA
G	蒸気発生器伝熱管破損

炉心損傷時期の分類記号

略号	炉心損傷時期
E	早期炉心損傷
L	後期炉心損傷

格納容器内事故進展の分類記号

略号	RWST水のCVへの移送及びCV内除熱手段
D	格納容器内への燃料取替用水の注水がなく、格納容器スプレイ系不作動
W	格納容器内への燃料取替用水の注水があり、格納容器スプレイ系不作動
I	格納容器スプレイ系(再循環含む)作動
C	格納容器先行破損



*1: 内部事象出力運転時、内部事象停止時、地震出力運転時、津波出力運転時のうち、評価対象とした各 PRA の中のリスク合計値

*2: 原子力学会標準「原子力発電所におけるシビアアクシデントマネジメントの整備及び維持向上に関する実施基準：2019」において、重要度「高」「中」「低」の事業者の対応が記載されており、これを参考に対応を実施する。なお、格納容器機能喪失モードについては、横軸が1桁ずつ低い値を閾値として設定

- 低**：炉心損傷防止及び格納容器破損防止に着目した手順への対処（重要な事故シーケンスの教育、訓練による緩和策の習熟等）を検討する。
- 中**：緩和策の面から、炉心損傷頻度等の低減に着目した手順あるいは設備の変更案を検討する。
- 高**：起因事象発生防止から緩和策までのあらゆる面から、炉心損傷頻度等の低減に着目した手順又は設備の変更案を検討する。