

日本原子力学会： 次期軽水炉の技術要件について

2022年10月29日

山口 彰（原子力安全研究協会）
次期軽水炉の技術要件検討ワーキンググループ主査

次期軽水炉の技術要件検討ワーキンググループ

- 日本原子力学会 原子力発電部会のもとに「次期軽水炉の技術要件検討」ワーキンググループを設置

- 2018年6月から2020年5月にかけて実施、同年6月に報告書を公開

http://www.aesj.or.jp/~hatsuden/katsudou/04_jikiroWG/jikiroWG_index.html

- 趣旨

- S+3Eと調和する次期軽水炉のより安全でより合理的な技術要件を検討する

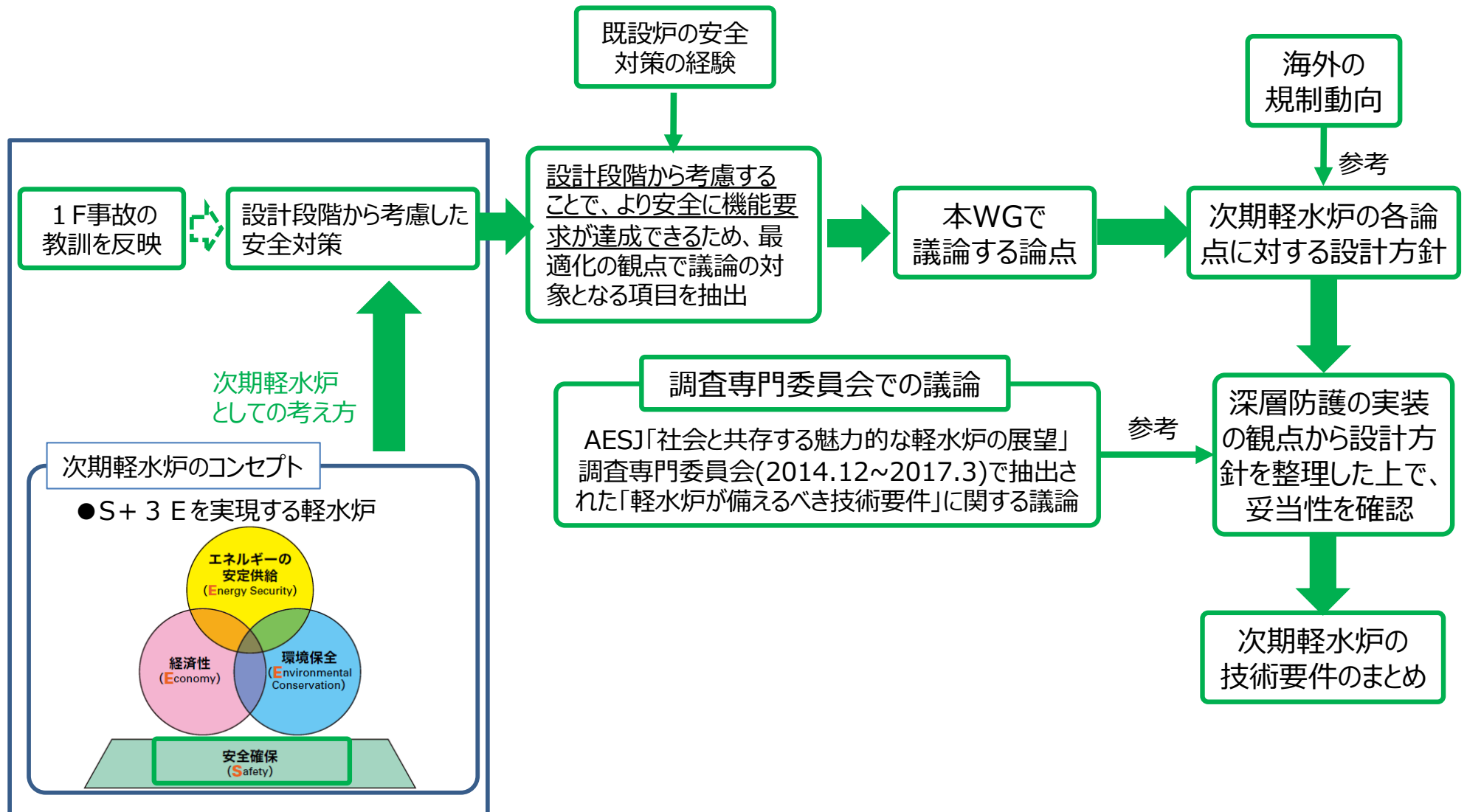
- 次期軽水炉の定義と特徴

- 至近の次期軽水炉を対象(2030年代の運開を想定)
- 既設炉の経験を活用し、設計段階から柔軟な対策が可能
- 再稼働している国内PWRを対象とする
- 新規制基準適合性に係る審査の経験を活用する

- 日本原子力学会「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会の成果を活用

https://www.aesj.net/permalink/com_lwr/?version=%e5%a0%b1%e5%91%8a%e6%9b%b8

次期軽水炉技術要件の検討アプローチ



技術要件検討の方針

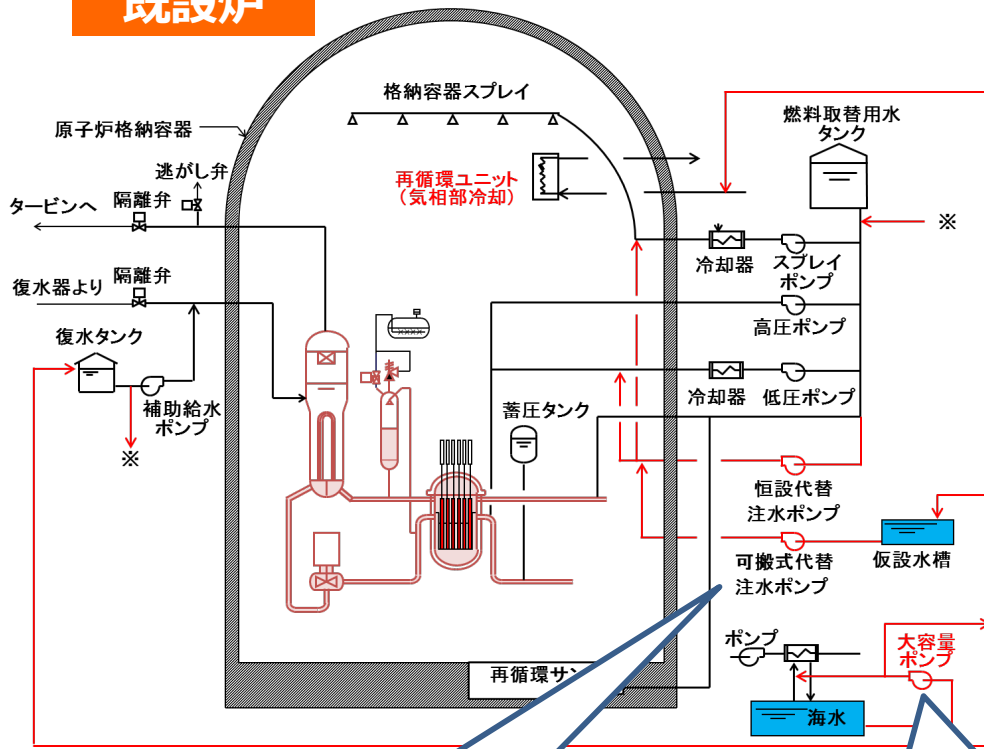
- 福島第一発電所事故の教訓の反映、及び新規制基準の安全確保の考え方を遵守することを基本とする
- 設計段階から安全機能・設備をビルトインできるという利点を踏まえ、プラントシステムの全体としての最適化を図る
- 具体的な安全確保の実装において
 - 考え方を既設炉から変更するほうが全体最適の観点から優れる場合
⇒ 論点を抽出してワーキンググループの議論の対象とする
 - 既設炉と同じ考え方を適用するほうがご合理的で適切な場合
⇒ 実機設計の段階で具体化し、ワーキンググループの議論の対象としない
- 論点の抽出においては、普遍的原則とすべき安全確保の考え方、既設炉における経験、海外の考え方を参考とする

論点抽出の例：シビアアクシデント対策設備

アドオン：可搬型設備での対応が基本

ビルトイン：設計段階からSA事象を考慮(恒設化)

既設炉

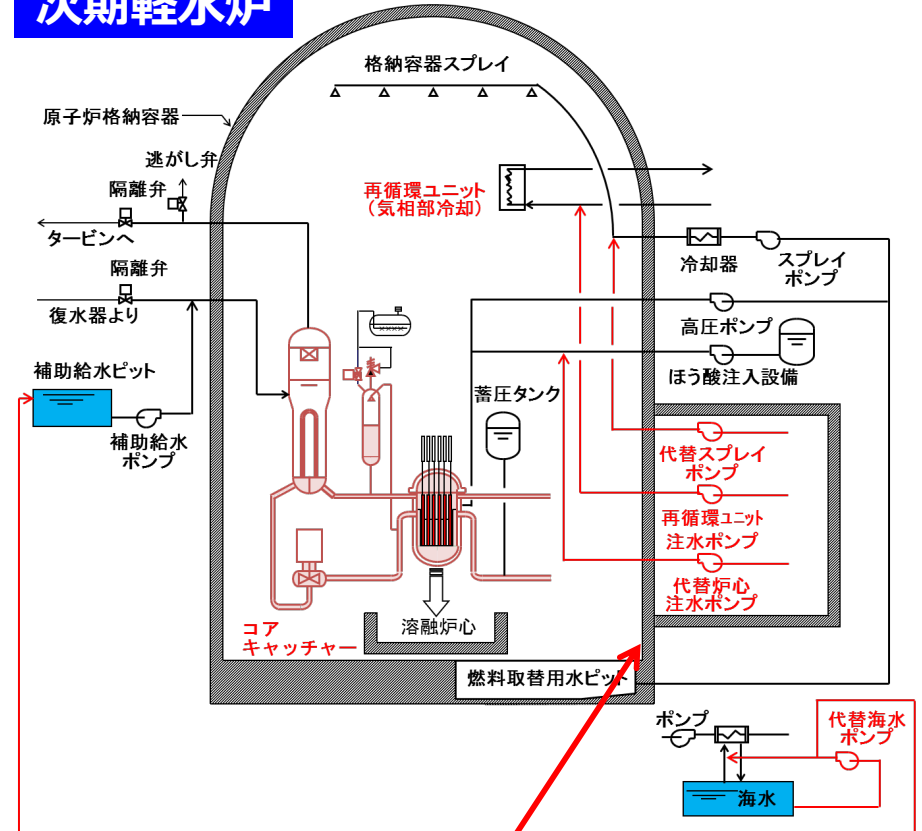


可搬式代替注水ポンプ



大容量ポンプ

次期軽水炉

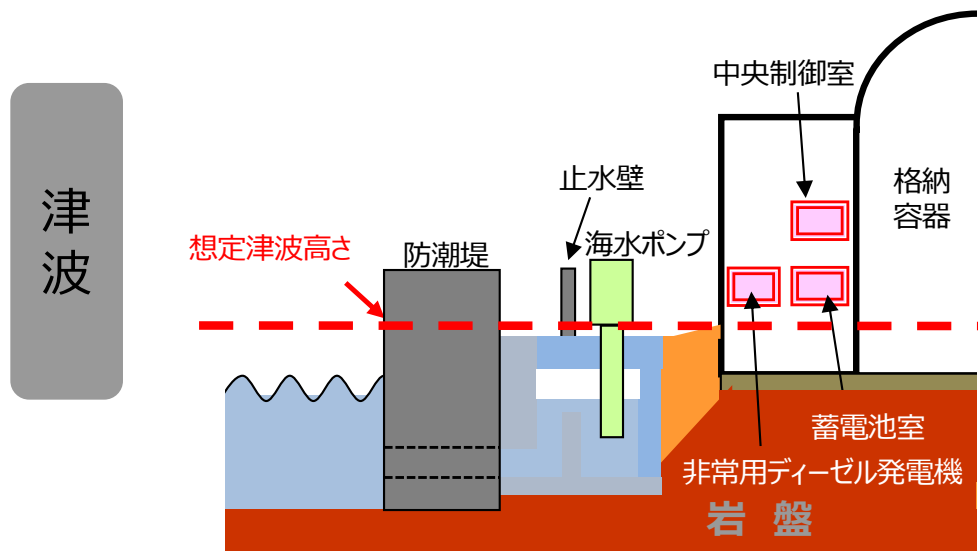


設計段階からSA事象を考慮
(恒設化による対応)

実機設計で具体化する例：地震・津波対策

既設炉

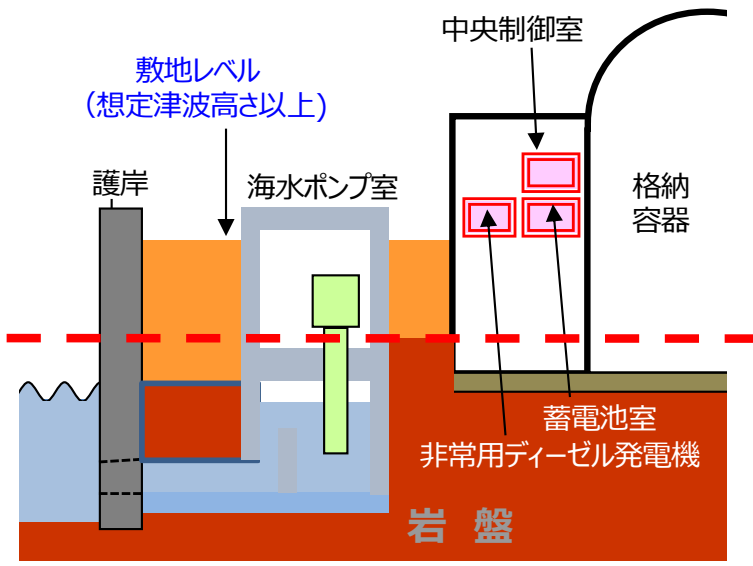
基準地震・津波、耐震強化、ドライサイト



防潮堤・止水壁による津波防護

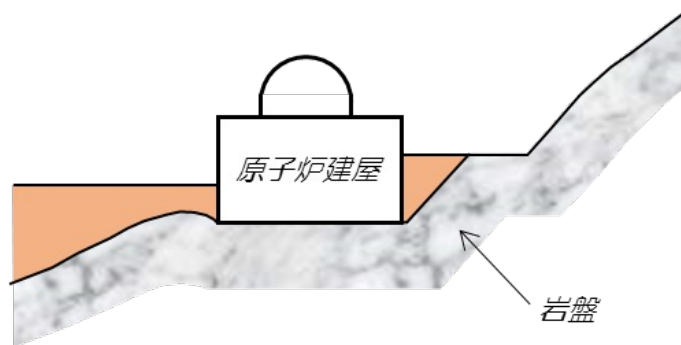
次期軽水炉

基準地震・津波、耐震強化、ドライサイト

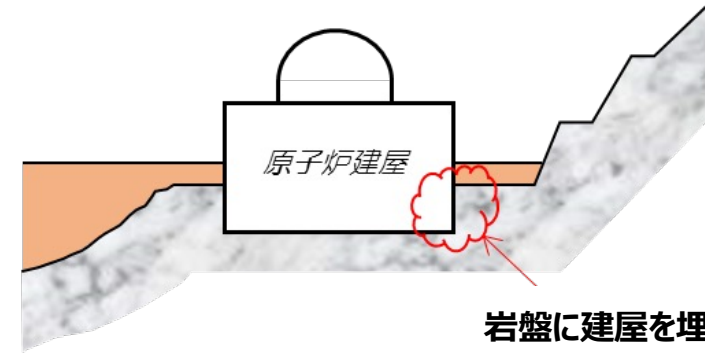


ドライサイト化

地震



重要建屋は岩着



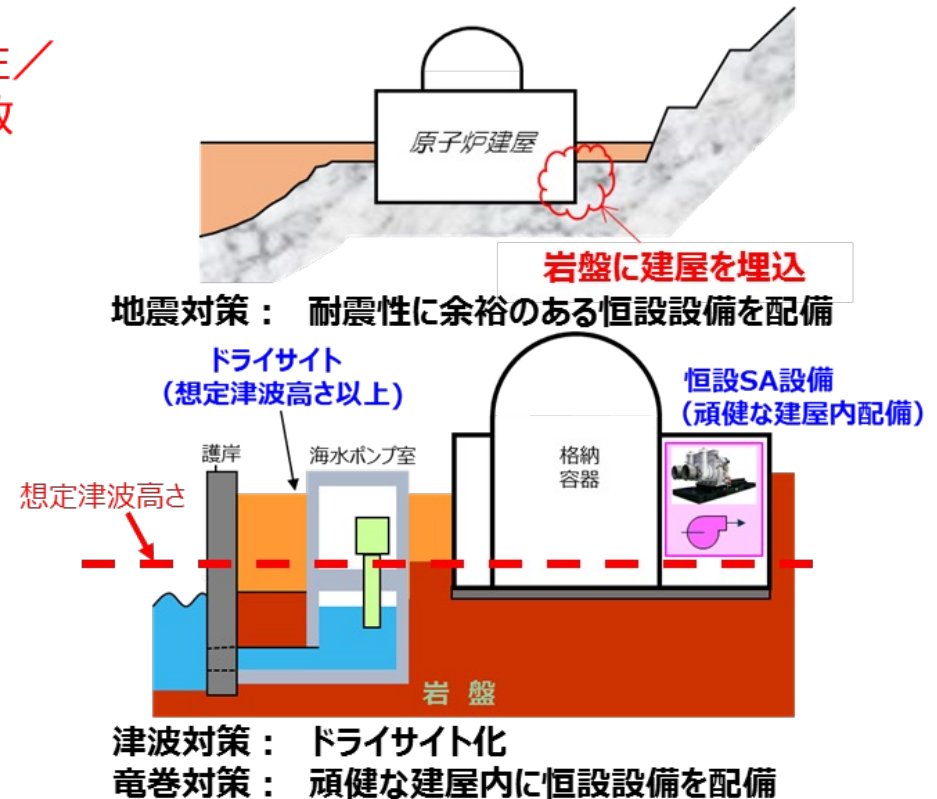
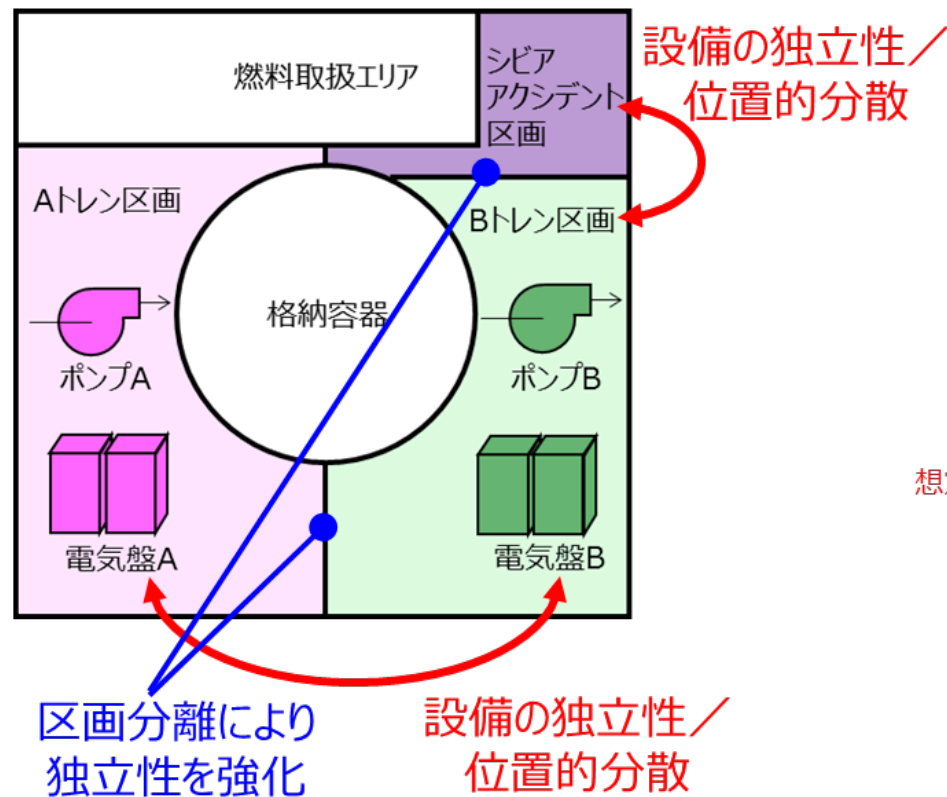
建屋の岩盤内埋込による耐震性強化

抽出された論点

	抽出された論点	議論案	議論の内容
1	シビアアクシデント (SA) 対策の機能要求	恒設/可搬型 SA設備の取扱い	<ul style="list-style-type: none">既設炉では、SA対策として可搬型設備を基本次期軽水炉では、SA対策の機能要求を整理した上で、恒設設備(信頼性、現場操作不要)と可搬型設備(柔軟性)のそれぞれの利点を踏まえた恒設/可搬型の最適な組合せを議論
2	特定重大事故等対処施設の機能要求	APCその他テロ対策(特定重大事故等対処施設)の取扱い	<ul style="list-style-type: none">既設炉では、特重事象 (A P C、テロ等) 時に格納容器を防護するための施設として専用の特重施設を設置次期軽水炉では、DBA/SA設備に対し設計段階から特重事象も考慮した設備対応を議論
3	国内での溶融炉心冷却対策の新技术の適用性	溶融炉心冷却対策の取扱い	<ul style="list-style-type: none">既設炉では、ウェットキャビティ方式により溶融炉心を冷却溶融炉心冷却に係る現象の不確かさの観点から、欧米の新設炉で採用実績のある溶融炉心冷却方式を含め、次期軽水炉における溶融炉心冷却対策の取扱いを議論

恒設/可搬型SA設備の取扱い

- SA対策は、設計段階から系統構成・配置の工夫などを取込むことで十分な耐久性及び多重性、多様性、独立性を確保する**恒設設備を基本とした対応を主**とし、かつ想定を超える事象に対しても柔軟に対応が可能な**可搬型設備等を適切に組み合わせることとする。**



特定重大事故等対処施設の取扱い

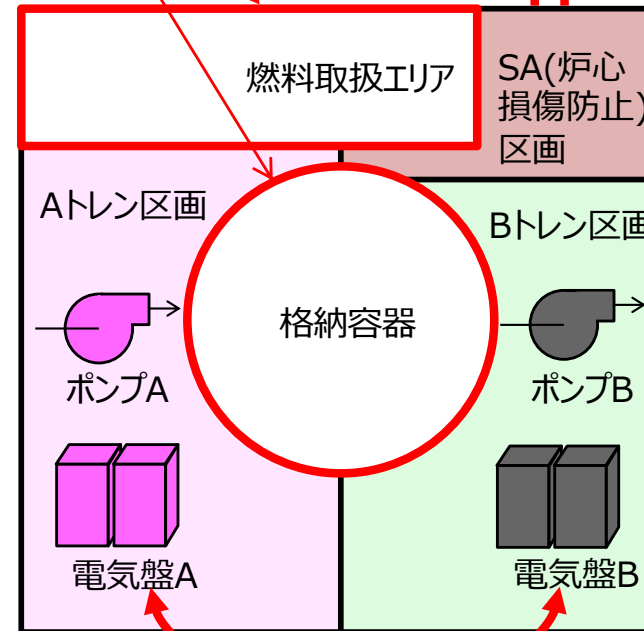
■ APCその他テロ対策(特定重大事故等対処施設)の取扱い

- 建屋頑健化、または区画分離の徹底などにより、APCその他テロも含めた外的事象への耐性を強化
- その上で同一の機能を持つ、SA設備（CV破損防止機能）と特重施設を統合した設備構成とする

次期軽水炉（設計例）

- APCに対して頑健化
- ・SA(CV破損防止)区画
 - ・燃料取扱エリア
 - ・格納容器

SA(CV破損防止)／特重施設兼用区画



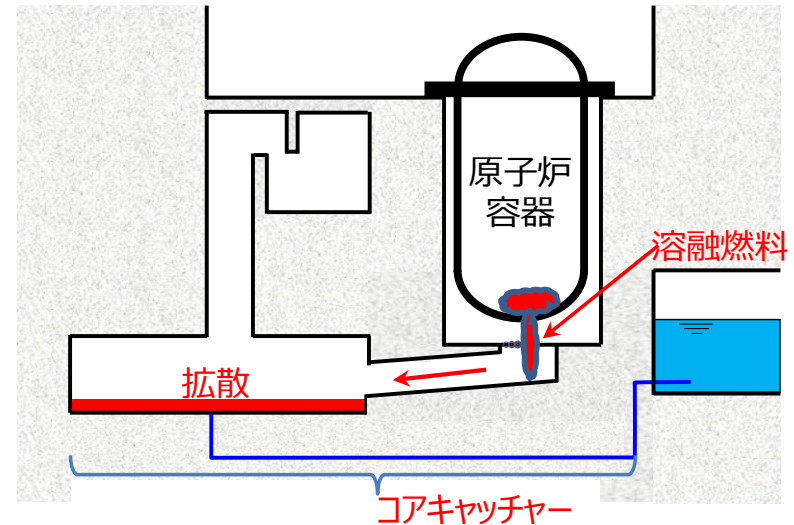
設備の位置的分散によるAPC時の同時損傷防止

本館建屋でのAPC防護を強化

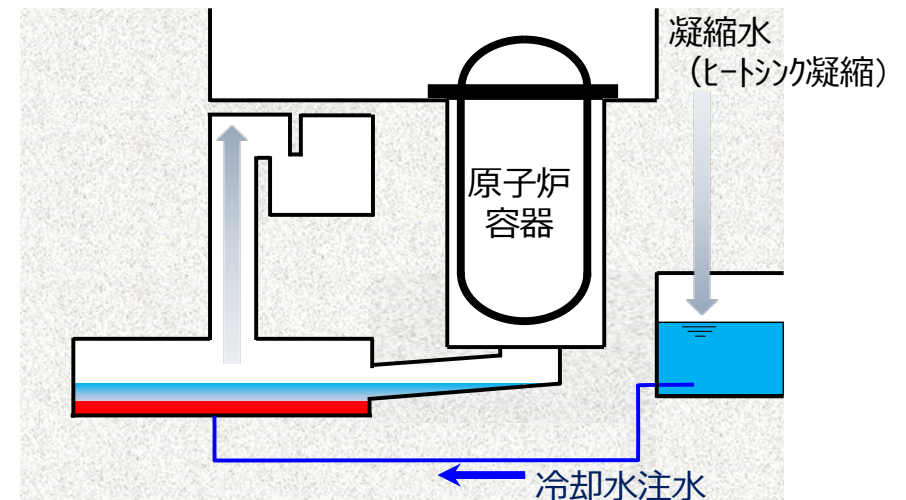
溶融炉心冷却対策の取扱い

- 発生頻度は低い但不確かさが大きい現象に対しても考慮（影響の大きな現象の発生防止と、発生した場合の影響低減の観点から、炉心溶融時の格納容器破損を防止できる設計とする）
- プラント特性・構造に応じて個々の物理現象の不確かさやリスクを考慮し、深層防護の実装の観点でバランスのよい対策システムを設計

(1) 溶融燃料拡散段階



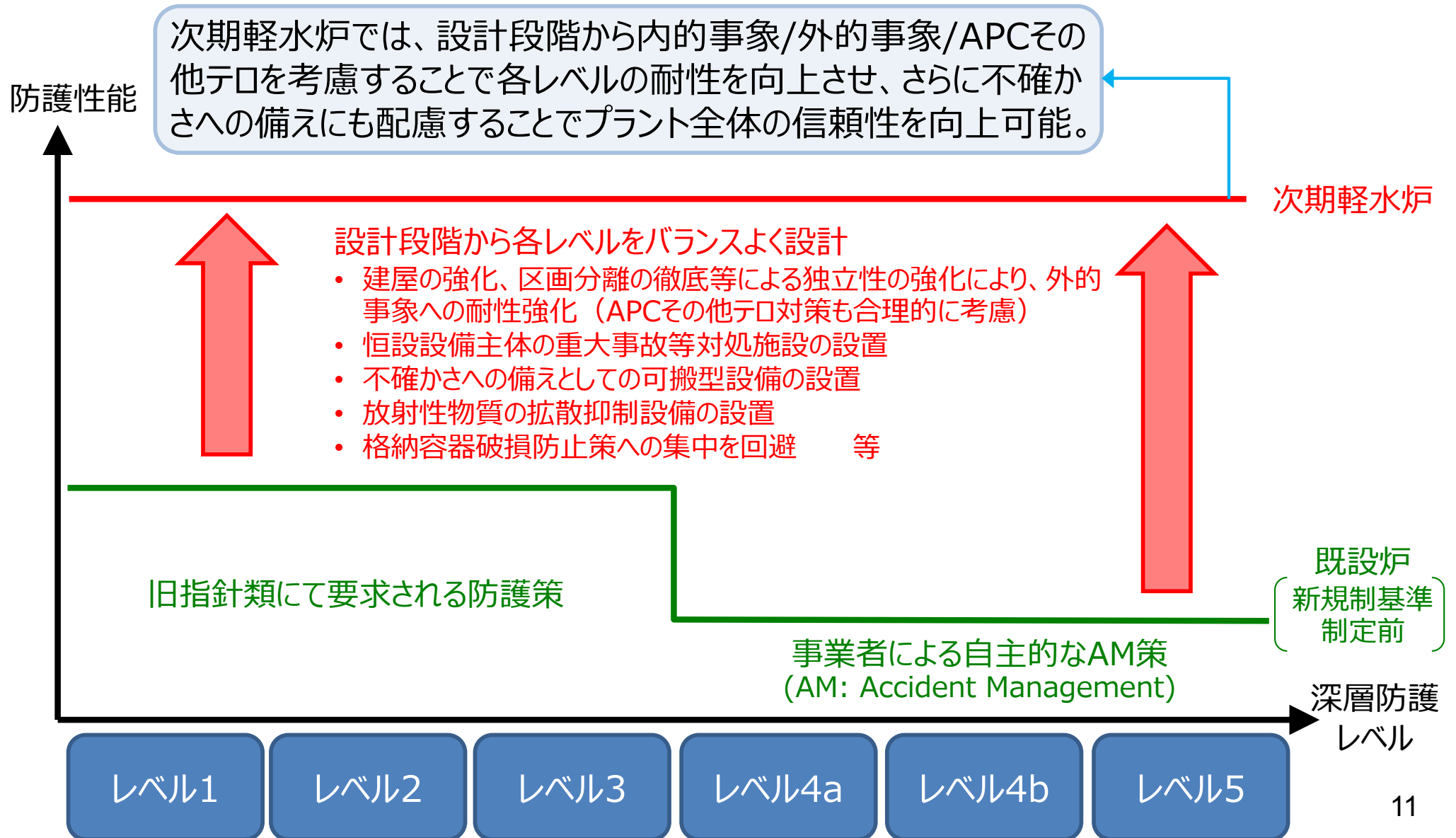
(2) 溶融燃料冷却段階



ドライ型コアキャッチャーによる溶融炉心冷却
※選択肢として検討中

深層防護の最適化

次期軽水炉の防護性能のイメージ



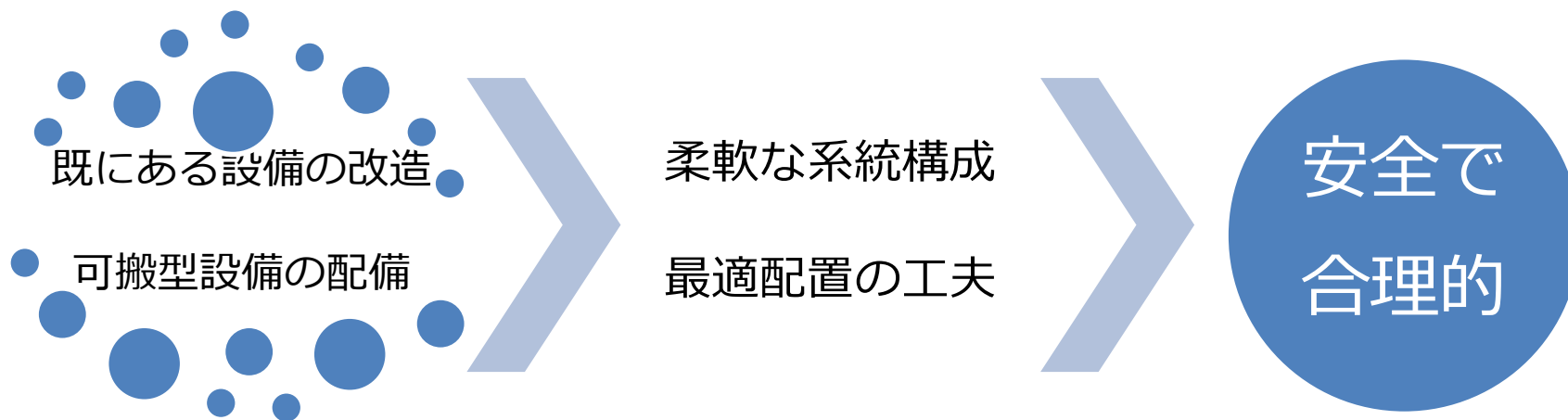
次期軽水炉の設計方針

新規制基準で新設／強化された規制要求	既設炉の安全対策	次期軽水炉での設計方針
◆ 耐震・耐津波性能	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 基準地震動の引き上げや基準津波高さの評価を踏まえた対策 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 耐震補強、防潮堤/止水壁設置 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 地震動や津波高さに対する抜本的対策を実施 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 建屋壁の増厚、建屋の埋込、敷地のドライサイト化等
◆ 電源の信頼性	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 可搬型設備での対応を基本として多重化・多様化 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 恒設非常用電源に恒設発電機＋可搬型発電機を追加 ➢ 恒設バッテリーの容量増に加え、可搬型直流電源＋恒設直流電源を追加 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ トレン間及び防護レベル間の独立性強化の観点から抜本的対策を実施 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 位置的分散配置等 ◆ 恒設設備を基本とした対応を主とし、柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる
◆ 火災/内部溢水に対する考慮	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 設備追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 耐火シート、火災検知器、自動消火設備 ➢ 壁、水密扉、堰等の設置 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ トレン間及び防護レベル間の独立性強化の観点から抜本的対策を実施 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 区画分離を徹底した配置計画 ➢ 高エネルギー配管のルーティングエリアの限定や配管の耐震性強化

次期軽水炉の設計方針

新規制基準で新設／強化された規制要求	既設炉の安全対策	次期軽水炉での設計方針
<p>◆ 炉心損傷防止対策</p>	<p>◆ 可搬型設備での対応を基本とし、冷却手段、最終ヒートシンクを多様化</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ T/D補助給水ポンプによる冷却が可能な様に可搬式バッテリーで現場操作 ➢ 主蒸気逃し弁、加圧器逃し弁の駆動源に窒素ポンペを配備 ➢ 最終ヒートシンクへ熱を輸送する可搬型大容量ポンプを配備 	<p>◆ トレン間及び深層防護レベル間の独立性強化の観点から抜本的対策を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 <p>◆ 恒設設備での対応を主とし、柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる</p>
<p>◆ 格納容器破損防止対策</p>	<p>◆ 格納容器内冷却・減圧・過加圧防止策</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 可搬型注入ポンプや恒設電動注入ポンプによる格納容器スプレイ ➢ 可搬型大容量ポンプによる再循環ユニットへの海水供給 <p>◆ 溶融炉心冷却対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ ウェットキャビティ方式 	<p>◆ トレン間及び深層防護レベル間の独立性強化の観点から抜本的対策を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 <p>◆ 恒設設備での対応を主とし、柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる</p> <p>◆ 溶融炉心冷却に係る現象の不確かさを考慮し、欧州の新設炉で適用されているドライキャビティ方式やIVR方式の溶融炉心冷却設備も選択肢</p>
<p>◆ 意図的な航空機衝突への対応</p>	<p>◆ 設計基準事故対処設備、重大事故等対処設備とは独立な特重設備を本館から独立して配置</p>	<p>◆ 建屋頑健化、分散配置・区画分離の徹底等により、CV・燃料取替エリア等の耐性を強化すると共に設備の独立性を確保することで燃料損傷、CV破損を防止する</p>

次期軽水炉におけるリスク抑制・安全確保



既設炉

次期軽水炉

恒設設備を基本、
可搬型設備等を適切に組み合わせ

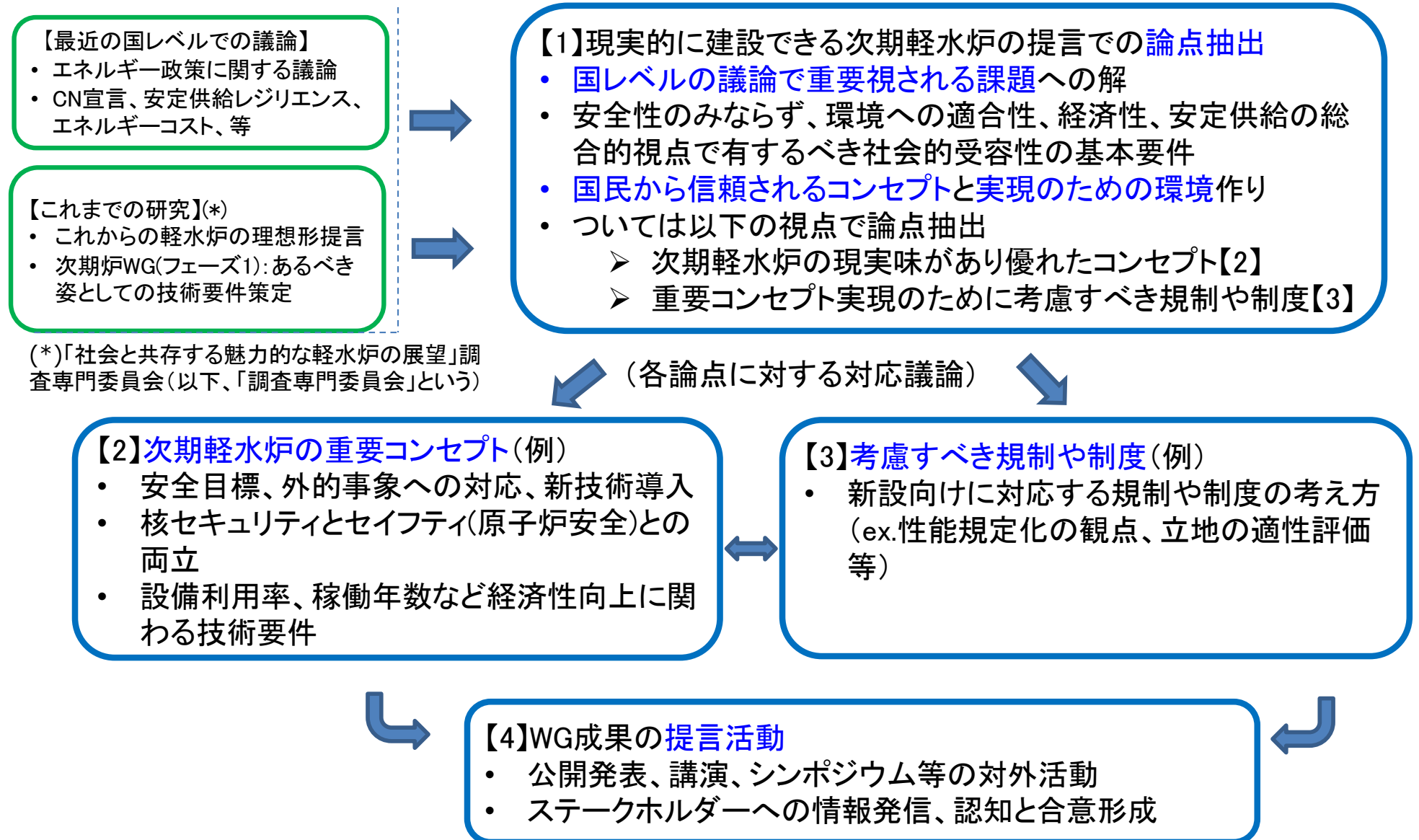
建屋頑健化と区画
分離、SA設備と特
重施設を統合

溶融炉心を冷却、
コアキャッチャー
でCV破損を防止

フェーズ2 活動の目的

- ◆ 次期軽水炉の基本コンセプト・設計概念
 - ◆ エネルギー政策に係る国レベルで重要視される課題への解となる
 - ◆ 現実的な選択肢として国民の理解が得られ、信頼され得るコンセプトである
 - ◆ これを実現する重要なオプションとして技術的に成立している
- ◆ より広くステークホルダーに情報発信し認知と合意形成を図る。
 - ① 現実的であること（実証性と時間軸）
 - ② 既設炉より良いものであること（受容性）
 - ③ 国内外の最新炉より良いものであること（優位性）
- ◆ 規制や制度について海外事例等との比較も含め技術的観点より検討し、より安全で合理的な軽水炉のポテンシャルを最大限発揮できる規制や制度の考え方を提言する。

フェーズ2 活動のスコープ



設計を進める上で考慮すべき規制や制度

次期軽水炉の設計方針	設計を進める上で考慮すべき規制や制度	関連する規制基準
<p>① SA対策は恒設設備を基本とした対応を主とし、かつ柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる</p>	<ul style="list-style-type: none">新規制基準の解釈では、SA対策として可搬型設備の設置を前提とした記載となっている。次期軽水炉のSA対策は設計段階から系統構成・配置の工夫などを取込むことで、設備信頼性が高く現場対応が不要な恒設設備を基本とした対応を主とし、柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせることとしている。そこで、深層防護の実装の観点で適切な恒設/可搬型設備の組合せ、可搬型設備の設置のあり方について議論が必要と考える。	<p>第43条 可搬型設備に対する設置台数要求(2n+α)</p> <p>第45条 弁作用可搬型蓄電池</p> <p>第46条 減圧弁用空気ポンプ</p> <p>第47条 代替炉心注入ポンプ</p> <p>第54条 使用済燃料貯蔵槽への代替注入設備</p> <p>第57条 可搬型代替電源設備</p>

設計を進める上で考慮すべき規制や制度

次期軽水炉の設計方針	設計を進める上で考慮すべき規制や制度	関連する規制基準
② 同一の機能を持つ、SA設備(CV破損防止)と特重施設を統合した設備構成とする	<ul style="list-style-type: none">新規制基準の解釈では、APC等に対応する特重施設はDBA設備及びSA設備とは独立性を有した設備の設置を前提とした記載となっている。次期軽水炉では、建屋頑健化や区画分離の徹底など設計段階から特重事象も考慮することにより、特重事象にも対応可能なSA設備(CV破損防止)を設置することで、特重施設と統合した設備構成も可能である。そこで、深層防護のバランスの観点から、特重事象時の対応策のあり方(SA設備(CV破損防止)との独立性)について議論が必要と考える。	第42条 特定重大事故等対処施設 解釈 3(c)項 上記3(a)の機能を有する設備は、DBA設備(設計基準事故対処設備)及びSA設備(特重施設を構成するものを除く)に対して、可能な限り、多重性又は多様性及び独立性を有し、位置的分散を図ること。

設計を進める上で考慮すべき規制や制度

次期軽水炉の設計方針	設計を進める上で考慮すべき規制や制度	関連する規制基準
<p>③ 発生確率は低い但不確かさが大きい現象に対しても、影響の大きな現象の発生防止と、発生した場合の影響低減の観点から、炉心溶融時のCV破損を防止できる設計とする</p>	<ul style="list-style-type: none">新規規制基準の解釈では、溶融炉心冷却のため原子炉格納容器(CV)下部注水設備を整備することが求められているが、既設プラントのウェットキャビティ方式での溶融炉心冷却を前提とした記載と考えられる。次期軽水炉では、ウェットキャビティ方式以外にも、発生頻度は低い但不確かさが大きい現象に対し、炉心溶融時のCV破損を防止できる設計としてドライ型コアキャッチャー等の採用が可能である。そこで、ウェットキャビティ以外の方式を導入する際の対応について議論が必要と考える。	<p>第51条 原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備 解釈 1a) CV下部注水設備を設置すること。</p>

まとめ

- 福島第一発電所事故の教訓を踏まえ、シビアアクシデント(SA)の発生を所与として個人の健康への影響および環境汚染による社会的な影響を防止・抑制することを普遍的な要求とする
- 深層防護の観点から個人の健康ならびに環境への影響の防止・抑制を達成するための前段の目標として、炉心防護を重要な設計上の目標と位置付ける
- 次期炉WGで検討した深層防護を実装する考え方をベースに、革新軽水炉の具体的な設計を展開することを期待する
- 本検討は、再稼働している国内PWRを対象としたが、BWRに対しても共通の技術要件となることを念頭に実施した