

安全な長期運転に向けた経年劣化管理の取組

設計の経年化管理について

2020年4月27日
原子力エネルギー協議会

1. 取組の目的

- ATENAは、各プラントにおける今後の安全な長期運転に向けて、また、長期停止が大幅に長期化している状況にも的確に対応していくため、物理的な経年劣化および非物理的な経年劣化の両面から、経年劣化管理の全体像とその対応を検討。
- 長期運転に向けた事業者の取組について、IAEAガイドも参照して現在の取組状況を検討したところ、以下の3項目に係る取組を強化していくことが効果的であると判断。

- ① 設備の経年劣化への対応
- ② **設計の経年化管理（設計古さ対応）** ⇒ **本資料にてご説明**
- ③ 製造中止品への対応

- 上記②の設計の経年化管理にあたっては、プラントの設計が歳月を経て変遷することが安全に影響を与えるかどうかを評価し、継続的な安全性向上に取り組んでいく仕組み（**設計の経年化管理の仕組み**）を構築。

設計の経年化管理

時間が経過しているプラントの設計に対して、新たに蓄積された知見等をふまえて、安全性に与える影響を評価し、必要に応じて対策を実施していくこと。

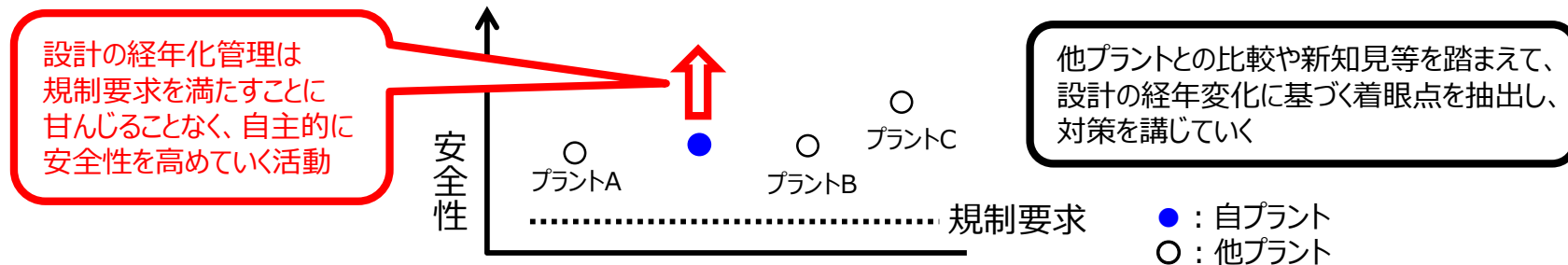
2. 現在の自主的安全性向上活動と設計の経年化管理

●現在の自主的安全性向上の枠組み

- ・時間が経過したプラントについても、規制要求（新規基準、バックフィット）を満足するプラントは運転が許容されるが、事業者は規制要求に留まることなく、更なる安全性向上を追求するための自主的な活動を継続。
- ・この自主的安全性向上活動の結果は規制要求（原子炉等規制法第43条の3の29）にもある安全性向上評価の届出にて報告。

●設計の経年化管理に関するATENAの取組の位置づけ

- ・長期間運転（30年程度が目安）した規制基準適合プラントを対象に、自主的安全性向上活動の中における設計の経年化管理に係る評価手法を明確化することで、規制要求を満たすことに甘んじることなく、技術の進歩、安全要求の変遷等の変化に柔軟に対応する。
- ・なお、運転期間の短いプラントにおいても、設計の差異を評価していく。



- ・ATENAは、設計の経年化管理が的確に行われるように、設計の経年化に係る着眼点の抽出・評価の方法を標準化・明確化することを目的に、ガイドライン整備。
- ・事業者は、ATENAのガイドラインに基づき設計の経年化管理を行うことで、自プラントの安全上の特徴を理解するとともに、必要に応じてハードおよびソフト対策を検討し、発電所の継続的な安全性向上に資する。

⇒ 設計の経年化管理に係る取組状況については、活動結果を安全性向上評価書に記載し、定期的に規制当局へ報告することから、事業者の取組方針についてご意見をいただきたい。

3. 『設計の経年化評価ガイドライン』の概要

●『設計の経年化評価ガイドライン』の策定

- ・設計の経年化管理では、基準適合プラントの設計における安全上の影響を評価すべき着眼点を抽出し、どのような影響があるかを評価して、必要に応じて対策を検討する。
- ・上記の取組の具体的な手法をATENAのガイドにとりまとめる。

設計の経年化評価ガイドライン 目次

1. 序 文

1.1 目 的

1.2 概 要

1.3 適用範囲

1.4 用語の定義

2. 評価手順

2.1 設計の経年化に係る着眼点の抽出

2.2 評 価

2.3 対策案の検討

3. 対策要否の検討

4. 継続的な評価

5. 記 録

添付書類

1 設計の差異候補（BWRの例）

解 説

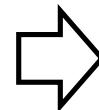
1-1 評価の事例（BWR 格納容器）

1-2 評価の事例（BWR RHR中間ループ）

1-3 評価の事例（PWR ECCS系統）

2 その他の抽出方法

3 ソフト対策の重要性



5

～

13

4. 設計の経年化評価手順（1 / 5）

●『設計の経年化評価ガイドライン』における評価手法の概要

2.1 設計の経年化評価に係る着眼点の抽出

- ・プラントの設計に関し、安全上の影響を評価すべき着眼点として『安全機能に係る設計の違い』を抽出。
- ・抽出された着眼点は、設計の経年化に関わらないものも含め、安全性向上評価の対象として整理。

① 直接的に設計情報を比較して安全上、影響のある項目を抽出。（内的事象）

a) 安全機能の整理（何を見たいか）

- ・安全重要度クラス1、2の機能有する設備を対象に、安全機能およびこれを脅かす要因のメカニズムを整理。

例：MS-1の格納容器に関し、『閉じ込める』機能を脅かす『格納容器破損モード（過圧/過温、DCH、MCCI等）』を整理。 ⇨ 10の縦軸の整理

b) 設計図書等の比較による設計の整理（どこが違うか）

- ・a)で抽出された要因（メカニズム）に対して、国内のプラント型式毎に当該設備の物理的構成・形状等の情報を整理。（設備図書等を基に整理）

例：格納容器の型式毎に横並びにし、各『格納容器破損モード』に関連する格納容器の構造・仕様の違いを整理。 ⇨ 10の横軸の整理

c) 安全上の着眼点の抽出

- ・a)、b)の組み合わせから設計の経年化の着眼点を抽出し、評価につなげる。

4. 設計の経年化評価手順（2 / 5）

2.1 設計の経年化評価に係る着眼点の抽出（続き）

② PRA等の様々な評価結果から脆弱性が見出された設備等について、設計の経年化の観点で分析し、着眼点を抽出。（外的事象）

外的事象については、安全機能の比較よりも、個別プラントのハザードに対する防護の特徴を捉えて着眼点を選択する必要がある。

このため、外的事象に対しては、サイト固有の情報を踏まえたうえで、着眼点を適切に選択する。

- a) PRA：ドミナントシーケンスに含まれるリスク重要度の高い設備等に着目し、設計の経年化による影響を考え得るものを抽出。
比較可能なPRAがある場合は、その比較により設計の経年化に係る着眼点を抽出。

⇒ 地震・津波 等

例：同一サイト内にある、ハザードが共通の1号機と2号機の地震PRA結果を比較し、CDFの差の要因となる点を抽出。

- b) 安全裕度評価：設計基準を超えるハザードレベルで脆弱性が認められる点に着目し、着眼点を抽出。

⇒ 竜巻・津波 等

例：設計基準を超える高さの津波によりサイト内で浸水が発生した場合における脆弱性を抽出。

- c) プラントウォークダウン：PRAや安全裕度評価の際に実施し、ハザードに対する脆弱性が潜在しうる現場配置等の設計に着目し、着眼点を抽出。

⇒ 外的事象全般

例：安全上重要な機器の上部に耐震性の弱い配管が通っており、地震の際に他系統からの波及的影響を受けてしまう配置設計上の弱点を抽出。

4. 設計の経年化評価手順（3 / 5）

2.2 評価

2.1で抽出された設計の経年化に係る着眼点が、プラントの安全上どのような影響を与えるかを評価・分析する。着眼点毎に、PRA評価結果、PRAモデル化要素、SA解析など安全上の視点から、重要性を評価する。

【BWR PCV評価の例】

(a) PRA評価結果に基づく評価 ⇨ 11

○格納容器破損モード別の格納容器破損頻度をPCVの型式毎に並べ、全格納容器破損頻度（CFF）に寄与する格納容器破損モード割合を比較し、安全上の重要性を評価。

⇒『図1 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度』について、PCV型式毎に比較。

・いずれの型式でも過圧が上位であり、DCH・FCI・MCCIは下位。

⇒過圧破損モードの影響が安全上重要な着眼点であると評価
（他の破損モードについても、コスト効果的な対策の有無を検討）

(b) PRA以外の評価 ⇨ 12

○出力あたりの容積や水量、最高使用圧力、SA時のベントタイミング等を比較し、安全裕度に係る型式毎の特徴を把握。

⇒Mark- II はSA時のベントタイミングが比較的早く、過圧破損モードへの対応の重要性が高い。

⇒過圧破損防止の要素として、耐圧性の向上、圧力上昇の抑制、確実な操作の観点から、対策を検討していく。

4. 設計の経年化評価手順（4 / 5）

2.3 対策案の検討 ⇨ 13

- ・ 評価の結果、着眼点の重要性に応じて、考える対策案の検討も行う。
対策は、ハード対策のみならず、コスト効果的なソフト対策を重視。

⇒ 新規制基準の対応の中でハード対策は既に対応済みの場合が多いが、これに追加する対策や、新規制基準対応で導入した設備の運用改善等のソフト対策を検討。

ソフト対策の例：新規制基準対応の際に導入したフィルターベント（FCVS）は、隔離弁を遠隔で手動操作するためのユニハンドラーを用いているが、開操作にあたってはトルクが大きく、またストロークも長いいため操作に時間を要する。

このため、電動ドリルを改造した工具を現場に設置し、迅速かつ容易な弁操作を可能にすることで操作時間を短縮し、安全向上に寄与。

3 対策要否の検討

- ・ 2 の分析結果に基づき、抽出された着眼点に対して、個別プラント評価結果に基づく安全上の対策の効果と、対策に要するリソース等を総合的に勘案し、具体的な対策を検討して採否を判断。

4 継続的な評価

- ・ 2 の評価が一通り済んで以降は、設計の経年化を管理する観点から、新知見や新設計の情報が得られる都度、同様のプロセスを踏んで評価を継続。

4. 設計の経年化評価手順（5 / 5）

【参考：2.3 対策案の検討】

対策の抽出にあたっては、運用の改善等のソフト対策を重視し、リソースをかけずに対応可能なものは、迅速に対応していく。

ソフト対策の例

a. 手順の改善・追加

- 例) ・空調系喪失時の扉開放手順の整備、仮設排風器設置・使用手順整備など異なる手段による冷却機能確保
 ・想定を超える豪雨に備えた敷地排水経路の手段の確保手順の整備
 ・予報、傾向監視等による事前準備が可能な事象（想定を大幅に超える海水温上昇、台風の襲来など）を踏まえたプラント停止措置等の明確化と手順の整備
 ・インターロックバイパス又はジャンパー手順の追加

b. 資機材リストの整備・予備品の確保

- 例) ・安全機能別資機材の配置場所リストの作成
 ・安全設備の故障想定毎の取替部品の準備

c. 資機材調達手段の明確化（調達先連絡手段含む）

- 例) ・バッテリー調達先リストの作成
 ・他発電所の資機材互換性リストの作成

d. 復旧活動支援ツールの整備

- 例) ・可搬設備接続箇所の標識設置
 ・アクセスルートの掲示
 ・現場配置図、写真、3D-CADの準備

e. メンテナンスの改善等の信頼性向上策

- 例) ・重要度の高い設備のメンテナンス頻度増加
 ・機器サーバランス等の伴う系統機能ダウンタイムの低減

f. 教育訓練の改善（ヒューマンエラー改善）

- 例) ・リスク重要度の高い事故シーケンスに対応する手順の教育訓練頻度の増加
 ・リスク重要度の高いHFの運転員への周知
 ・設計基準を大幅に超える状況を想像する図上訓練の実施

等

5. 設計の経年化評価の例 (BWR : 格納容器) (1 / 4)

2.1 設計の経年化に係る着眼点の抽出

既設の格納容器の代表的な型式を比較。安全機能に関係する本体と内部構造に着目。

a) 安全機能の整理
安全機能を脅かすメカニズム (格納容器破損モード) 毎に整理

b) 設計図書等の比較による設計差異の整理
格納容器破損モードに対して、プラント型式毎に格納容器の物理的構成・形状等の情報を整理。

c) 安全上の着眼点の抽出
a)、b)の組み合わせから設計の経年化の着眼点を抽出し、評価につなげる。

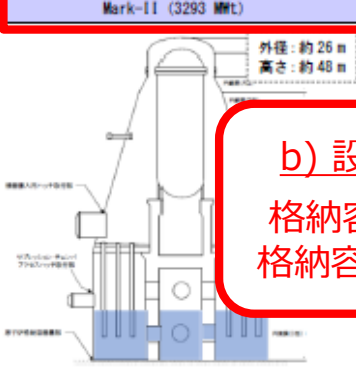
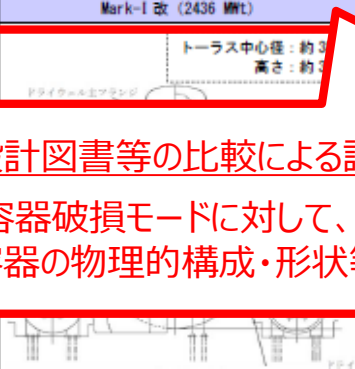
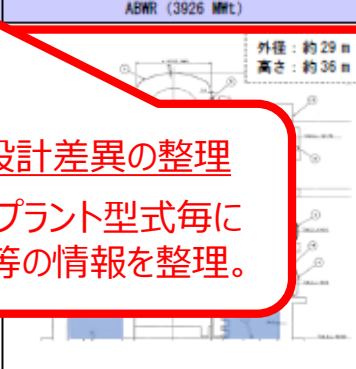
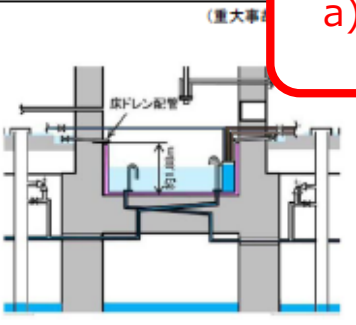

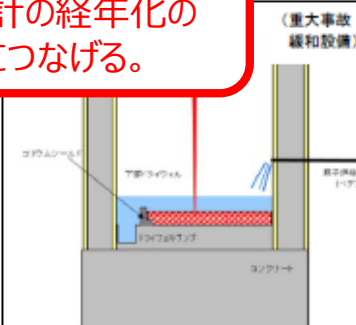
| 機能 | 項目 | Mark-II (3293 MWt) | Mark-II 改 (2436 MWt) | ABWR (3926 MWt) | 備考 |
|------------------------|--|---|---|--|------------|
| | 概形 |  |  |  | |
| 閉じ込め (3/4) — 圧過温防護 | 最高使用圧力 (kPaG) +310 / -14 [限界圧力: +620] 最高使用温度 (°C) D/W: 約 171, S/C: 104 [限界温度: 200] 自由体積 (m3) D/W: 約 5700, S/C (空間部): 約 4100 S/P水量 (m3) 約 3400 ペント管形状 0.6 mφ × 108 本 (直管) 水浸 (m) 約 3.3 (LWL) 構成材 本体、ペント管: 鋼製 ベDESTAL: コンクリート | 最高使用圧力 (kPaG) +427 / -14 [限界圧力: +854] 最高使用温度 (°C) 同左 自由体積 (m3) D/W: 約 7900, S/C (空間部): 約 4700 S/P水量 (m3) 約 2800 ペント管形状 0.6 mφ × 64 本 (ダウンカマ部) 水浸 (m) 約 1.2 (LWL) 構成材 本体、ペント管: 鋼製 ベDESTAL: コンクリート | 最高使用圧力 (kPaG) +310 / -14 [限界圧力: +620] 最高使用温度 (°C) 同左 自由体積 (m3) D/W: 約 7400, S/C (空間部): 約 6000 S/P水量 (m3) 約 3600 ペント管形状 0.7 mφ × 3 段 (水平ペント) × 10 本 (垂直管) 水浸 (m) 約 3.2 (LWL, トップペント上端) 構成材 本体、BCDV (トップヘッド及びペント管): 鋼製 ベDESTAL: コンクリート | 本機・ペント管面積等に基づく 機器寸法に基づく出力・PCV形状による 確証試験に基づく 工法の進歩による | |
| 閉じ込め (3/4) — 環境放出抑制 | 設計漏えい率 (%/d) 0.5 (常温, 最高使用圧力の 0.9 倍の圧あり) MSIV 漏えい抑制系 | | | | 実績に基づく |
| 閉じ込め (4) — MCCI 抑制 | コリウムシールド (重大事故緩和設備) |  |  |  | (重大事故緩和設備) |
| 閉じ込め (4) — 蒸気爆発抑制 | ベDESTAL水位制御 溶融物落下抑制 | ドレン制限弁, サンプ・スワンネック, 排水弁 | コリウムバッファ (検討中) * | 格納容器下部水位調整設備 (検討中) * | 自主設備 |

図 格納容器 設計変遷 (差異) 比較の例

5. 設計の経年化評価の例（BWR：格納容器）（2 / 4）

2.2 評価

(a) リスク評価上の特徴（レベル1.5PRA（内的事象、状態A+α）の評価結果）

・2.1で抽出した安全機能に関する設計の違いが、安全上どのように影響するのかをPRAで評価する。

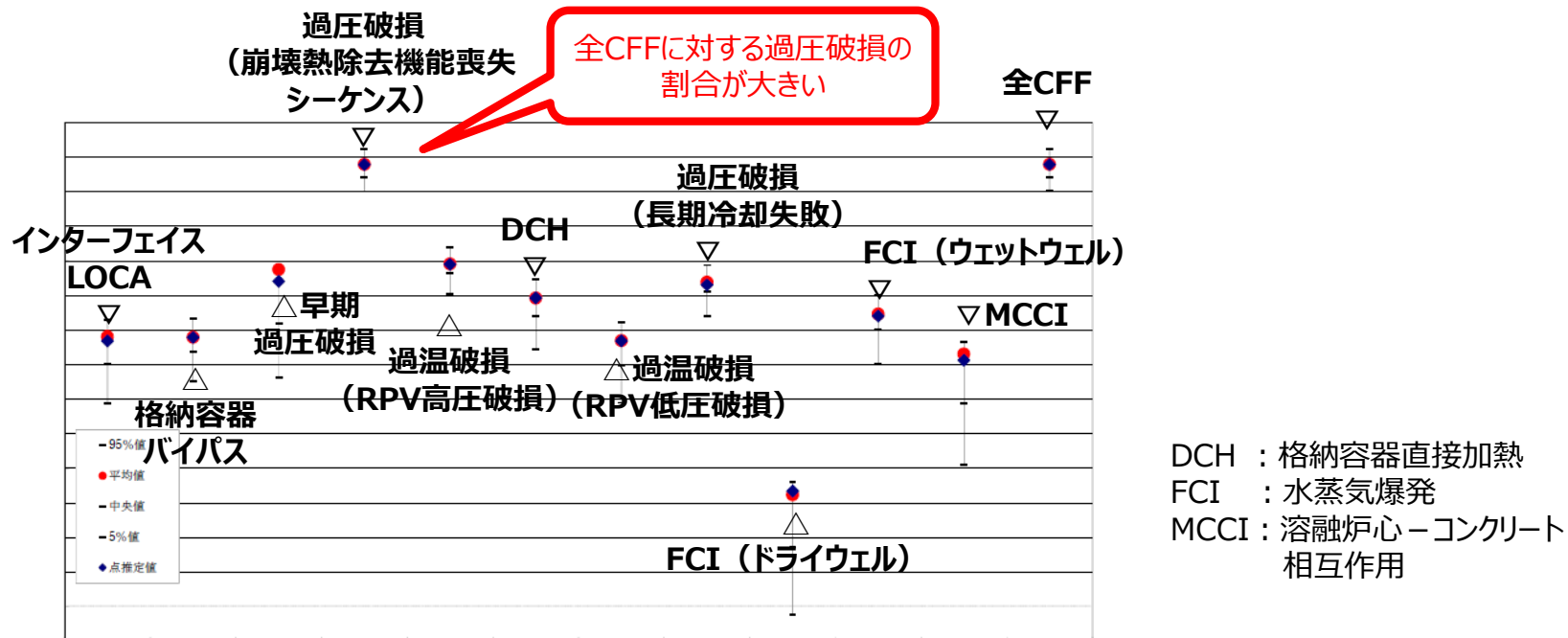


図1 格納容器破損モード別の格納容器破損頻度（Mark- II の例）

⇒ Mark- II の場合、リスク評価上、過圧破損モードの影響の重要性が相対的に高いと評価。
具体的な対策案を検討する。

DCH、FCI、MCCIの安全上の重要性は相対的には高くないものの、コスト効果的な対策を検討する。

5. 設計の経年化評価の例（BWR：格納容器）（3 / 4）

2.2 評価（続き）

(b) 安全裕度

- ・ (a) をふまえ、安全上重要な過圧破損モードに関連するパラメータを比較すると、出力あたりの容積・水量や最高使用圧力から、Mark- II に比べてMark- I 改が相対的に最も裕度大きい。

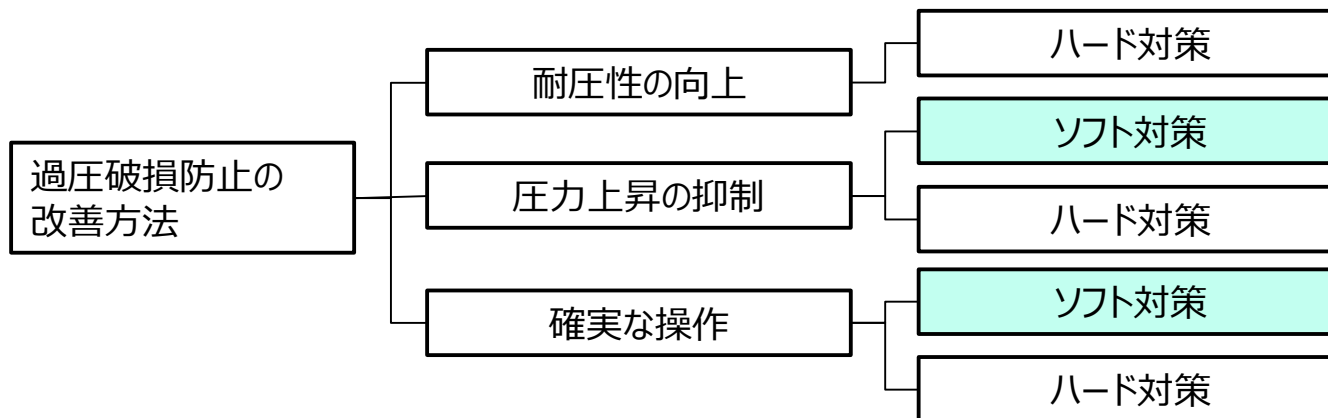
| 格納容器型式 | 設計の差異 | | | ベント時間※ (h) |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------|
| | 容積： V_{PCV}/P (m^3/MWt) | 水量： V_{PCV}/P (m^3/MWt) | 最高使用圧力 P_d (kPa) | |
| Mark- II (3293MWt) | 3.0 | 1.0 | 310 | 19 |
| Mark- I 改 (2436MWt) | 5.2 | | | 45 |
| RCCV (3926MWt) | 3.4 | | | 29 |

Mark- II は、過圧に留意

表 過圧に関連するパラメータの例

※有効性評価：過圧/過温ケースの評価結果

⇒ 過圧破損を防止するための対策の要素毎に改善策・対策を検討



5. 設計の経年化評価の例（BWR：格納容器）（4 / 4）

2.3 対策案の抽出

・2.2で抽出された過圧破損の特徴に対して安全性を向上させる対策案を抽出する。

| 要素 | 対策 | 補足 |
|---------|----------------|--|
| 耐圧性の向上 | 格納容器容積の増加 | バッファタンクの追設等。 |
| | 耐圧性の向上 | 格納容器材料の変更等、新技術の開発。 |
| 圧力上昇の抑制 | 除熱機能の追加 | サイトの状況や取水設備の構成等に応じて、大気をヒートシンクとした常設代替循環冷却を追加。 |
| | 除熱手順の改善 | AM整備の際に、CUW/ドライウェルクーラー活用（能力は系統設計に依存）手順、RHRの復旧手順、不活性ガス系/SGTSベント手順を整備。 |
| | 代替格納容器スプレイ | 新規規制基準対応の中で、復水補給水系（MUWC）、消火系、消防車による注水ラインを整備したため、手順を改善。 |
| 確実な操作 | 運転員負荷の小さい設備の導入 | 常設代替循環冷却（大気）は、現場操作不要とする設計とすれば、運転員の負荷は小さい。 |
| | 格納容器ベント手順の改善 | FP放出の低減を図るための手順を追加。 |
| | 運用の改善 | 特重設備の優先的な使用を考慮した手順を整備。 |
| | 運用の改善 | フィルターベント隔離弁のユニハンドラー操作時に使用する電動工具の整備し、開操作時間の短縮・運転員の負荷低減を図る。 |
| | 手順書の改善 | 現場状況を踏まえた復旧手順のレビューによる改善。 |
| | 訓練による改善 | 要員の技術力維持および向上、手順の見直しに資する。 |
| | 保全の充実 | リスク重要度の高い設備の保全方法・頻度の改善による信頼性向上。 |

□：ソフト対策

⇒各事業者は、抽出された対策案を基に、自プラントにおける効果やリソース等を総合的に勘案し、具体的な対策を検討の上、採否を判断。

6. 事業者の取組およびATENAの関与（1 / 4）

(1) ATENAの関与（P16フロー参照）

1-① 設計の経年化評価ガイドラインの策定

- ・ATENAは、設計の経年化管理の具体的な手法をまとめた『設計の経年化評価ガイドライン』を作成。

1-② 評価計画の確認

- ・設計の経年化評価にあたっては、各事業者から評価計画の提出を求め、各社の取組状況を把握。

1-③ 初回評価への関与

- ・『共通事項の整理』および『個別プラント評価』における事業者間で初回となるハザードの評価にはATENAが関与して評価内容を確認。

1-④ 継続的な評価の確認

- ・事業者毎の個別プラント評価における評価プロセスをレビューし、ガイドに則った評価が行われていることを確認。

1-⑤ 設計の経年化評価ガイドラインの改訂

- ・各評価や評価結果の確認等の設計の経年化評価実績をふまえ、評価手法を適宜見直し、必要に応じて設計の経年化評価ガイドラインの見直しを実施。

6. 事業者の取組およびATENAの関与（2 / 4）

- 事業者は、ATENAガイドに基づいて下記のとおり設計の経年化管理を実施。

(2) ATENAガイドに基づいた事業者の取組（P16フロー参照）

2-① 評価計画の作成

- ・事業者は、再稼働済プラントにおける設計の経年化評価の計画を作成し、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、半年以内に提出。

2-② 共通事項の整理

- ・既存のプラントを対象に、ATENAガイドに基づき『2.1 設計の経年化に係る着眼点の抽出』、『2.2 評価』、『2.3 対策案の抽出』を実施。

2-③ 個別プラント評価

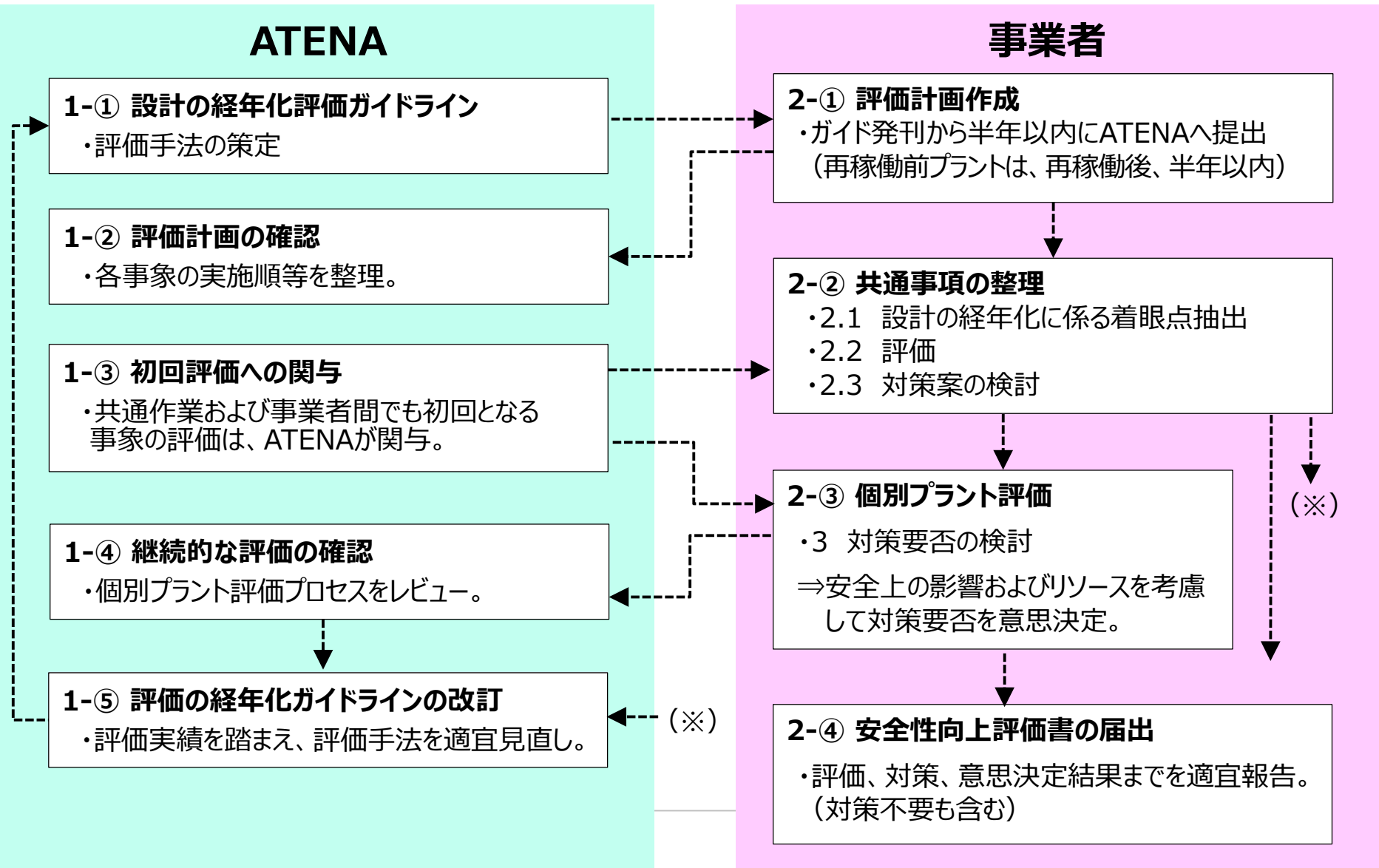
- ・新規規制基準への適合が確認されたプラントを対象に、②の分析結果に加え、事業者毎の個別プラント評価結果に基づく安全上の脆弱性と対策の効果と要するリソース等を総合的に勘案し、具体的な対策を検討し、採否を判断。

2-④ 安全性向上評価書の届出

- ・2-②③の評価・対策・意思決定の結果を安全性向上評価書にまとめ、適宜報告。
- ・対策を実施しない場合も、検討過程・判断根拠等を記載。

6. 事業者の取組およびATENAの関与 (3 / 4)

【参考】設計の経年化管理に係る事業者およびATENAの関係



6. 事業者の取組およびATENAの関与（4 / 4）

●今後のスケジュール概要

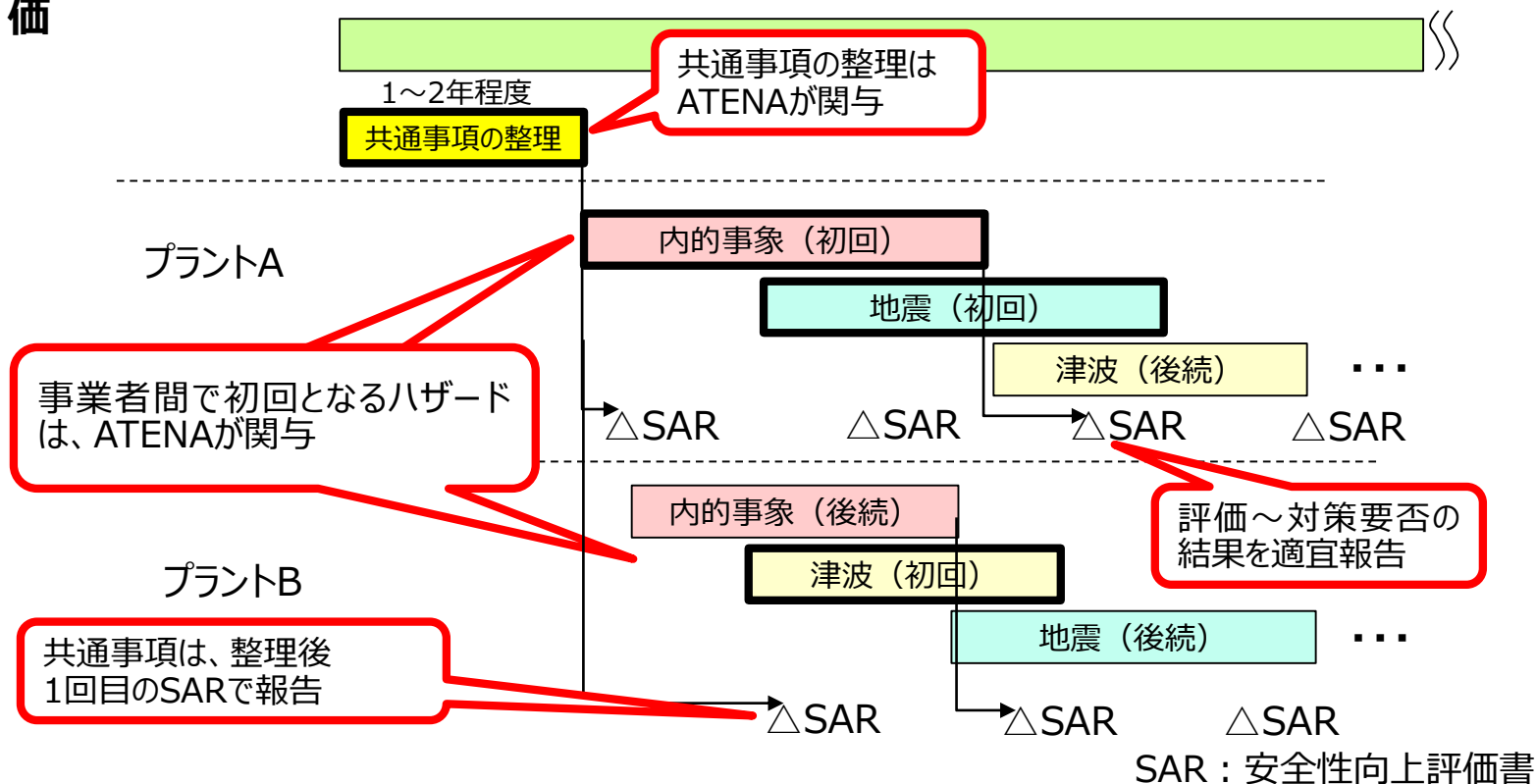
- 設計の経年化評価は、新規基準に適合して再稼働したプラントから、随時実施。
一連の評価には、10年程度を想定。

▽ガイド発刊

①評価計画作成 0.5y

▽各社評価計画の提出 ※再稼働プラントは、再稼働後0.5年以内に提出

②評価



7. まとめ

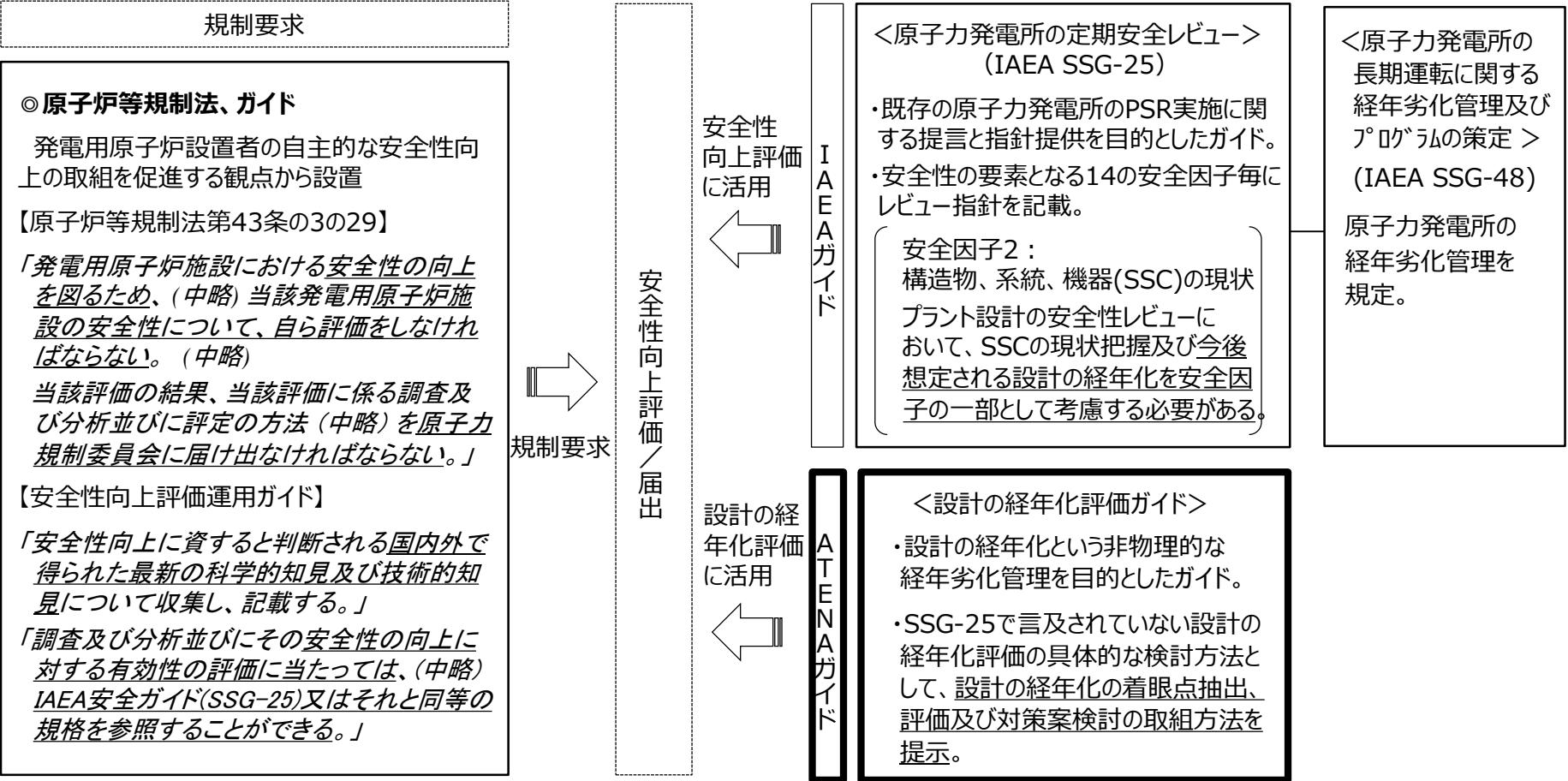
- 新規制基準に適合したプラントも、安全性向上評価を継続することで、更なる安全向上を自主的に追及している。
- ATENAは、設計の経年化管理が的確に行われるように、設計の経年化に係る着眼点の抽出・評価の方法を標準化・明確化することを目的に、ガイドライン整備する。
- 事業者は、新規制基準への適合が確認されたプラントを対象に、ATENAのガイドラインに基づき設計の経年化管理を行うことで、自プラントの安全上の特徴を理解するとともに、必要に応じてハードおよびソフト対策を検討し、発電所の継続的な安全性向上に資する。
- ATENAはその計画と評価（『共通事項の整理』および『個別プラント評価』における事業者間でも初回となるハザードの評価）に関与していく。

参 考

- 設計の経年化評価ガイドは、各事業者が規制要求に基づき自主的な安全性向上活動を推進するにあたり、設計の経年化という非物理的な経年劣化を防ぐことを目的に、設計の経年化評価や対策案検討の方法を提示。
- 原子力発電所の安全な長期運転にあたっては、物理的および非物理的な経年劣化の管理が必要であり、これらはIAEAの安全ガイドでも規定されているところであるが、このうち非物理的な経年劣化である『設計の経年化』については、具体的な検討方法が取りまとめられたガイドや規格はない。
- このため、設計の経年化評価の方法として、設計の経年化の着眼点抽出、評価及び対策案抽出の手順をATENAガイドとしてとりまとめ、事業者の設計の経年化管理に活用していく。

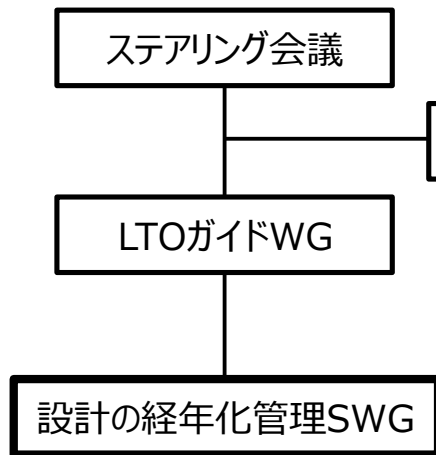
【規制要求及び規格基準類との関係】

- 設計の経年化評価ガイドは、事業者が自主的な安全性向上活動を推進するにあたり、設計の経年化という非物理的な経年劣化を管理することを目的に、設計の経年化評価に関する手順を提示。



(参考) ATENA 設計の経年化管理実施体制

- 設計の経年化管理は、プラントの設計の変遷や型式毎の特徴の整理、PRA等の安全評価の活用がコアとなる。
このため、LTOガイドWGの下部に『設計の経年化管理SWG』を設置し、プラントの試評価を行いながらガイド原案の作成を行った。
- 今後の設計の経年化管理における事業者計画の確認、ATENAによる評価の関与、ガイドの改訂等の対応についても、『設計の経年化管理SWG』で対応していく方針。



主査：ATENAスタッフ（部長）
 委員：事業者専門家（安全設計）
 メーカー専門家（システム設計等）
 ATENAスタッフ

（役割）

- 設計の経年化管理評価ガイドライン原案の作成および改訂
- 事業者の設計の経年化管理実施計画の確認
- 共通事項および事象の初回評価への関与
- 事業者個別評価のプロセスのレビュー