資料3-3

日本原子力学会　原子力発電部会
「次期軽水炉の技術要件検討（フェーズ2）」
ワーキンググループ

【第２回議題】

次期軽水炉の重要コンセプトに関する議論

「次期軽水炉の性能目標・深層防護の実装の考え方」

R0:　2022.6.2
R1:　2022.9.16

本資料は議論用のものであり、今後も継続して議論を行っていくため、来年度発行予定のWG報告書と内容が若干変更になる可能性があります。

目次

１．はじめに　３

２．次期軽水炉の設計方針（WG（フェーズ1）での議論）　４

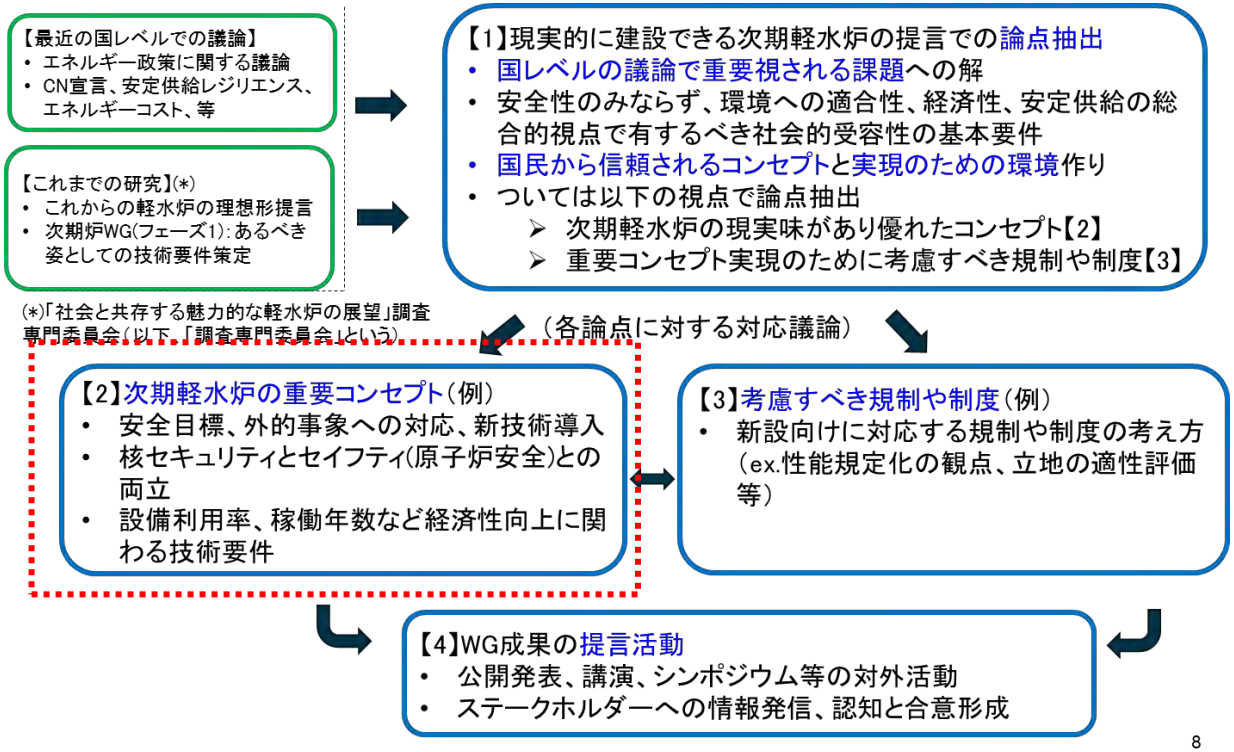
３．次期軽水炉の性能目標・深層防護の実装の考え方　19

４．まとめ　43

1. はじめに

第2回WG会合の議題として、本WGで議論する「次期軽水炉の性能目標・深層防護の実装の考え方」について整理する。

第1回WG会合資料より



２．次期軽水炉の設計方針（WG（フェーズ1）での議論）

（目次）

（１）次期炉WG（フェーズ１）で議論した設計方針　5

（２）深層防護の適切な実装　9

（３）各防護レベルの防護策の適切な厚みとバランス　11

（４）防護策をバランス良く設計するための今後の取り組むべき項目　13

（５）設計を進める上で考慮すべき規制や制度　15

2.（1）次期炉WG（フェーズ1）で議論した設計方針（1/3）

（1）次期炉WG（フェーズ1）で議論した設計方針

1 ）WG（フェーズ1）で議論の論点と設計方針

- 既設炉では、既にある設備に対して改造工事や可搬型設備の配備等で安全対策を行っている。
- 一方、次期軽水炉では、1F事故の教訓及び新規制基準で強化/新設された規制要求の考え方を踏まえ、設計段階から柔軟に系統構成・配置の工夫などが可能であり、最適化を図ることができる。
- WG（フェーズ1）では、次期軽水炉において、より安全でより合理的な安全対策が可能となり得る3つの論点を抽出し、深層防護と整合する設計方針を議論した。

論点	次期軽水炉の設計方針
①恒設/可搬型SA設備の取り扱い	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、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
②APCその他テロ対策(特重施設)の取り扱い	建屋頑健化、または区画分離の徹底により、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
③溶融炉心冷却対策	発生確率は低いが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 *CV破損に至るMCCI及び水蒸気爆発

Intentionally Blank

2.（1）次期炉WG（フェーズ1）で議論した設計方針（2/3）

2）既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針の比較

- 新規制基準で新設／強化された規制要求に対して、既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（例）を下表に比較整理する。
- 3つの論点で議論した設計方針を基に設計段階から柔軟に系統構成・配置の工夫などが可能であり、最適化が図られる。

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（例）

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	◆ 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 ➢ 耐震補強、防潮堤/止水壁設置	◆ 地震動や津波高さに対する抜本的対策を実施 ➢ 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	◆ 可搬型設備での対応を基本として多重化・多様化 ➢ 恒設非常用電源に恒設発電機＋可搬型発電機を追加 ➢ 恒設バッテリの容量増に加え、可搬型直流電源＋恒設直流電源を追加	◆ 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 ➢ 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	◆ 設備追加 ➢ 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	◆ 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 ➢ 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

2.（1）次期炉WG（フェーズ1）で議論した設計方針（3/3）

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（例）（続き）

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
◆炉心損傷防止対策	◆ 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 ➢ 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で現場操作 ➢ 主蒸気逃し弁、加圧器逃し弁の駆動源に窒素ボンベを配備 ➢ 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	◆ 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 ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 ◆ 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
◆格納容器破損防止対策	◆ 格納容器内冷却・減圧・過加圧防止策 ➢ 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	◆ 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 ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 ◆ 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
	◆ 溶融炉心冷却対策 ➢ ウェットキャビティ方式	◆ 水蒸気爆発の可能性排除を考慮し、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
◆意図的な航空機衝突への対応	◆ 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	◆ 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。

詳細は添付2-1「既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針」参照

2.(2)深層防護の適切な実装(1/2)

(2)深層防護の適切な実装について

- 内的事象への耐性強化として、DBA設備の多重性を強化し、さらにSA設備(レベル4a、4b対応)に恒設設備を適用して管理・運用性の向上を図る。
- 外的事象への耐性強化として、独立性の強化を図り(ドライサイト化、建屋耐性の強化、区画分離の徹底)、外的事象の耐性が強化された恒設設備によりレベル4a、4bに対応する。
- APCその他テロへの対応としては、建屋耐性の強化、区画分離の徹底による独立性の強化に加え、SA設備(CV破損防止)の分散配置等による対策の強化を図る。
- 上記、内的事象、外的事象、APCその他テロとして設計上想定する事象に対して深層防護レベル全体に渡って対策を強化した上で、事故シナリオの不確かさへの備えとして可搬型設備等を活用する。

2.（2）深層防護の適切な実装（2/2）

深層防護の各層に対して以下の強化方針をとることで、プラント全体の信頼性を向上。

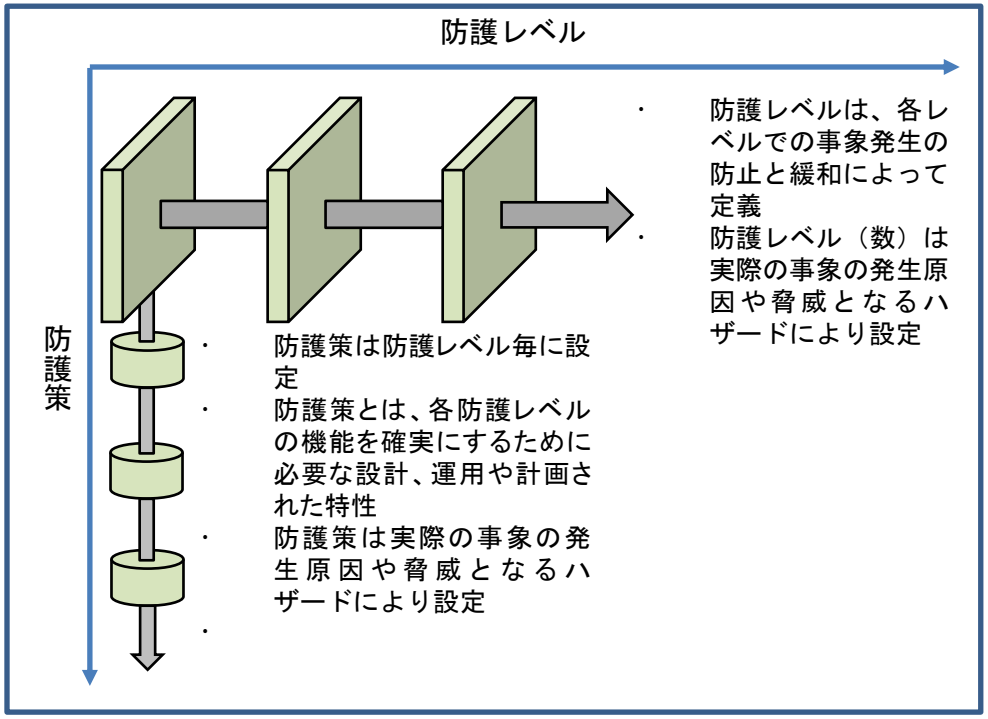
深層防護レベル	深層防護の目的	防止策（例）	緩和策（例）	既設炉の論点整理を踏まえた新設炉の強化方針				
				想定事象への対応				不確かさへの備え（PE※への配慮）
				内的事象	外的事象		APCその他テロ	
					内部ハザード	外部ハザード		
レベル1	異常・故障発生防止	外部ハザード由来のリスクの低い立地の選定	安全余裕を含む適切な設計	• 多重性の強化 • 恒設設備による管理・運用性の向上	• 独立性（区画分離）の強化	• 建屋の耐性強化 • 独立性（区画分離）の強化	• 建屋の耐性強化 • 独立性（区画分離や、分散配置）の強化による耐性向上	–
レベル2	異常状態の制御故障の検知	異常発生の防止	異常の段階で検知・収束					
レベル3	DBAの制御	DBA基準逸脱の防止	工学的安全施設による事故の収束					
レベル4a	炉心溶融を回避するためのDECの制御	重大事故の防止	格納容器内において事故を収束		• 独立性（区画分離）の確保	• 恒設設備による管理・運用性の向上 • 独立性（区画分離）の確保		• 設計上想定するシナリオの不確かさへの備えとして、可搬型設備等を事象緩和に活用することで、信頼性を向上 • 可搬型設備の仕様共通化等により運用性を向上
レベル4b	SAの影響を緩和するためのDECの制御	格納容器破損を防止	放射性物質の放出を抑制					
レベル5	重大な放射性物質の放出による放射線影響の緩和	放射性物質の大規模放出を防止	敷地外緊急対応	–	–	–	–	

※ PE(Practically eliminate)については、IAEA の原子力発電所の原子炉格納系の設計(NS-G-1.10)、同安全設計要求(SSR-2/1)によれば、早期或いは大規模放射性物質の放出に繋がるシーケンスをPEとすべきであり、それは“ある状態が発現する可能性は、物理的に発生し得ない、あるいは、高い信頼水準で極めて発生しがたいと判断される場合、「実質上除外される」と考えられる” と定義されている。本WGでのPEはこれに従った解釈とする。

2.(3)各防護レベルの防護策の適切な厚みとバランス(1/2)

(3)各防護レベルの防護策の適切な厚みとバランス

- 原子力学会標準委員会 技術レポート「原子力安全の基本的考え方について 第I編　別冊　深層防護の考え方」*において「**防護策全体の性能を高めるためには、各レベルが適切な厚みを持ち、各レベルの防護策がバランス良く講じられ、あるレベルの防護策に負担が集中しないことが重要である**」と見解が示されており、次期軽水炉の設計における対応方針としてもこの考え方を踏襲する。 *(2014年5月　日本原子力学会　標準委員会　技術レポート)



2.(3)各防護レベルの防護策の適切な厚みとバランス(2/2)

- 新規制基準を踏まえた既設炉の対応はCV破損防止に重点を置いた対策となっており、深層防護レベル間のバランスの観点より最適化の余地があると考えられる(図1-1)。
- この観点から、各防護レベル間のバランス良い設計をするとの次期軽水炉のあるべき姿は、図1-2の通り表すことができる。

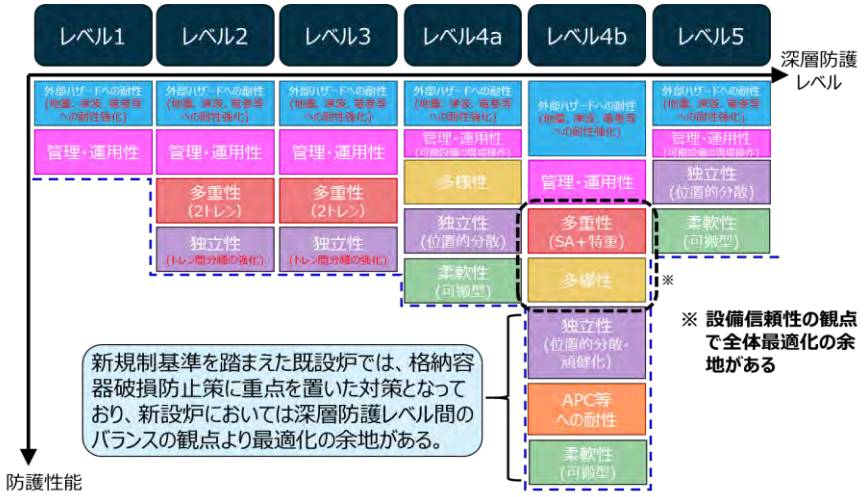


図1-1　深層防護レベルの厚さのイメージ
【既設炉(新規制基準制定後)】

図1-2　深層防護レベルの厚さのイメージ
【次期軽水炉】

2.(4)防護策をバランス良く設計するための今後の取り組むべき項目

- 次期軽水炉の設計具体化に当たっては、各レベルの防護策をバランス良く講じるための設計を実施することが重要。その実現のために今後取り組むべき項目は以下。

①防護レベルの性能目標設定

炉心損傷やCV破損等に関する適切な性能目標を設定する必要がある。性能目標については、英国ONRにおける基本安全レベル(BSL)と、基本安全目標(BSO)といった考え方などもあり、各国の最新の動向も参考としながら、国内において安全目標/性能目標の議論を今後深めることが必要と考えられる。

②防護策の有効性評価

防護策が適切に整備されているか評価する取り組みとしては、「オブジェクティブ・ツリー」(*1)を用いて深層防護の有効性を評価する方法等があると考えられる。なお、内的事象、外的事象に対して十分な耐性を有すること、並びに性能目標に対する設計の有効性を評価する上ではPRAにて定量的に確認することが必要と考えられる。

(*1)AESJ-SC-TR007:2014「原子力安全の基本的考え方について　第Ⅱ編　原子力安全確保のための基本的な技術要件と規格基準の体系化の課題について」標準委員会　技術レポート、2016年4月　一般社団法人　日本原子力学会

③効果的手段の実装

各防護レベルのバランスを高めるためには、オブジェクティブ・ツリー等を用いた決定論的な評価、PRAを用いた確率論的な評価の結果から、統合的意思決定プロセス(IRIDM)等を活用して、効果的な手段を実装することが望ましい。

Intentionally Blank

2.（5）設計を進める上で考慮すべき規制や制度（1/4）

（5）次期軽水炉のより安全で合理的な設計を進める上で考慮すべき規制や制度

- 次期軽水炉のコンセプトを実機に展開する際に、プラントの設計を進める上で基本的に準拠する規制や制度の視点で、各設計方針と規制基準との関係を整理した。（以降表に示す）
- 結果、現行の新規制基準の具体的な要求内容とは差異があるため、設計方針を実機設計に展開するに当たっては、次期軽水炉の安全の考え方を踏まえた新設向けの規制要求についての議論が別途望まれる。

2.(5)設計を進める上で考慮すべき規制や制度(2/4)

設計を進める上で考慮すべき規制や制度(1/3)

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
① 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	• 新規制基準ではSA対策として一部の安全機能に可搬設備の設置が要求されている。 • 次期軽水炉では設計段階からSA対応を考慮することで、共通故障要因を極力排除し、且つ設備信頼性が高く現場対応が不要な恒設設備による合理的な設計が可能であるため、恒設設備を中心とした対応を検討しており、新規制基準で要求される可搬設備は必ずしも全てを設置する必要は無く、フレキシブル性の観点から必要と考えられる台数の設置で良いと考えられる。 • そこで、SAに対応する安全機能を整理し、深層防護の実装の観点で恒設/可搬設備の適切な組合せ、可搬設備の設置のあり方の議論が必要と考える。	第43条 可搬設備に対する設置台数要求(2n+α) 第45条 弁操作用可搬型蓄電池 第46条 減圧弁用空気ボンベ 第47条 代替炉心注入ポンプ 第54条 使用済燃料貯蔵槽への代替注入設備 第57条 可搬型代替電源設備

2.(5)設計を進める上で考慮すべき規制や制度(3/4)

設計を進める上で考慮すべき規制や制度(2/3)

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	• 新規制基準ではAPC等の特重事象に対応する特重施設に対し、同じ安全機能を有するSA設備とは独立性を有した設備の設置要求がなされている。 • 次期軽水炉では設計段階から特重事象も考慮した設備対応を実施することが可能であり、特重事象にも対応可能なSA設備を設置することで、必ずしもSA設備から独立させた特重施設の設置は必要ないと考えられる。 • そこで、深層防護の観点から新規制基準で要求される安全機能を整理し、物理障壁の観点での外部ハザード(APC)への適切な機能要求のあり方や特重事象時の対応策のあり方(SA(4b)設備との統合の可否)について議論が必要と考える。	解釈 第42条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。

2.(5)設計を進める上で考慮すべき規制や制度(4/4)

設計を進める上で考慮すべき規制や制度(3/3)

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
③ 発生確率は低いが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	• 新規制基準では溶融炉心冷却につき原子炉格納容器(CV)下部注水設備を整備することが要求されており、既設プラントのウェットキャビティ方式による溶融炉心冷却を前提としているとも理解できる記載となっている。 • 一方、欧州では水蒸気爆発のリスクを排除可能なドライ型コアキャッチャーが推奨されている。 • そこで、深層防護の実装の観点で新技術(ドライ型コアキャッチャー)の適用に向けた、新規制基準の求める安全要求の議論が必要と考える。	解釈 第51条1a) CV下部注水設備を設置すること。

３．次期軽水炉の性能目標・深層防護の実装の考え方

本章では、次期軽水炉の設計を具体化するに当たり、各防護レベルの防護策をバランス良く講じるために必要となる性能目標の設定について議論する。

最初に一般論として性能目標の種類について整理し、各国で定められる性能目標の事例について紹介する。

次に次期軽水炉の設計目標として設定する性能目標について、その設定の考え方、指標や水準の検討結果に基づき、深層防護の実装の具体化と性能目標の定量化とを関連付けて議論する。

さらに次期軽水炉の設計に対する評価と考察により性能目標の達成度を確認し安全性に係る優位性について議論する。

3. 次期軽水炉の性能目標・深層防護の実装の考え方

（目次）

（1）設計に必要な性能目標の種類と海外事例 21
①性能目標の指標について
②日本国内の状況
③海外の事例
（2）次期軽水炉の設計方針と考え方 27
①次期軽水炉の安全に関する設計方針の概要
②深層防護をバランス良く実装するための設計・評価のアプローチ
（3）次期軽水炉の性能目標（設計目標）の設定 31
①指標について
②水準について
（4）次期軽水炉の設計に関する評価と考察 37
①次期軽水炉での深層防護の実装
②バランスの良い深層防護の実装の評価
③既設炉に対する優位性

3.(1)設計に必要な性能目標の種類と海外事例(1/5)

①性能目標の指標について

- 性能目標は、原子力施設等が安全目標に適合する安全性能を備えていることを判断するための目安であり、安全確保活動のやり方を決めるための指標と位置付けられている。
- 一般的には安全目標を代替する指標が用いられ、例として以下がある。
  - 炉心損傷頻度:CDF(Core Damage Frequency)
  - 格納容器機能喪失頻度:CFF(Containment Failure Frequency)
  - 早期格納容器機能喪失頻度:ECFF(Early CFF)
  - 大規模放出頻度:LRF(Large Release Frequency)
  - 早期大規模放出頻度:LERF(Large Early Release Frequency)

  (参考:添付3-1「各性能目標の関係」)
- これら指標について、既設炉と新設炉を区別して目標値を設定する例もある。
- 英国ONRで示されている基本安全レベル(BSL:Basic Safety Level)と基本安全目標(BSO:Basic Safety Objective)のように性能目標を範囲で示す例もある。
- また、深層防護との関連を明確にすべく、深層防護の前段層が機能喪失すると仮定した上で防護層が破られる“条件付き確率”を指標としている例もある。(米国:新設炉に対する“条件付き格納容器機能喪失確率(CCFP:10^{-1})”

3.(1)設計に必要な性能目標の種類と海外事例(2/5)

②日本国内の状況

- 性能目標としては、前述の通り多様な指標が考えられるが、日本国内においては以下の検討がなされている。

【旧原子力安全委員会/安全目標専門部会】(平成18年3月)

- 炉心の健全性や格納容器の閉じ込め機能の健全性に関連し、施設の性能をよく代表するもの、かつ、定義が明瞭で適切に定量化できる指標として、「CDF」及び「CFF」が示された。

【原子力規制委員会】(平成25年4月)

- 上記性能目標に大規模な放射性物質の放出を抑制する指標として^{137}Csの放出量制限に係る指標「CFF-2」(管理放出機能喪失頻度)が追加された。

◆ 炉心損傷頻度(CDF) :10^{-4}/年程度
◆ 格納容器隔離機能喪失頻度(CFF-1) :10^{-5}/年程度
◆ 管理放出機能喪失頻度(CFF-2) :10^{-6}/年程度

(参考:添付3-1「各性能目標の関係」)

3.(1)設計に必要な性能目標の種類と海外事例(3/5)

- 学会での検討

「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会(平成29年3月)では、性能目標について以下の議論がされている。

- 何を指標とすべきか

  原子力規制委員会が提示した指標CDF、CFF-1、CFF-2は、炉心健全性、放射性物質閉じ込め機能健全性及びソースタームの抑制と言う性能に関連付けることができる。後者2つの性能に対しては、ECFF、LRF、LERFといった放出の規模や時期を考慮した指標があり、CFF-1及びCFF-2は、これらを含む幅広の指標と捉えることが出来る。

- 既設炉と新設炉を区別すべきか否かについて

  海外では異なる目標を設定している例もあり、日本においても同様の考え方を採るべきか検討を要する旨報告されている。一層の安全性向上を目指す点を考慮すると、安全に係る最新の知見・技術を取り入れるであろう新設炉においてより高い性能目標を設定することは一定の合理性があると述べられている。

- 原子力防災との関連について

  事象が発生した場合の影響の大きさを考慮すると、エナージェティック事象(水素爆燃/爆轟や水蒸気爆発)や格納容器バイパス等、早期の放射性物質放出に繋がる事象の評価に係る不確かさの低減を図ると同時に、関連する指標について検討する余地があると報告されている。

3.(1)設計に必要な性能目標の種類と海外事例(4/5)

③海外の事例(OECD/NEAの各国性能目標)

- 2019年に経済協力開発機構/原子力機関OECD/NEAにおける取りまとめによると(2020年)、各国の炉心損傷頻度CDF、及び大規模放出頻度LRFと早期大規模放出頻度LERFの目標値は次表のとおり。
- CDFは各国とも大差なく、既設炉と新設炉で分けている国、規制機関と事業者の両者が記している国があり10^{-4}/年から10^{-5}/年である。

  なお、IAEAは、INSAG-12「Basic Safety Principles for Nuclear Power Plant」において、CDFの定量的なターゲット値として、既設プラントに対しては10^{-4}/炉年を、将来プラントに対しては 10^{-5}/炉年を定義している。
- LRFとLERFは頻度のみを与えている国が多いが、欧州を中心に多くの国がLRFで^{137}Csの放出量100 TBqを指標としている。
- CFFを指標としている国は少ない。

3.(1)設計に必要な性能目標の種類と海外事例(5/5)

OECD/NEAの各国性能目標

国	設定者	指標	値(1/年)	規制上の位置付け
米国	規制機関(NRC)	CDF	1×10^{-4}	目標
		LERF LRF	1×10^{-5} 1×10^{-6}	目標(既設炉) 目標(新設炉)
		CCFP	1×10^{-1}	目標(新設炉),条件付き確率
イギリス	規制機関	CDF	1×10^{-4} 1×10^{-5}	限度(法的限度ではない) 目標
		死亡リスク＞100人	1×10^{-5} 1×10^{-7}	限度(法的限度ではない) 目標(線量/頻度の段階的)
フランス	規制機関	CDF	1×10^{-5}	限度
		LRF/LERF	無視可能なレベル(10^{-6})	目標
スイス	規制機関	CDF	1×10^{-4} 1×10^{-5}	限度(既設炉) 目標(既設炉)
		LERF	1×10^{-5} 1×10^{-6}	限度(既設炉) 目標(既設炉)
スウェーデン	法律	CDF	1×10^{-5}	目標
	事業者	LRF ^{137}Cs炉心内蔵量の0.1%以上の放出	1×10^{-7}	目標
カナダ	規制機関 事業者	CDF	1×10^{-4} 1×10^{-5}	限度(既設炉) 目標(既設炉)、限度(新設炉)
		LRF ^{137}Cs＞100TBq	1×10^{-5} 1×10^{-6}	目標(既設炉) 目標(新設炉)
ロシア		CDF	1×10^{-5}	目標
		LERF	1×10^{-7}	目標
韓国	規制機関	CDF	1×10^{-4} 1×10^{-5}	目標(既設炉) 目標(新設炉)
		LERF	1×10^{-5} 1×10^{-6}	目標(既設炉) 目標(新設炉)
フィンランド	規制機関 事業者	CDF	1×10^{-5}	目標(新設炉)
		LRF ^{137}Cs＞100TBq	5×10^{-7}	目標(新設炉)

OECD/NEA" Use and Development of Probabilistic Safety Assessment at Nuclear Facilities "NEA/CSNI//R(2019)10,(2020)

"Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals" ,OECD/NEA,NEA/CSNI/R(2009)16,(Dec.2009)

Intentionally Blank

3.(2)次期軽水炉の設計方針と考え方 (1/4)

(2)次期軽水炉の設計方針と考え方

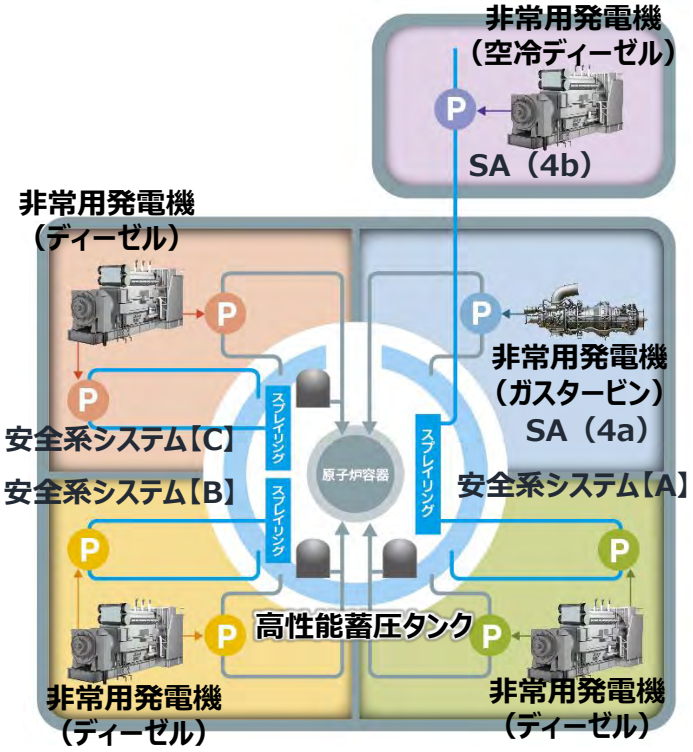
① 次期軽水炉の安全に関する設計方針の概要

- 次期炉WG(フェーズ1)で検討した深層防護を実装する考え方をベースに具体的な設計を展開する。(次期軽水炉の安全に関する設計方針について具体的な設計例を以降に示す。)
- 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環境への影響(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)の防護に加え、深層防護の観点から環境への影響の防護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する。

3.(2)次期軽水炉の設計方針と考え方　(2/4)

次期軽水炉の具体的な設計例

- **多重性・多様性・独立性**
  - 故障要因の徹底排除・安全性の追求
    - 安全系設備の多重性・多様性の強化{安全系3系列＋SA専用システム}
    - アクティブ／パッシブの特性・得失を考慮した組合せ(高性能蓄圧タンクの採用等)
    - 火災や内部溢水に対して重要機器の同時故障要因を徹底排除する区画分離設計
  - 溶融炉心対策強化
    - SA時専用設備(コアキャッチャ等)を設置し、万一の炉心溶融事故時にも格納容器の破損を防止
  - 放射性物質放出防止
    - 事故影響を発電所敷地内に限定、周辺環境への放射性物質の大量放出を防止(管理放出機能に頼ることなく、事象を終息させる)

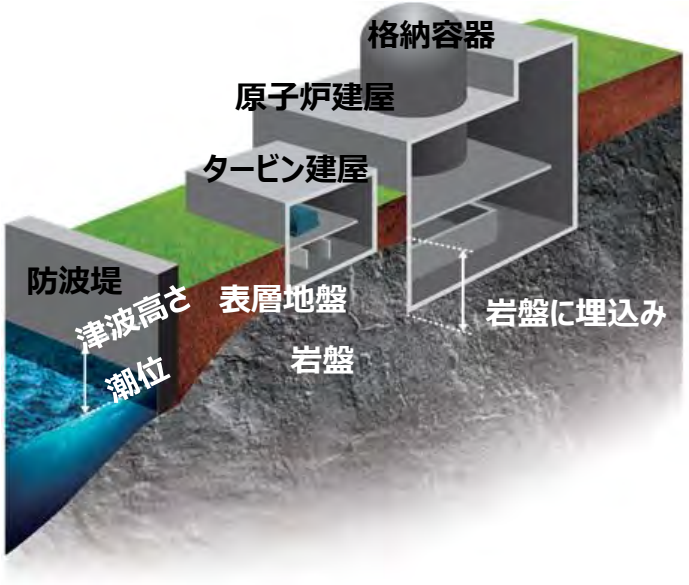


- **管理・運用性・柔軟性**
  - 管理運用性を考慮した恒設設備を基本とした対応
  - シナリオの不確かさへの備えの観点から柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせ

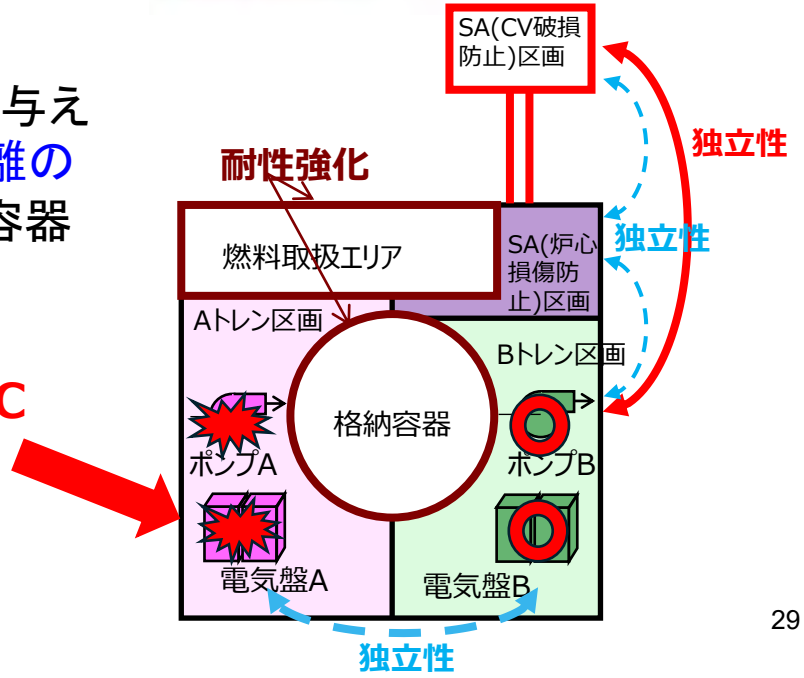
3.(2)次期軽水炉の設計方針と考え方　(3/4)

次期軽水炉の具体的な設計例

- **外部ハザードへの耐性**
  - 国内の厳しい地震条件にも耐えうる耐震設計(強固な岩盤に建屋を埋込む等)
  - 津波影響を受けないドライサイト設計の採用(津波到達高さよりも高いグランドレベル、地上1階層の建屋水密化等)
  - その他外部ハザード(台風や火山等)に対する耐性強化(建屋の頑健化や火山灰浸入防止対策等)



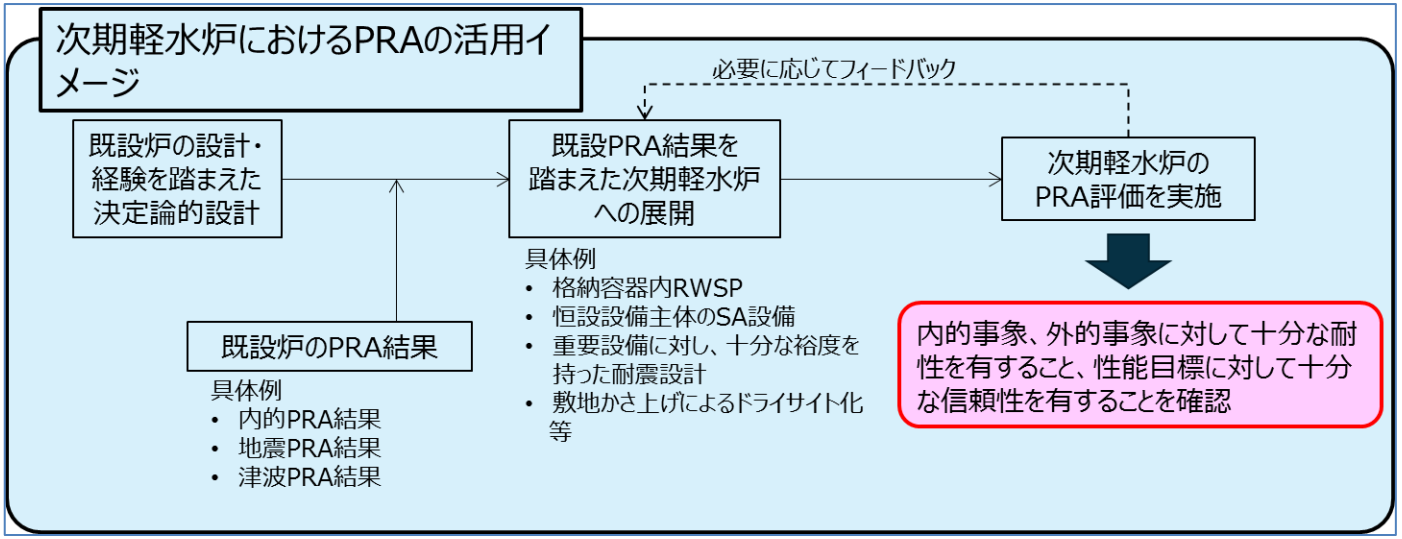
- **APC等への耐性**
  - 航空機衝突に対しても重要機器に直接影響を与えない格納容器/原子炉建屋の頑健化、区画分離の徹底、分散配置など(外部遮蔽壁と鋼製格納容器の2重構造の採用等)
  - 最先端技術を適用したサイバーセキュリティ



3.(2)次期軽水炉の設計方針と考え方 (4/4)

②深層防護をバランス良く実装するための設計・評価のアプローチ

- 次期軽水炉では設計段階から深層防護を実装し、より安全でより合理的な設計の最適化を図りつつ、最新の設計プロセスも参考に、設計を具体化(設計と評価のスパイラルアプローチ)して行く。
  - ➢ オブジェクティブ・ツリー等を用いた決定論的な評価を実施。
  - ➢ 決定論的評価に加え、PRAを用いた性能目標(設計目標)への到達度、対策による防護性能向上への有効性の評価を実施。
  - ➢ これらの評価結果から統合的意思決定プロセス(IRIDM)等を活用し、効果的な防護手段を見極めて具体的な設計に実装する。
- 深層防護の実装の有効性等を評価するためには、炉心防護と環境への影響の防護それぞれの性能を評価する指標(設計目標)が必要となる。



「次期軽水炉の技術要件について」次期軽水炉の技術要件検討ワーキンググループ報告書(2020年6月)抜粋

3.(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定　(1/5)

(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定

- 次期軽水炉では設計・評価のスパイラルアプローチを廻していく必要があるため、深層防護の実装の有効性を定量的に測定し、必要に応じて設計にフィードバックするための指標と目標とする水準を設計目標として設定する。

① 指標について

- 次期軽水炉はSAの発生を所与として炉心防護、環境への影響の防護を重要な設計上の目標としており、この目標を深層防護の防護レベルと関連付けて炉心防護、環境への影響の防護の2段階の指標を設定する。

[炉心防護に関する指標]

- 炉心防護に関する目標への達成度を定量的に測定し、設計をブラッシュアップしていくための評価分析において炉心損傷頻度(CDF)は適した指標である。(なお、海外各国においてもCDFを採用している。)

次期軽水炉において炉心防護を目的とした深層防護レベル4aまでの防護性能に相当する設計目標(*1)としてCDFを用いる。

(*1)次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチに用いるための自主的な目標として設定

3.(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定　(2/5)

[環境への影響の防護に関する指標]

- 次期軽水炉は重大事故発生時にも、公衆の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与えないように発電所敷地内で制御・管理することを設計方針としている。
- 大量の放射性物質の放出に至る頻度を示す指標としてLRF、LERF、CFF-1、CFF-2が考えられる。定義によるもののLRFはCFF-2と同等の指標である。また、LERFは早期放出のみに着目した指標でありCFF-2はLERFを包含する指標となり得る。次期軽水炉では評価上、管理放出機能に期待しないためCFF-1とCFF-2は同じとなる（添付3-1「各性能目標の関係」参照）
- 環境汚染による社会的な影響に関しては、事故時に放出される代表的な核種の内、半減期が比較的に長く、沈着性のある^{137}Csの放出量に着目し、100 TBq以下（福島第一発電所事故で放出された放出量の約 1/100)という目安値を置き、このような放射性物質の放出に至る頻度を設計目標として定める。
- 公衆の個人の健康への影響に関しては、放射線被ばくによる急性死亡リスクとがんによる死亡リスクの原因となる大量の放射性物質の放出を考慮する必要がある。ただし、被ばく評価についてはサイト条件（敷地境界までの離隔、地形・気象等）を考慮して検討すべき内容であるため、特定のサイトを想定せず基本設計（標準）を進めている次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチの初期段階では、上記の^{137}Csの放出量を条件とした放射性物質の放出に至る頻度を指標として用いる。

3.(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定　(3/5)

[環境への影響の防護に関する指標](継続)

- LERFがサイト外の対策措置などの時間ファクターなどを考慮する指標であるのに対し、CFF-2(LRF)は特定のサイトを想定せず基本設計(標準)を進めている次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチの初期段階に用い、深層防護の実装の有効性を定量的に測定し、必要に応じて設計にフィードバックする指標としてサイト条件や避難計画などのパラメータを必要としないCFF-2(LRF)は適している(使い易い)。

- なお、各国では環境への影響に関する指標については、LRF／LERFが主に採用されているものの、公衆の個人の健康リスクや環境汚染による社会的影響のリスクに対して、重要視する防護の目的・考え方に応じて採用する指標や定義(時間ファクター、ソースターム、被ばく量／放出量の閾値　等)の詳細についてそれぞれ違いがある。

次期軽水炉において環境への影響の防護を目的とした深層防護レベル4bの防護性能に相当する設計目標(*1)としてCFF-2を用いる。

(*1)次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチに用いるための自主的な目標として設定

3.(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定　(4/5)

② 水準について
[炉心防護に関する指標:CDFの目標水準]

- 社会的受容性の観点からも次期軽水炉は世界最高水準の目標を設定する。
(なお、海外動向(3.(1)②節参照)を鑑みると各国ともCDFについては概ね10^{-4}／炉年～ 10^{-5}／炉年の範囲で規制基準あるいは設計目標として設定されている。)

次期軽水炉において炉心防護に関する指標:CDFに対しては10^{-5}／炉年未満を設計目標(*1)とする。

(*1)次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチに用いるための自主的な目標として設定

3.(3)次期軽水炉の性能目標(設計目標)の設定　(5/5)

② 水準について

[環境への影響の防護に関する指標:CFF-2の目標水準]

- 原子力学会標準委員会で示された「防護策全体の性能を高めるためには、各レベルが適切な厚みを持ち、各レベルの防護策がバランス良く講じられ、あるレベルの防護策に負担が集中しない」という方針から、絶対値としてCDFを低い値に設定し、レベル4aの防護策を十分に講じたとしても、レベル4aを突破される(炉心損傷する)と仮定した上で、後段のレベル4bの防護策も適切に講じる必要があり、目標となるCFF-2を適切に設定する必要がある。
- レベル4aを突破されると仮定した上でのレベル4bの防護策の実装の目標(条件付き確率)については、海外事例(3.(1)②節参照)も参考にして、CDFに対し概ね1/10程度を確保する。

次期軽水炉において環境への影響の防護に関する指標:CFF-2に対しては10^{-6}／炉年未満を設計目標(*1)とする。

(*1)次期軽水炉の設計・評価のスパイラルアプローチに用いるための自主的な目標として設定

Intentionally Blank

3.（4）次期軽水炉の設計に対する評価と考察　（1/6）

①次期軽水炉の深層防護の実装の考え方

- 事故発生・進展のシナリオの想定にはUnknown unknownsが存在するということを念頭に、SA発生は所与のものとし、事故の結果として起こると予想される炉心損傷、格納容器破損などのプラント状態に対してそれぞれ防護レベルを設定する。
- それぞれの防護レベルに適切な厚さ（防護性能）を確保し、どれか特定の防護レベルに防護性能が偏らないように設計段階から各防護レベルに適切に対策をアレンジする。
- 各防護レベルの対策の信頼性、防護レベル間の対策の有効性を確保するために、信頼性の高い方法・設備の適用（恒設での対応）、多重性、多様性、独立性を考慮。
- また、各対策での機器・システムの選定においては、パッシブ/アクティブ技術それぞれの特性を考慮し適切に組み合わせることにより信頼性を向上させることが望ましいと考えられる。具体例を添付3-2「次期軽水炉でのパッシブ/アクティブ組み合わせの考え方」に示す。

3.（4）次期軽水炉の設計に対する評価と考察　（2/6）

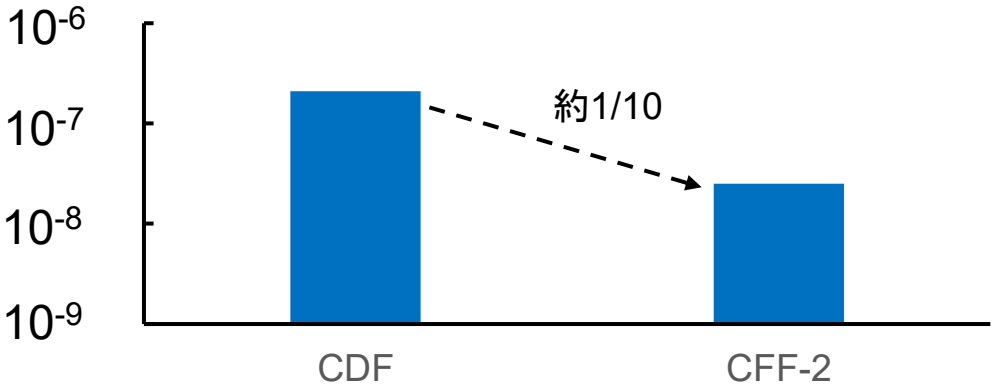
- 次期炉WG（フェーズ1）で整理した深層防護の実装の概念に基づき具体化する。

	安全性向上対策	対策分類							深層防護レベル						次期軽水炉の設計方針
		外部ハザードへの耐性	管理・運用性	多重性	多様性	独立性	APC等への耐性	柔軟性	L1	L2	L3	L4a	L4b	L5	
①	耐震・耐津波	X							○	○	○	○	○	—	岩盤への建屋埋込、建屋壁の増厚などの頑健化、機器耐震性の設計余裕の拡大、敷地かさ上げによるドライサイト化等
②	内部火災					X			○	○	○	○	○	—	区画分離を徹底
③	内部溢水					X			○	○	○	○	○	—	溢水区画の配管等の耐震性向上、区画分離の徹底
④	自然現象	X							○	○	○	○	○	—	建屋の頑健化等
⑤	電源信頼性		X		X	X		X	—	—	—	○	○	—	恒設設備での対応を基本として可搬型設備を組合せ
⑥	安全系トレン構成			X		X			—	○	○	—	—	—	信頼性向上の観点から多重性と独立性を考慮したトレン構成
⑦	安全系水源		X						—	—	○	○	—	—	CV内のRWSPの設置（事故時再循環切り替え廃止）
⑧	炉心損傷防止（SFP内燃料損傷防止）		X					X	—	—	—	○	—	—	恒設設備での対応を基本として可搬型設備を組合せ
⑨	RCPシールLOCA		X						—	—	—	○	—	—	RCPシャットダウンシールによる全交流電源喪失時のシールからの漏えいを防止
⑩	インターフェイスLOCA		X						—	—	—	○	—	—	RCSに接続する配管ラインの設計圧力増強、隔離弁の2重化等
⑪	格納容器破損防止		X					X	—	—	—	—	○	—	恒設設備での対応を基本として可搬型設備を組合せ
⑫	溶融炉心冷却		X						—	—	—	—	○	—	ドライキャビティ方式
⑬	意図的な航空機衝突				X	X	X		○	○	○	○	○	—	建屋頑健化、分散配置・区画分離の徹底、SAと特重の統合（炉心損傷防止とCV破損防止機能の独立性強化）

3.（4） 次期軽水炉の設計に対する評価と考察 （3/6）

②バランスの良い深層防護の実装の評価(1/2)

- 各深層防護レベルの安全対策がバランス良く講じられ、あるレベルの防護策に負担を集中させないことが重要。
- 各深層防護レベルのバランスを示すためにはPRAの活用が有効。
- 各深層防護レベルを突破される頻度は以下の指標で示すことが可能。
  - 深層防護レベル4a：CDF（炉心損傷頻度）
  - 深層防護レベル4b：CFF-2(管理放出機能喪失頻度)
- 設計評価のスパイラルアプローチにおける初期段階での内的事象のPRA結果(暫定値)を示す。



次期軽水炉の内的事象のPRA結果（暫定値）

- CDFは十分低い値であり、かつCFF-2はCDFに対して概ね1/10程度。
- 「絶対値としてCDFを低い値に設定しても、条件付き確率として一定の防護性能を確保してCFF-2を設定する。」との次期軽水炉の設計目標の設定の考え方に整合しており、バランスの良い防護性能を達成できていると評価。
- 今後、PRAの不確実さを認識した上で、PRA以外の様々な情報も考慮して、スパイラルアプローチを継続してより安全でより合理的な設計の最適化を図っていく。

3.（4） 次期軽水炉の設計に対する評価と考察 （4/6）

②バランスの良い深層防護の実装の評価(2/2)

内的事象PRA評価からの考察であるが、外的事象を考慮しても、以下のとおり、深層防護の実装のバランスは維持できると考える。

- 地震、津波、内部火災、内部溢水等の外的事象に対しては、次期炉WGフェーズ1で示された次期軽水炉の深層防護レベルの厚さのイメージ図（2.（3）節）に示される通り、深層防護レベル毎に対策するようなものではなく、プラント全体の耐性を強化するものである（建屋耐震化、ドライサイト化、区画分離など）。これらの対策は、レベル4a、4bも含めたリスクを全体的に低減するものである。
- 地震や津波等の外的事象を起因とした事象に対しては、今後、サイト条件などの様々な情報を取り込んで設計にフィードバックし、対策設備毎に設計のマージンを確保して、外的事象に対しても各種対策設備が有効となるようにしていく。したがって、外的事象に対する各レベルのリスクも段階的に低減できると考えられる。

3.（4） 次期軽水炉の設計に対する評価と考察 （5/6）

③既設炉に対する優位性について(1/2)

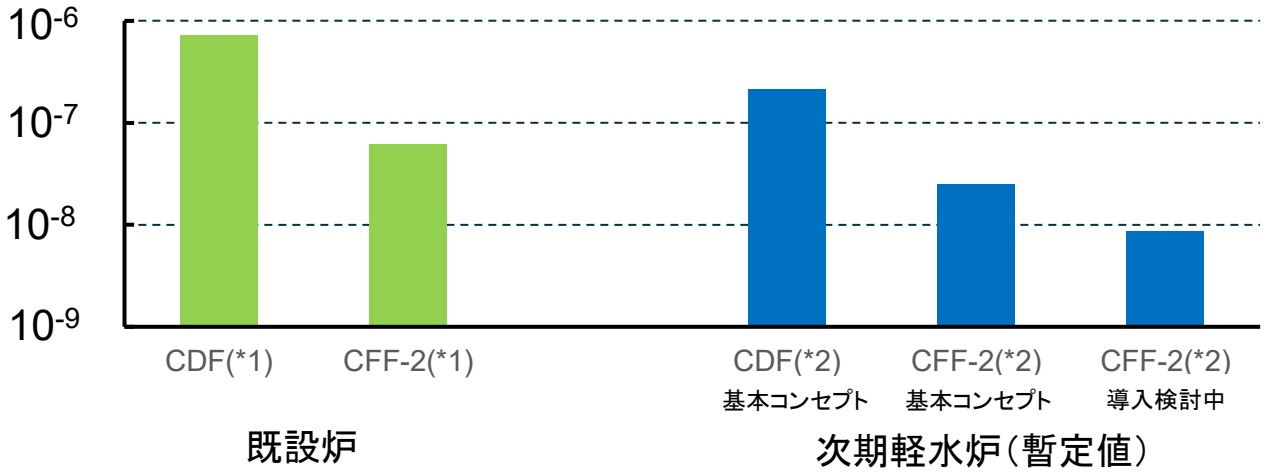
➢次期軽水炉で採用する主要な設計コンセプトを既設炉と比較して下表に示す。また、あわせてCDF、CFF-2の評価結果の比較を次頁に示す。

主要な設計コンセプト		既設炉	次期軽水炉の設計例
DBA設備	安全系構成 （レベル2，3）	2系列	3系列 （区画分離）
	安全系水源(燃料取替用水) （レベル3，4a）	CV外設置 （水源切替要）	CV内設置 （水源切替不要）
	蓄圧注入系 （レベル3，4a）	従来型蓄圧タンク （パッシブ注入）	高性能蓄圧タンク （パッシブ注入・流量切替）
SA設備	炉心冷却 （レベル4a）	代替注水ポンプ または 代替注水ポンプ（可搬型） （いずれも4a／4b兼用）	代替炉心注水ポンプ （4a／4b分離）
	CV冷却/減圧（CVスプレイ） （レベル4b）		代替スプレイポンプ （4a／4b分離）
	CV冷却/減圧（再循環ユニット注水） （レベル4b）	大容量ポンプ （可搬型）	再循環ユニット注水ポンプ 別置き海水ポンプ
	溶融炉心冷却 （レベル4b）	ウェットキャビティ方式	ドライキャビティ方式 （パッシブ注水）
特重施設	炉心冷却	溶融炉心冷却ポンプ	SA(4b)設備と統合
	CV冷却/減圧	CVスプレイポンプ フィルタベント	

3.（4） 次期軽水炉の設計に対する評価と考察 （6/6）

③既設炉に対する優位性について(2/2)

- 次期軽水炉は安全系の系列数の変更による信頼性向上、CV内設置水源の採用による水源切替失敗の考慮不要等により既設炉に比べてCDFの低減を実現。
- 次期軽水炉ではCDFが低減されたことに加え、レベル4a設備と4b設備との独立性を高め、恒設の専用ポンプを適用することで、管理放出機能に頼ることなく既設炉に比べてCFF-2の低減を実現。（添付3-3~5「次期軽水炉での深層防護の実装例」参照）
- なお、次期軽水炉の左側のCFF-2は基本コンセプトに基づいた評価結果であり、右側のCFF-2は将来の不確かさに対応するため現在導入を検討している設備にも期待した場合の評価結果である。



内的事象のPRA結果

(*1)既設炉のCDFは高浜3号機の値（高浜3号機　第1回安全性向上評価届出書（2018年1月10日届出）より）。また、既設炉のCFF-2 は高浜3号機　第3回安全性向上評価届出書(2021年10月6日届出)に記載の特重施設を考慮した評価結果を用いた推定値。
(*2)可搬型設備に期待しない評価結果

4. まとめ

- 次期軽水炉の安全性に関する設計コンセプトをまとめ、次期軽水炉の設計のための性能目標の設定の考え方について検討した。
- 深層防護を適切に実装するための方針を具体化し、また、次期軽水炉に対する初期段階でのPRA評価結果から、次期軽水炉が既設炉よりも、より安全で、よりバランスのとれた深層防護が実装されていることを確認した。
- ついては、性能目標の設定の考え方や次期軽水炉の深層防護の実装の評価方法、結果に関してご議論をお願いしたい。

Intentionally Blank

Intentionally Blank

【添付資料】

添付2-1　既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針

添付3-1　各性能目標の関係

添付3-2　次期軽水炉でのパッシブ/アクティブ組み合わせの考え方

添付3-3　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系の多重性強化）

添付3-4　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系水源）

添付3-5　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系の独立性強化、恒設化）

添付2-1　既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（1/4）

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（1/4）

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
①耐震・耐津波性能	◆ 発電所周辺の詳細な調査に基づく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 ➢ 耐震補強、防潮堤/止水壁設置	◆ 外部ハザードに対する全体の耐性強化の観点から設定した地震動や津波高さに対する抜本的な対策を実施 ➢ 建屋壁の増厚、建屋の埋込、敷地のドライサイト化等
②-1電源の信頼性 外部電源	◆ 独立した異なる2以上の変電所等に2回線以上の送電線により接続し受電設備の号機間の融通を実施	◆ 基本的に既設炉と同様の対応
②-2電源の信頼性 所内電源	◆ 可搬型設備での対応を基本として多重化・多様化 ➢ 交流電源：多重性のある恒設非常用電源に多様性のある恒設発電機＋可搬型発電機を追加 ➢ 直流電源：恒設バッテリの容量増に加え、多様性のある可搬型直流電源＋第3系統目の恒設直流電源を追加	◆ トレン間及び防護レベル間の独立性強化の観点から位置的分散配置等の系統構成・配置の工夫を実施 ◆ 管理運用性を考慮した恒設設備を基本とした対応を主とし、シナリオの不確かさへ備えの観点から柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる

添付2-1　既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針(2/4)

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針(2/4)

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
③火災に対する考慮	◆ 火災影響軽減対策設備の追加 ➢ 耐火シート、火災検知器、自動消火設備	◆ トレン間及び防護レベル間の独立性強化の観点から区画分離の徹底等の系統構成・配置の工夫を実施 ➢ 区画分離を徹底した配置計画等
④自然現象に対する考慮	◆ 火山灰到達の可能性、竜巻(風荷重/飛来物)、森林火災への対策 ➢ 火山対策:外気取込口へのﾌｨﾙﾀ設置 ➢ 竜巻対策:防護ネットや鋼板で防護 ➢ 森林火災対策:防火帯の確保	◆ 外部ハザードに対する各防護レベルの耐性強化の観点より設定した火山、竜巻、森林火災に対する抜本的な対策を実施 ➢ 堅牢な建屋構造、防火帯の確保等
⑤内部溢水に対する考慮	◆ 溢水源からの溢水による影響(没水、被水、蒸気)を評価し対策を実施 ➢ 壁、水密扉、堰等の設置	◆ 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 ➢ 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 ➢ 区画分離を徹底した配置、溢水源の適正配置
⑥その他の設備の性能	◆ アクセスルートの確保対策として、瓦礫撤去用重機を配備 ◆ 緊急時対策所の耐性強化、通信の信頼性・耐久力の向上、計測系の信頼性・耐久力の向上	◆ 瓦礫撤去用重機の配備、緊急時対策所の耐震性強化、通信/計測系の信頼性・耐久性向上等の想定される対策を実施。

添付2-1　既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針(3/4)

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針(3/4)

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
⑦炉心損傷防止対策 (使用済燃料プール(SFP)内燃料損傷防止対策)	◆ 可搬型設備での対応を基本とし、炉心冷却/SFP内燃料冷却手段、最終ヒートシンクを多様化 ➢ 原子炉冷却機能喪失時(高圧時):全交流電源喪失かつ恒設直流電源喪失を想定し、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を用いて現場操作 ➢ 原子炉減圧機能喪失時:主蒸気逃し弁、加圧器逃し弁の駆動源として可搬型設備(窒素ボンベ)を配備 ➢ 原子炉冷却機能喪失時(低圧時):冷却設備として恒設設備を配備。ただし規制基準要求があり可搬型設備を配備 ➢ SFP内燃料冷却機能喪失時:保有水維持のため可搬型ホース/送水車を配備 ➢ 最終ヒートシンク喪失時: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	◆ 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位置的分散配置等の系統構成・配置の工夫を実施 ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 ◆ 管理運用性を考慮し、恒設設備での対応を主とし、シナリオの不確かさへ備えの観点から柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる

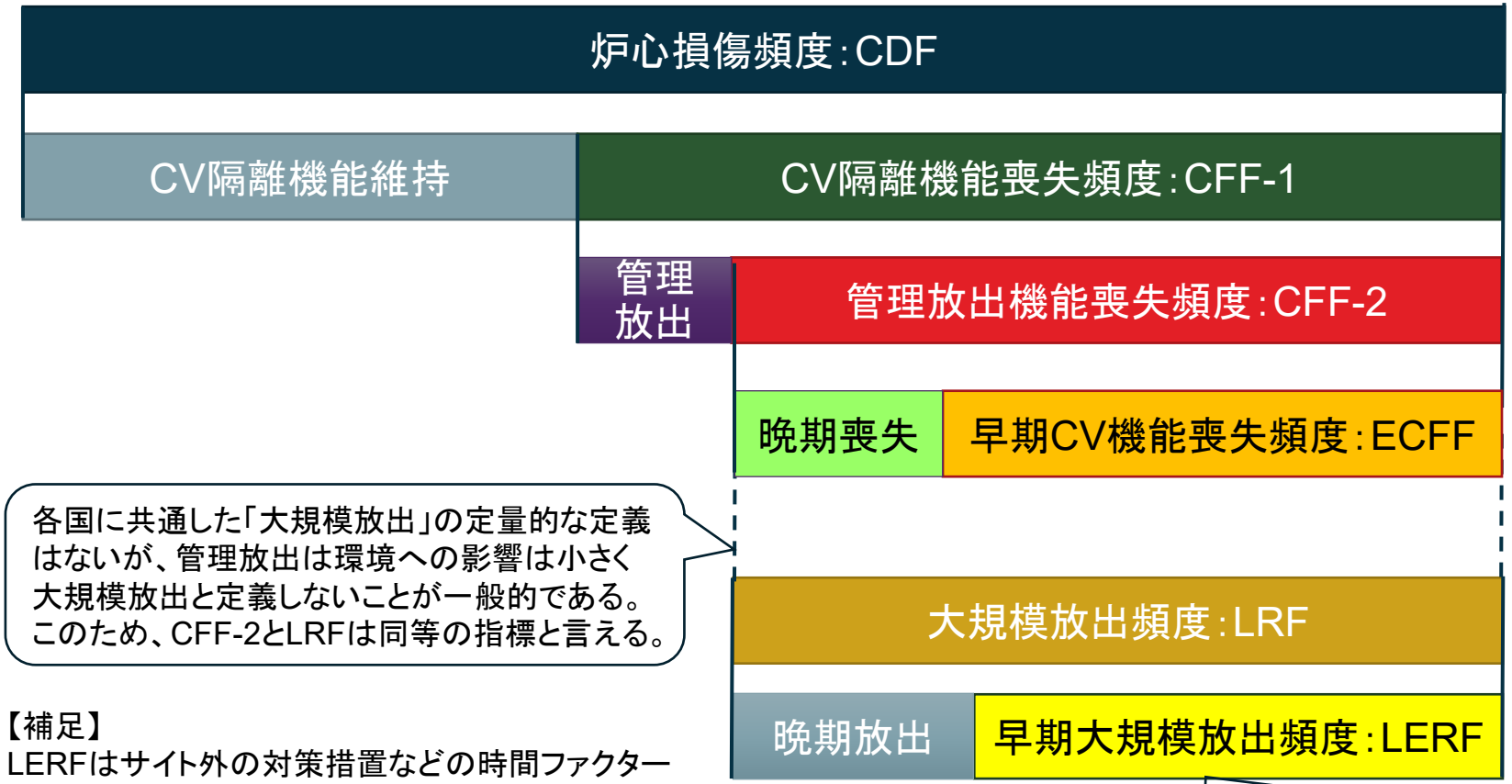
添付2-1　既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（4/4）

既設炉の安全対策と次期軽水炉の設計方針（4/4）

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
⑧格納容器破損防止対策	◆ 格納容器内冷却・減圧・放射性物質低減対策 ➢ 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	◆ 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位置的分散配置等の系統構成・配置の工夫を実施 ➢ 多様性を有した恒設設備の分散配置 ◆ 恒設設備での対応を主とし、シナリオの不確かさへ備えの観点から柔軟性が高い可搬型設備等を適切に組み合わせる
	◆ 格納容器過圧破損防止対策 ➢ 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	
	◆ 水素爆発防止対策 ➢ 静的触媒式水素再結合装置(PAR)及び水素燃焼装置(イグナイタ)の設置	◆ 基本的に既設炉と同様の対応 ➢ 静的触媒式水素再結合装置(PAR)及び水素燃焼装置(イグナイタ)の設置
	◆ 溶融炉心冷却対策 ➢ ウェットキャビティ方式	◆ 発生頻度は低いが不確かさが大きい現象に対しても、発生防止と発生した場合の影響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 ➢ 水蒸気爆発の可能性排除を考慮し、欧州の新設炉で適用されているドライ型の溶融炉心冷却設備も選択肢
⑨放射性物質の拡散抑制対策	◆ 可搬型設備での対応を基本 ➢ 放水砲、放水砲用大容量ポンプ、シルトフェンス	◆ 既設炉と同様、想定を大きく超える事象への対応となるため可搬型設備が基本 （なお、可搬型設備の仕様共通化等により運用性向上を図る）
⑩意図的な航空機衝突への対応	◆ 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	◆ 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

添付3-1：各性能目標の関係

- 一般的な性能目標指標であるCDF、CFF−1、CFF−2、ECFF、LRF及びLERFの関係の概念図を示す。
- 本図は互いの頻度の相対関係を示すために作成した概念図であり、棒グラフの長さは頻度を示す。但し、定量的な関係を示すものではない。



各国に共通した「大規模放出」の定量的な定義はないが、管理放出は環境への影響は小さく大規模放出と定義しないことが一般的である。このため、CFF-2とLRFは同等の指標と言える。

【補足】
LERFはサイト外の対策措置などの時間ファクターなどを考慮する指標であるのに対し、CFF-2(LRF)はそれらの考慮が不要である。したがって、特定のサイトを想定しない基本（標準）設計段階においては、CFF-2(LRF)の方が適していると言える。

LRFとLERFにおける「大規模放出」の定量的な定義が同じ場合のLRFとLERFの相対関係の概念図。（もし、「大規模放出」の定量的な定義がLRFとLERFで異なるようであれば、このような相対関係になるとは限らない。）

Intentionally Blank

添付3-2　次期軽水炉でのパッシブ/アクティブ組み合わせの考え方

- 左図のように、アクティブ機器とパッシブ機器は互いに強み、弱みともに表裏一体の概念であるため、両者を適切に組み合わせたシステムを構築し、互いのウィークポイントを補うことにより信頼性を向上させることが望ましい。
- また、炉心の崩壊熱自体を駆動力とするタービン駆動給水ポンプ等は、IAEA の分類では静的機器と分類できるが、動的機器概念の特徴も持つ設備であり、いわば自律型機器と位置付けられるため、このような設備の組み合わせ方も重要である。

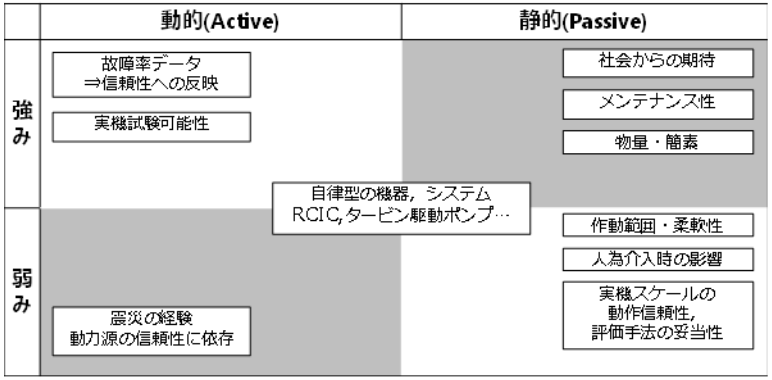


図 4.5.1. 動的・静的機器、システムの強みと弱みの整理

（参考）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 平成29年3月

- 組み合わせ方法については、「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会の報告書では、以下のような考え方があげられている。
  - ①　深層防護の各レベル別にアクティブ機器とパッシブ機器の役割を位置付ける考え方。
  - ②　アクティブ機器のみで構成された安全系とパッシブ機器で構成された安全系それぞれが独立に深層防護の各段階に対応できる機能を備えるように設計する考え方。
  - ③　事象・事故発生からの時間経過別に、パッシブ機器とアクティブ機器の役割を位置付ける考え方。
- 上記に加え、実設計においては、外部事象、特に地震に対する考慮が重要である。一般にパッシブ系の冷却システムは、その特性上、大容量の水源を建屋の高所に設置することが多く、建屋躯体の耐震性への影響、地震による溢水等の影響を考慮する必要がある。このように建屋を含めたプラント全体で最適な組み合わせの検討をおこなうことが望ましい。

添付3-2　次期軽水炉でのパッシブ/アクティブ組み合わせの考え方

- PWRの事故時における蒸気発生器（SG）2次側冷却については、アクティブ、パッシブ、自律型の3種類の機器が考えられる。それぞれの特徴について、下表に示す。

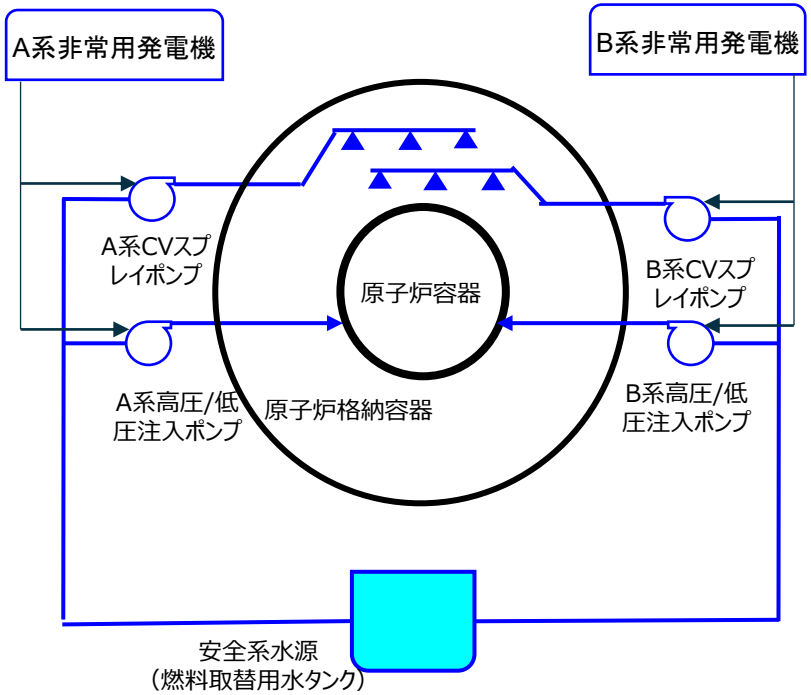
SG2次側冷却におけるパッシブ／アクティブ機器の例

	アクティブ	パッシブ	自律型
機器	電動補助給水ポンプ	静的SG冷却設備	タービン動補助給水ポンプ
利点	・高い駆動力により裕度を確保（配置の自由度） ・試験可能	・電源等の駆動源がなくても稼働可能 ・ヒューマンエラー低減	・高い駆動力により裕度を確保（配置の自由度） ・電源がなくても稼働可能 ・試験可能
欠点	・電源（駆動源）が必要	・高所設置による設計への影響 ・駆動力が小さく、設計裕度小	・蒸気（駆動源）が必要

- パッシブ／アクティブの組み合わせについては、単一のシステムだけで評価するのではなく、深層防護全体で評価し、適切な組み合わせを考えることが重要である。
- PWRではSG2次側冷却機器として、アクティブ＋自律型を選択している。

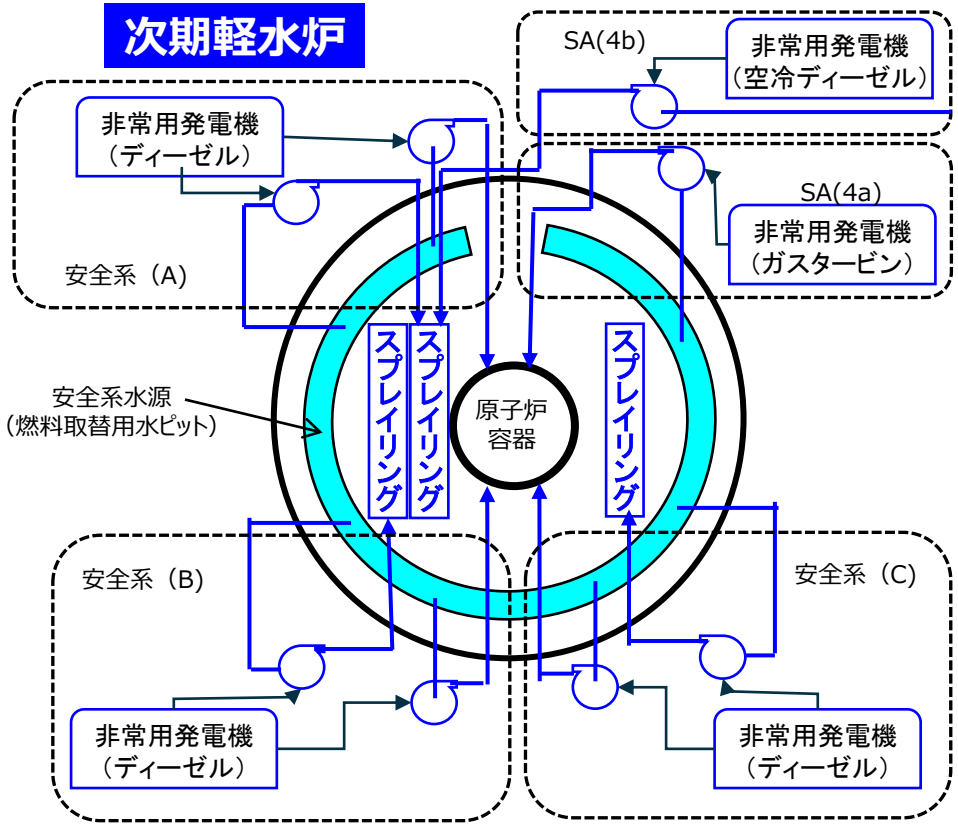
添付3-3　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系の多重性強化）

既設炉



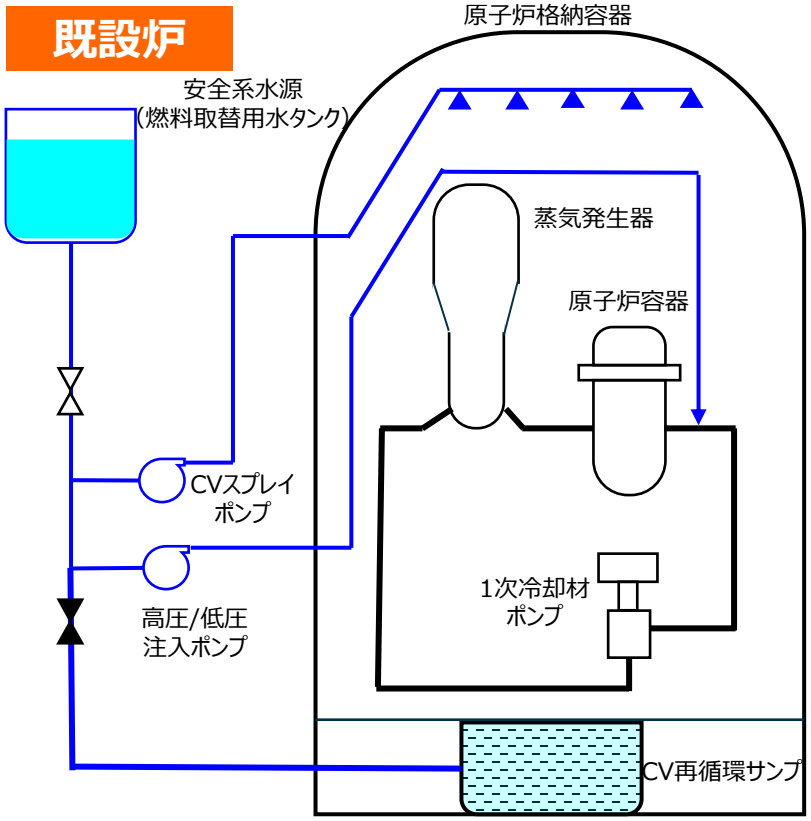
安全系は電源も含め多重化（2トレン）

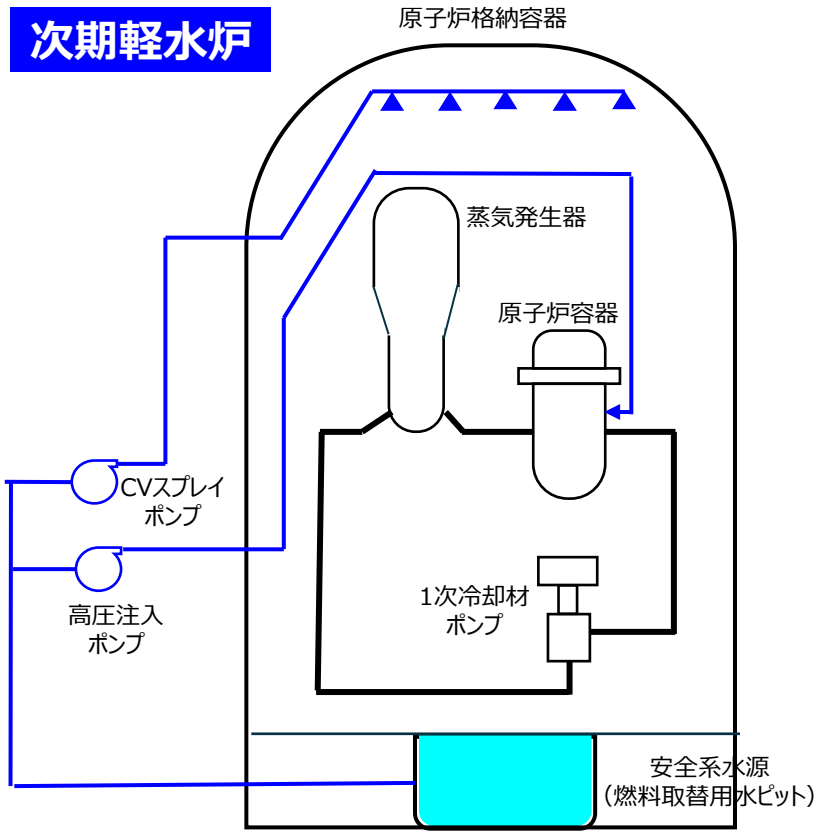
次期軽水炉



安全系3トレンを区画分離で多重性・独立性を強化

添付3-4　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系水源）





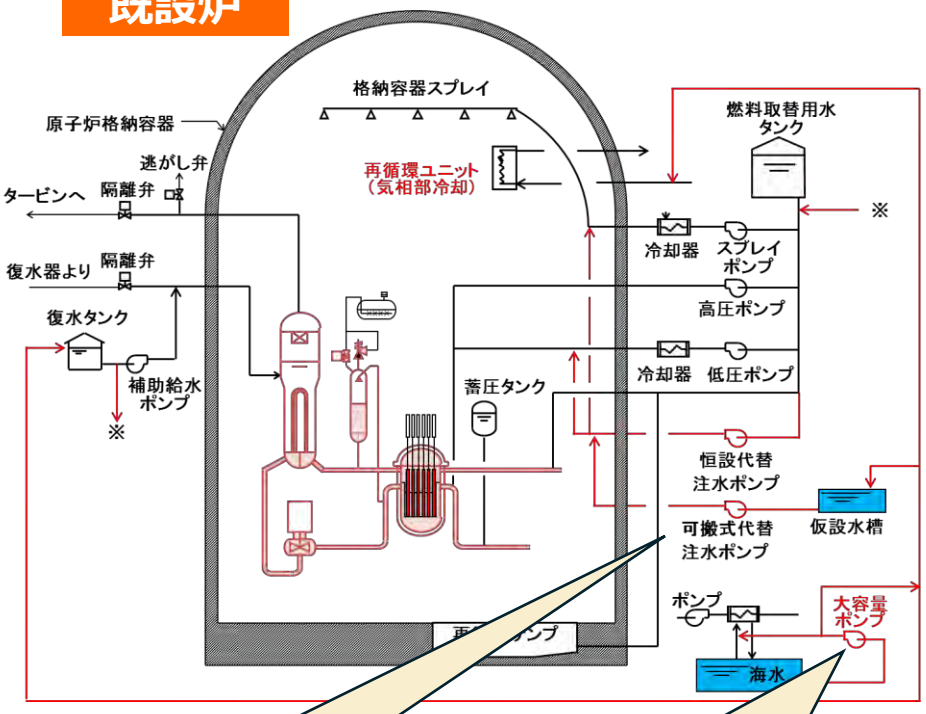
水源切替時に弁開閉動作やポンプ発停動作有り。
自動切換機構を導入済みのプラントであれば操作失敗確率を低減。

安全系水源を格納容器内設置とすることで、水源切替が不要。
→ECCS再循環機能喪失事象の考慮不要

添付3-5　次期軽水炉での深層防護の実装例（安全系の独立性強化、恒設化）

➢ 国内の新規制基準へ完全に適合した新しい安全設計の採用、独立性強化、恒設化等により、世界最高水準の安全性、信頼性を実現

既設炉

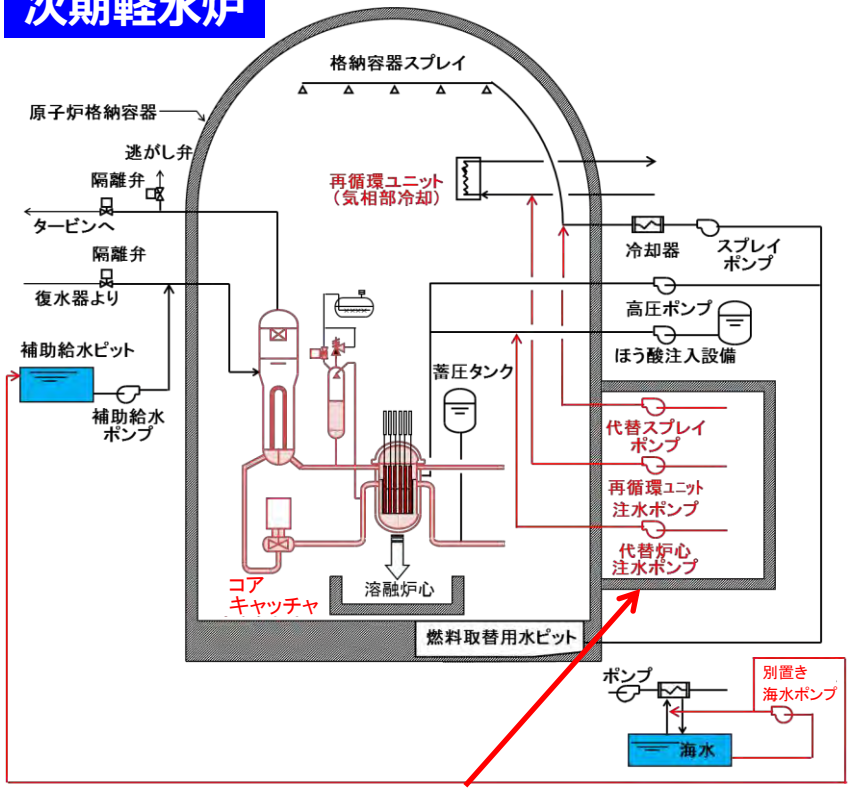


可搬式代替注水ポンプ

大容量ポンプ

可搬型設備での対応が基本

次期軽水炉



・建屋内への恒設設備配置による外部ハザードへの耐性強化
・恒設化で現場操作を不要とし、ヒューマンエラーの低減と、対処時間の短縮が可能
・恒設化とすることで設備の信頼性も向上

設計段階からSA事象を考慮(恒設化による対応)