



安全性向上評価の継続的な改善に係る会合での 意見交換事項への回答

関西電力株式会社

2021年3月18日



| | | |
|--------------------|--|--------|
| 1. 確率論的リスク評価 | | |
| 1.1 | 確率論的リスク評価の結果を踏まえ、設備や手順の改善対策等を行った結果として、CDF等が改善しているのであれば、そのような事例を次回具体的に説明して欲しい。 | 3,4頁 |
| 1.2 | 前回の資料で示されたハザード・フラジリティ評価の高度化、SSHACプロセスの確立及び確立後の手法見直しの考え方等の地震PRA・津波PRAの評価手法の改善の具体的な計画及び内容を次回より詳しく説明して欲しい。 | 5,6,7頁 |
| 1.3 | レベル3 PRAを安全性向上評価届出で実施することについて、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 8頁 |
| 1.4 | 炉心損傷後の条件付格納容器機能喪失確率を定義・分析・評価することは、更なる安全性向上策を検討する上でも有効な手段と考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 9頁 |
| 2. 被ばく評価 | | |
| 2.1 | 被ばく評価の結果について、核種毎の放出タイミング、放出量、線量への寄与を届出書へ具体的に示すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 11頁 |
| 3. 安全裕度評価（ストレステスト） | | |
| 3.1 | 津波クリフエッジの評価において、建屋のシール部を超えた時点で一律に水没するとしているが、今後いずれかの時点で、より現実的な評価（具体的な浸水区画を考慮する等の評価）を行うべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 13頁 |
| 4. 特定重大事故等対処施設の扱い | | |
| 4.1 | 特重施設導入後のPRAにおいて、重大事故等への対応に特重施設を活用する場合のイベントツリー設定等の考え方を次回説明して欲しい。 | 15頁 |
| 4.2 | 地震時のストレステストにおいて、特重施設の系統毎（フィルタベント、下部炉心注水等）に頑健性を把握、確認すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 16頁 |

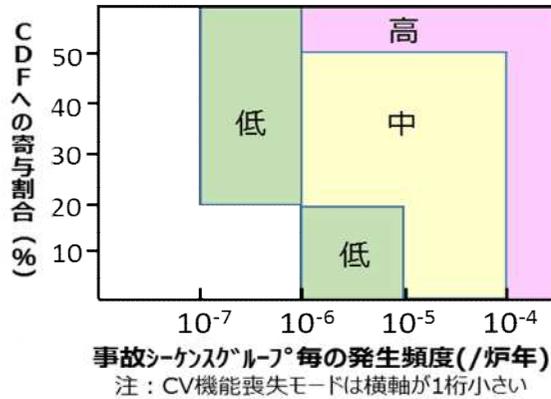
| | | |
|---------------------|---|--------|
| 1. 確率論的リスク評価 | | |
| 1.1 | 確率論的リスク評価の結果を踏まえ、設備や手順の改善対策等を行った結果として、CDF等が改善しているのであれば、そのような事例を次回具体的に説明して欲しい。 | 3,4頁 |
| 1.2 | 前回の資料で示されたハザード・フラジリティ評価の高度化、SSHACプロセスの確立及び確立後の手法見直しの考え方等の地震PRA・津波PRAの評価手法の改善の具体的な計画及び内容を次回より詳しく説明して欲しい。 | 5,6,7頁 |
| 1.3 | レベル3 PRAを安全性向上評価届出で実施することについて、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 8頁 |
| 1.4 | 炉心損傷後の条件付格納容器機能喪失確率を定義・分析・評価することは、更なる安全性向上策を検討する上でも有効な手段と考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 9頁 |
| 2. 被ばく評価 | | |
| 2.1 | 被ばく評価の結果について、核種毎の放出タイミング、放出量、線量への寄与を届出書へ具体的に示すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 11頁 |
| 3. 安全裕度評価 (ストレステスト) | | |
| 3.1 | 津波クリフエッジの評価において、建屋のシール部を超えた時点で一律に水没しているが、今後いずれかの時点で、より現実的な評価 (具体的な浸水区画を考慮する等の評価) を行うべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 13頁 |
| 4. 特定重大事故等対処施設の扱い | | |
| 4.1 | 特重施設導入後のPRAにおいて、重大事故等への対応に特重施設を活用する場合のイベントツリー設定等の考え方を次回説明して欲しい。 | 15頁 |
| 4.2 | 地震時のストレステストにおいて、特重施設の系統毎 (フィルタベント、下部炉心注水等) に頑健性を把握、確認すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 16頁 |

- 高浜3,4号機および大飯3,4号機の第1回安全性向上評価での追加措置としてPRAの結果を踏まえ以下のような改善事項を抽出している。
 - ・RCP(1次冷却材ポンプ) シャットダウンシール (以下SDS) 導入
 - ・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
 - ・運転員及び緊急安全対策要員への教育・訓練プログラム策定に係るリスク情報の活用

P R A 結果に基づく大飯3,4号機での検討事例 (RCPシール機能の信頼性向上)

【レベル1.5 PRA結果】

【安全性向上対策検討の社内目安】



【レベル1 PRA結果】

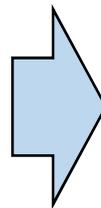
| 事故シーケンスグループ | 内の事象 (出力時) |
|----------------|----------------|
| 2次冷却系からの除熱機能喪失 | 2.8E-7 |
| 全交流電源喪失 | 9.9E-8 |
| 原子炉補機冷却機能喪失 | 1.1E-6 (58.7%) |
| 原子炉格納容器の除熱機能喪失 | 6.3E-9 |
| 原子炉停止機能喪失 | 5.6E-9 |
| ECCS注水機能喪失 | 2.7E-7 |
| ECCS再循環機能喪失 | 3.1E-8 |
| 格納容器バイパス | 8.8E-8 |
| 合計 | 1.9E-6 |

| CV機能喪失モード | 内の事象 (出力時) |
|---------------------|----------------|
| 原子炉容器内水蒸気爆発 | 1.7E-11 |
| 格納容器隔離失敗 | 7.6E-8 |
| 水素燃焼 | 5.2E-11 |
| 水蒸気・非凝縮性ガス蓄積による過圧破損 | 3.6E-7 (56.2%) |
| ベースマット溶融貫通 | 1.1E-8 |
| 水蒸気蓄積によるCV先行破損 | 1.4E-8 |
| 原子炉容器外水蒸気爆発 | 3.8E-10 |
| 格納容器雰囲気直接加熱 | ε |
| インターフェイスシステムLOCA | 1.7E-9 |
| 蒸気発生器伝熱管破損 | 9.5E-8 |
| 格納容器過温破損 | 8.1E-8 |
| 格納容器直接接触 | ε |
| 合計 | 6.4E-7 |

評価結果から重要度「高」として分類された

- ・原子炉補機冷却水系の機能喪失による炉心損傷
- ・格納容器過圧破損モードによる格納容器機能喪失

を安全性向上対策案を検討する対象として抽出

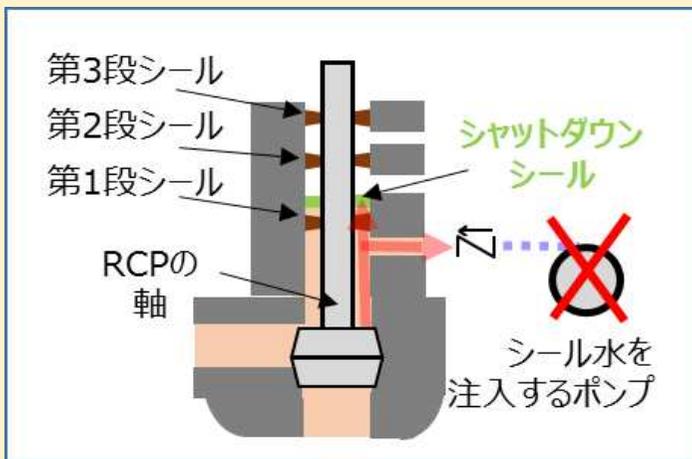


原子炉補機冷却水喪失時のRCPシール水停止に伴うシール部漏えいリスク低減のため、
「RCPシール機能の信頼性向上」 を追加措置として選定

P R A 結果に基づく大飯3,4号機での検討事例 (RCPシール機能の信頼性向上)

RCPシャットダウンシールの導入

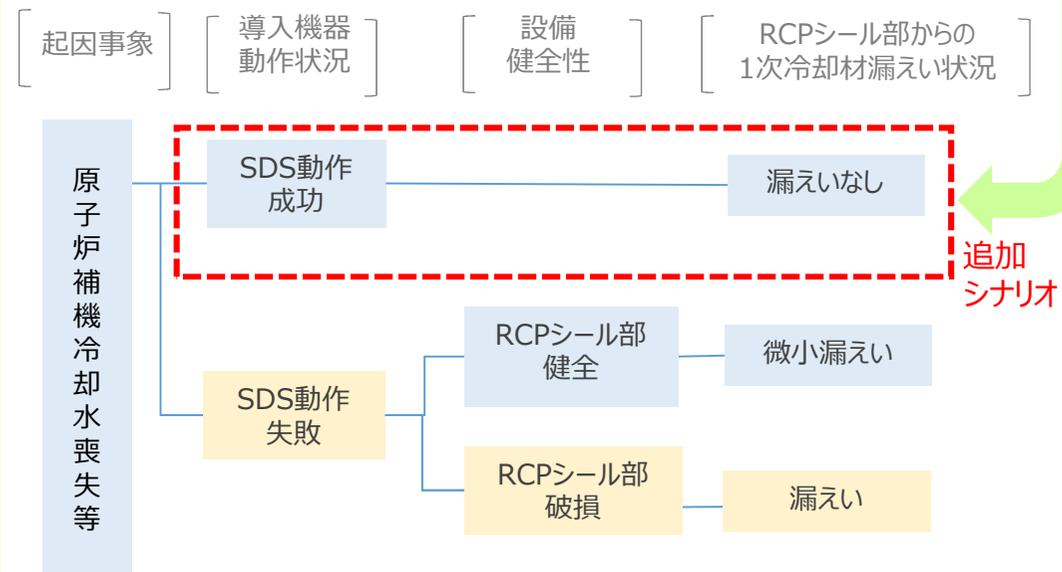
原子炉補機冷却水喪失時にシール水が停止した場合に自動作動し、シールLOCAを防止する



<導入実績>

- ・大飯3号機：第18回定期検査にて導入中
- ・大飯4号機：第17回定期検査にて導入済
- ・高浜3号機：第24回定期検査にて導入中
- ・高浜4号機：第23回定期検査にて導入中

漏えいリスクが低減することで炉心損傷確率も低減



- SDSの導入により「原子炉補機冷却水系の機能喪失」の発生によりRCPシール水が停止した場合にも、RCPシールLOCAの発生が防止でき、恒設代替低圧注水ポンプによる炉心注入等がなくても炉心損傷回避可能となりCDF低減。
- また、同シナリオのCDFが低減することでCFF（過圧破損モード）の低減も期待できる。（現在、PRAモデルへの反映実施中。今後の安全性向上評価の際に結果を報告予定。）

○ 「ハザード・フラジリティ評価手法高度化」、「SSHACプロセスを踏まえた高度化」等の取組みを踏まえた地震・津波PRAの高度化計画について

■ ハザード・フラジリティ評価手法高度化

- NRRC（原子力リスク研究センター）にて地震及び津波に関する現実的な評価手法の確立や、データ拡充を試みている。適用可能となったものから順次、地震及び津波PRAに取り入れていく。

【取組み例】

- ✓ より現実的な地震フラジリティ評価に資するため、NRRCが有する高加速度の加振が可能な加振台を使用し、以下のとおり、弁、配管系等の機能維持限界耐力評価を行い、データ拡充を図っている。
 - 電動弁の加振試験による損傷データ拡充
 - 従来の弾性範囲の評価を置き換える塑性変形能力・疲労・弾塑性応答を考慮した現実的な評価法の整備のため、配管エルボの曲げ試験による、ギロチン破断(従来の地震フラジリティ評価で想定)の発生状況確認、疲労評価を実施
- ✓ より現実的な地震動ハザード評価に資するため、地震動予測モデル（地震動予測式、断層モデル）の定量的重み付け手法等の構築に取り組んでいる。
- 地震により損傷した場合の損傷規模や程度を特定できずに直接炉心損傷に至るとしている機器について、判断するためのデータに乏しく評価を精緻化できていないことから、地震動評価に用いた専門家判断の手法等を参考に、電力共通課題として、評価の精緻化手法を検討していく。

- SSHACプロセスを踏まえた高度化
 - 四国電力伊方発電所を対象に2020年にかけて実施した、SSHACプロセスを用いた地震動ハザード評価に関して、他の個別プラントに水平展開を行う場合、専門家の確保、実施期間の長さが課題となる。
 - 特に専門家のリソースは限られており、効率よく水平展開する方法の検討が必要である。
 - NRRRCにて2020年度から2021年度にかけて、伊方SSHACの結果を踏まえた確率論的地震動ハザード評価の実務ガイドを作成し、2022年度以降に試検討を実施する予定。
 - 個別プラント適用については、その検討結果を踏まえ、対応していく。

- その他
 - 内部事象PRAの改善の成果についても適宜反映していく。
 - 人間信頼性評価手法の変更（THERP手法⇒EPRI手法）については、関西電力の個別プラントにおいては、2022年度以降の届出で反映予定。

1.2 外部事象 P R Aに係る今後の改善事項について (3/3)

<実施スケジュール>

現在

| 取組み | | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 2023年度 | 2024年度 | 2025年度 |
|---------------------|---------------------------------------|------------------|--|---|--------|--------|--------------------|
| 評価手法高度化研究※1 | 地震 | ハザード | 確率論的地震ハザード解析手法の高度化研究 <地震動予測モデル(地震動予測式、断層モデル)の定量的重み付け手法等> (SSHACプロセス適用検討は※2で実施) | | | | 個別プラント適用検討 後続研究 |
| | | 脆弱性 | 機器・配管脆弱性高度化研究 <加振台を用いたデータ拡充等> | 個別プラント適用検討 後続研究(加振台によるデータ拡充結果を踏まえた検討等) | | | |
| | 津波 | ハザード | 確率論的津波ハザード解析手法の高度化研究 <地すべりに起因する津波の確率論的評価手法等> | | | | 個別プラント適用検討 後続研究 |
| | | 脆弱性 | 津波脆弱性高度化研究 <津波影響評価手法高度化(漂流物影響)等> | 確率論的評価のための技術およびデータの整備(検討中) | | | |
| SSHACプロセスを踏まえた高度化※2 | | 伊方SSHAC地震動ハザード評価 | 伊方SSHACを踏まえた実務ガイド作成 | 実務ガイドによる試検討 | | | |
| その他 | 人間信頼性評価手法の変更 (EPRI手法の地震・津波PRAへの適用) | 適用性検討 | 個別プラント評価 適宜届出(2022年度以降) | | | | |

※1: 取組み内容は一例。

【凡例】

□ : 評価完了

□ : 個別プラント適用検討・後続研究

□ : プラント共通の研究等

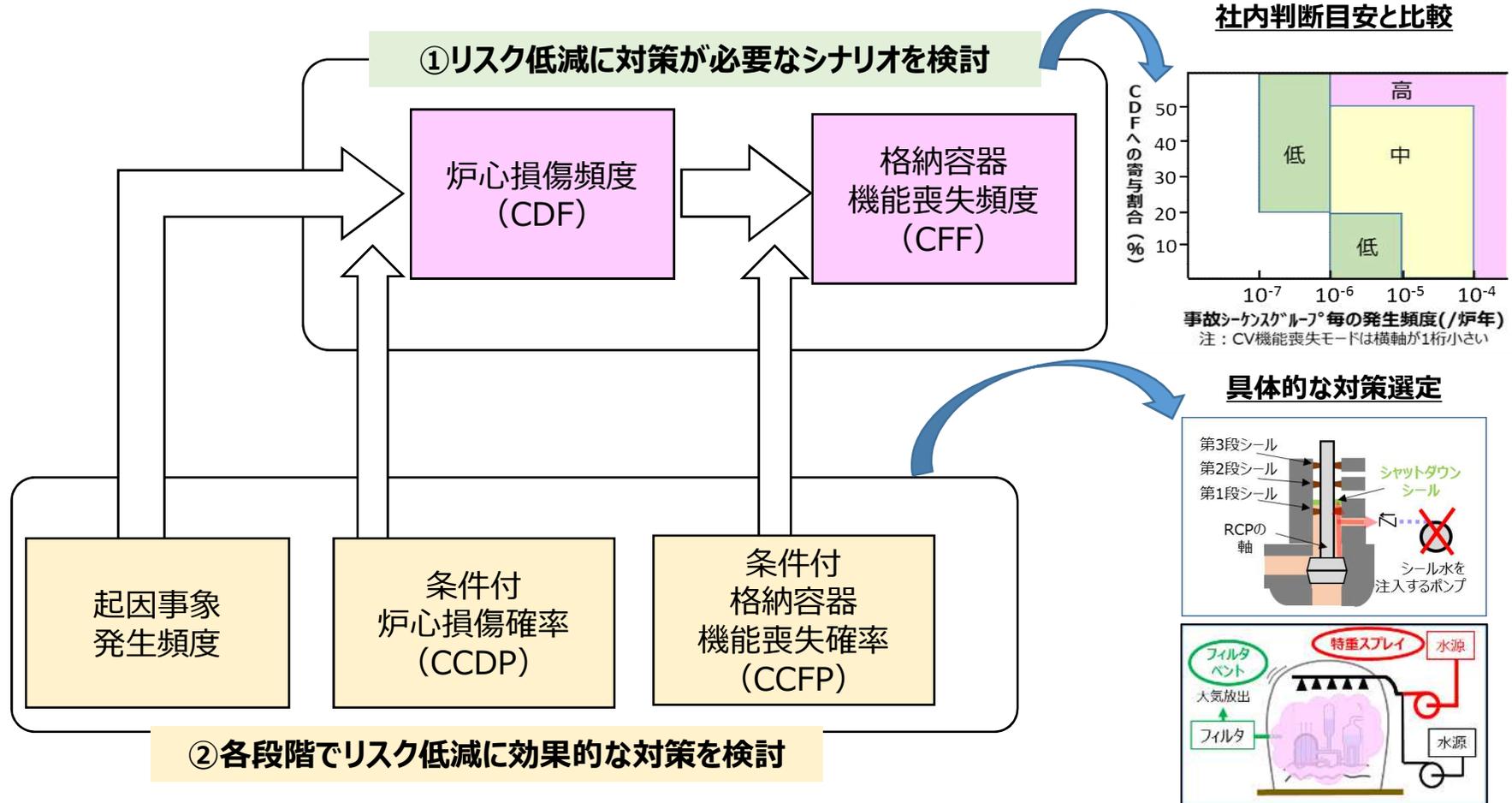
□ : 個別プラント評価

- レベル3 P R Aは、環境への放射性物質の放出による公衆への健康影響等を評価するものであり、避難等の防護対策の効果も考慮して評価を行うことから、評価及び結果の公表に当たっては、国や自治体など関係機関と協調しながら実施する必要があるものと考えている。
- 安全性向上評価において実施する安全性向上対策の検討については、より直接的な指標である炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度等の結果を活用することで実施可能と考えている。

<レベル3 P R A実施に係る課題について>

- レベル3 P R Aを実施するに当たり、評価条件については、原子力災害対策指針や地域防災計画等の情報から、事象に応じたE A Lの運用を踏まえた防護措置（屋内退避や避難）開始時期、避難速度やルート等を現実的に設定する必要があり、知見の収集・調査、解析コードへの適用方法の検討など、原子力リスク研究センターの研究マネジメントの枠組みの中で、課題解決に向けて取り組んでいるところである。

- 更なる安全性向上対策の検討に際しては、PRA評価結果からCDFやCFFといったプラントリスクに直接的に寄与の大きいシナリオを把握し、リスク低減のために優先的に対応検討すべきものを抽出している。
- リスク低減の対策選定に際しては、起因事象発生防止、炉心損傷防止、格納容器破損防止の各段階で効果的な対策を検討しており、条件付炉心損傷確率（CCDP）や条件付格納容器機能喪失確率（CCFP）※についても 格納容器破損防止対策の効果を検討するうえで有効な指標と考えている。
 (※ 炉心損傷が発生した場合に格納容器機能喪失に至る確率。プラント損傷状態毎の評価値をSAR届出書にも記載)

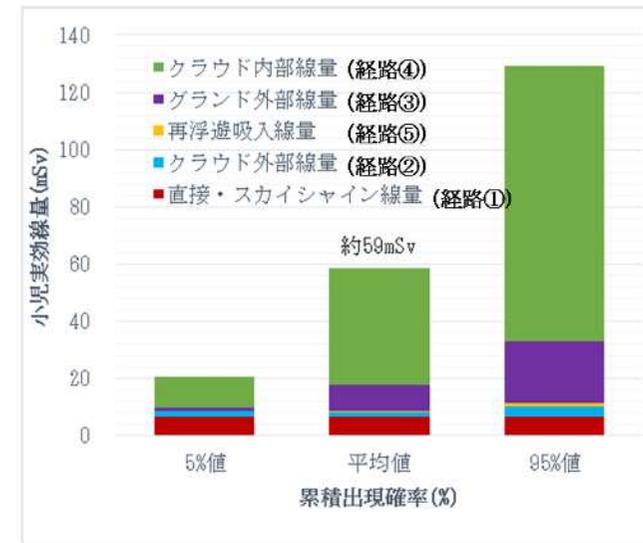
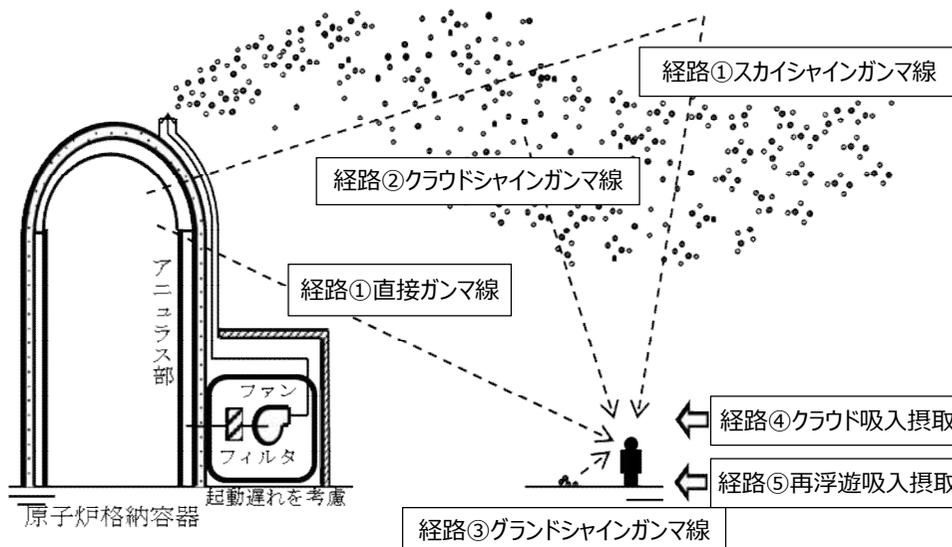


| | | |
|---------------------|--|--------|
| 1. 確率論的リスク評価 | | |
| 1.1 | 確率論的リスク評価の結果を踏まえ、設備や手順の改善対策等を行った結果として、CDF等が改善しているのであれば、そのような事例を次回具体的に説明して欲しい。 | 3,4頁 |
| 1.2 | 前回の資料で示されたハザード・フラジリティ評価の高度化、SSHACプロセスの確立及び確立後の手法見直しの考え方等の地震PRA・津波PRAの評価手法の改善の具体的な計画及び内容を次回より詳しく説明して欲しい。 | 5,6,7頁 |
| 1.3 | レベル3 PRAを安全性向上評価届出で実施することについて、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 8頁 |
| 1.4 | 炉心損傷後の条件付格納容器機能喪失確率を定義・分析・評価することは、更なる安全性向上策を検討する上でも有効な手段と考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 9頁 |
| 2. 被ばく評価 | | |
| 2.1 | 被ばく評価の結果について、核種毎の放出タイミング、放出量、線量への寄与を届出書へ具体的に示すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 11頁 |
| 3. 安全裕度評価 (ストレステスト) | | |
| 3.1 | 津波クリフエッジの評価において、建屋のシール部を超えた時点で一律に水没するとしているが、今後いずれかの時点で、より現実的な評価 (具体的な浸水区画を考慮する等の評価) を行うべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 13頁 |
| 4. 特定重大事故等対処施設の扱い | | |
| 4.1 | 特重施設導入後のPRAにおいて、重大事故等への対応に特重施設を活用する場合のイベントツリー設定等の考え方を次回説明して欲しい。 | 15頁 |
| 4.2 | 地震時のストレステストにおいて、特重施設の系統毎 (フィルタベント、下部炉心注水等) に頑健性を把握、確認すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 16頁 |

- 安全性向上評価届出書に記載する敷地境界付近における公衆の個人の実効線量については、格納容器破損防止対策等の安全性向上対策の有効性を示す一つの指標と認識している。
- 届出書に記載している被ばく経路毎の線量評価結果は、敷地境界外における防護措置の改善検討のための一助になるものと考えている。

| 被ばく経路 | 主な防護措置 |
|-------------------------------------|-----------------------|
| クラウド内部被ばく、再浮遊吸入 | 安定よう素剤の服用、屋内退避、防護具の着用 |
| クラウド外部被ばく、グランド外部被ばく、 直接・スカイシャイン線 | 屋内退避・避難 |

- 他方、ご指摘の核種毎の被ばく線量評価については、特定の核種に対して有効な防護措置がある訳でないことに鑑みると、防護措置の改善検討に対しての重要性は高くないものと認識している。



敷地境界における実効線量の評価結果
(高浜3、4号機の評価例：格納容器健全)

| | | |
|---------------------|---|--------|
| 1. 確率論的リスク評価 | | |
| 1.1 | 確率論的リスク評価の結果を踏まえ、設備や手順の改善対策等を行った結果として、CDF等が改善しているのであれば、そのような事例を次回具体的に説明して欲しい。 | 3,4頁 |
| 1.2 | 前回の資料で示されたハザード・フラジリティ評価の高度化、SSHACプロセスの確立及び確立後の手法見直しの考え方等の地震PRA・津波PRAの評価手法の改善の具体的な計画及び内容を次回より詳しく説明して欲しい。 | 5,6,7頁 |
| 1.3 | レベル3 PRAを安全性向上評価届出で実施することについて、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 8頁 |
| 1.4 | 炉心損傷後の条件付格納容器機能喪失確率を定義・分析・評価することは、更なる安全性向上策を検討する上でも有効な手段と考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 9頁 |
| 2. 被ばく評価 | | |
| 2.1 | 被ばく評価の結果について、核種毎の放出タイミング、放出量、線量への寄与を届出書へ具体的に示すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 11頁 |
| 3. 安全裕度評価 (ストレステスト) | | |
| 3.1 | 津波クリフエッジの評価において、建屋のシール部を超えた時点で一律に水没しているが、今後いずれかの時点で、より現実的な評価 (具体的な浸水区画を考慮する等の評価) を行うべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 13頁 |
| 4. 特定重大事故等対処施設の扱い | | |
| 4.1 | 特重施設導入後のPRAにおいて、重大事故等への対応に特重施設を活用する場合のイベントツリー設定等の考え方を次回説明して欲しい。 | 15頁 |
| 4.2 | 地震時のストレステストにおいて、特重施設の系統毎 (フィルタベント、下部炉心注水等) に頑健性を把握、確認すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 16頁 |

- 現実的な評価を行う場合、津波高さを変更し、津波が建屋側面において建屋シール高さ以上となる継続時間、開口部面積等から、浸水量を、また、それが各区画でどの程度拡散するかの評価を行った上で、各機器の機能喪失高さとの関係性を求める必要があり、クリフエッジを求めるまでに、津波高さを遡上解析、上記評価を繰り返し行う必要があることに加え、評価自体の不確かさも大きいと考える。
- 建屋に浸水し炉心損傷に至るシナリオの頻度は不確かさを含むものの、絶対値として低頻度（平均値で1E-09オーダー、上限値で1E-08オーダー）であり、現時点でより現実的な評価を行う優先度は低い。
- 津波に関する最新知見は引き続きフォローし、反映が必要な知見が得られれば、適切に反映する。

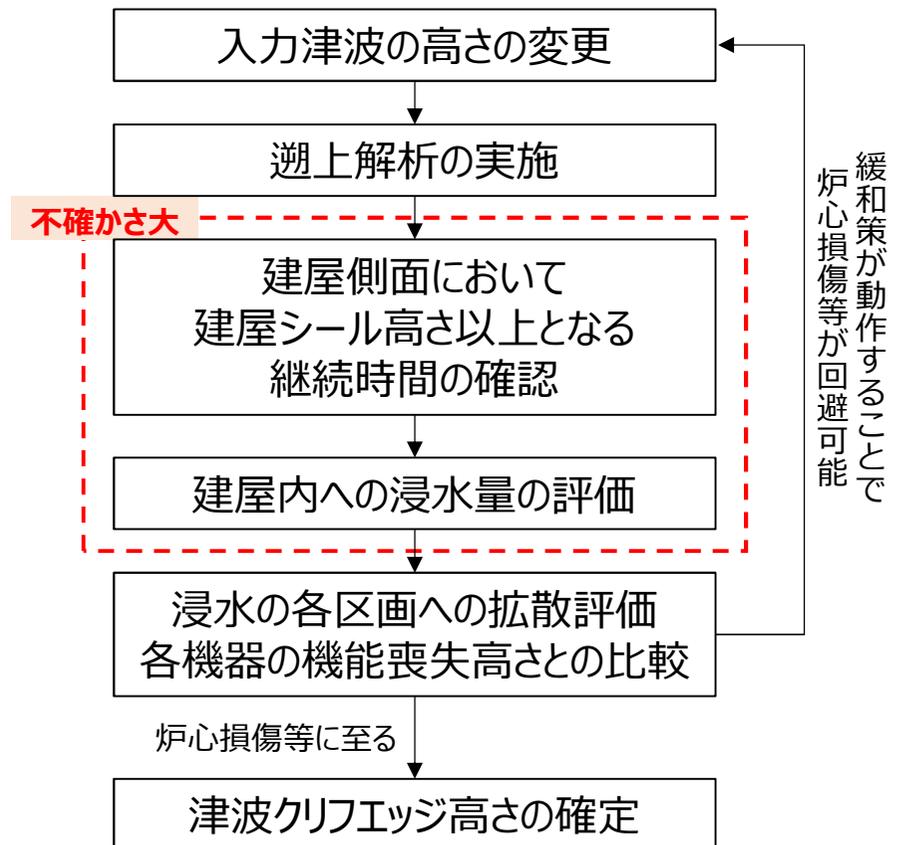
■ クリフエッジ及びクリフエッジ超過の炉心損傷頻度

| | 高浜3,4号機 | 大飯3,4号機 |
|---------------------------|---------|---------|
| クリフエッジ | 15.0m | 9.9m※1 |
| クリフエッジ超過の炉心損傷頻度※2 [/炉年] | 7.2E-09 | 9.8E-09 |

※1：遡上を考慮した場合のクリフエッジ津波高さ

※2：クリフエッジを超過する津波発生頻度

■ 現実的な評価を実施する場合のイメージ



| | | |
|---------------------|---|--------|
| 1. 確率論的リスク評価 | | |
| 1.1 | 確率論的リスク評価の結果を踏まえ、設備や手順の改善対策等を行った結果として、CDF等が改善しているのであれば、そのような事例を次回具体的に説明して欲しい。 | 3,4頁 |
| 1.2 | 前回の資料で示されたハザード・フラジリティ評価の高度化、SSHACプロセスの確立及び確立後の手法見直しの考え方等の地震PRA・津波PRAの評価手法の改善の具体的な計画及び内容を次回より詳しく説明して欲しい。 | 5,6,7頁 |
| 1.3 | レベル3 PRAを安全性向上評価届出で実施することについて、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 8頁 |
| 1.4 | 炉心損傷後の条件付格納容器機能喪失確率を定義・分析・評価することは、更なる安全性向上策を検討する上でも有効な手段と考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 9頁 |
| 2. 被ばく評価 | | |
| 2.1 | 被ばく評価の結果について、核種毎の放出タイミング、放出量、線量への寄与を届出書へ具体的に示すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 11頁 |
| 3. 安全裕度評価 (ストレステスト) | | |
| 3.1 | 津波クリフエッジの評価において、建屋のシール部を超えた時点で一律に水没しているが、今後いずれかの時点で、より現実的な評価 (具体的な浸水区画を考慮する等の評価) を行うべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 13頁 |
| 4. 特定重大事故等対処施設の扱い | | |
| 4.1 | 特重施設導入後のPRAにおいて、重大事故等への対応に特重施設を活用する場合のイベントツリー設定等の考え方を次回説明して欲しい。 | 15頁 |
| 4.2 | 地震時のストレステストにおいて、特重施設の系統毎 (フィルタベント、下部炉心注水等) に頑健性を把握、確認すべきと考えるが、事業者の考えを聞かせて欲しい。 | 16頁 |

- 特重施設の重大事故等への活用により、炉心損傷、格納容器破損が回避可能となるシナリオについてそのシナリオをイベントツリーに反映する。
- 格納容器過圧破損に至るシナリオでは特重スプレイとフィルタベントによる管理放出シナリオを追加すべく現在評価作業を進めている。
- 特重施設の炉心注水機能の活用により事象進展を緩やかにできるシナリオは、炉心損傷までの時間余裕を確保し、その時間において機器の復旧等により事象を収束させることが期待でき、これについても定性分析などを含めて検討する方向で考えている。

| 設備 | 重大事故等への活用 | PRAへの反映の考え方 |
|---|-------------------------|--|
| ・フィルタベント | フィルタベントによる原子炉格納容器過圧破損防止 | フィルタベント設備（関連する設備を含む）をイベントツリー等に設定し、管理放出シナリオを評価する |
| ・減圧操作設備 ・注水設備 （格納容器スプレイや格納容器下部等への注水設備） ・電源設備 | SA 設備の後段設備として活用する | 炉心損傷、格納容器破損が回避可能となるシナリオについてイベントツリー等への反映を検討する 炉心損傷等までの時間余裕を確保できるシナリオについては、その効果を定性分析などで検討する |

○ 地震時のストレステストのイベントツリーにおいて新たに追加する特重施設については、イベントツリーにおいて各緩和機能のHCLPFを示すことで、頑健性を示すことができると考える。

■ イベントツリーに新たに追加する特重施設の方針案について（高浜3号機の場合）

（出力運転時炉心損傷）

現状のクリフエッジシナリオの起回事象：原子炉補機冷却機能喪失＋外部電源喪失

- 特重施設の電源設備（← 空冷式非常用発電設備のバックアップ設備として待機）
- その他の特重施設による緩和機能の考慮については現在検討中

【特重施設以外のその他反映事項】

- 蓄電池（3系統目）（← 既設蓄電池のバックアップ設備として待機）
- RCPシャットダウンシール

（格納容器損傷）

現状のクリフエッジシナリオの起回事象：原子炉補機冷却機能喪失＋外部電源喪失

- 特重施設による格納容器スプレイおよびフィルタベント（← フィルタベントの考慮）
- その他の特重施設による緩和機能の考慮については現在検討中