

**「設計の経年化評価ガイドライン」に基づく安全対策の実施状況のうち  
外的事象（地震・津波）に関する確認・評価  
及び各社の実施計画の更新**

2025年11月20日

原子力エネルギー協議会

1. はじめに
2. 設計の経年化評価（地震）
3. 設計経年化評価プロセス（地震）におけるATENAの関与
4. ガイドライン（地震）の実施項目に対する有効性の評価
5. 設計の経年化評価（津波）
6. 設計経年化評価プロセス（津波）におけるATENAの関与
7. ガイドライン（津波）の実施項目に対する有効性の評価
8. 実施計画と実績
9. まとめ

- ✓ ATENAは「設計の経年化評価ガイドライン」（以下「ガイドライン」という。）を発刊し、各原子力事業者（以下「事業者」という。）に対して、新規制基準適合プラントについて設計の経年化評価を求めた（2020年9月25日）。

## 【設計の経年化評価の目的】

年月の経過とともにプラント設計の考え方が変遷してきたことを踏まえ、**事業者自主の取組として、設計の相違に着目し、相対的な安全上の脆弱点を抽出し、対策の検討を行う「設計の経年化評価」を導入した。**

- ✓ 事業者には**実施計画の提出を求め、ATENAにて取りまとめ公表**（2021年2月24日）。
- ✓ 以降、ATENAにて評価手法（共通事項）に係る確認及び検討を進め、**ガイドラインを改定**（2023年6月6日）。
  - ・ 内的事象：設計差異を抽出する視点等を明確にするなど、評価手順を具体化
  - ・ 外的事象（地震、津波）：設計の経年化に係る着眼点の抽出方法を検討
- ✓ 以下をATENA HPでお知らせ（2023年12月8日）
  - ・ **内的事象について初回評価となる個別プラント（大飯3号機）の評価**に対するATENAの関与及びガイドラインの実施項目に対する有効性評価
  - ・ ガイドライン改定を踏まえた実施計画見直し
- ✓ **地震について初回評価となる大飯3,4号機、津波について初回評価となる川内2号機の評価内容をATENAにて確認**

## 【報告事項】

- ・ 設計経年化評価プロセスにおけるATENAの関与及びガイドラインの実施項目に対する有効性の評価（外的事象(地震・津波)を対象）
- ・ 実施計画の改定（最新の状況を反映）

### 【ATENAガイドラインの概要】

#### （設計経年化に係る着眼点の抽出（外的事象））

- ✓ 外的事象に対するプラントの頑健性は、現場の配置等にも大きく影響を受けることから、系統図等の設計情報の比較だけでは、着眼点を抽出するには不十分である。
- ✓ そこで、プラントの当該ハザードに対する脆弱性を評価する PRAやストレステスト等を実施し、脆弱性を大きく支配する設計上の特性を着眼点として抽出していくこととした。

#### （添付書類2（外的事象に係る評価手順（地震））

- ✓ 設計基準を超えた領域までの機器等の損傷確率を考慮している地震PRA評価結果を用いる。
- ✓ 地震PRAで算出する炉心損傷頻度はハザードによる影響が大きいことから、ハザードの地震発生頻度の影響に依らずにプラント間比較をするため、FV重要度※のプラント間比較及び個別プラントにおけるカットセット※の分析を行い、着眼点を抽出する。

### ※ FV重要度、カットセット

#### ・FV（Fussell-Vesely）重要度：

PRAにおける設備等の重要度指標の一つ。当該設備の故障が関わる炉心損傷シーケンス（カットセット）の発生頻度の全炉心損傷頻度に対する割合で定義される。

- ・地震PRAで算出される炉心損傷頻度はハザードによる影響を大きく受けることから、その影響をできるだけ排除して耐力（設備構成・設計・手順）を比較検討できるFV重要度を指標として評価。

$$\text{FV重要度} = (\text{機器 A の損傷が寄与して炉心損傷に至る頻度}) / (\text{プラントが炉心損傷に至る頻度})$$

分子：機器 A が関わるカットセットによる炉心損傷頻度の合計

→（「ハザード発生頻度」×「ハザードに応じたカットセット発生確率（機器 A が関わるもの）」）の積分

分母：全カットセットによる炉心損傷頻度の合計 →（「ハザード発生頻度」×「ハザードに応じた全カットセット発生確率」）の積分

- ・カットセット：炉心損傷を発生させる基本事象（起因事象に対する緩和系の不作動等）の組合せ

- ATENAガイドラインに基づき、大飯3・4号機について、地震に対する脆弱性を把握し、対策案を検討するため、実施済の地震PRAの結果を精査するとともに、他プラントとの設計の違いに起因する脆弱性にも着目して検討
  - (1) 個別プラントの脆弱性把握
    - a. 高FV値の設備のフラジリティ分析・当該設備の損傷防止に係る検討
    - b. 複数のシナリオに関与する設備に係る検討・当該設備損傷時の緩和に係る検討
  - (2) 他プラントとの設計の違いからの脆弱性把握
  - (3) まとめ

### (1) 個別プラントの脆弱性把握

#### a. 高FV値の設備の脆弱性分析・当該設備の損傷防止に係る検討

- **大飯3・4号機について、FV重要度0.01※以上となるSSCsを抽出**

(設備の設計経年の影響検討という観点から、人的過誤やランダム故障等の地震による損傷以外の基事象は除外。また、建屋や代表評価を行っているSSCs（弁・ケーブル・トレイ・配管）についても除外)

- 抽出された各SSCについて、脆弱性評価における応答・耐力・建屋応答係数の各観点からHCLPFが小さくなる要因を抽出
- 今回抽出された機器については、**全体的に設置場所・機器固有周期と入力地震動の影響により応答が大きめとなっていることがFV重要度が高くなった要因**と考えられ、**機器の耐力に関連する設計差異による機器の耐震性への影響がないことを確認。**

なお、非常用ディーゼル発電機については相対的に耐力が低い（機能維持確認済加速度低）ことにより、FV重要度が大きくなっているが、機能維持に関する耐力は他プラントと同等（設計差異なし）であることを確認。(次項 (2) にて詳述)

以上の結果、**設計経年化評価としては、これらの設備の損傷防止に係る対策は抽出されなかった。**

※：FV重要度0.01は地震PRAで算出するCDF1%に相当し、影響が有意となる可能性がある

b. 複数のシナリオに關与する設備に係る検討・当該設備損傷時の緩和に係る検討

- 前頁の分析に加えて、炉心損傷に至るシナリオを把握するため、大飯3・4号機の地震PRA結果を用いてカットセットの分析を実施（基事象の組み合わせであるカットセットからのみでは、機能喪失に至る過程が読み取り難いため、以下のとおりATENAガイドラインに基づき、基事象に着目して分析）。
- 分析の結果、**CCWS常用系等（低耐震部）の隔離成否が炉心損傷防止の観点から重要**であることが分かった。効果的に意識を高め事故対応能力を向上させるため、若年層への知識付与及び反復的な注意喚起を目的に、得られた知見の**技術資料（教育資料等）への反映を設備損傷時の緩和に係る対策として抽出**

### 【ATENAガイドラインの概要】

《個別プラントにおけるカットセットの分析》

①CDFへの寄与割合が目安として0.5%※<sup>1</sup>以上となるカットセットのうち、同一の基事象が複数回登場するものを抽出(赤字)

②抽出された基事象を含むカットセットについて、基事象と機能喪失の関連性を分析

※1：同種のカットセットを合算するとCDFへの寄与割合が1%以上となり、影響が有意となる可能性がある

※2：フラジリティとして文献値を用いていることから設計経年化を評価する観点には則さないものと判断し重要な基事象から除外

No	C D F 上位のカットセットの内容
1	●● 建屋損傷 + 外部電源系損傷※ <sup>2</sup>
2	電源供給機器 A 損傷 + 外部電源系損傷
3	CCWS常用系負荷 A 損傷 + 緩和機能 A 失敗 + 外電損傷
4	CCWS常用系負荷 A 損傷 + 緩和機能 B 失敗 + 外電損傷
5	CCWS常用系負荷 A 損傷 + 緩和機能 C 失敗 + 外電損傷
6	▲▲ 機器損傷 + 外部電源系損傷
7	CCWS常用系負荷 A 損傷 + 緩和機能 D 失敗 + 外電損傷
	(以下省略)

## 2. 設計の経年化評価（地震） ～ 大飯3, 4号機 (2)他プラントとの設計の違いからの改善点の把握 ～

8


### (2) 他プラントとの設計の違いからの改善点の把握

複数プラントで高FV値の設備のフラジリティ分析・当該設備の損傷防止に係る検討

- 各プラントのFV重要度0.01以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出し星取表を整理（下表）
- 多くのプラントでFV値が高くなる設備（黄色ハッチング）に着目し分析（次ページ）

機器名称	プラント数	川内1号	高浜3/4号※	川内2号	大飯3/4号	玄海3号	伊方3号	玄海4号
		1984/7/4	1985/1/17	1985/11/28	1991/12/18 1993/2/2	1994/3/18	1994/12/15	1997/7/25

○：FV重要度が0.01以上

：3プラント以上に共通  
（人的過誤やランダム故障等の地震による損傷以外の基事象は除外。  
建屋や代表評価を行っているSSCs  
（弁・ケーブルトレイ・配管）についても除外）

※ 高浜3号機と4号機の評価上の差異はなく、設計の相違は見られなかったため、片方のプラントで代表して着眼点の抽出を実施した。



### (2) 他プラントとの設計の違いからの改善点の把握（続き）

複数プラントで高FV値の設備のフラジリティ分析・当該設備の損傷防止に係る検討

- 多くのプラントでFV値が高くなる設備に着目し、フラジリティ評価における応答・耐力・建屋応答係数の特徴を確認した結果、メタルクラッドスイッチギアについては保護リレーに機械式リレーが存在することにより、保護リレーがデジタル化されているものに比べて耐力が低めになっているものがあり、これは設計経年による影響と判断した。このことから、保護リレーのデジタル式への変更が、設備の損傷防止に係る対策案として考えられる。（なお、**大飯3・4号機については、既にデジタル式保護リレーを採用**）
- 一方でフラジリティ評価における応答・耐力・建屋応答係数の特徴を確認した結果、その他の機器※については設計経年による影響がないことを確認し、これらの設備の損傷防止に係る対策は抽出されなかった。

※：前頁で黄色（3プラント以上で共通）の機器

### （3） 大飯3, 4号機での評価結果まとめ

- ✓ 設計差異による影響は設計基準超の領域に現れるという考えのもと、安全性向上評価で実施した地震PRAの評価結果を用いて、FV重要度0.01以上となる基事象について、FV重要度が大きくなっている理由を分析した。
  - ✓ また、カットセット分析によりFV重要度分析において除外した基事象（操作失敗、信号発信失敗、低耐震部の損傷など）も含めた主要なシナリオ分析を行った。
  - ✓ 加えて、FV重要度のプラント間比較により、設計差異によるプラント間での顕著な耐震性の差異がないか確認した。
  - ✓ 異なるアプローチで分析を行うことにより、検討を深めることができたと考える。
- 
- 個別プラントの脆弱性把握の結果、CCW常用系等の低耐震部の早期隔離が重要であることが分かった。これらを踏まえて、効果的に意識を高め事故対応能力を向上させることが重要と考え、若年層への知識付与及び反復的な注意喚起を目的に、設計経年化評価から得られた知見の技術資料（教育資料等）への反映を対策として抽出した。
  - 他プラントとの設計の違いからの脆弱性把握の結果、メタルクラッドスイッチギアについては、保護リレーをデジタル式に変更する対策案が考えられるが、大飯3・4号機については、既にデジタル式保護リレーを採用しており、対策が不要であることを確認した。

### 【設計の経年化評価（地震） ATENAガイドラインの概要】

- 「FV重要度のプラント間比較」により、設計差異による顕著な耐震性の差異がないか確認
- 事故シナリオを把握し事故対応能力等の安全性向上に繋げるため、「個別プラントにおけるカットセットの分析」を実施

### 「FV重要度のプラント間比較」

- ①各プラントのFV重要度0.01※1以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出
- ②プラントとFV重要度0.01以上の基事象の星取表を整理
  - (a)FV重要度0.01以上となるプラント数が全体の3割程度となる基事象  
⇒**共通的に重要な設備に関するプラント間の特徴を分析**
  - (b)特定プラントでFV重要度0.01以上となる基事象  
⇒**プラント固有でFV重要度が高い理由を確認**。設計差異による影響が考えられる場合は影響を分析。

※1：FV重要度0.01は全CDF1%に相当し、影響が有意となる可能性がある

○：FV重要度が0.01以上

	基事象	プラント					
		A	B	C	D	E	F
(a)	設備1 例：メタクラ開閉装置	○	○	○	○	○	○
	設備2 例：CCW常用系負荷A	○	○	○	○		
(b)	設備3：・・・			○			
	設備4：・・・	○					
	(以下省略)						

+

### 「個別プラントにおけるカットセットの分析」

- ①CDFへの寄与割合が0.5%※2以上となるカットセットのうち、同一の基事象が複数回登場するものを抽出
- ②抽出された基事象を含むカットセットについて、基事象と機能喪失の関連性を分析

※2：同種のカットセットを合算するとCDFへの寄与割合が1%以上となり、影響が有意となる可能性がある

### 3. 設計経年化評価プロセス（地震）におけるATENAの関与（1 / 3）

12

- ✓ 設計経年化評価プロセスにおいて、事業者およびATENAは、以下の取り組みをしている。
- ✓ ATENAは、以下の①～④のとおり、事業者が行う設計経年化評価に関与するとともに、ガイドラインを改定している。

#### ATENA

##### 1-① 設計の経年化評価ガイドライン

- ・ 評価手法の策定

##### 1-② 実施計画の取りまとめ

- ・ 各事象の実施順等を整理。

##### 1-③ 初回評価への関与

- ・ 共通作業および事業者間でも初回となる事象評価は、ATENAが関与。

##### 1-④ 継続的な評価の確認

- ・ 個別プラント評価プロセスをレビュー。

##### ③ガイドライン改定

##### 1-⑤ 評価の経年化ガイドラインの改定

- ・ 評価実績を踏まえ、評価手法を適宜見直し。

##### ④実施計画の 策定に関与

##### ①共通事項の 整理に関与

##### ②個別プラント 評価に関与

(※)

#### 事業者

##### 2-① 実施計画作成

- ・ ガイド発刊から半年以内にATENAへ提出（再稼働前プラントは、再稼働後、半年以内を目標）

##### 2-② 共通事項の整理

- ・ 設計の経年化に係る着眼点抽出
- ・ 評価
- ・ 対策案の検討

##### 2-③ 個別プラント評価

- ・ 対策要否の検討  
⇒安全上の影響およびリソースを考慮して対策要否を意思決定

##### 2-④ 安全性向上評価書の届出

- ・ 評価、対策、意思決定結果までを適宜報告（対策不要の場合も含む）

(※)

#### 【①共通事項の整理に関与】

- ✓ ATENAは、PWRにおける外的事象に係る設計経年化評価のうち、共通事項（①自プラントの地震PRA評価結果、②FV重要度のプラント間比較による重要な基事象の抽出・分析、③個別プラントのカットセットに着目した重要な基事象の抽出・分析、④対策案検討）の内容について、ガイドラインに沿った形になるよう議論し、改善を図った。
- ✓ 今後、BWRについても、PWRを参考にして、サブワーキング、コアメンバー打合せで議論を重ねていく。

ATENAの関与	回数
a. サブワーキング開催による議論	1 2
b. コアメンバーによる打合せ	9



新たな取り組みであることから、設計経年化評価の評価の方法などを、議論を重ねて、明確化することで、**設計の差異による影響を比較検討する仕組みを構築**した。

※ ガイド改訂に係る打合せ含む

- ✓ **各評価結果について、ATENAから以下のとおり指摘/内容確認**を行った。

ATENAから指摘/内容確認した項目	件数
a. 評価ロジックの論理性充実	7
b. 表現明確化、誤記修正、内容確認	45



#### a. 評価ロジックの論理性充実（例）

- ・膨大な数の基事象から重要なものをどうやって抽出するか  
⇒ FV0.01以上 + 3プラント以上を対象、複数回登場するカットセットに着目
- ・FV重要度を用いて比較することの妥当性
- ・プラント間比較における特重施設の扱い
- ・固有周期の影響で応答に差がある場合の考え方の整理

#### 【②個別プラント評価に関与】

- ✓ ATENAは、外的事象（地震）の初回プラントである大飯3,4号機の評価がガイドラインに適合したものであることを以下のとおり確認した。

#### <大飯3,4号機の評価内容>

- 自プラントの地震PRA評価結果に基づき分析した結果、FV重要度0.01以上となるSSCについては全体的に設置場所・機器固有周期と入力地震動の影響により応答が大きめとなっており、機器の耐力に関連する**設計差異による機器の耐震性への影響がないことが確認**されていた。
- FV重要度のプラント間比較による重要な基事象の抽出・分析の結果、影響有とした項目について、**設計初期から対応済であることから、追加でのハード対策が不要**であった。
- 個別プラントのカットセットに着目した重要な基事象の抽出・分析の結果については**技術資料に反映し、運転員・保修課員等への教育に活用していく方針**である。
- これらの評価結果に基づき**安全上の脆弱性、対策導入による効果およびリソースを総合的に勘案し、採否判断**がなされていた。

#### 【③ガイドライン改定、④実施計画の策定に関与】

- ✓ 現行のガイドラインによる適切な評価が実施できており、「③ガイドライン改定」の必要性がないことを確認した。
- ✓ ガイドの改定を踏まえた「④実施計画の策定」は不要。（最新の状況を反映するための改定は実施）

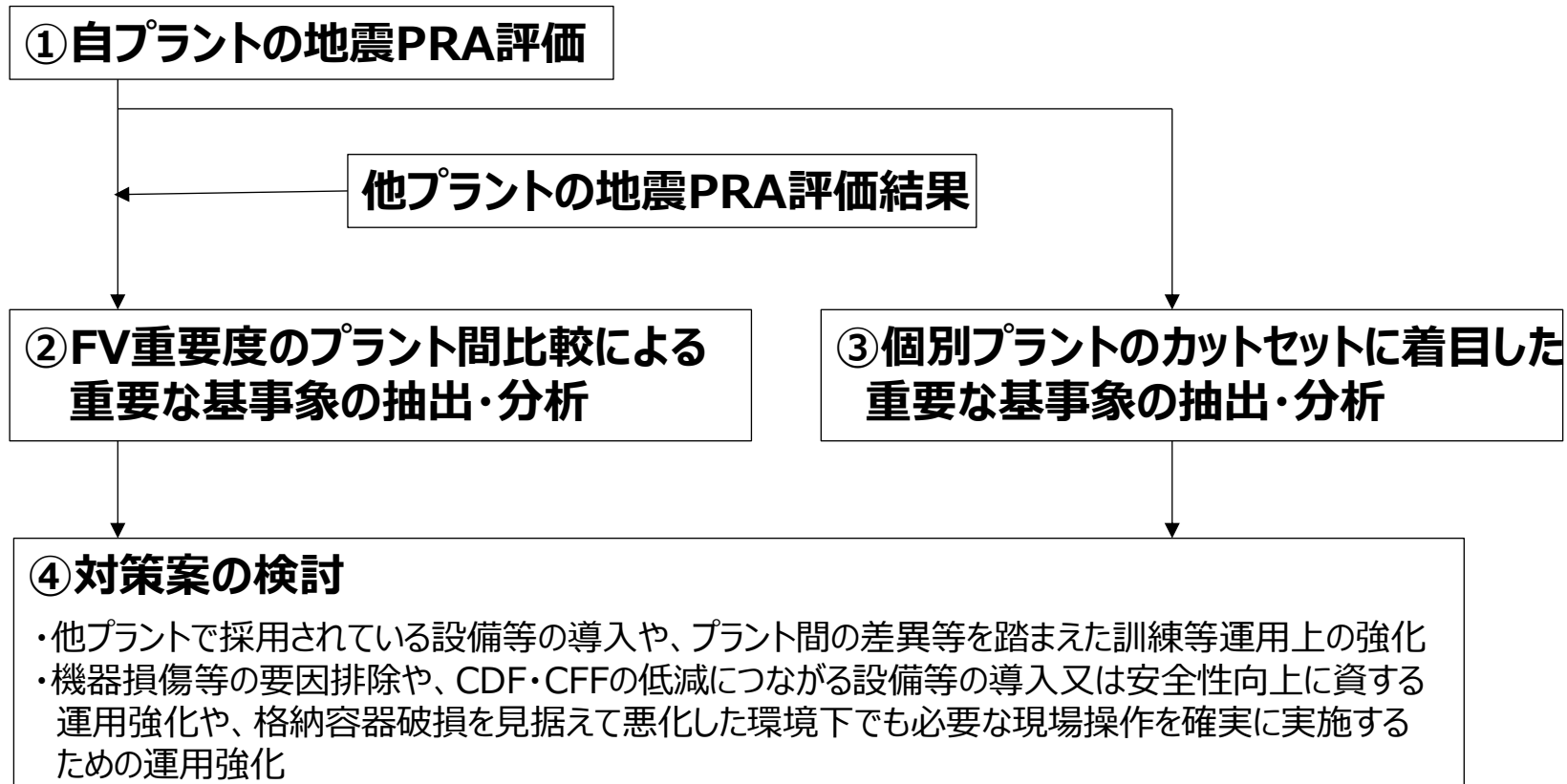


## 4. ガイドライン（地震）の実施項目に対する有効性の評価（1/5）

15

- ✓ ATENAガイドラインに基づき、設計経年化評価が実施されているか、期待していた評価結果が得られているか等について、今回実施した範囲（①～④）の項目について、実施フローに沿って有効性を評価した。

### 【ATENAガイドラインの実施フロー】



### 【有効性の評価の観点】



評価方法は適切か  
着眼点が適切に抽出されているか  
有用な評価結果が得られているか



対策案の検討は適切か

外的事象については、共通的に外力が働く事象であるため、個別の設備等の設計比較で設計経年化の着眼点を抽出することは困難である。そこで、プラントの当該ハザードに対する脆弱性を評価するPRA等を実施し、リスク評価の中で脆弱性を大きく支配する設計上の特性を**設計経年化に係る着眼点として抽出**する。

### ① 自プラントの地震PRA評価

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 各プラントでFV重要度0.01以上となるSSCを抽出。

#### 有効性の評価

- ✓ 各プラントにおいて**FV重要度0.01以上のSSCを抽出できている**ことを確認した。（大飯3,4号機では11件）
- ✓ 大飯3,4号機では抽出されたSSCに対してそれぞれ要因を検討し、今回抽出された機器については全体的に**設置場所・機器固有周期と入力地震動の影響により応答が大きくなっていることでFV重要度が大きくなったと分析されている**ことを確認した。また、DGについては機能維持確認済加速度が低いことが原因であると分析し、他プラントと比較することで設計差異によるものではないことが分析されていることを確認した。



### ②FV重要度のプラント間比較による重要な基事象の抽出・分析

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 各プラントのFV重要度0.01以上となる設備損傷に関連する基事象を抽出し、星取表を整理。
- ✓ FV重要度が0.01以上となるプラントが3割程度以上となる基事象について設備の差異や運用の差異に起因しないか分析。

#### 有効性の評価

- ✓ PWR 7 プラントで比較した結果、3割程度にあたる 3 プラント以上で**FV重要度0.01以上となる基事象として6件の基事象を抽出できている**ことを確認した。
- ✓ これらの基事象について分析した結果、**メタルクラッドスイッチギアについて保護リレーの機械式とデジタル式といった設計の差異によって耐力が異なることを分析できている**ことを確認した。

### ③個別プラントのカットセットに着目した重要な基事象の抽出・分析

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ CDFの寄与割合が目安として0.5%以上となるカットセットのうち、同一の基事象が複数回登場するものを抽出。
- ✓ 抽出された基事象を含むカットセットについて、基事象と機能喪失の関連性を分析

#### 有効性の評価

- ✓ CDF上位のカットセットの中から同一の基事象として「CCW常用系負荷A損傷」を抽出できていることを確認した。
- ✓ このカットセットからどのような想定で炉心損傷に至るか分析することで、CCW常用系等の低耐震部の早期隔離の重要性について抽出できていることを確認した。

No	C D F 上位のカットセットの内容
1	●●建屋損傷＋外部電源系損傷
2	電源供給機器 A 損傷＋外部電源系損傷
3	CCWS常用系負荷 A 損傷＋緩和機能 A 失敗＋外電損傷
4	CCWS常用系負荷 A 損傷＋緩和機能 B 失敗＋外電損傷
5	CCWS常用系負荷 A 損傷＋緩和機能 C 失敗＋外電損傷
6	▲▲機器損傷＋外部電源系損傷
7	CCWS常用系負荷 A 損傷＋緩和機能 D 失敗＋外電損傷
	(以下省略)

### ④対策案の検討（①～③の評価を踏まえ、対策案を検討する）

#### ガイドラインで示している評価手法

以下の観点から地震時のリスク低減を目的とした実効的な対策案を検討する。

- ・他プラントで採用されている設備等の導入や、プラント間の差異等を踏まえた訓練等運用上の強化
- ・機器損傷等の要因排除や、CDF・CFFの低減につながる設備等の導入又は安全性向上に資する運用強化や、格納容器破損を見据えて悪化した環境下でも必要な現場操作を確実に実施するための運用強化

#### 有効性の評価

- ✓ 「② FV重要度のプラント間比較による重要な基事象の抽出・分析」の結果を踏まえて、メタルクラッドスイッチギアの保護リレーについて機械式からデジタル式への変更が**設備の損傷防止に係る対策案として抽出されている**ことを確認した。（今回評価対象の大飯3,4号は既にデジタル式であり対策不要。）
- ✓ 「③ 個別プラントのカットセットに着目した重要な基事象の抽出・分析」の結果を踏まえて、CCW常用系等の低圧部の早期隔離の重要性を抽出しており、これに対して**教育資料への反映を設備損傷時の緩和に係る対策として抽出されている**ことを確認した。

### 【ATENAガイドラインの概要】

#### （添付書類3 （外的事象に係る評価手順（津波））

- ✓ 設計基準内の範囲ではドライサイトを前提とすることから、設計差異（主にレイアウト）による影響は小さい。
  - ✓ 現状の津波 PRA においては浸水経路の評価等に課題があることから、建屋内浸水後の精緻な評価は行われていない。
  - ✓ 津波による敷地内浸水時における設計経年化の着眼点を抽出するため、**敷地内及び建屋内の浸水状況をストレステスト的に評価することとした。**
  - ✓ 海水貯留堰内の海水が枯渇するような想定を超える長期間の引き波による取水機能喪失も考えられるが、安全設備は健全であり、24 時間はタービン駆動の給水ポンプで炉心の冷却が可能であることから、設計基準を超える押し波による多くの安全設備の機能喪失に比較して大きなリスクにならない。このため、**押し波のみを対象として評価する。**
- ATENAガイドラインに基づき、川内 2 号機について、津波による敷地浸水時における設計経年化の着眼点を抽出するため、建屋内の浸水状況を評価。
    - a. 津波到達時のプラント状態の設定
    - b. 階層毎の機能喪失系統の特定及びプラント状態の整理【建屋内】
    - c. 敷地面の機能喪失機器の整理【敷地面】
    - d. 対策案の検討

### a. 津波到達時のプラント状態の設定

- 評価項目**：炉心損傷防止対策（出力時）、格納容器機能喪失防止対策
- 評価内容**：津波が建屋開口部から建屋内に浸水し、階層毎に一律に浸水し機能喪失することを想定

#### ①評価用津波高さ及び起因事象の選定

- 評価用津波高さ・・・15m

津波高さがEL.15mを超えて建屋開口部より侵入した際の津波を評価用津波高さとする。

- 起因事象・・・・・・・「外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の喪失」

津波高さ8mにて海水ポンプが機能喪失し、「原子炉補機冷却機能の全喪失」が発生

津波高さ13.3mにて主変圧器等が機能喪失し、「外部電源喪失」が発生

### b. 階層毎の機能喪失系統の特定及びプラント状態の整理【建屋内】

#### ②イベントツリーの作成

①で選定した起因事象に対し、影響緩和機能及び収束シナリオを特定し、事象の進展過程をイベントツリー形式で示す。

#### ③各影響緩和機能の機能喪失に係る階層区分の特定

②で特定した各影響緩和機能が機能喪失する階層区分を特定する。

#### ④クリフエッジの特定

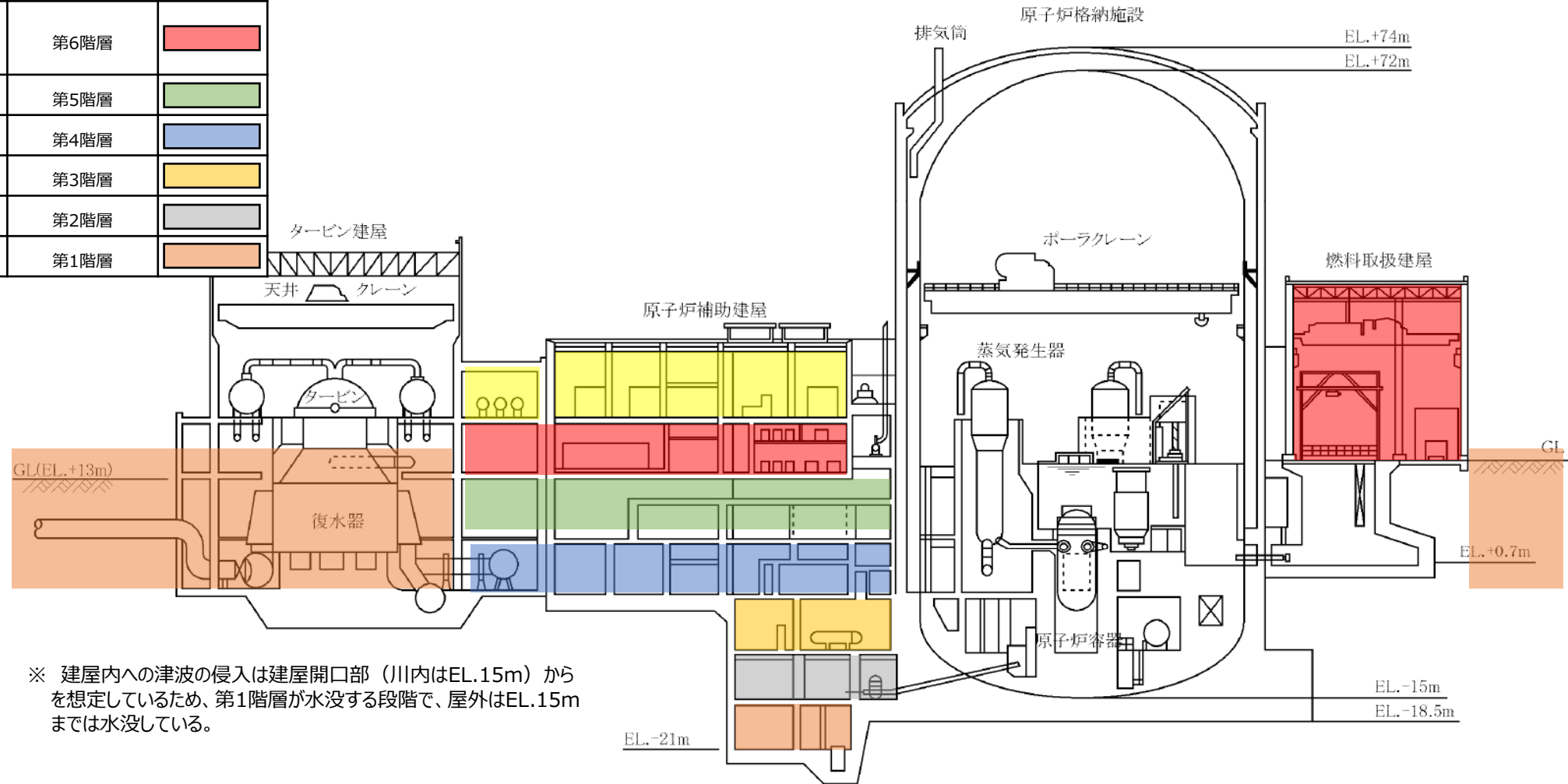
③の結果から、各収束シナリオの機能喪失に係る最も厳しい階層区分（クリフエッジ）を特定する。

## 5. 設計の経年化評価（津波）～ 川内2号機 評価【建屋内】～

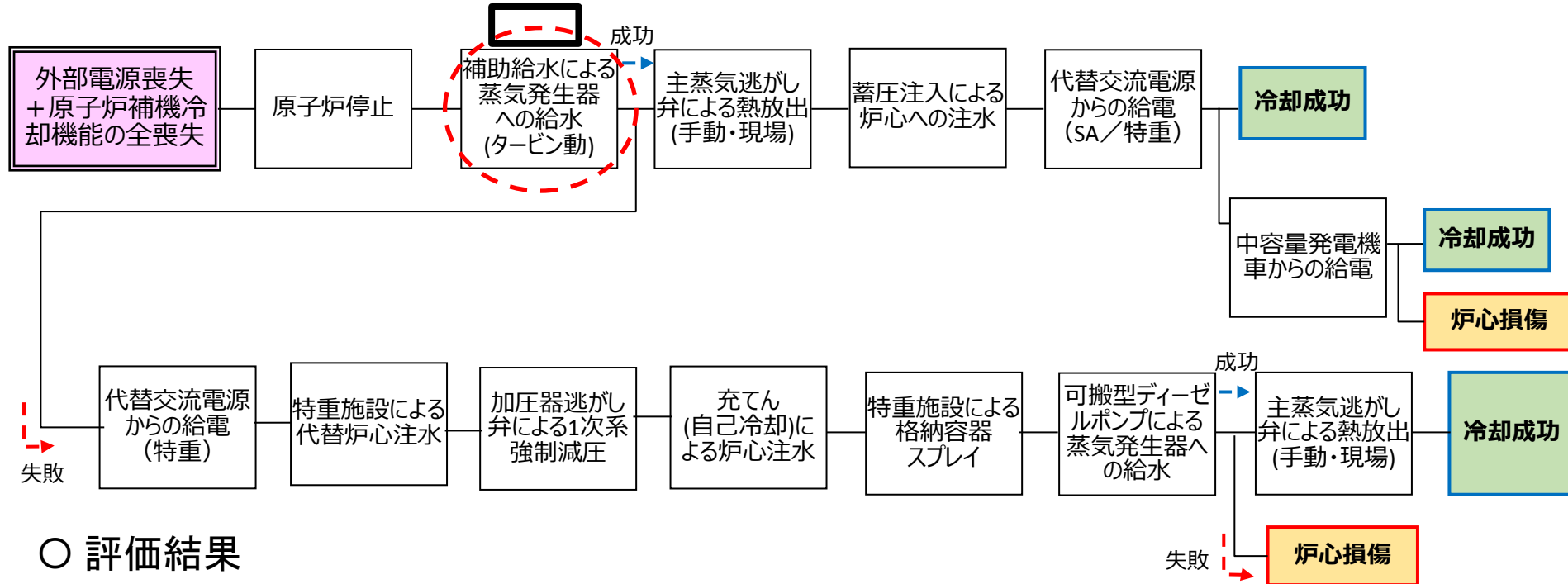
22

### 階層区分の設定について

EL.	階層	該当階層
20.3m以上（20.3m以上の屋外）	第7階層	
13.3～20.3m未満 （15m～20.3m未満の屋外）	第6階層	
5～13.3m未満	第5階層	
-2～5m未満	第4階層	
-9～-2m未満	第3階層	
-15～-9m未満	第2階層	
EL.15mまでの屋外※、-15m未満	第1階層	



## ○【炉心損傷防止対策（出力時）】



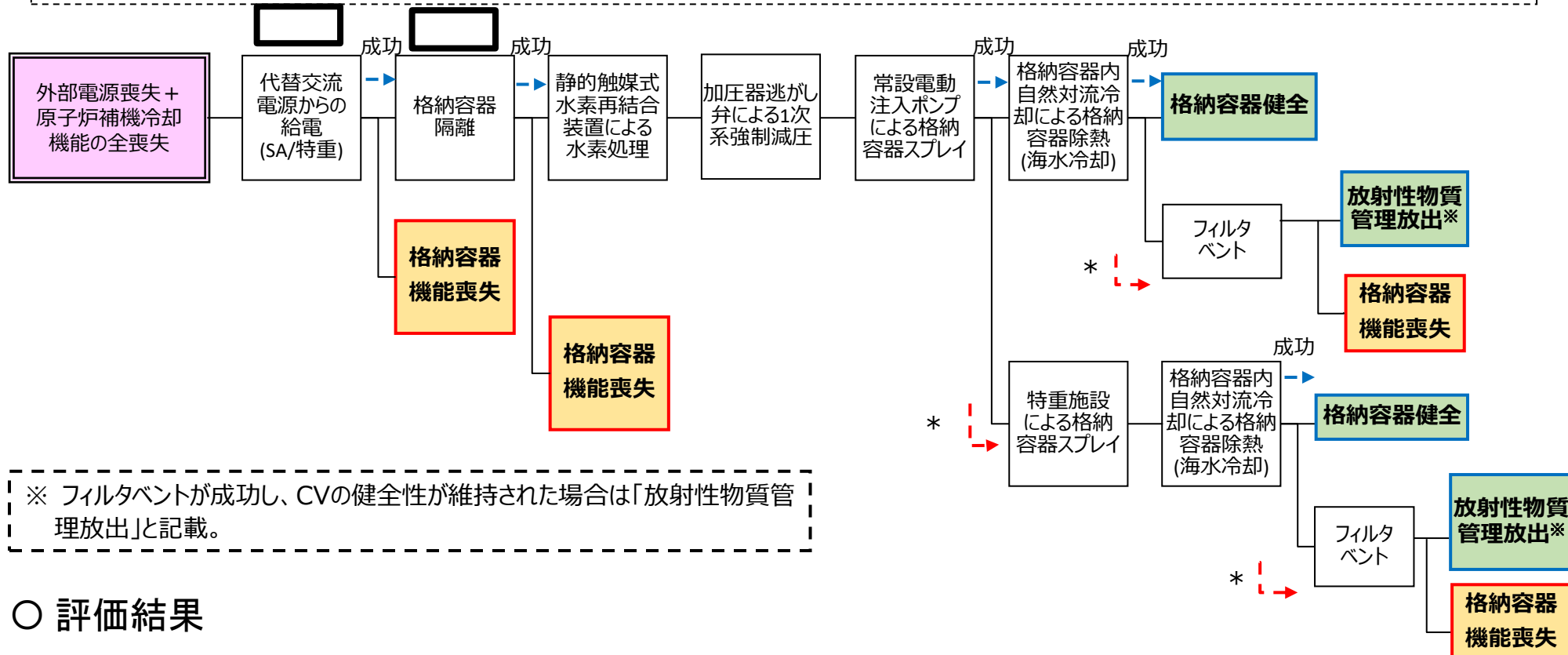
## ○ 評価結果

- 第4階層（-2m～5m）においてシナリオの達成が不可能となり、炉心損傷に至る。原因は以下の通り。
  - ・タービン動補助給水ポンプ（ ）が機能喪失する。
  - ・補助給水を行うための計装盤（ ）が機能喪失する。



## ○【格納容器機能喪失防止対策】

外部電源喪失＋原子炉補機冷却機能の全喪失時に津波が第4階層まで到達し、炉心損傷となった時点からシナリオ開始とする。



## ○ 評価結果

- 炉心損傷に至る第4階層で、代替交流電源からの給電（ ）は成功するが、以降の緩和手段に必要な機器、弁が全て水没しており、格納容器機能喪失に至る。

枠囲みの範囲は商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。



### ○炉心損傷防止対策（出力時）における深堀

クリフエッジ階層区分（第4階層）において影響緩和機能の失敗要因となる各々の設備・機器について、配置場所を調査することで、より具体的な最弱箇所の特特定を行った。

その結果、電動補助給水ポンプ電動弁盤等の計装盤が格納されている補助給水ポンプ等の電源盤室が最弱箇所として特定された。

枠囲みの範囲は商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

## 5. 設計の経年化評価（津波）～ 川内2号機 評価【屋外】～

26

### c. 敷地面の機能喪失機器の整理【敷地面】

川内原子力発電所の屋外機器について水没しない、もしくは対策を講じている設備について以下のとおり整理した。  
※屋外のS A 機器の配置については、機器配置図にて整理されており、機器配置図の見直しに合わせて常に最新化された状態で発電所に保管されている。

対象	階層 (EL)	機器名称（一例）	備考
水源 (屋外タンク)	11m	燃料取替用水タンク	13.0mを超える大津波が襲来し、津波が引いた後も当該エリアが水没状態となった場合の処置を社内基準に定めている。
		復水タンク	
		1次系純水タンク	
水源 (水供給 ポンプ車)	25m 以上	可搬型電動低圧注入ポンプ	ホース、中間受槽等含め、25m以上の保管エリアに格納されており、 <b><u>津波の被水、没水の影響は受けないため、津波が引いた後であれば運転可能。</u></b>
		可搬型ディーゼル注入ポンプ	
燃料補給	25m	タンクローリ	13.3mのタンクローリ保管庫内に津波が流入、タンクローリが没水し、機能喪失となった場合においても、 <b><u>津波が引いた後、25mのタンクローリを使用し、燃料補給を実施可能。</u></b>
		タンクローリ給油ライン接続用ホース	
	埋設	燃料油貯蔵タンク	
アクセスルート	33m 以上	ホイールローダ	15m以上の津波が襲来し、 <b><u>津波が引いた後のがれき撤去に使用可能。</u></b>

### d. 対策案の検討

- 設計の経年化ガイドラインに基づき、津波による敷地浸水時における設計経年化の着眼点を抽出するため、建屋内の浸水状況を評価した。
  - ✓ 15mに津波が到達し、建屋に浸水し最下層から順次水没すると仮定した結果、**第4階層（ ）に到達した時点で「補助給水による蒸気発生器への給水」等に失敗し、炉心損傷に至る。**
  - ✓ 炉心損傷に至る**第4階層（ ）時点で格納容器機能喪失の影響緩和機能に失敗し、格納容器機能喪失に至る。**
  - ✓ 炉心損傷に至る原因となる機器のうち、代替操作に期待できないものの配置場所を調査し、より具体的な最弱箇所を特定した結果、**補助給水を行うための電源盤室が最弱箇所として特定**された。
- 本評価における安全性向上評価の追加措置として以下の通り整理し、実施する。
  - ✓ 本評価はEL.15mを超える津波の発生頻度が $9.6 \times 10^{-11}$ /年※と非常に低い確率の事象に対する評価である。しかし、低頻度高影響事象において、発生した場合の挙動や脆弱性を把握しておくことで重大事故等発生時の事故収束対応のレジリエンス向上に期待できることから、「設計経年化（津波）評価結果の教育」をソフト対策として抽出し、追加措置とする。
  - ✓ 今後、他プラントの評価結果（階層毎に一律に浸水し機能喪失）と比較し、自プラントとの設計差異が抽出された際には別途対策の実施も含め検討する。

※：川内2号機第1回安全性向上評価 3章 3.1.3.2.2 津波出力運転時PRAより抜粋

## 6. 設計経年化評価プロセス（津波）におけるATENAの関与（1/3）

28

- ✓ 設計経年化評価プロセスにおいて、事業者およびATENAは、以下の取り組みをしている。
- ✓ ATENAは、以下の①～④のとおり、事業者が行う設計経年化評価に関与するとともに、ガイドラインを改定している。

### ATENA

#### 1-① 設計の経年化評価ガイドライン

- ・ 評価手法の策定

#### 1-② 実施計画の取りまとめ

- ・ 各事象の実施順等を整理。

#### 1-③ 初回評価への関与

- ・ 共通作業および事業者間でも初回となる事象評価は、ATENAが関与。

#### 1-④ 継続的な評価の確認

- ・ 個別プラント評価プロセスをレビュー。

#### ③ガイドライン改定

#### 1-⑤ 評価の経年化ガイドラインの改定

- ・ 評価実績を踏まえ、評価手法を適宜見直し。

#### ④実施計画の策定に関与

#### ①共通事項の整理に関与

#### ②個別プラント評価に関与

(※)

### 事業者

#### 2-① 実施計画作成

- ・ ガイド発刊から半年以内にATENAへ提出（再稼働前プラントは、再稼働後、半年以内を目標）

#### 2-② 共通事項の整理

- ・ 設計の経年化に係る着眼点抽出
- ・ 評価
- ・ 対策案の検討

#### 2-③ 個別プラント評価

- ・ 対策要否の検討
- ⇒安全上の影響およびリソースを考慮して対策要否を意思決定

#### 2-④ 安全性向上評価書の届出

- ・ 評価、対策、意思決定結果までを適宜報告（対策不要の場合も含む）

(※)

## 【①共通事項の整理に関与】

- ✓ ATENAは、PWRにおける外的事象に係る設計経年化評価のうち、共通事項（評価用津波到達時のプラント状態の設定、階層毎の機能喪失系統の特定、プラント状態の整理）の内容について、ガイドラインに沿った形になるよう議論し、改善を図った。
- ✓ 今後、BWRについても、PWRを参考にして、サブワーキング、コアメンバー打合せで議論を重ねていく。

ATENAの関与	回数
a. サブワーキング開催による議論	1 2
b. コアメンバーによる打合せ	9

※ ガイド改訂に係る打合せ含む



新たな取り組みであることから、設計経年化評価の評価の方法などを、議論を重ねて、明確化することで、設計の差異による影響を比較検討する仕組みを構築した。

- ✓ 各評価結果について、ATENAから以下のとおり指摘/内容確認を行った。

ATENAから指摘/内容確認した項目	件数
a. 評価ロジックの論理性充実	5
b. 表現明確化、誤記修正、内容確認	52



### a. 評価ロジックの論理性充実（例）

- ・レイアウトの影響が大きくプラント間比較は困難  
⇒ ストレステスト的な手法で評価
- ・原子炉停止機能は津波到達前に期待するものとして整理
- ・建屋内浸水だけでなく、屋外設備の機能喪失も踏まえた整理

### 【②個別プラント評価に関与】

- ✓ ATENAは、外的事象（津波）の初回プラントである川内 2 号機の評価がガイドラインに適合したものとなっていることを以下のとおり確認した。

#### <川内 2 号機の評価内容>

- ・ 階層ごとの機能喪失系統を特定し、その結果至るプラント損傷状態の特定ができていることを確認した。
- ・ 第4階層で炉心損傷に至ることを特定したうえで、その原因（タービン動補助給水ポンプ、補助給水を行うための計装盤）の深堀として、電動補助給水ポンプ電動弁盤等の計装盤が格納されている**電源盤室が最弱部**となることが特定されていた。
- ・ 重大事故等発生時の事故収束対応のレジリエンス向上を目的に「設計経年化（津波）評価結果の教育」を**ソフト対策として抽出**していた。
- ・ **15mを超える津波の津波発生頻度が $9.6 \times 10^{-11}$ /年と非常に低く、対策導入による効果およびリソースを総合的に勘案したうえでハード対策を不要とする判断**を行っていた。

### 【③ガイドライン改定、④実施計画の策定に関与】

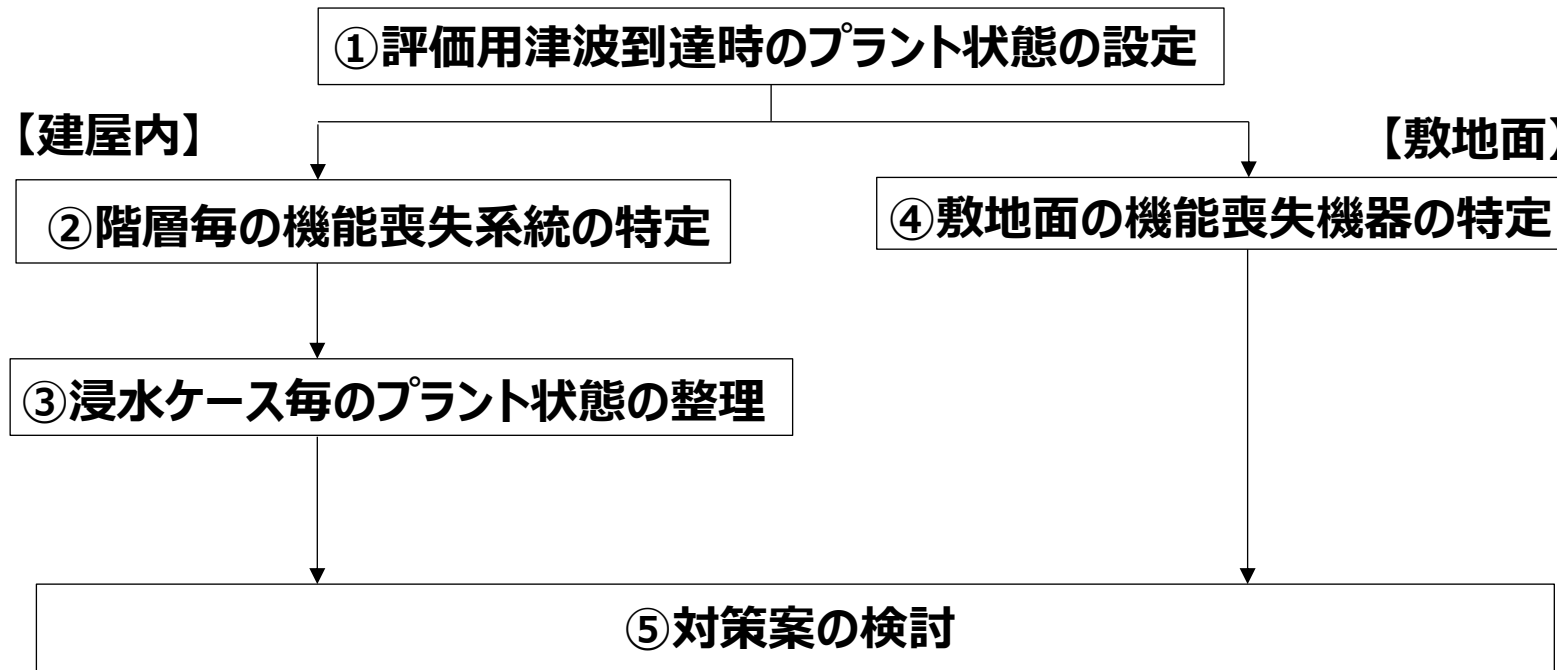
- ✓ 現行のガイドラインによる適切な評価が実施できており、「③ガイドライン改定」の必要性がないことを確認した。
- ✓ ガイドの改定を踏まえた「④実施計画の策定」は不要。（最新の状況を反映するための改定は実施）

## 7. ガイドライン（津波）の実施項目に対する有効性の評価（1/5）

31

- ✓ ATENAガイドラインに基づき、設計経年化評価が実施されているか、期待していた評価結果が得られているか等について、今回実施した範囲（①～⑤）の項目について、実施フローに沿って有効性を評価した。

### 【ATENAガイドラインの実施フロー】



### 【有効性の評価の観点】



評価方法は適切か  
着眼点が適切に抽出されているか  
有用な評価結果が得られているか



対策案の検討は適切か



### ①評価用津波到達時のプラント状態の設定

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 運転中の原子力発電所に評価用津波が到達し、防潮堤を越えることで敷地内へ浸水するものとする。この際、運転手順に基づき各種の緩和対策が開始されているものとする。

#### 有効性の評価

- ✓ 大津波警報発表時にプラントを停止する手順が従来より整備されており、運転手順に基づいた緩和対策が開始されている条件での評価が適切にできていることを確認した。



### ②階層毎の機能喪失系統の特定及び③プラント状態の整理【建屋内】

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 建屋内については、階層毎に一律に浸水することを想定することから、階層毎に存在する系統を整理し、機能喪失する系統を特定する。なお、主要機器の設置階層が浸水した場合に、系統が機能喪失するものとする。また、浸水ケース毎に至るプラント状態を整理する。

#### 有効性の評価

- ✓ 階層毎に存在する系統を整理し、機能喪失する系統を特定（第4階層の浸水で原子炉注水機能が喪失、同じく格納容器隔離機能・徐熱機能が喪失）できていることを確認した。
- ✓ その結果、生じるプラント状態（第4階層にて炉心損傷、格納容器機能喪失）を整理できていることを確認した。

### ④敷地面の機能喪失機器の整理【敷地面】

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 敷地面の浸水を想定することから、敷地面に存在する系統を整理し、機能喪失する系統を特定する。

#### 有効性の評価

- ✓ 評価用津波高さ15mに対して以下の観点で敷地内の系統を整理し、起因事象を特定できていることを確認した。
  - 津波高さ8mで海水ポンプが機能喪失し、「原子炉補機冷却機能の全喪失」が発生
  - 津波高さ13.3mにて主変圧器等が機能喪失し、「外部電源喪失」が発生
- ✓ 屋外機器、設備に対しては水没しない、もしくは対策を講じている設備について適切に整理されていることを確認した。

### ⑤対策案の検討

#### ガイドラインで示している評価手法

- ✓ 浸水状況や想定されるプラント状態に応じた対策案を検討する。具体的には、機能維持する安全機能を担う既存設備を確実に活用するという観点及び機能喪失した安全機能を担う既存設備をバックアップ（復旧又は代替）するという観点から対策案を検討する。

#### 有効性の評価

- ✓ 機能喪失した設備を代替するための操作の成立性について検討を実施していることを確認した。
- ✓ 重大事故等発生時の事故収束対応のレジリエンス向上を目的に「設計経年化（津波）評価結果の教育」をソフト対策として抽出していることを確認した。
- ✓ ハード対策の要否検討に当たっては、15mを超える津波の津波発生頻度が $9.6 \times 10^{-11}$ /年と非常に低く、対策導入による効果およびリソースを総合的に勘案したうえで不要とする判断を行っていることを確認した。

## 8. 実施計画と実績（内的事象（PWR））

36

分類	対象事業者 (プラント)	～2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
ATENA		実施状況のチェック				
再稼働 プラント	関西電力 (高浜1,2号機)	設計経年化の着眼点抽出・ 評価・対策案の調査・整理		対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼4/3第1回安全性向上評価届出書（高浜1号機）に反映 → ▼9/2第1回安全性向上評価届出書（高浜2号機）に反映	
	関西電力 (高浜3,4号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼8/22第5回安全性向上評価届出書（高浜3号機）に反映 → ▼8/28第5回安全性向上評価届出書（高浜4号機）に反映	
	関西電力 (大飯3,4号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼7/13第3回安全性向上評価届出書（大飯3号機）に反映 → ▼6/13第4回安全性向上評価届出書（大飯4号機）に反映	
	関西電力 (美浜3号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼9/4第2回安全性向上評価届出書に反映	
	四国電力 (伊方3号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼12/19第3回安全性向上評価届出書に反映※1	
	九州電力 (川内1,2号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼11/20第6回安全性向上評価届出書（川内1号機）に反映※1 → ▼2/15第6回安全性向上評価届出書（川内2号機）に反映※1	
	九州電力 (玄海3,4号機)			対策要否の検討	対策実施（工程は対策に応じて別途設定） → ▼7/10第3回安全性向上評価届出書（玄海3号機）に一部反映 → ▼9/8第4回安全性向上評価届出書（玄海4号機）に一部反映 → ▼8/29第4回安全性向上評価届出書（玄海3号機）に反映※1 → ▼1/10第5回安全性向上評価届出書（玄海4号機）に反映※1	
申請済の未再稼働プラント (北海道電力（泊1～3））				・再稼働後、半年以内を目途に実施計画を見直し（必要時） ・第1回の安全性向上評価届出書に反映		

※1 一部設備改造を伴う対策については、成立性確認等、慎重に検討を進めている。

## 8. 実施計画と実績（地震（PWR））

37

分類	対象事業者 (プラント)						
		～2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	
ATENA		評価手法検討		実施状況のチェック			
再稼働 プラント	関西電力 (高浜1,2号機)	設計経年化の着眼点抽出 の手法検討	評価・対策要否の検討				対策実施 (工程は対策に 応じて別途設定) →▽第2回安全性向上 評価届出書に反映
	関西電力 (高浜3,4号機)		評価・対策要否の検討			対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) →▽第6回安全性向上評価届出書に反映	
	関西電力 (大飯3,4号機)		評価・対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) →▼6/20 第4回安全性向上評価届出書 (大飯3号機) に反映 →▼6/13第4回安全性向上評価届出書 (大飯4号機) に反映			
	関西電力 (美浜3号機)		評価・対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) →▽第3回安全性向上評価届出書に反映			
	四国電力 (伊方3号機)		評価・対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) →▽第5回安全性向上評価 届出書に反映			
	九州電力 (川内1,2号機)		評価・対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) →▼6/23第7回安全性向上評価届出書 (川内2号機) に反映 →▽第8回安全性向上評価届出書 (川内1号機) に反映			
	九州電力 (玄海3,4号機)		評価・対策要否の検討	未定 (玄海3, 4号機) (日本海南海域活断層の長期評 価 (第一版) ) の知見を踏まえた検討を実施したうえで対応予定)			
申請済の未再稼働プラント (北海道電力 (泊1～3))					・再稼働後、半年以内を目途に実施計画を見直し (必要時) ・第1回または第2回以降の安全性向上評価届出書に反映		

## 8. 実施計画と実績（津波（PWR））

38

分類	対象事業者 (プラント)	～2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度
ATENA		評価手法検討		実施状況のチェック			
再稼働 プラント	関西電力 (高浜1,2号機)	設計経年化の 着眼点抽出 の手法検討		評価・対策要否の検討			対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽第2回安全性向上評価届出書に反映
	関西電力 (高浜3,4号機)			評価・対策要否の検討		対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽第6回安全性向上評価届出書に反映	
	関西電力 (大飯3,4号機)			評価・対策要否の検討		対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽第5回安全性向上評価届出書に反映	
	関西電力 (美浜3号機)			評価・対策要否の検討			対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽第4回安全性向上評価届出書に反映
	四国電力 (伊方3号機)			評価・対策要否の検討		対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽第5回安全性向上評価届出書に反映	
	九州電力 (川内1,2号機)			評価・対策要否の検討		対策実施（工程は対策に応じて別途設定） →▽6/23第7回安全性向上評価届出書（川内2号機）に反映	→▽第8回安全性向上評価届出書（川内1号機）に反映
	九州電力 (玄海3,4号機)			評価・対策要否の検討		未定（玄海3, 4号機）（日本海南海域活断層の長期評価（第一版）の知見を踏まえた検討を実施したうえで対応予定）	
申請済の未再稼働プラント (北海道電力（泊1～3））						・再稼働後、半年以内を目途に実施計画を見直し（必要時） ・第1回または第2回以降の安全性向上評価届出書に反映	

○内的事象

分類	対象事業者 (プラント)	～2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度
		評価手法検討 ←→	実施状況のチェック ←→			
再稼働 プラント	東北電力 (女川2号機)	設計経年化の 着眼点抽出・ 評価・対策案の 調査・整理	対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) → ▽第1回安全性向上評価届出書 (女川2号機) に反映		
	中国電力 (島根2号機)		対策要否の検討	対策実施 (工程は対策に応じて別途設定) → ▽第1回安全性向上評価届出書 (島根2号機) に反映		
申請済の未再稼働プラント (建設中プラント含む) ※1				・再稼働後 (建設中プラントは運転開始後)、半年以内を目途に実施計画を見直し (必要時) ・第1回の安全性向上評価届出書に反映		

※1 東北電力（東通）、東京電力（KK6,7）、中部電力（浜岡3,4）、北陸電力（志賀2）、中国電力（島根3）、日本原電（東二）、電源開発（大間）

○外的事象（地震・津波）

BWRの外的事象（地震・津波）については、第2回以降の安全性向上評価届出に反映していくが、詳細時期は今後検討していく。

- ✓ 事業者は、外的事象に係る評価（PWR）について、「共通事項の整理」として設計経年化の着眼点を抽出し、評価、対策案の検討を実施した。自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行い、発電所の継続的な安全性向上を図っている。
- ✓ ATENAは、ガイドラインに沿った取組みとなるよう指摘/確認を行い、本評価が安全性向上に繋がるよう関与した。ガイドラインの有効性の評価として、設計差異による安全上の弱点が抽出、評価できていることから、有用な取組みであることを確認した。適宜改善を図ることで更なる安全性の向上に資するものと考えている。
- ✓ 今後、事業者は、実施計画に従い、順次個別プラント（PWR）評価や内的事象に係る評価（BWR）、外的事象に係る評価を進める。ATENAは、共通事項の整理（BWR）でも同様に議論を重ね、より良い評価となるよう手法の改善も含め検討していく。