

「オブソレッセンスマネジメント」の事例

関西電力の安全性向上評価において計画・実施した
ハード・ソフト対策に対する考察、
および設計経年化評価への対応状況

March 27, 2024

ATENA 安全性向上評価WG 副主査
関西電力株式会社 原子力事業本部
長嶋 一史

1. はじめに

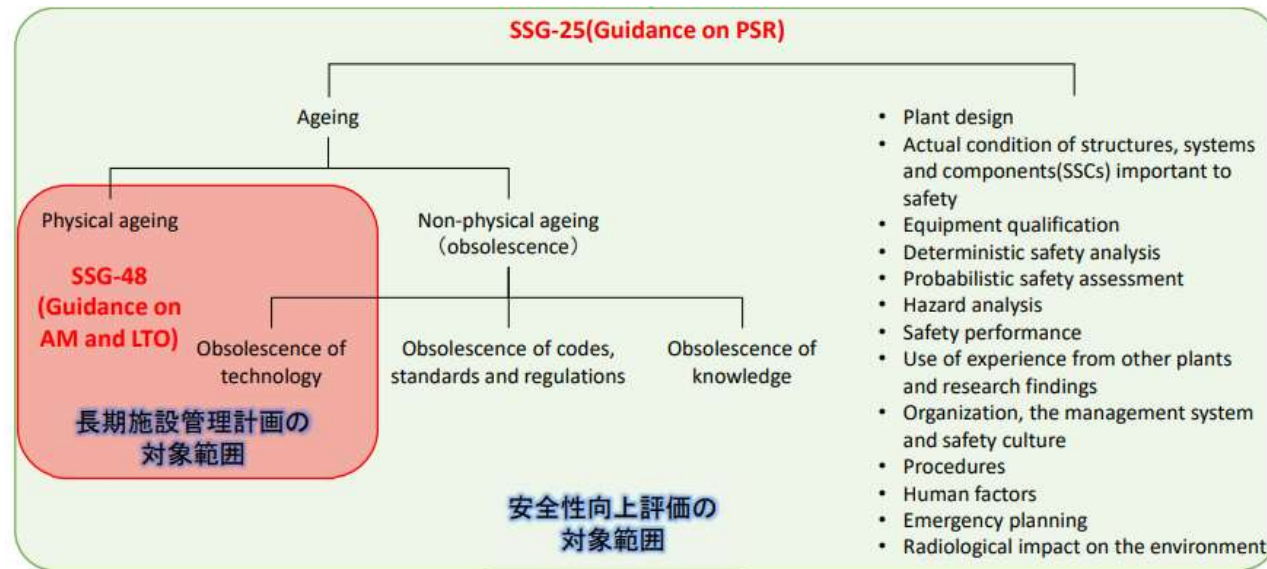
2. ハード対策

3. ソフト対策

4. まとめ

1. はじめに

- IAEA SSG-48で分類されているNon-physical ageing (obsolescence、あるいは「設計の古さ」)のうち建設時の設計変遷の中で生じた「差分」を確認し、アプローチする対応を、安全性向上評価のうち3.2章「中長期的な評価」で実施するSSG-25に基づく評価（14安全因子レビュー等）で対応すると整理（NRA検討チーム会合）
- オブソレッセンスの様態は多様。
- 新知見調査、PRA、設計経年化評価等、複数のアプローチ（次頁）でオブソレッセンスに対応していると認識
- 以下の規制当局の整理は、中長期的な評価（14安全因子）で対応するとした



- 事業者においてこれまで抽出してきた追加対策が、どのオブソレッセンスに位置づけられるか検討し、Obsolescence Managementにかかる議論の一助とする

安全性向上評価での安全対策の抽出

保安活動・最新知見・内部外部事象・決定論・PRA・ストレステスト・PSR+、など多様な切り口で対策を抽出

1. 安全規制によって法令への適合性が確認された範囲

1.1 発電用原子炉施設概要

1.2 敷地特性

1.3 構築物、系統及び機器

1.4 保安のための管理体制及び管理事項

1.5 法令への適合性の確認のための安全性評価結果

…許認可図書のまとめ：全て定検毎

2. 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の方針

2.2 調査等

2.2.1 保安活動の実施状況

2.2.2 国内外の最新の科学的知見及び技術的知見

2.2.3 発電用原子炉施設の現状を詳細に把握するための調査

2.3 安全性向上計画

2.4 追加措置の内容

2.5 外部評価

…保安活動の状況、最新知見の反映状況等の調査：全て定検毎

3. 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

3.1.1 内部事象及び外部事象に係る評価

3.1.2 決定論的安全評価

3.1.3 内部事象及び外部事象に係る確率論的リスク評価

3.1.4 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

…定検毎

…PRA/ST：原則5年毎

…PSR+：原則10年毎

3.2.1 中長期的な評価の概要

3.2.2 安全因子レビューの評価結果

3.2.2.1 プラント設計

…

3.2.2.14 放射性物質が環境に与える影響

3.2.3 総合評価の評価結果

3.2.3.1 安全因子レビューの成果

3.2.3.2 妥当且つ実行可能な安全性向上措置の抽出

3.2.3.3 全体的なリスクの評価

3.2.3.4 安全性向上措置実行計画

3.2.4 評価により得られた所見と考察

4. 総合的な評価

4.1 評価結果

4.2 安全性向上計画

IAEA SSG-48他におけるオブソレッセンスの分類

オブソレッセンスの対象	現象	結果	マネジメント方法
A：技術	交換部品や技術支援の欠如 供給者の欠如 産業基盤の欠如	故障率の増加と信頼性の低下によるプラントの性能と安全性の低下	<ul style="list-style-type: none"> 体系的に機器等の耐用年数と予測される陳腐化を同定する 耐用年数に基づく交換部品の準備と、タイムリーな部品交換 供給者との長期契約 同等品の開発
B：規制と規格規準	<ul style="list-style-type: none"> 機器等やソフトウェアの現行規制及び規格基準からの逸脱 = B F 対象 設計上の弱点（性能検証、系統分離、多様性、又は過酷事故への対応力等） 	現行の規制基準及び規格基準より低いプラントの安全水準（深層防護の弱点、又は高い炉心損傷リスク等）	現行の規制基準及び規格基準に照らしたプラントの体系的な安全再評価（定期安全レビュー等）と、適切な改良、バックフィット、又は改造
C：知識	機器等に関する現行の規制基準及び規格基準の知識が最新に保たれない	プラントの安全性を高める機会を逃した	知識の継続的な更新とその適用の改善

IAEA安全ガイドSSG-48 引用

オブソレッセンスとは：

時間の経過に伴って生じる非物理的な現象の総称

ハードウェア、ソフトウェア、またはマネジメントプロセスが時代遅れになり、改善の余地が生じることを指す

- 1：時間の経過とともに古くなったもの（産業構造の変化を含む（時間の経過とともに需要が減り製造中止））
- 2：安全余裕の増加、運転保守費用の削減、産業基盤の維持などを考察し、戦略的に新しい技術を取り入れるもの
新知見に対する対策

Dr. Kenta Murakami “Effective Obsolescence Management for Improving Safety of Existing Nuclear Power Plants” より

以上の3×2の分類に従い、関西電力の安全性向上策の分類を試みた（私見。≠関電の意見）

目次

1. はじめに

2. ハード対策

3. ソフト対策

4. まとめ

2. ハード対策の例 (1 / 2)

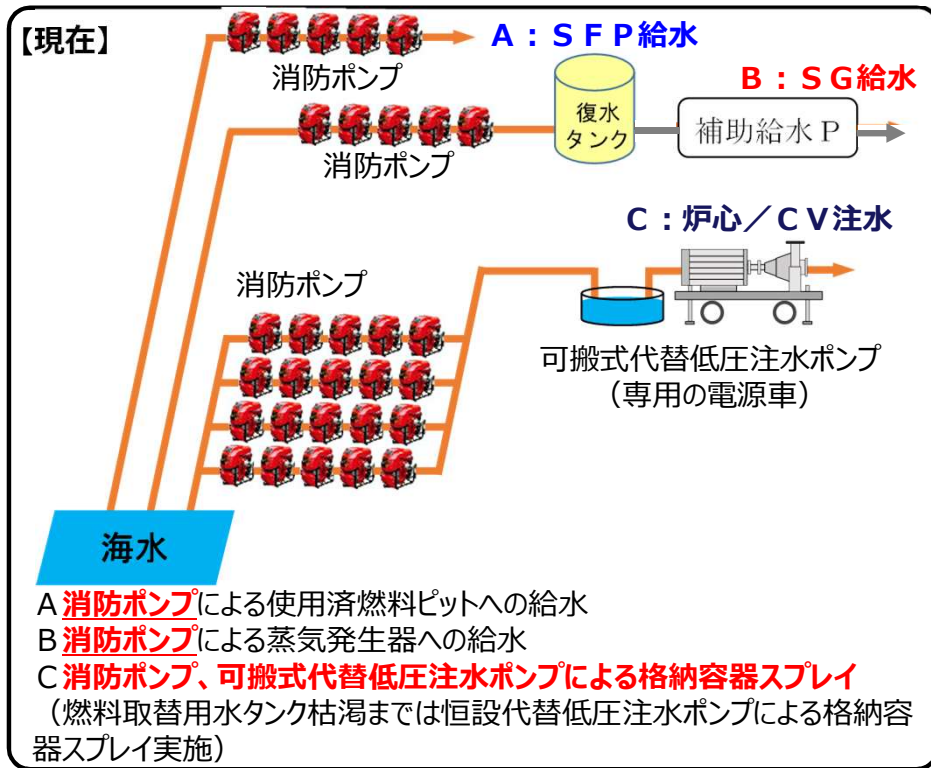
No.	項目	概要	参照	オブソレッセンス対策の追加措置に該当するか※
1	送水車導入	S A 時において、消防ポンプから送水車を用いた事故対応に変更することで、事故収束作業の迅速化等を図るとともに、送水車の保管場所を地震津波重畳の影響を受けにくい場所に設定することで、格納容器損傷防止対策にかかるクリフエッジの向上を図る。	8頁	ほぼ該当する B：事故対応力の確保？ 2：安全余裕の増加・緊急時体制の最適化
2	免震事務棟設置他	事故対応時の現場対応体制及び作業員の安全性を更に確保するため、免震構造を有する事務棟を設置する。	9頁	ほぼ該当する B：事故対応力の確保 1：安全確保・居住性向上
3	1 相開放故障検知システム設置	所内母線の安定化（所内への異常拡大防止）を図るため、所内母線への1相開放故障検知システムを設置する。	11頁	かなり該当する B：設計上の弱点 2：安定運転
4	海水ポンプ軸受取替	海水ポンプの軸受について潤滑水を必要としないテフロン製の軸受に取り替え、信頼性向上及びメンテナンス性向上を図る。	12頁	やや該当する B：機器信頼性向上？ 2：運転保守費用の削減
5	R C P シャットダウンシール導入	全交流電源喪失時の対応能力向上及び信頼性向上を図るため、シャットダウンシールを導入する。	13頁	やや該当する B：機器信頼性確保？ 2：安全余裕の増加

※ 5 頁 オブソレッセンスの種類参照 (A(Tech.), B(Codes, Standards&Reg.), C(Knowledge)、1(時間経過)、2(戦略的))

No.1 送水車導入

○ 目的

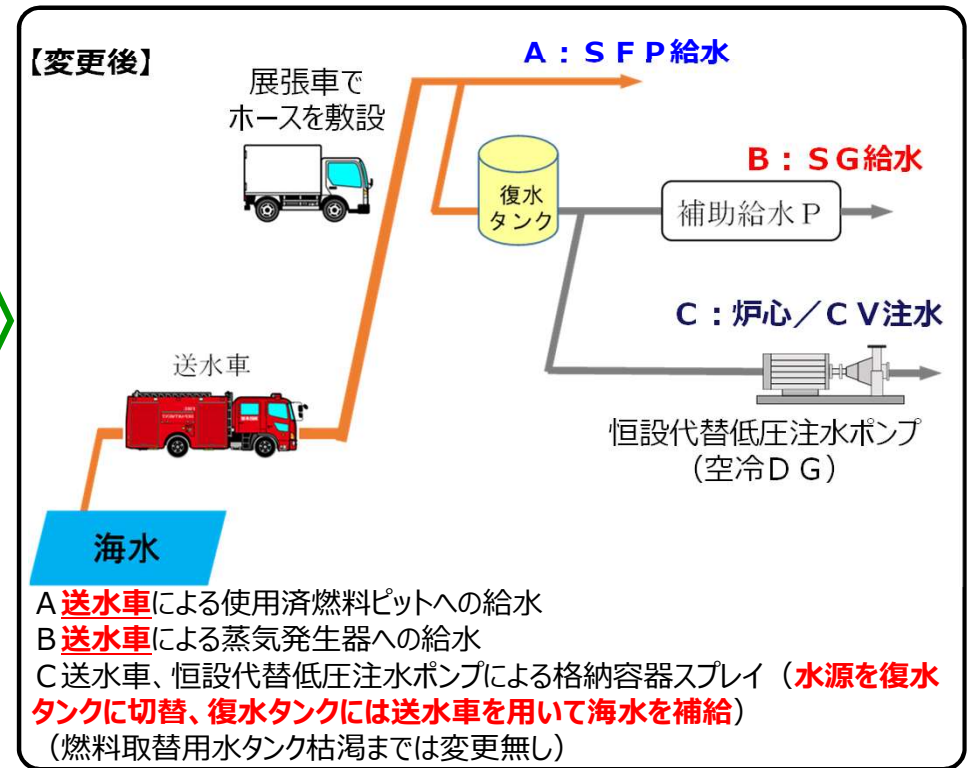
設計基準事故を超える重大事故等において、消防ポンプから送水車を用いる事故対応に変更することで、事故収束作業の迅速化等を図る。ここで、送水車の燃料には地下に設置された燃料油貯油そのの重油を使用できるため、危険物貯蔵庫に保管して地上に設置している消防ポンプ用のガソリン量が低減され、結果的に森林火災やテロ攻撃等に起因する構内の火災発生リスクを低減することができる。



● SA対応で用いる設備の燃料を重油で統一する。

【現在】	SA設備	燃料
	消防ポンプ	ガソリン
大容量ポンプ、空冷式非常用発電装置、電源車		重油

作業の迅速化等



火災発生リスクの低減等

【変更後】	SA設備	燃料
	送水車	重油
大容量ポンプ、空冷式非常用発電装置、電源車		重油

No.2 免震事務棟設置他

○ 目的

東北地方太平洋沖地震により発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、事故対応時の現場対応体制及び作業員の安全性を更に確保する観点から、免震構造を有する事務棟を設置する。

○ 概要

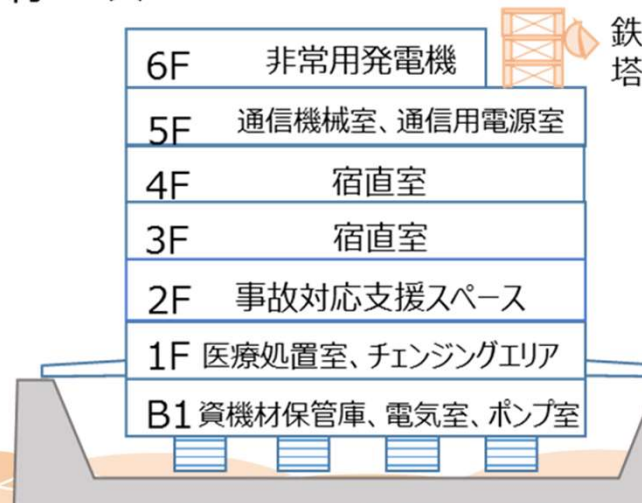
免震事務棟は地震、津波に耐えられる構造、位置（敷地造成を含む）であり、非常用電源及び非常用資材を確保している。

また、免震事務棟内の通信設備（構内電話用交換機）を移設し、全交流動力電源喪失時において中央制御室及び緊急時対策所で構内電話が使用できるようにしている。

高浜の免震事務棟概要図

【主な仕様】

- ・地上6階＋地下1階
- ・鉄筋コンクリート構造
（一部鉄骨構造）
- ・建屋内面積 約4,300㎡
- ・収容想定人数 約800人



参考 オブソレッセンスへの対応例（免震事務棟の設置）

年代	出来事	電力会社 (東京電力HD、関西電力の例)
1980年代後半	免震構造の開発競争	
1990年代後半	免震構造の普及 (1995年の阪神淡路大震災が契機)	
2007年7月	新潟県中越沖地震	緊急時対策室が設置されていた 事務本館が損傷し機能不能に (東京電力HD)
2009年12月 2010年3月		柏崎刈羽、福島第一、第二発電所に 免震重要棟を建設 (東京電力HD)
2011年3月	東北地方太平洋沖地震	免震重要棟で事故対応 (東京電力HD)
2019年3月 2020年12月		大飯、高浜、美浜発電所に 免震事務棟を建設 (関西電力)

知見を踏まえた対策
オブソレッセンスへの対応

知見を踏まえた対策
オブソレッセンスへの対応

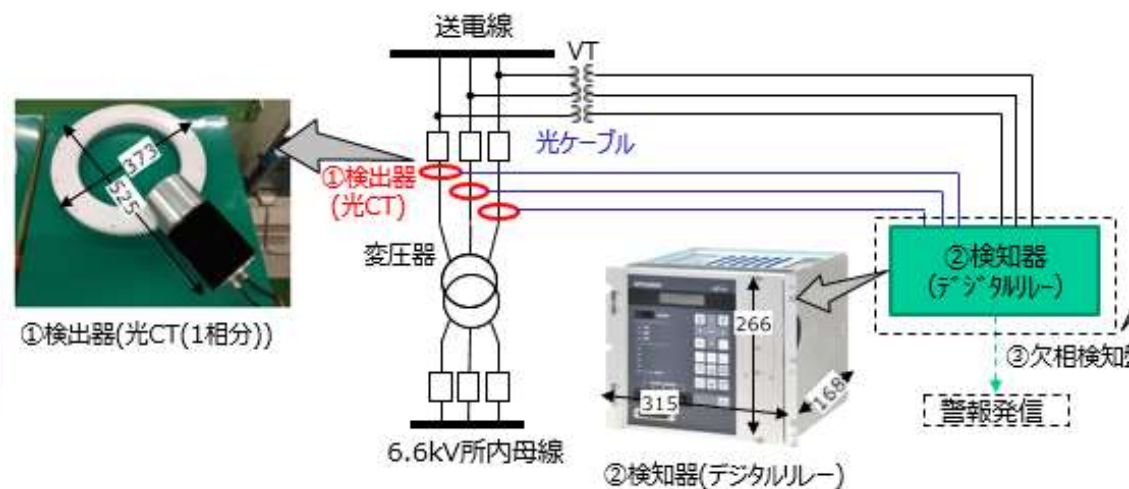
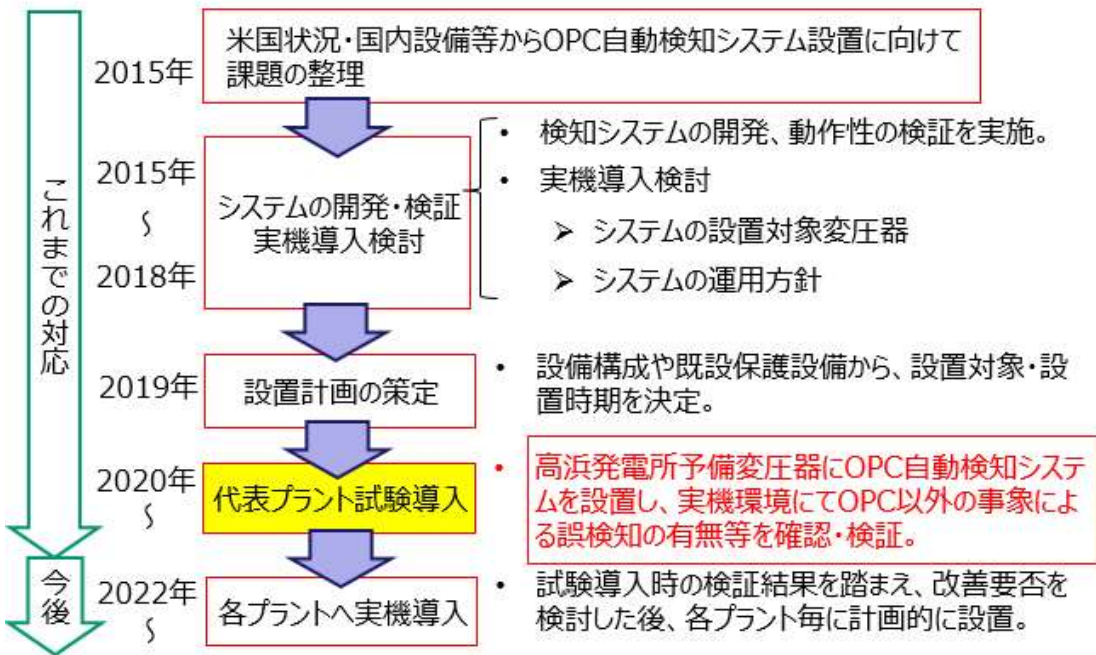
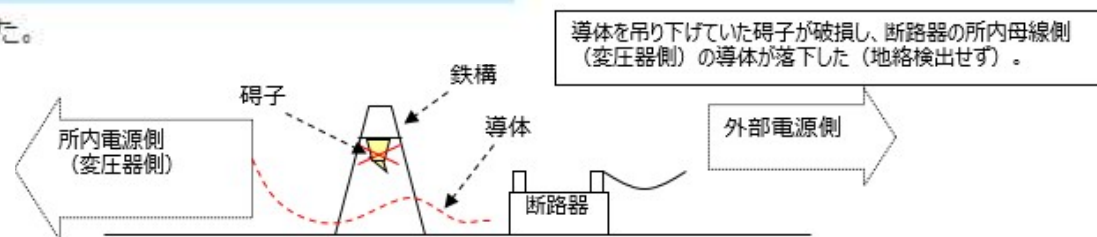
No.3 1相開放故障検知システム設置

○ 目的

所内母線の安定化（所内への異常拡大防止）のため、1相開放故障において検知性の改善が必要な変圧器を対象に、機械的検知可能なシステムを設置する。

・ 2012年1月30日、米国Byron2号機において定格出力運転中、以下の事象が発生した。

1. 起動用変圧器につながる架線の碍子の破損により、3相交流電源の1相が開放状態となり、起動用変圧器から給電されていた常用母線のRCPが低電圧リレー動作でトリップ、さらに原子炉がトリップした。
2. 一方、当該起動変圧器から同時に給電されていた非常用母線については、低電圧リレーが動作せず、3相交流電圧が不平衡のまま外部電源への接続が維持された。
3. 原子炉トリップ後に起動した安全系補機類が、非常用母線の電圧不平衡に起因する過電流等により連続的にトリップしたが、運転員は事象発生当初、その原因を特定することができなかった。



No.4 海水ポンプ軸受取替

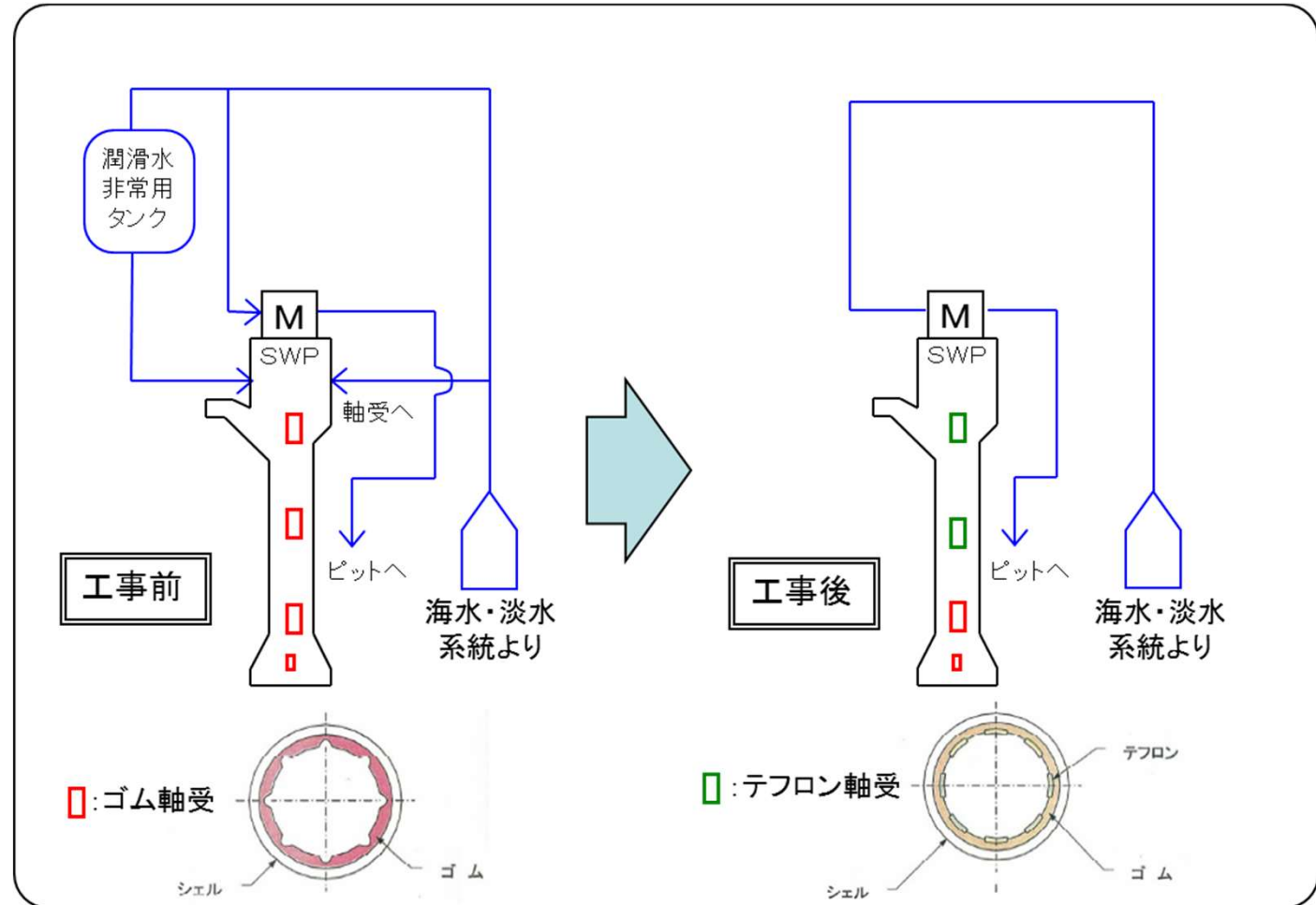
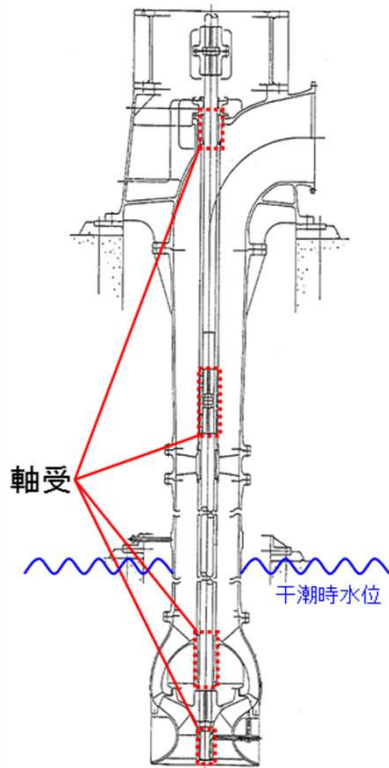
○ 目的

海水ポンプの軸受について潤滑水を必要としないテフロン製の軸受に取り替え、信頼性向上及びメンテナンス性向上を図る。

○ 概要

海水ポンプの軸受をゴム製の軸受からテフロン製の軸受に取り替える。また、軸受の取替えに伴い不要となる潤滑水配管、非常用タンクを撤去し、モータ冷却水配管のルートを変更する。

【海水ポンプ概略図】



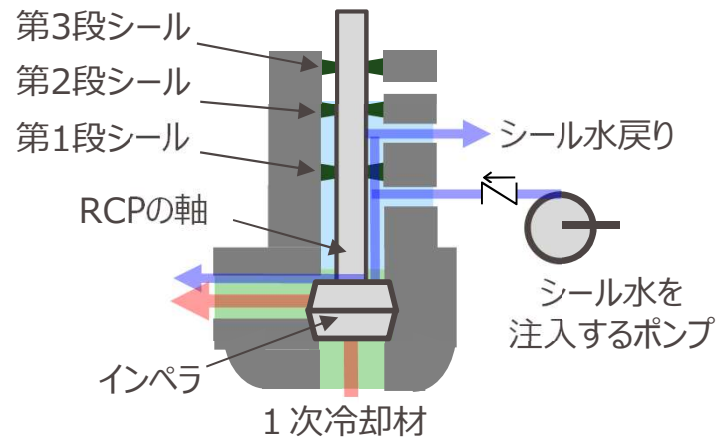
No.5 RCPシャットダウンシール導入

○ 目的

全交流電源喪失又は原子炉補機冷却機能喪失の際に発生する可能性があるRCPシール部からの1次冷却材の喪失（RCPシールLOCA）事象の防止を図る。

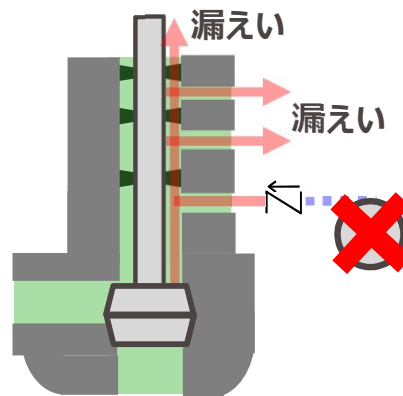
○ 概要

既存のRCPシール部に、熱で作動するシール（SDS [シャットダウンシール]）を導入する。



通常運転中の1次冷却材の流れ

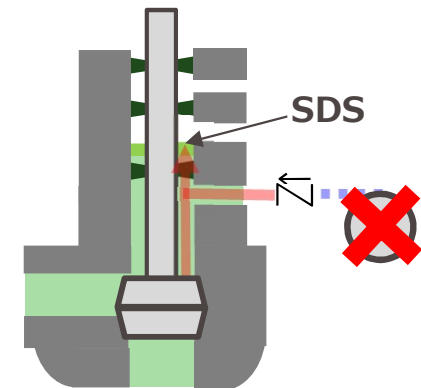
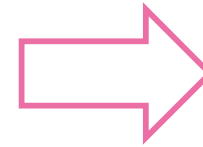
低温のシール水を注入し、高温の1次冷却材が直接シール部に到達するのを防止



SBO時の1次冷却材の流れ
(SDSなし)

シール水を注入するポンプが停止しシールが高温となり破損、RCPシールLOCAが発生する恐れあり

SDS導入後



SBO時の1次冷却材の流れ
(SDSあり)

高温の1次冷却材によりSDSが作動しRCP軸周りの1次冷却材の流れを遮断、RCPシールLOCAを防止

2. ハード対策の例 (2 / 2)

No.	項目	概要	参照	オブソレッセンス対策の追加措置に該当するか※
6	ECCS再循環自動切替装置の導入	ECCS再循環切替操作に係る信頼性向上のため、自動切替装置を導入する。	15頁	やや該当する B：操作信頼性確保？ 2：安全余裕の確保
7	原子力発電所におけるデジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策	ソフトウェアに起因する共通要因故障により安全保護機能を喪失した場合に、運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生しても適切に事象を緩和できるよう、既存の多様化設備に安全注入系の自動起動に係る機能等を追加する対策を講じる。	16頁	若干該当する B：機器信頼性の向上？ 1：DI&C規制の厳格化？
8	プラント計算機取替	構成部品の製造中止等から、予防保全及び信頼性向上のため、設備の一部を取り替える。	17頁	該当する 1：産業構造の変化 A：部品の製造中止
9	蒸気発生器取替	3基ある蒸気発生器について、伝熱管の応力腐食割れ（PWSCC）の感受性を低減する材料を使用するなど、実績のある最新設計を適用した蒸気発生器へ取り替える。	18頁	該当しない？ Physical ageingのため するとしたら1・B
10	労働災害防止に係る本質安全化対策の実施	リスクアセスメントで抽出したリスク軽減措置のために設備改善を必要とする施設に対する改善を促進する	19頁	該当しない

※ 5頁 オブソレッセンスの種類参照（A(Tech.), B(Codes, Standards&Reg.), C(Knowledge)、1(時間経過)、2(戦略的))

その他：特重・FV設置、主変圧器取替、抽出水オリフィス取替、野外モニタ取替、O2SCC配管取替

No.6 ECCS再循環自動切替装置の導入

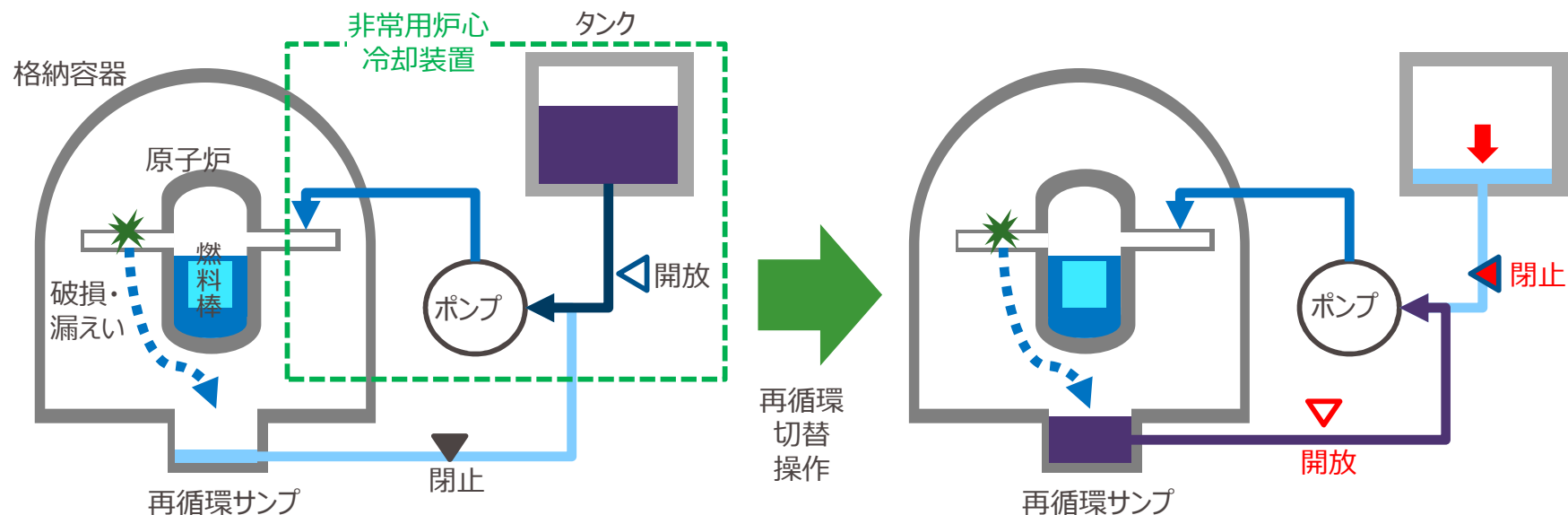
○ 目的

切替操作の信頼性を高めるため、自動切替装置を導入する。

○ 概要

非常用炉心冷却装置を、燃料棒が冷えるまで長時間作動させるためには、水源となるタンクの水が空になる前に、水源を切り替える操作が必要となる。この切り替え操作は、手順書が整備され、運転員により繰り返し訓練が行われているが、PRA評価結果では、燃料棒が冷やせなくなるシナリオの中で、切替操作が失敗するシナリオが全交流電源喪失などの他のシナリオに比べ、相対的に大きい(40%以上を占める)ことが特定された。

自動切替装置の導入により、切替操作の信頼性を高められることに加え、運転員の負担軽減効果もある。



No.7 デジタル安全保護回路のソフトウェア共通要因故障緩和対策の実施

- 目的：デジタル安全保護回路のソフトウェアに起因した共通要因故障における多様化設備での対処機能の向上を図る。
- 概要：今回の緩和対策では、ATENAの技術要件書を踏まえて、デジタル安全保護回路でのソフトウェアCCF※1発生時に大中破断LOCA※2事象が重畳した場合を想定した追加機能として、加圧器圧力異常低の信号による自動安全注入機能追加等の多様化設備※3への改造を実施する。

※1 CCF：ソフトウェアの共通要因故障（デジタル回路動作不能）
 ※2 LOCA：1次冷却材喪失事故
 ※3 多様化設備：共通要因故障対策設備（安全保護アナログ設備）

	従来の機能	緩和対策後の機能
概略構成	<p>安全保護系 多様化設備</p> <p>加圧器圧力等</p> <p>原子炉保護系計器ラック</p> <p>原子炉トリップ</p> <p>安全防護系シーケンス盤</p> <p>安全保護アナログ盤</p> <p>主蒸気隔離弁等</p> <p>■ デジタル設備 □ アナログ設備</p>	<p>安全保護系 多様化設備</p> <p>加圧器圧力等</p> <p>原子炉保護系計器ラック</p> <p>原子炉トリップ</p> <p>安全防護系シーケンス盤</p> <p>安全保護アナログ盤</p> <p>主蒸気隔離弁等</p> <p>■ デジタル設備 □ アナログ設備</p> <p>加圧器圧力異常低設定の2/2論理回路追加</p> <p>充てん／高圧注入ポンプ＋余熱除去ポンプ、格納容器隔離弁等追加</p>
停止系機能	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧器圧力低または高による原子炉トリップ（タービントリップ） ・蒸気発生器水位異常低による原子炉トリップ（タービントリップ） 	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧器圧力低または高による原子炉トリップ（タービントリップ） ・蒸気発生器水位異常低による原子炉トリップ（タービントリップ）
工安系機能	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧器圧力低または高による主蒸気隔離・主給水隔離 ・蒸気発生器水位異常低による主蒸気隔離・補助給水（電動＋タービン動） ・大中LOCAの発生頻度が極めて低いことで、自動安全注入機能を付加していなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧器圧力低または高による主蒸気隔離・主給水隔離 ・蒸気発生器水位異常低による主蒸気隔離・補助給水（電動＋タービン動） ・加圧器圧力異常低にて自動安全注入および自動格納容器隔離

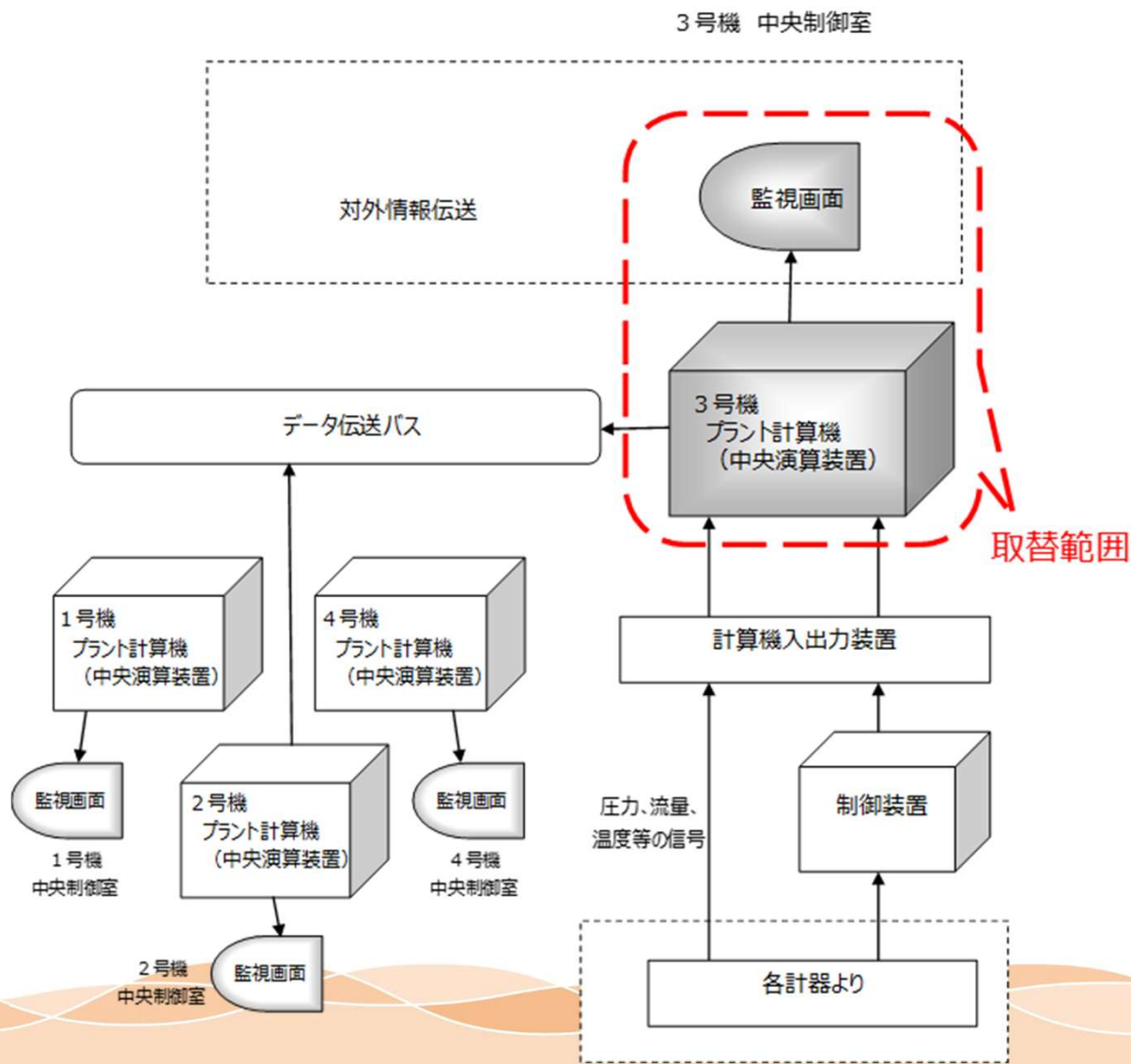
No.8 プラント計算機取替

○ 目的

中央制御室における運転員の補助監視計器であるプラント計算機は、長期使用により部品の多くが製造中止となっていることから、プラント計算機の一部を更新する。

○ 概要

計算機（中央演算処理装置他）を取り替える。



No.9 蒸気発生器取替

○ 目的

蒸気発生器（以下「SG」という。）伝熱管の応力腐食割れ（PWSCC）事象、及び経年的に蓄積したスケールによる伝熱管の外面減肉事象に鑑み、SGの長期的な信頼性を確保する。

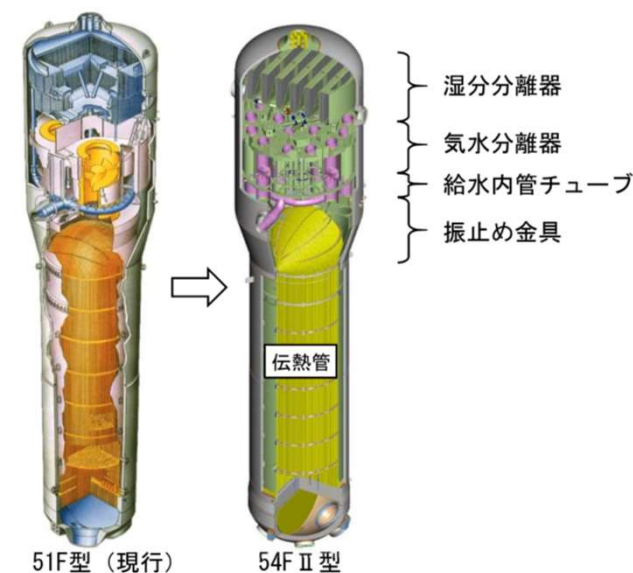
○ 概要

3基あるSGについて、伝熱管の応力腐食割れ（PWSCC）の感受性を低減する材料を使用するなど、実績のある最新設計を適用した54F II型のSGへ取り替える。

表 54F II型SGの主な変更点（括弧内は現行）

項目	仕様	目的
伝熱管材料	690合金 (600合金)	PWSCCの感受性の低減 SGとしての伝熱性能は現行と同じ
湿水分離器	一段型湿水分離器 (二段型湿水分離器)	現行に比べて湿水分離性能を向上させることで、 タービン・主蒸気管の設備信頼性を向上
気水分離器	小型高性能 (大型標準)	
給水内管 チューブ	スプレイチューブ (Jチューブ)	SG外から持ち込まれる異物を低減
振止め金具	V型3本組 (V型2本組)	伝熱管支持点数を増加させ、耐流動振動性を向上

【蒸気発生器取替のイメージ】



No.10 労働災害防止に係る本質安全化対策の実施

○ 目的

労働災害防止に係る改善提案を抽出し、中でもリスクレベルの高い現場については設備面の対策を実施することで、労働災害の発生防止を図る。

○ 概要

リスクアセスメントにて抽出されたリスク低減措置で、設備改善を必要とする施設については、設備改善要望書を発行し、その施設の有効性を確認した上で設備の改善を行い、本質安全化に繋げる。

(例) 復水処理建屋搬入シャッター前段差スロープ設置



目次

1. はじめに

2. ハード対策

3. ソフト対策

4. まとめ

3. ソフト対策の例（1 / 3）

No.	項目	概要	参照	オブソレッセンス対策の追加措置に該当するか※
1	自主的安全性向上のためのPRA活用の充実	定期検査中の燃料が装荷されている期間において、リスクの増減を1週間ごとに見える化したリスク情報を活用し、定期検査期間中における安全管理の充実を図る。 また、運転期間中においても、PRAによって得られるリスク情報等を活用した意思決定（RIDM）を推進し、発電所の安全性を向上させていく。	22頁	ほぼ該当しない B：運用改善 1：時間経過の中で、戦略的に導入を段階的に進めているもの
2	設計基準文書（DBD）の整備・運用	コンフィグレーションマネジメント（CM）の設計要件の管理を強化するため、安全上重要な設計要件を取りまとめた文書（設計基準文書）を整備し、運用する。	23頁	やや該当する B：運用改善 1：時間経過の中弱みが顕在化
3	パフォーマンスレビュー会議の導入・他電力や原子力業界のエクセレンス等を活用した自己評価の実施	発電所のパフォーマンス改善活動の推進を目的とし、発電所のパフォーマンスを確認・議論し、発電所幹部が指導を行う会議体を設置する。また、会議を通じて、事業者自らが他電力や原子力業界のエクセレンス等を活用した自己評価を実施する仕組みを構築する。	24頁	やや該当する B：運用改善 1：時間経過の中弱みが顕在化
4	ミッドループ運転の運用改善	ミッドループ運転時の炉心損傷リスクを低減させるため、定期検査のミッドループ運転時に水位を上げた運転を実施する。	25頁	ほぼ該当する B：運用改善 2：安全余裕の増加

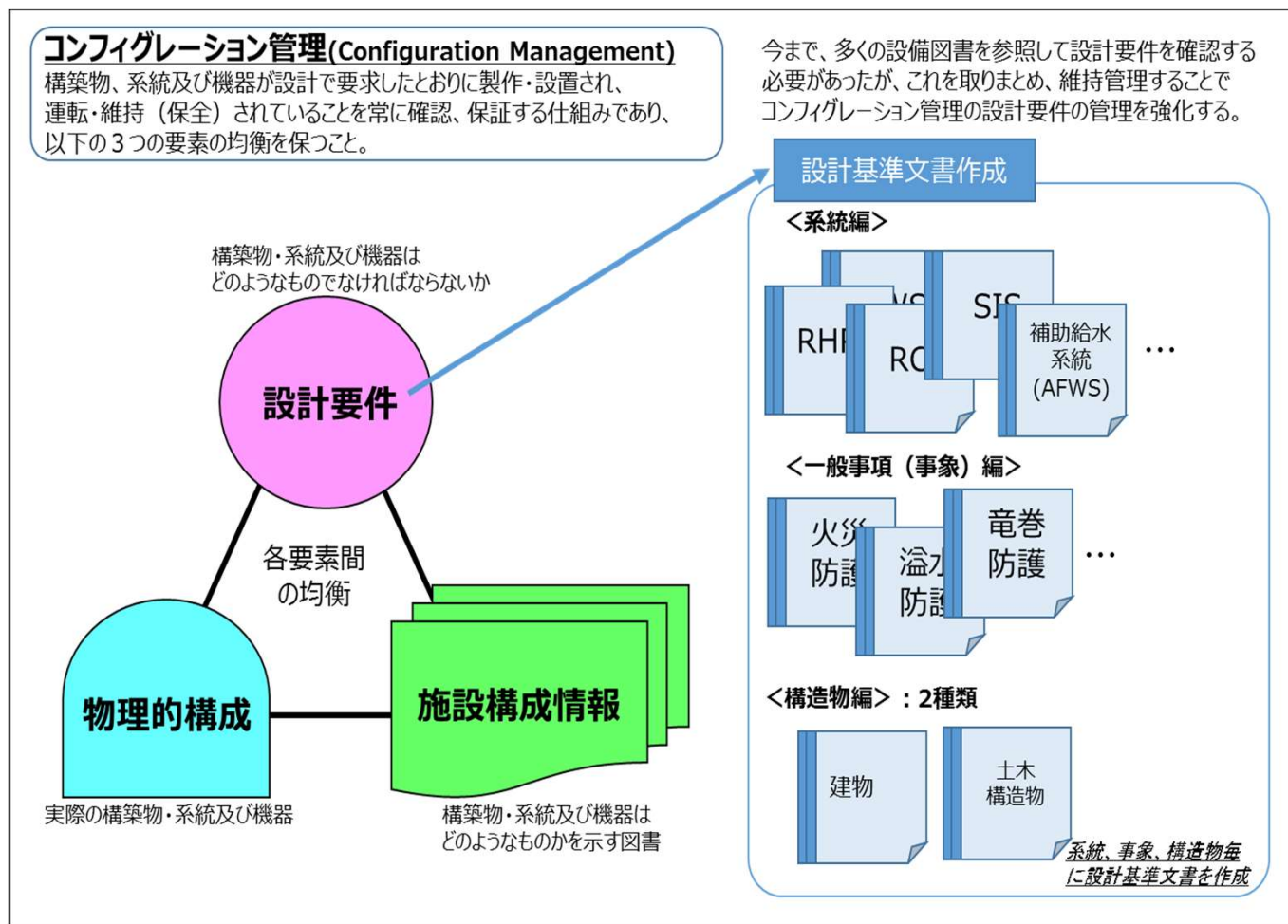
※ 5頁 オブソレッセンスの種類参照（A(Tech.), B(Codes, Standards&Reg.), C(Knowledge)、1(時間経過)、2(戦略的))

No.1 自主的安全性向上のためのPRA活用の充実

- 目的
発電所の安全性を向上させるため、定期検査時の安全管理や様々な意思決定に確率論的リスク評価（PRA）によって得られるリスク情報を活用する。
- 概要
定期検査中の燃料が装荷されている期間において、リスクの増減を1週間ごとに見える化したリスク情報を活用し、定期検査期間中における安全管理の充実を図る。また、運転期間中においても、PRAによって得られるリスク情報等を活用した意思決定（RIDM）を推進し、発電所の安全性を向上させていく。

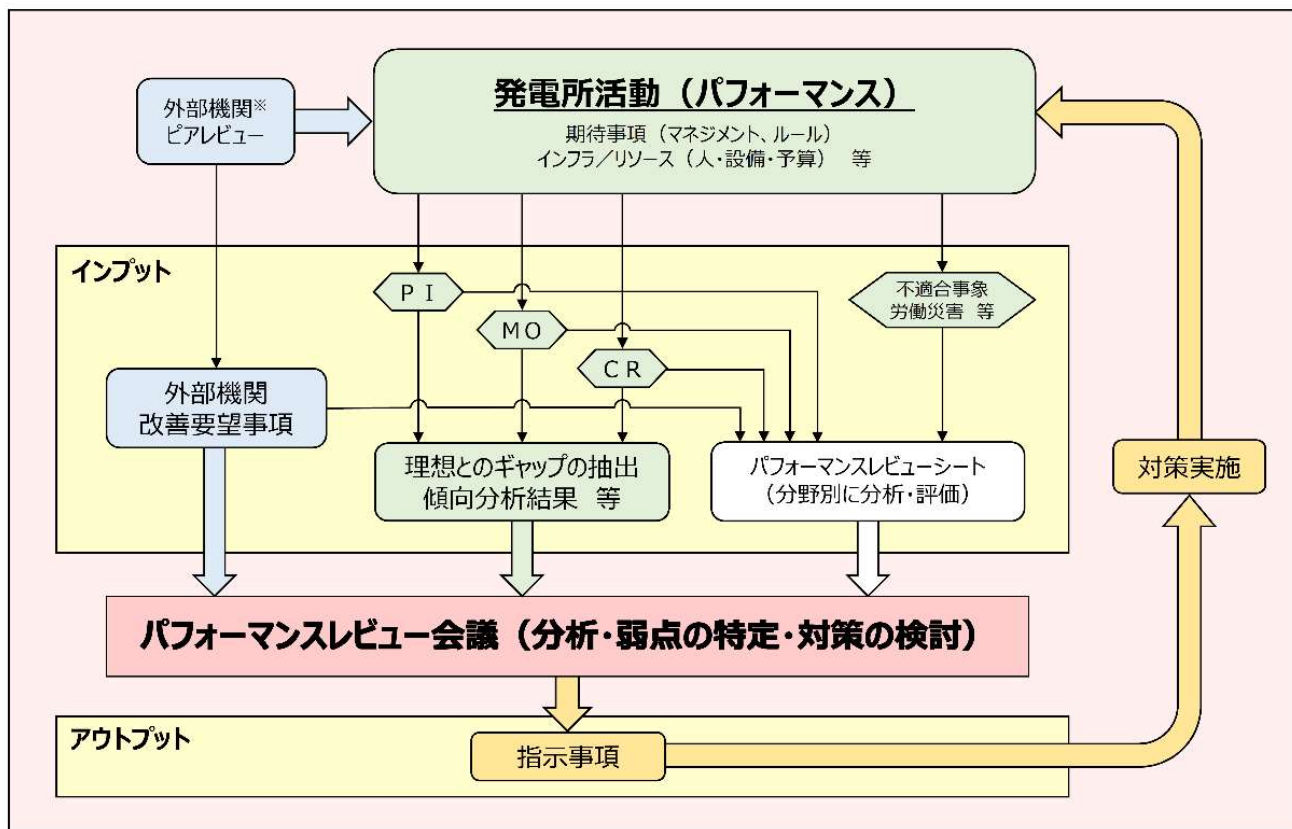
No.2 設計基準文書 (DBD) の整備・運用

- 目的
 コンフィグレーションマネジメント (CM) の設計要件の管理を強化するため、安全上重要な設計要件をまとめた設計基準文書 (DBD) を整備する。
- 概要
 安全上重要な構築物、系統及び機器の設計要件をまとめた設計基準文書 (DBD) を整備する。



No.3 パフォーマンスレビュー会議の導入・他電力や原子力業界のエクセレンス等を活用した自己評価の実施

- 目的
発電所のプラント運営に係る活動に潜在的な弱みがないか調査し、実効的な取組みに見直すことで、発電所のパフォーマンスの改善を図る。
- 概要
発電所のパフォーマンス改善活動の推進を目的とし、発電所のパフォーマンスを確認・議論し、発電所幹部が指導を行う会議体を設置する。また、会議を通じて、事業者自らが他電力や原子力業界のエクセレンス等を参考とし、良好事例の収集・評価を行う「ベンチマーク」及び特定の分野に対して発電所のプラント運営に係る活動に潜在的な弱みがないか調査し、実効的な取組みに見直す「重点自己評価」をそれぞれ実施する。



※外部機関：WANO/JANSI

パフォーマンス改善活動のイメージ

No.4 ミドループ運転の運用改善

- 目的

定期検査中の原子炉冷却系統の水抜き工程において、配管内の水位を従来より高く維持して保有水量を増加させること、および低水位期間を短縮することにより、燃料露出による炉心損傷リスクをより一層低減させる。
- 概要

従前より、原子炉容器開放前（原子炉停止直後であって容器内に燃料がある状態）に、原子炉冷却系統（RCS）の水位を配管中心付近まで低下させ、その水位を一定期間維持する「ミドループ運転」を行ってきた。

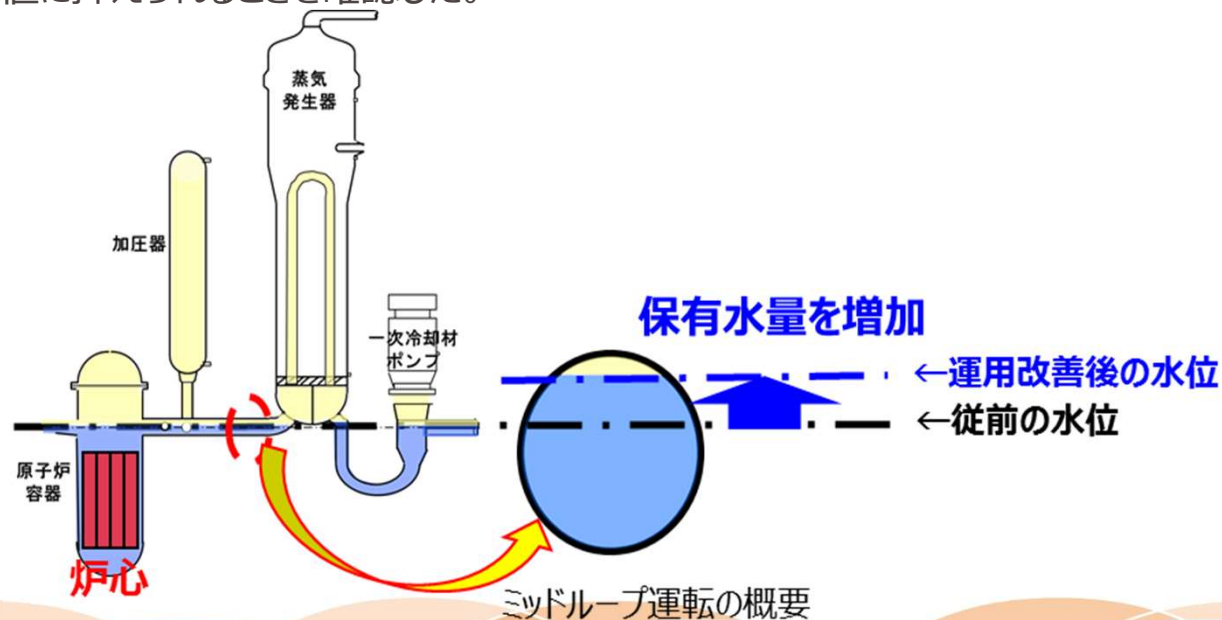
ミドループ運転の主目的は、次の2つであるが、万が一の冷却機能が喪失した場合を想定すると、RCS水位をより高く維持することで炉心損傷リスクのさらなる低減や事故対応時間の拡充が期待できる。

 - ①原子炉容器開放時に周辺の作業員が汚染することの防止（蒸気発生器を完全に水抜きしないと開放後に予期せぬ落水によって内部被ばくする）
 - ②定検期間中の作業員の被ばく低減を図ること（系統内に空気を流して配管内に付着した放射性物質を溶出させて除去する）

①については、作業員の内部被ばくを防止する観点から、蒸気発生器の水抜きは必要と判断している。

②については、薬品添加による方式に改善することで、空気注入と同等の被ばく低減が図れることを確認した。また、原子炉容器開放時の排気筒モニタの指示値についても評価を行い、十分に低い値に抑えられることを確認した。

以上の検討により、従前よりRCS水位を高めても、当初の目的である①、②を満足しつつ、万一の冷却機能喪失時において、炉心損傷リスクをより一層低減させることができ、運転員の事故対応時間の余裕をさらに確保することができることが確認できた。さらには、薬品添加により、水位を低下させている時間を大幅に短縮（約24時間→約3時間）できることも確認した。



3. ソフト対策の例 (2 / 3)

No.	項目	概要	参照	オブソレッセンス対策の追加措置に該当するか※
5	余熱除去系統の高温水のフラッシュ事象防止対策の実施	余熱除去系統において高温水のフラッシュ事象が発生する可能性を考慮し、事故対応手段である低圧注入系の機能喪失を防止する対策として、プラント起動時に余熱除去系統の早期隔離を行い、また、プラント停止時に使用する余熱除去系統を2系統から1系統とすることで低圧注入系としての余熱除去系統1系統を確保する運用に変更する。	28頁	ほぼ該当する B：運用の弱点 2：安全余裕の増加
6	労働災害防止に向けた活動の強化	T B M（ツール・ボックス・ミーティング）の充実、現場パトロールの強化及び作業員の体調管理強化等を実施する。	29頁	該当しない
7	トラブル対応時に求められる運転員のパフォーマンスの更なる向上	運転員のパフォーマンスの更なる向上を図るため、原子力発電訓練センターのシミュレータにより、以下の訓練を実施する。 ・ヒューマンパフォーマンスツールの活用・習熟に特化した「高集約訓練（H I T：High Intensity Training）」 ・チームパフォーマンスの向上に特化した「チームパフォーマンス訓練（T P T：Team Performance Training）」	30頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②
8	M A A Pコードを導入した運転シミュレータでのS A訓練の実施	M A A Pコードにより炉心損傷後のプラント状態を模擬できる運転シミュレータで対応操作訓練を実施する。	31頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②

※ 5頁 オブソレッセンスの種類参照（A(Tech.), B(Codes, Standards&Reg.), C(Knowledge)、1(時間経過)、2(戦略的)）

No.5 余熱除去系統の高温水のフラッシュ事象防止対策の実施

○ 目的

プラント起動時の余熱除去系統早期隔離及びプラント停止時の低圧注入系統としての余熱除去系統1系統を確保することで、低圧注入系統の機能喪失防止を図る。

○ 概要

余熱除去系統において高温水のフラッシュ事象が発生する可能性を考慮し、事故対応手段である低圧注入系の機能喪失を防止する対策として、プラント起動時に余熱除去系統の早期隔離を行い、また、プラント停止時に使用する余熱除去系統を2系統から1系統とすることで低圧注入系としての余熱除去系統1系統を確保する運用に変更する。

※フラッシュ温度：R H R S 配管内に蒸気ボイドが発生する温度

	これまでの運用	見直し後の運用
系統構成		
停止時	RCP4台運転、R H R S 2 系統運転でクールダウン	RCP1台運転、R H R S 1 系統でクールダウン (停止時フラッシュ温度(95℃)未満では2 系統使用)
起動時	RCP4台運転、R H R S 2 系統運転でヒートアップ	起動時フラッシュ温度 (84℃)までにR H R Sを隔離 初期はRCPを3台運転としヒートアップ

No.6 労働災害防止に向けた活動の強化

- 目的
重大な労働災害や経験の浅い作業員の労働災害が継続して発生していることから、事故の発生防止や労働災害撲滅に向けて、再発防止に係る活動のみならず、発生防止に係る活動を強化する。
- 概要
発生防止に係る活動として、以下の活動等を行う。
 - TBM（ツール・ボックス・ミーティング）の充実
協力会社は、リスクアセスメントで拾いきれないような、日々状況が変わる現場の作業員の配置や、軽微な作業（準備、後片付け等）についても、安全作業指示書に記載し、TBMで議論する。当社は、安全作業指示書を確認し、TBMに抜き取り参加する。
 - 現場パトロールの強化
土木建築関係工事に重点をおいた、特別管理職や一般管理職（係長、班長）を含む当社社員による滞在型パトロールを実施する。
 - 作業員の体調管理強化
50歳以上及び持病のある方を把握し、朝礼にてその方を中心とした全作業員の入念な体調管理を実施。また、体調に応じた適切な業務付与を行う。

知識の旧式化 考えられるパターン

① 知識の欠如

⇒昔はある取り組みを実施していたため知識を持っていたが、あるタイミングでそれを実施しなくなり、時間の経過とともに知識がなくなる = 1F1 ICの例。設計・運用、あるいはそれらの要件のアップデートの結果、特定の知識そのものが失われたもの。このような事例への対処は関電では未経験

[参考]更田前委員長の報道Q & Aより: 「日本原電と異なり1F1のシミュレータは廃止し、1号の運転員は2,3号機用で訓練していた。「設計の古さ」とはハード面でのout of dateもさることながら「使い方が忘れられてしまった(覚束なくなってしまった)技術」も含まれると解釈」

② 知識の維持・拡充

⇒従来から訓練等の取り組みを実施しているが、SA状態を模擬した訓練を取り入れなければ、高いレベルで知識を維持することができない = 要求される知識のレベルがアップデートされた結果、現行の知識付与内容にギャップが生じたもの = 要求事項すなわち規制・規格基準の旧式化とオーバーラップする。つまり「BかつC②」で整理。

③ 知識の最新化

⇒PRA・ST等の評価、他社・他産業の取り組み・国内外・他産業のトラブルから得られた知識から(設計等への反映ではなく)「知識」の運用方法・位置づけ・重要性等をアップデートしたもの = 要求される知識のレベルや設計・運用はアップデートされていないものの、よりよい「知識」の使い方が提供されたもの 「C③」で整理。

No.7 トラブル対応時に求められる運転員のパフォーマンスの更なる向上

- 目的

確実な運転操作・対応を行いプラント安全を確保するうえで必要となる運転員のパフォーマンスの更なる向上のため、運転シミュレータを用いた対応操作訓練を実施する。
- 概要

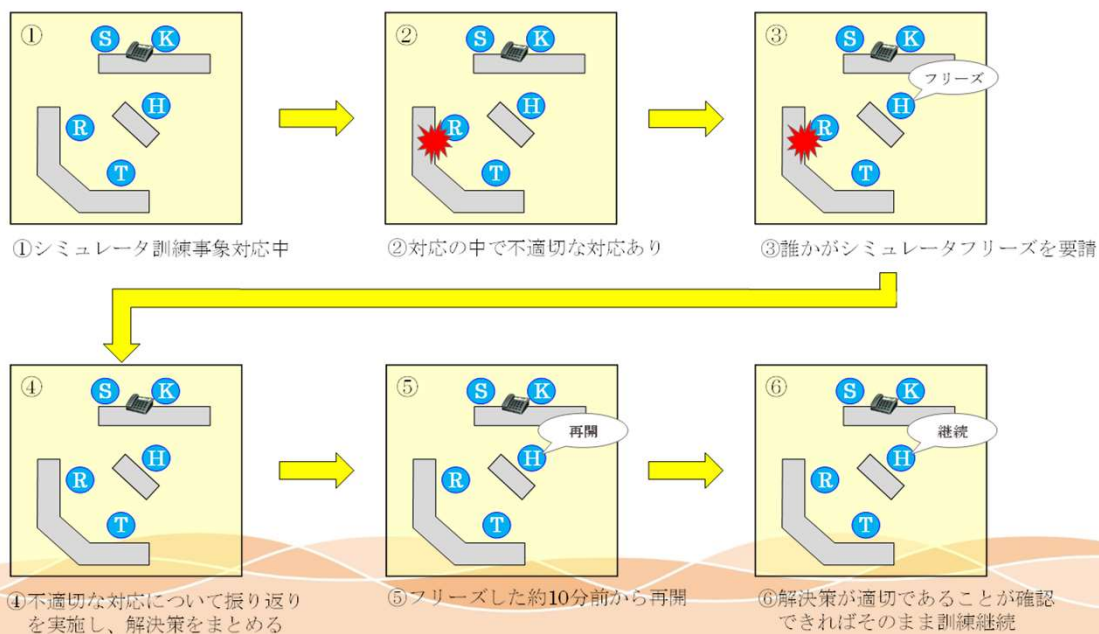
従来から実施している原子力発電訓練センターのシミュレータ訓練に、以下の訓練を追加し、2020年7月より訓練を開始している。

 - ・ ヒューマンパフォーマンスツールの活用・習熟等、運転員のパフォーマンス向上に特化した「高集約訓練（HIT：High Intensity Training）」
 - ・ チームパフォーマンスの向上に特化した「チームパフォーマンス訓練（TPT：Team Performance Training）」

- ・ 運転シミュレータによる事故対応の中で、対応に問題（操作・判断面の問題、ヒューマンパフォーマンスツールの不使用、期待事項にそぐわない対応等）があると判断した際に、いつでも誰でもシミュレータのフリーズ（停止）を要請し、チームで問題解決に向けて振り返りを実施する。
- ・ チームでの問題解決方法が纏まれば、問題発生時点の約10分前から訓練を再開し問題解決策が適切であったことが確認できれば、そのまま事象収束へ向けて操作を継続する。



【イメージ図】



No.8 MAAPコードを導入した運転シミュレータでのSA訓練の実施

- 目的
炉心損傷後の中央制御室における事故対応力維持・向上のため、炉心損傷後のプラント状態を模擬できる運転シミュレータを用い、対応操作訓練を実施する。
- 概要
シビアアクシデント時のプラント挙動解析コード（MAAP）が導入される原子力発電訓練センターのシミュレータを用い、以下の炉心損傷後のシミュレータ訓練を2018年12月より実施中である。
 - 格納容器破損防止シーケンスを模擬した重大事故に対処するための訓練
 - 事故対応上必要となる重要な判断（炉心損傷判断等）に関する訓練

No.9 シビアアクシデント対応に係る要員の力量向上に向けた改善

- 目的
シビアアクシデント対応の手順等をビデオ撮影した視聴覚教材を整備することにより、緊急安全対策要員の力量向上を図る。

- 概要
緊急安全対策要員のシビアアクシデント対応に係る教育・訓練のための教材として、操作手順書やモックアップ設備等の整備を進めてきたところであるが、これに加えて操作手順等をビデオ撮影した視聴覚教材を整備し、教育・訓練等で活用していく。
手始めとしては、操作が比較的複雑な重大事故等対処設備のポンプ（送水車、可搬式代替低圧注水ポンプ、大容量ポンプ）の実送水場面を対象とし、順次、要員の要望等を踏まえ拡充していくこととする。
なお、これらの教材は教育・訓練用の社内共有サイトに登録し、教育・訓練時だけでなく要員が自分の都合の良い時間に視聴して理解を深めることができるようにする。

3. ソフト対策の例 (3 / 3)

No.	項目	概要	参照	オブソレッセンス対策の追加措置に該当するか※
9	シビアアクシデント対応に係る要員の力量向上に向けた改善	現在、模擬操作をしている重大事故等対処設備（送水車、可搬式代替低圧注水ポンプ、大容量ポンプ）等の操作について、力量向上を図るため、実起動を撮影した教材を活用する。	32頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②
10	運転員及び緊急時対策要員への教育・訓練プログラム策定に係るリスク情報の活用	確率論的リスク評価の評価結果から得られた代表的な事故シナリオに登場する操作失敗等のリスク情報を教育・訓練プログラムの策定に活用する。	33頁	該当する 2：安全余裕の増加 C：知識③
11	緊急時対策本部要員等を対象とした教育・訓練への活用	安全裕度評価を通じて得られた知見（例：斜面崩壊の影響範囲等）を教育、訓練に活用する。	34頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②
12	緊急時におけるリーダーシップ能力向上研修（たいかん訓練）の導入	緊急時に現場の指揮者クラスに要求されるリーダーシップ能力（コミュニケーション能力やストレス下の意思決定能力等）を高める研修を実施し、その結果を踏まえて研修内容自体を継続的に改善していく。	35頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②
13	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	ATENA「設計の経年化評価ガイドライン」の新旧プラント設計の比較及び対策検討に係る手法を踏まえ、抽出した知見を技術資料（教育資料等）に反映する。	36頁	該当する 2：安全余裕の増加 BかつC②

その他：軽微事象の検出・対応の仕組みの改善、オフィスの健全性確認方法の改善、余裕時間評価を踏まえた大規模損壊手順書の充実、仮設中圧ポンプ使用可能条件の手順書類への反映、非常時における電源と設備の組合せの多様化、安全性向上評価届出書の1. 2章の最新化

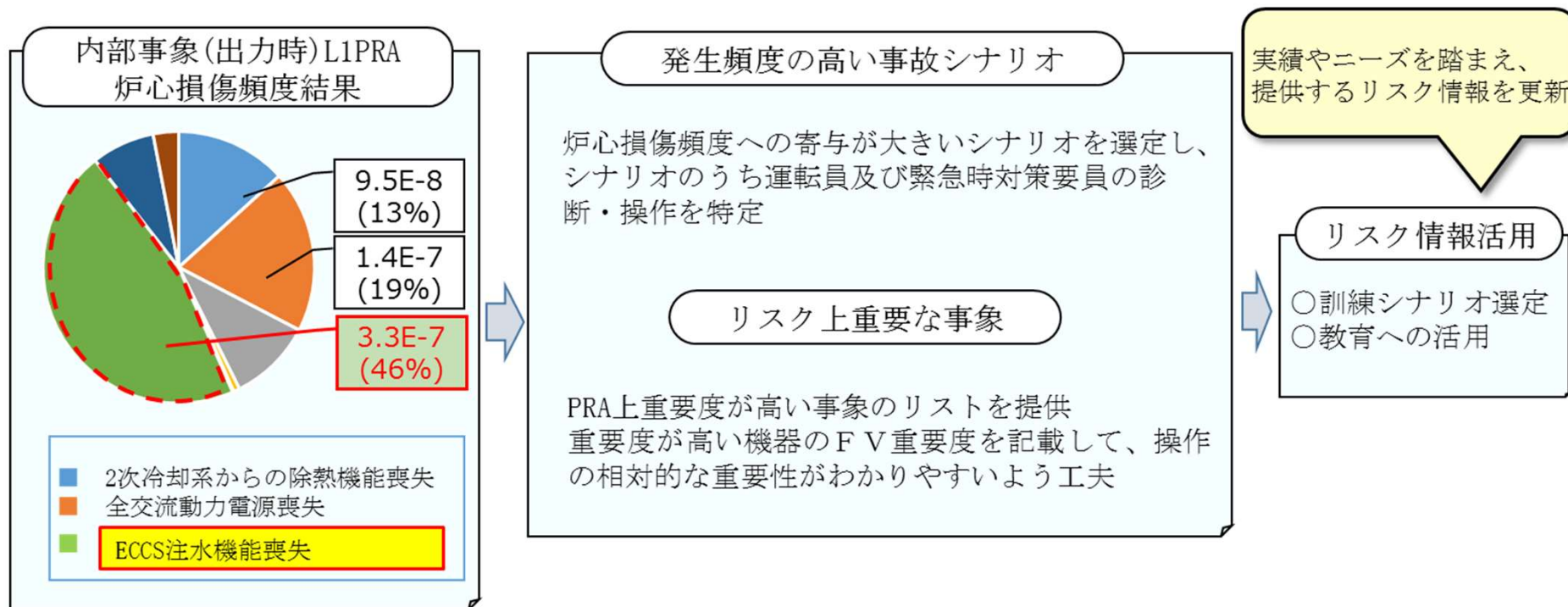
※ 5頁 オブソレッセンスの種類参照（A(Tech.), B(Codes, Standards&Reg.), C(Knowledge)、1(時間経過)、2(戦略的)）

No.10 運転員及び緊急時対策要員への教育・訓練プログラム策定に係るリスク情報の活用

- 目的
重要シナリオに対する教育・訓練を重点的に実施することにより、運転員及び緊急時対策要員の意識を高め、事故対応能力を向上できる。

PRAおよびストレステストから得られるシナリオや、リスク上重要度が高い操作などを参考とした訓練シナリオの選定および教育への活用

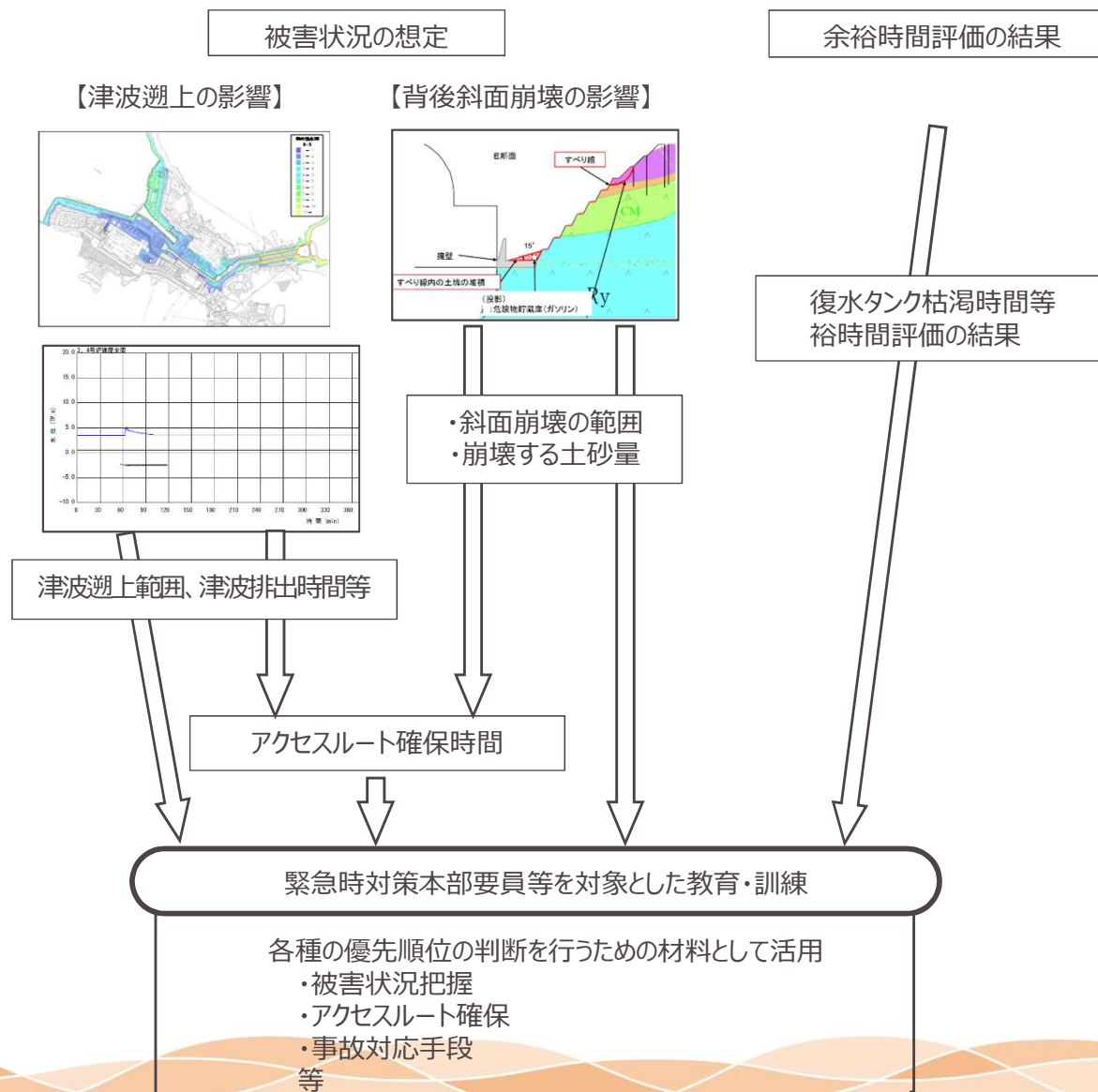
<PRAから得られるリスク情報活用の例>



No.11 緊急時対策本部要員等を対象とした教育・訓練への活用

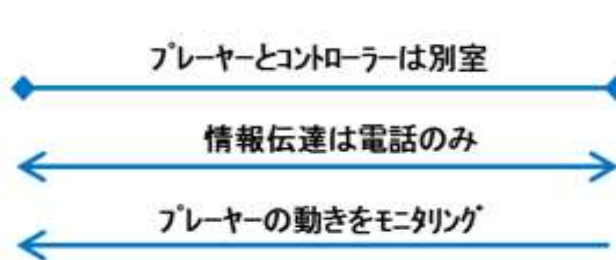
○ 目的

安全裕度評価から得られた被害状況の想定や、屋外作業の時間余裕にかかる知見を、発電所での教育・訓練に活用することにより想定を超える自然現象への対応の強化が期待される。



No.12 緊急時におけるリーダーシップ能力向上研修（たいかん訓練）の導入

- 目的
緊急時に現場の指揮者クラスに要求されるリーダーシップ能力（コミュニケーション能力やストレス下の意思決定能力等）の向上を図る。
- 概要
発電所の指揮者クラスの要員を対象に（株）原子力安全システム研究所（INSS）が開発している緊急時リーダーシップ能力の向上を図る研修（たいかん訓練）を継続的に実施し、毎回の訓練結果をデータとして分析・フィードバックすることにより、リーダーシップ能力を継続的に向上させるとともに、その結果を踏まえて研修内容自体を継続的に改善していく。



プレイヤー(数名)

- 緊急時対策所の本部指揮者、ユニット指揮者、通報連絡者、現場調整者に分かれ演習を実施。
- プレイヤーは、事前に説明された状況とコントローラーから逐次伝達される情報のみに基づき状況を認識し、対処の判断や情報発信を行う。

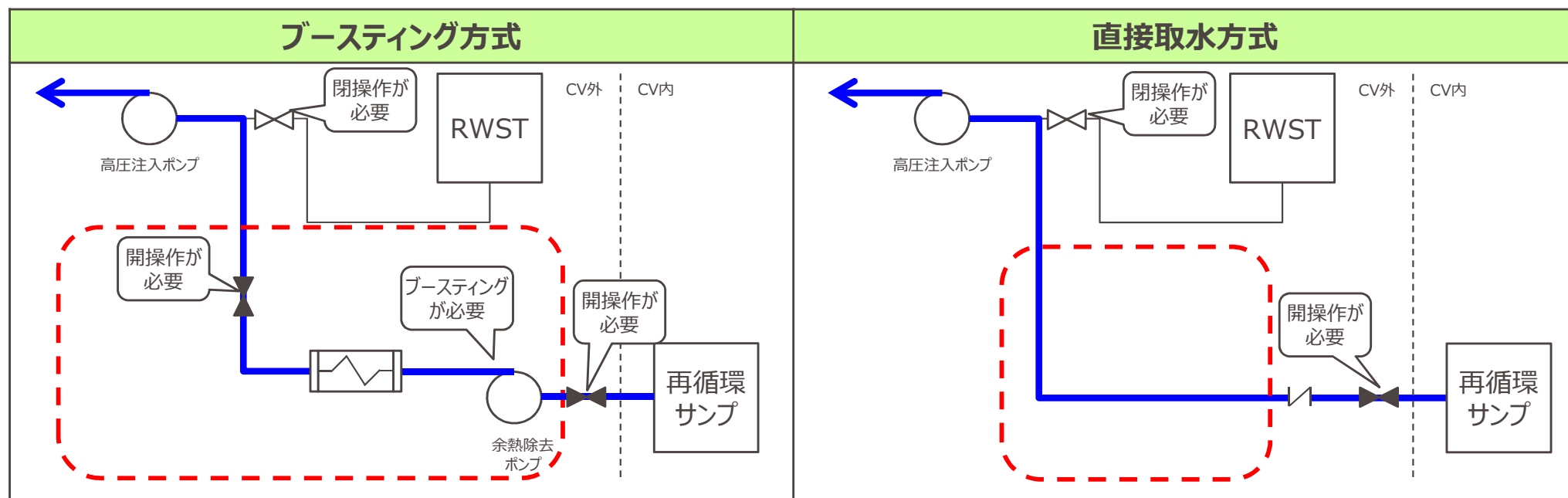
コントローラー(数名)

- 当直課長、事業本部など緊急時対策所の外部を模擬。
- コントローラーは、ストレス下の意志決定、コミュニケーション、状況把握等の能力が必要となるシナリオに基づき、プレイヤーと情報授受を行う。
- コントローラーはプレイヤーの言動を観察する。
(コントローラーの他に行動観察者などもプレイヤーを観察)

No.13 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

- 目的
設計差異に係るリスク情報等を把握することを目的に、運転員・保守課員等の認識の促進を図る。
- 概要
「ATENA 20-ME03 Rev.0 設計の経年化評価ガイドライン」に基づき、設置許可申請書等に記載の重要度分類クラス1、2の安全機能を有する19系統・設備の設計差異のうち、PRA結果又は決定論的安全解析等に影響を与えると考えられる要素を含むものを評価の着眼点として抽出し、プラントの安全性への影響について評価し、対策案の検討を実施した。
他プラントとの設計差異の影響を把握することは重要であるため、抽出された知見を技術資料（教育資料等）に反映し、運転員・保守課員等の認識の促進を図る。

<設計差異>



(1) 確率論的リスク評価への影響確認結果…「影響軽微」

- ✓ ブースティング方式の方が直接取水方式と比較すると、高圧再循環機能が成立するための条件（操作や必要設備）が多い

目次

1. はじめに

2. ハード対策

3. ソフト対策

4. まとめ

4. まとめ (1 / 3)

(新
知
見
で
課
題
顕
在
化)

技術

規制・規格基準

知識

1相開放故障
検知システム x x RHRフラッシュ防止
x ミッドループ運転改善
送水車導入 x x たいかん訓練
海水ポンプ
軸受テフロン化 x x 設計経年化評価の
教育資料への反映
RCP-SDS x x 訓練へのST結果活用
再循環自動切替装置 x x MAAPシミュレータ訓練

(時
間
経
過
で
課
題
顕
在
化)

免震棟設置 x x 訓練へのPRA活用
パフォーマンスレビュー会議 x x トラブル時運転員
パフォーマンス向上
x プラント計算機取替 x SA要員力量向上
DBD整備 x
デジタルCCF
対策強化 x
SGR x
労災防止 x PRA活用充実
本質安全化 x x 労災対策強化

4. まとめ (2 / 3)

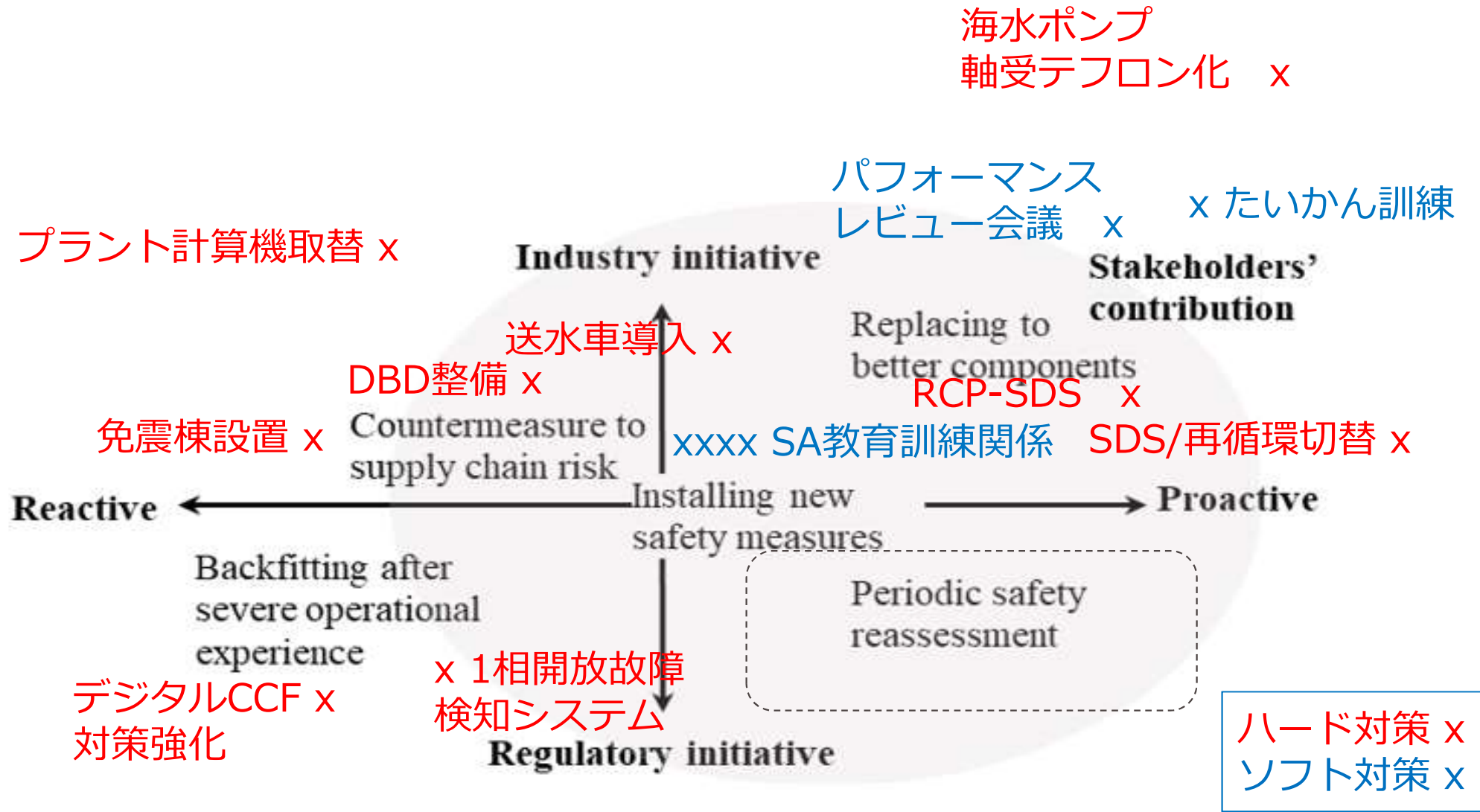


Figure 2 Type of the Practices of Obsolescence Management in Nuclear Sector.
 Dr. Kenta Murakami "Effective Obsolescence Management for Improving Safety of Existing NPPs" より

4. まとめ (3 / 3)

- 安全性向上評価でハード・ソフト両面でObsolescence対策を抽出
- 新知見が得られた時点で、事業者側に対策の在り方・時期に自由度があるケースに対し、事業者主導かつProactiveで、運用（ソフト）、設備（ハード）どちらかを選択し、効果的に対応している
- ソフト対策として、規制・規格基準の旧式化・知識の旧式化の双方に対応している教育訓練の強化が、比較的多く抽出
- 時間経過のなかで課題が顕在化しつつある状況から事業者主導でProactiveに意思決定を行っている対策を多く抽出。規制主導・Reactiveな象限で対策を打つのではなくこうした象限での対策を引き続き行いたい
- 地震・津波に係る設計経年化評価や、新知見の事業者共通データベース構築などを進め、よりProactiveかつ事業者主導の対応を推進したい
- 炉安審燃安審基本部会の議論は、よりパフォーマンスベース、リスクインフォームドな安全性向上に資する方向に進むことを期待