

2025年3月18日

第2回 建替原子炉の設計に関する事業者との実務レベルの技術的意見交換会の
資料2-1に対してコメント回答内容に係る資料を一部追加。

また、資料の表現等の整合の観点から一部追記、一部見直しを実施。

(ページ右上に **新規追加** 等を記載)

SRZ-1200を題材とした 革新軽水炉の安全設計の考え方

2025年10月1日

原子力エネルギー協議会

(ATENA : Atomic Energy Association)

○ 既設炉での対応

- 既設炉は、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「1F事故」という）後に策定された**現行規制基準に適合**させるため、追加安全対策等が実施され、安全性が高められている

○ 革新軽水炉の設計上の強み

- 1F事故の反省を踏まえて作られた現行規制基準の理念は、革新軽水炉においても踏襲すべきもの
- その上で、革新軽水炉は、**設計段階から予め対策・戦略を検討して、必要な機能を有する設備の構成や配置、区画等も工夫して実装できることが強み**
- 従って、革新軽水炉は、既設炉の知見を活用しつつ、既設炉とは異なる設計や技術も採用することにより、**合理的に高い安全性**の実現が可能となる
- なお、現行規制基準と**海外規制基準**を比較し、設計に取り込むことで、安全性を更に高める余地がないか確認したところ、SRZ-1200では取り込む要素はなかった



設計段階から柔軟に対策できる特性を活かした
革新軽水炉の目指すべき安全設計のコンセプトを次頁で整理する

- 革新軽水炉では、東京電力福島第一原子力発電所事故の反映を踏まえて策定された現行の規制基準の理念を踏襲し、起因事象から進展を防止する**設計基準事象対策の徹底**に加え、設計段階から**大型航空機の衝突(APC)を含む重大事故等をあらかじめ想定**した柔軟な設備構成が可能。
- 目指すべき安全設計のコンセプトを以下の通り整理。

○ 革新軽水炉の目指すべき安全設計のコンセプト

- ・ 事故状態を緩和させ、次の状態への移行を防止する、**深層防護の考え方**を実装
- ・ 特定の深層防護レベルの対策に過度に依存するのではなく、**バランス良く防護対策を配置**
 - a. 設計基準事象への対策の徹底
 - **トレン数の増加、分散配置、区画分離の徹底**や建屋の頑健化等による**高い堅牢性確保**
 - b. 重大事故等（APCその他テロ事象含む）への対策最適化
 - 多様性及び独立性確保により**共通要因故障を防止**した上での**最適な設備構成**
 - c. 想定事象を超えるような事故進展、対策シナリオの**不確かさへの備え**も確保

 上記コンセプトを基に、合理的に高い安全性を達成するために「革新軽水炉の目指す姿」について、SRZ-1200の設計を題材に整理

目指す姿

深層防護の実装、 バランスの良い 防護対策の配置	a. 設計基準事象 への対策の徹底	安全機能を有する設備の信頼性向上
		運転員操作の低減による安全性向上
		各種ハザードへの耐性強化
	b. 重大事故等への 対策最適化	SA設備の独立性、多様性強化
		常設設備を基本としたSA設備による信頼性向上
		各種ハザードへの耐性強化
		APCその他テロ事象への対応
		DB設備及びSA設備に対するAPCその他テロ事象への 耐性強化
		格納容器破損防止対策設備の特重仕様化
		新技術の導入
	c. 設計想定を超える 不確実さへの対応	不確実さ対応としての可搬型設備の配備
		放射性物質拡散防止対策
		格納容器冷却機能・減圧機能の強化

革新軽水炉“SRZ-1200”の設計について

- **SRZ-1200**は、国内既設炉建設・運転実績及び新型軽水炉開発で培った**ブルーボンな技術をベースに1F事故の教訓を踏まえた現行規制基準の反映、新設ならではの安全対策や革新的技術の実装により、世界最高水準の安全性を達成。**
- **カーボンニュートラルの実現やエネルギー安定供給などの社会課題の解決に貢献。**

超安全 ***Supreme Safety***

あらゆる自然災害（地震/津波/竜巻など）に対する高い耐性
多重化多様化した安全対策により万一の事故時においても放射性物質を閉じ込めて影響を発電所敷地内に限定
大型航空機衝突やサイバーテロなどの外部脅威に対しても高度なセキュリティ対策でプラント安全機能を防護

地球に優しく ***Zero carbon & Sustainability***

発電過程でCO₂を排出しないカーボンフリー電源
電力需給状況に応じた高度な調整力により再生可能エネルギーと共存し、持続可能なカーボンニュートラル社会の実現に貢献

大規模な電気を安定供給

Resilient light water Reactor

準国産エネルギーとして、国際情勢や天候に左右されず、人々の暮らしを支える電気を安定的に供給



S: Supreme Safety（超安全）、Sustainability（持続可能性）
R: Resilient（しなやかで強靱な）light water Reactor（軽水炉）
Z: Zero Carbon（CO₂排出ゼロ）で社会に貢献する究極型（Z）
（1200は電気出力120万kW級を表しています）

- **現行規制基準の理念を踏まえ、更に新たな安全メカニズムを取り入れて**、地震・津波その他自然災害への対応、大型航空機衝突・テロ対策、受動的安全システム等の安全対策に加え、再生可能エネルギーとの共存等の社会ニーズを踏まえたプラント機能向上を目指して基本設計を推進中。

パッシブ安全設備の導入

電源を必要としないパッシブ安全設備も用いて炉心冷却、熔融炉心対策

冷却・閉じ込め機能強化

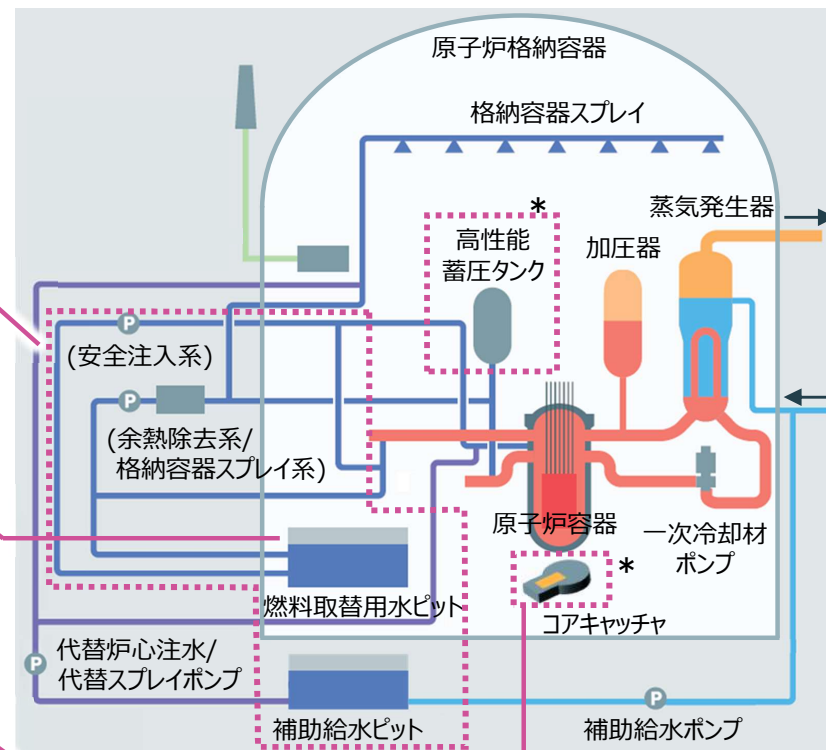
炉心・格納容器冷却システム等の多重性・多様性を強化

運転員操作低減

再循環切替操作の不要化等

熔融炉心対策

万一の炉心熔融時にもデブリを専用設備（コアキャッチャ）に捕捉
【新技術の導入】



大型航空機衝突対策

航空機衝突に耐えうる格納容器の強靱化

耐震性向上

岩盤埋込等による建屋安定化

津波、その他自然災害への耐性

津波・竜巻・台風・火山等の自然災害への耐性を強化

＜標準プラントでの設計例＞

革新軽水炉"SRZ-1200"の特徴（詳細）

7

目指す姿		SRZ-1200の特徴・設計例	No.
深層防護の実装、バランスの良い防護対策の配置		深層防護の実装（層間の分離、独立性の確保）	1
a. 設計基準 事象への対 策の徹底	安全機能を有する設備の信頼性向上	主要機器の改良設計（RV:上部挿入ICISの採用、RCP:耐SBOシール）	2
		安全系設備の3系列化（多重性・独立性強化）	3
		高性能蓄圧タンクの採用（信頼性向上）	4
		インターフェイスシステムLOCA対策（IRWSP※及び余熱除去配管耐圧強化）	5
	運転員操作の低減による安全性向上	原子炉格納容器内への水源配置による再循環切替操作の不要化	6
		破損ループへの早期給水隔離対応に補助給水自動隔離の採用	7
	各種ハザードへの耐性強化	火災、溢水対策として区画分離徹底による共通要因故障防止機能の強化	3
		耐震性：岩盤埋込等による建屋安定化、津波耐性：ドライサイト化	8
b. 重大事故 等への対策 最適化	SA設備の独立性、多様性強化	区画分離徹底、ガスタービン発電機の採用	3
	常設設備を基本としたSA設備による信頼性向上	常設SA設備（別置海水ポンプ、ガスタービン発電機等）の採用	9
	各種ハザードへの耐性強化	DB設備とSA設備の区画分離徹底による共通要因故障防止機能の強化	3
	APCその他テロ事象への対応	—	—
	DB設備及びSA設備に対するAPCその他テロ 事象への耐性強化	原子炉建屋のAPC耐性強化、区画分離徹底、格納容器外部遮蔽壁の頑健 化	10
	格納容器破損防止対策設備の特重仕様化	格納容器破損防止機能を有するSA設備と特重施設を統合	10
c. 設計想定 を超える不確 実さへの対応	新技術の導入	熔融炉心冷却対策としてドライ型コアキャッチャ（パッシブ安全設備）を採用	11
	シナリオの不確実さ対応としての可搬型設備の配備	大規模損壊対応設備として可搬型設備を配備	12
	放射性物質拡散防止対策	放水設備等を配備（既設炉と同様）	12
	格納容器冷却機能・減圧機能の強化	SA及び特重事象用の再循環ユニットに加え、フィルタベントシステムの設置	13

□：規制の予見性が十分でなく、今後の開発推進に大きな影響を及ぼす設計変更点(論点と整理) ※：IRWSP(格納容器内燃料取替用水ピット)

1. 深層防護の実装（層間の分離、独立性の確保）

8

- 設計基準事象への対策として、**信頼性の強化**、**多重性の強化・区画分離の徹底**等、異常状態や事故の発生・拡大を防止。
- さらに、重大事故等(SA)をあらかじめ想定。その事故状態を緩和する設備を設置し、**層間の分離、独立性の確保**。
- **常設設備を基本としたSA対応**を採用するとともに、**格納容器破損防止機能を有するSA設備(特重施設以外)と特重施設の統合**を志向。

既設炉

第1層（異常の発生防止）	1 系列常用システム
第2層（異常の検知・制御）	<u>2 系列</u> 安全システム
第3層（事故の拡大防止）	<u>2 系列</u> 安全システム
第4層（SA緩和）	4 a （炉心損傷防止）
	4 b （格納容器破損防止）
大規模損壊対応、放射線影響緩和	

既設炉の深層防護設計方針は、第1層から第3層までは1系列常用システムと2系列安全システムで構成されている。第4層は4a（炉心損傷防止）と4b（格納容器破損防止）に分かれており、4bには専用特重施設（常設）が設置されている。大規模損壊対応、放射線影響緩和には可搬型設備が利用される。

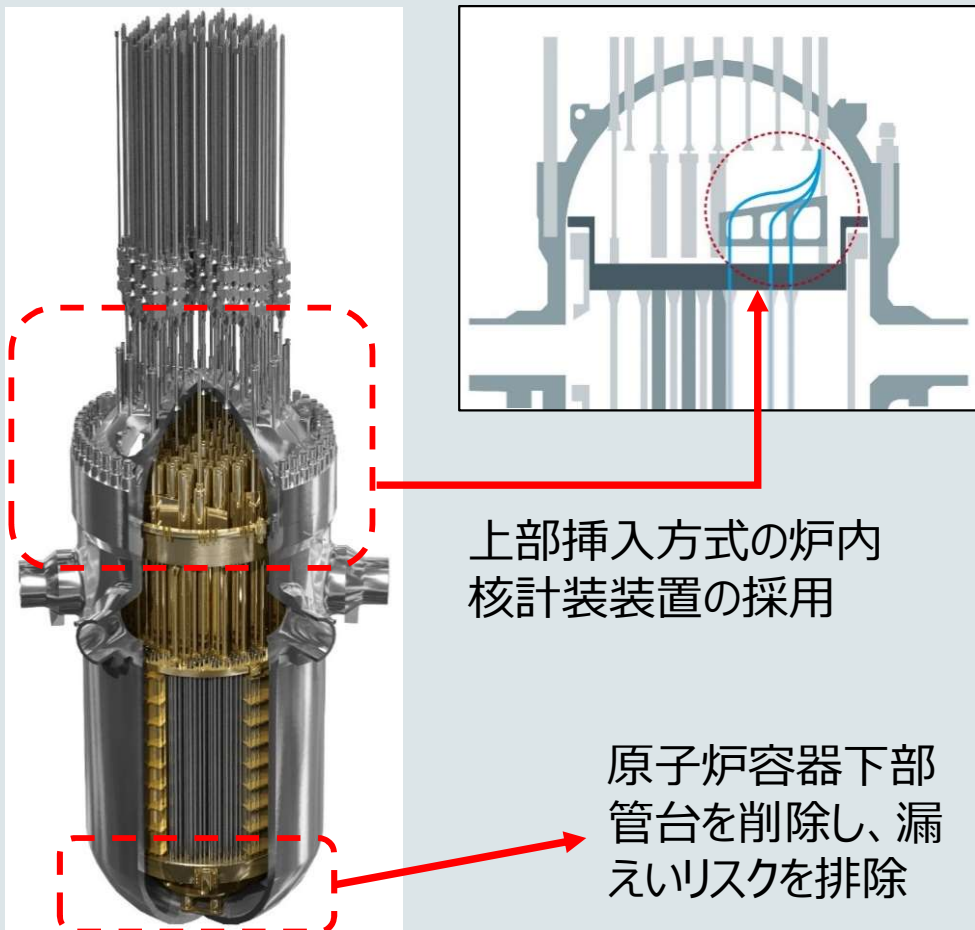
SRZ-1200における深層防護設計方針

1 系列常用システム （信頼性強化）
<u>3 系列</u> 安全システム （多重性強化・区画分離徹底等）
<u>3 系列</u> 安全システム （多重性強化・区画分離徹底等）
常設設備を基本 【代替炉心注入ポンプ等】
常設設備を基本（離隔または建屋頑健化） 【格納容器再循環ユニット＋FVS（バックアップ）等】
可搬型設備

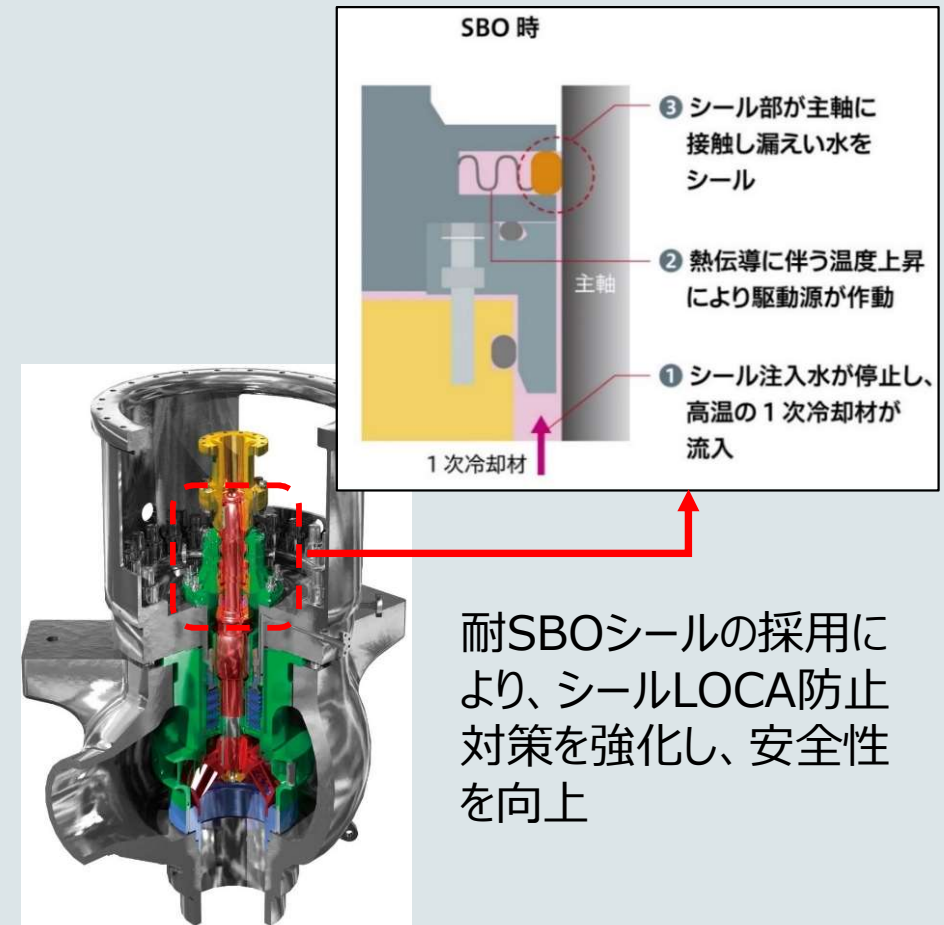
SRZ-1200の深層防護設計方針は、1系列常用システム（信頼性強化）と3系列安全システム（多重性強化・区画分離徹底等）で構成されている。3系列安全システムは2層にわたって設置されている。常設設備を基本とし、大規模損壊対応、放射線影響緩和には可搬型設備が利用される。

- 原子炉容器下部管台の削除による漏えいリスクの排除（**上部挿入方式の炉内核計装装置**の採用）。
- 1次冷却材ポンプに**耐SBOシール**採用により安全性を向上。

原子炉容器の改良設計



1次冷却材ポンプの改良設計



3. 安全系設備の3系列化および区画分離徹底

10

- **新しい安全メカニズムの採用、多重性・多様性の強化**により、安全性と信頼性を向上。
- 安全系設備やSA設備の**区画分離徹底**による**共通要因故障（火災、溢水）防止機能の強化**。

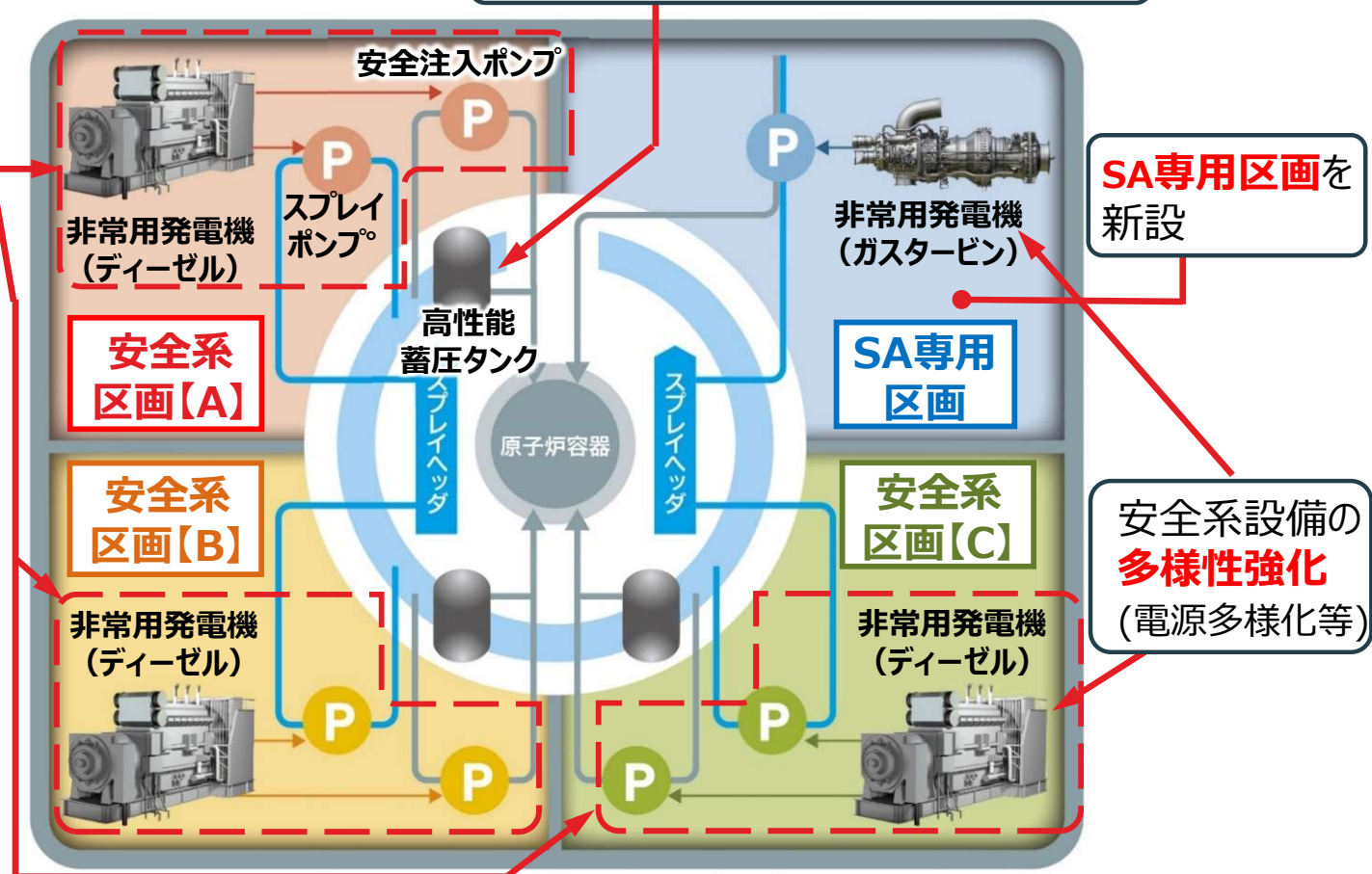
<設備構成>

**安全系設備(炉心冷却/
CV閉じ込め)の多重性強化**

【既設炉】 **2系列**
↓
【SRZ-1200】 **3系列**

安全系設備を系列ごとに
徹底した区画分離
・ 区画A、B、Cそれぞれに
安全設備を**分散配置**
➡ 火災等の**同一要因に**
よる安全系設備全喪失
を防止

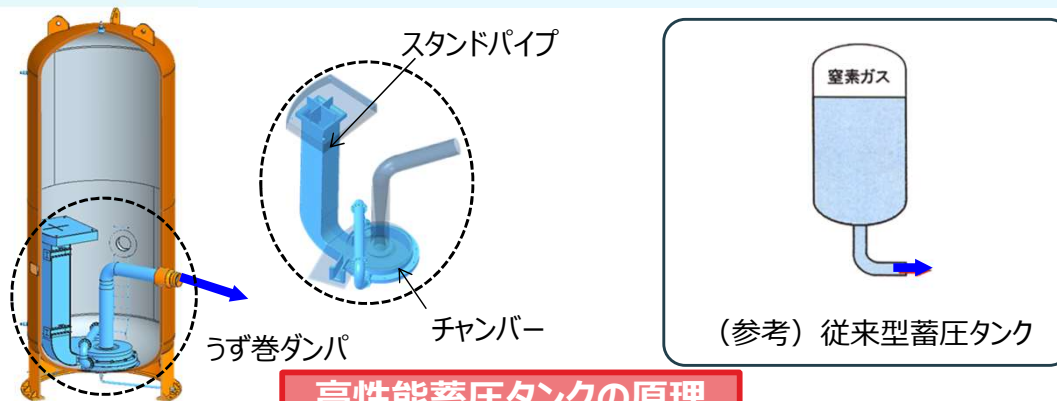
パッシブ安全設備の導入
(パッシブ・アクティブ設備のベストミックス)



4. 高性能蓄圧タンクの採用（信頼性向上）

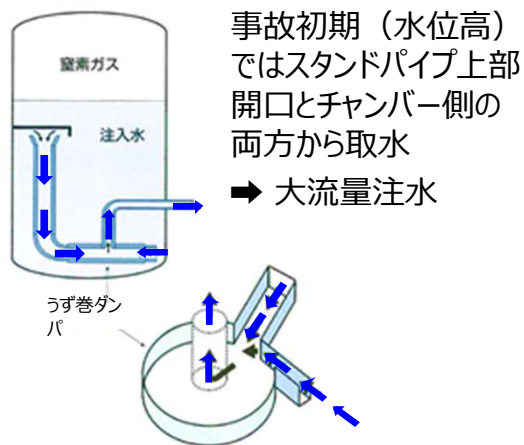
11

- 一次冷却材配管破断事故時には、 N_2 ガスで加圧した蓄圧タンクからのパッシブ注水で炉心冷却。
- **高性能蓄圧タンクは、うず巻ダンパ機構により、タンク内水位低下に応じてパッシブに大流量から小流量に切り換え、炉心冷却に必要な流量のみを一定時間継続して注水可能。**
- 従来の動的ポンプ機能のうち**低圧注入を高性能蓄圧タンク（パッシブ）に持たせ、安全注入ポンプと組み合わせることで、炉心冷却の信頼性を向上。**

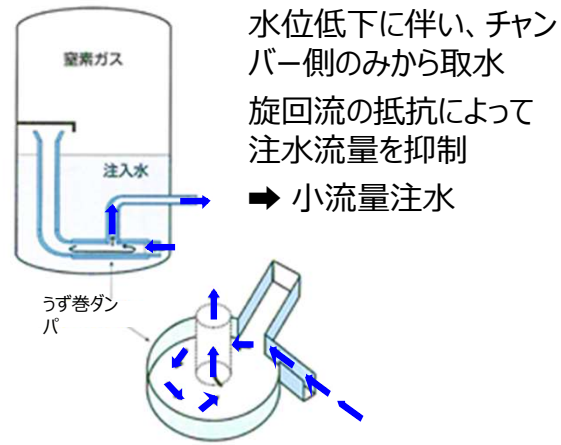


高性能蓄圧タンクの原理

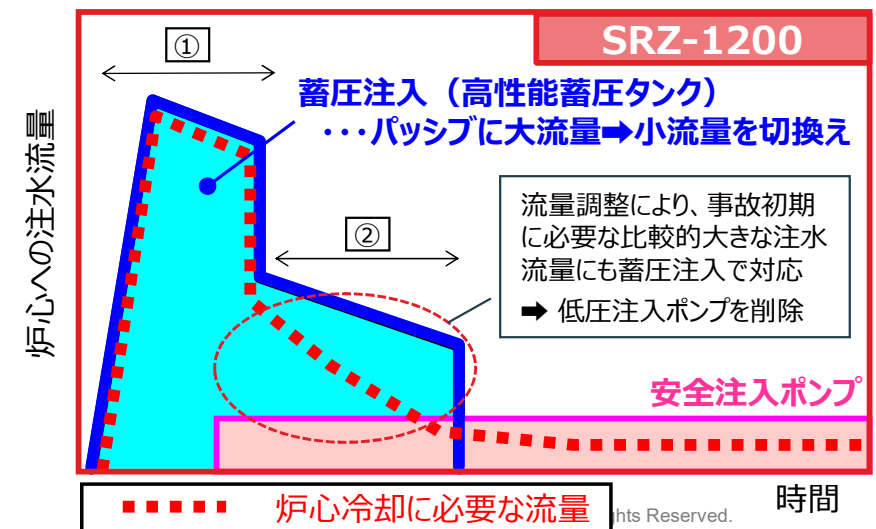
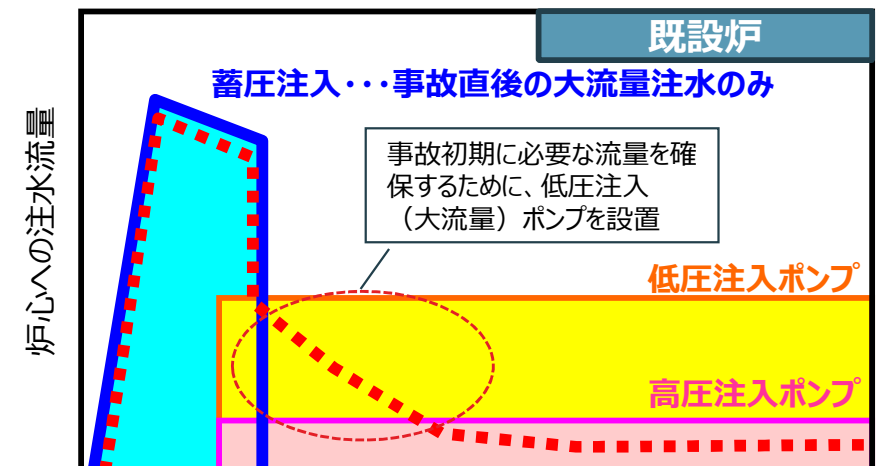
①大流量注水時



②小流量注水時

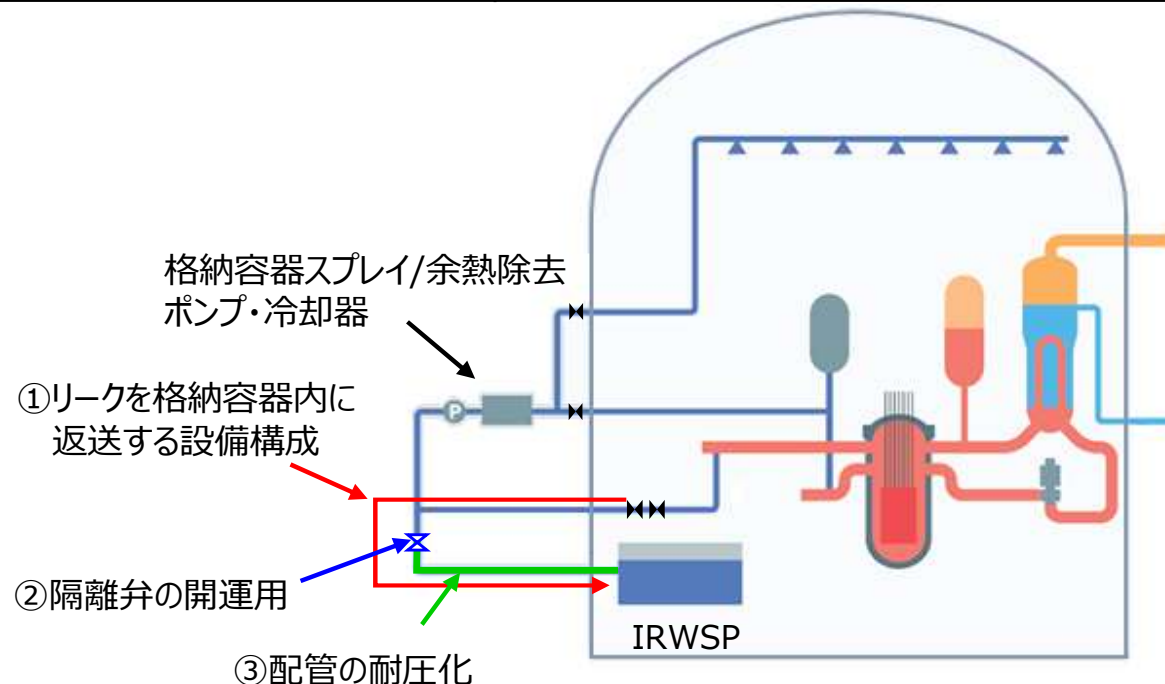


事象進展

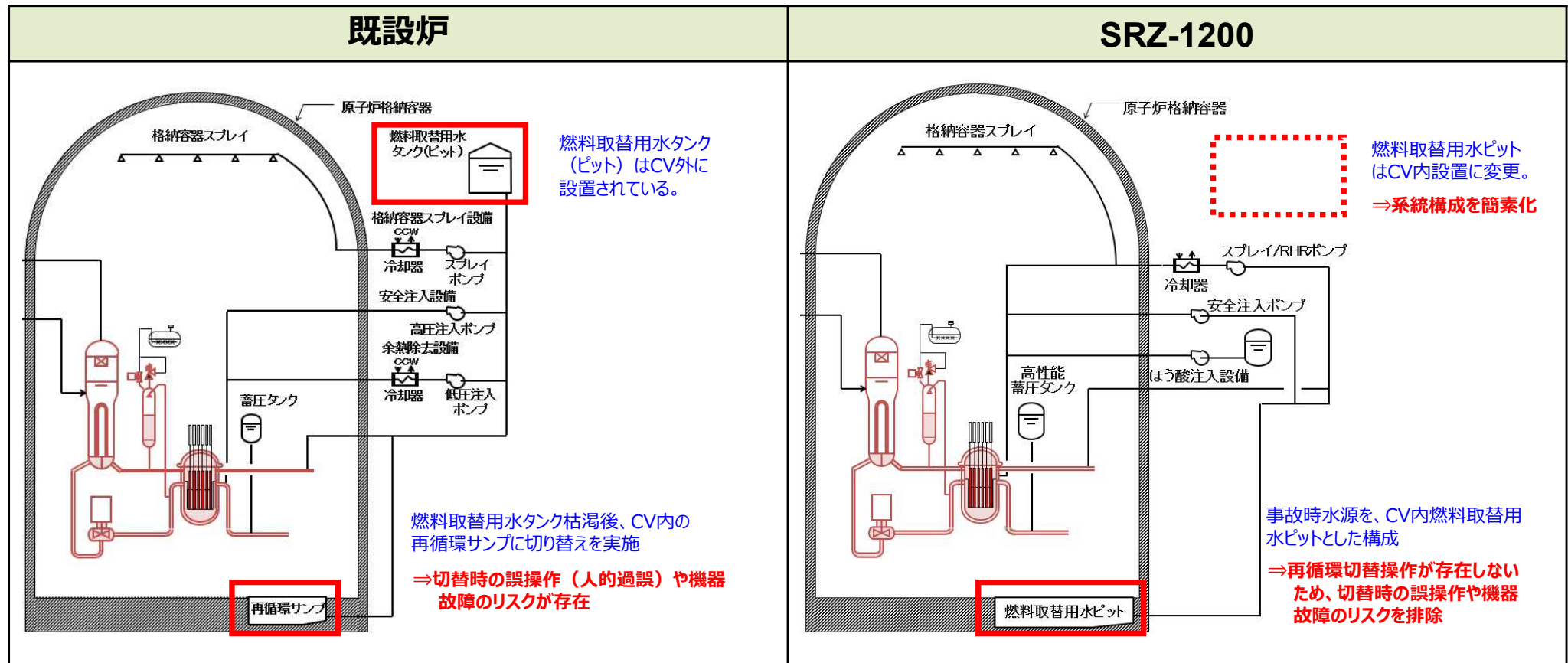


- 余熱除去系統吸込ラインはIRWSPに開放されている構成を採用、またリークパスとなる余熱除去配管を耐圧強化し、万一リークが発生した場合でも配管系の破損を防止することでIS-LOCA発生を防止する。

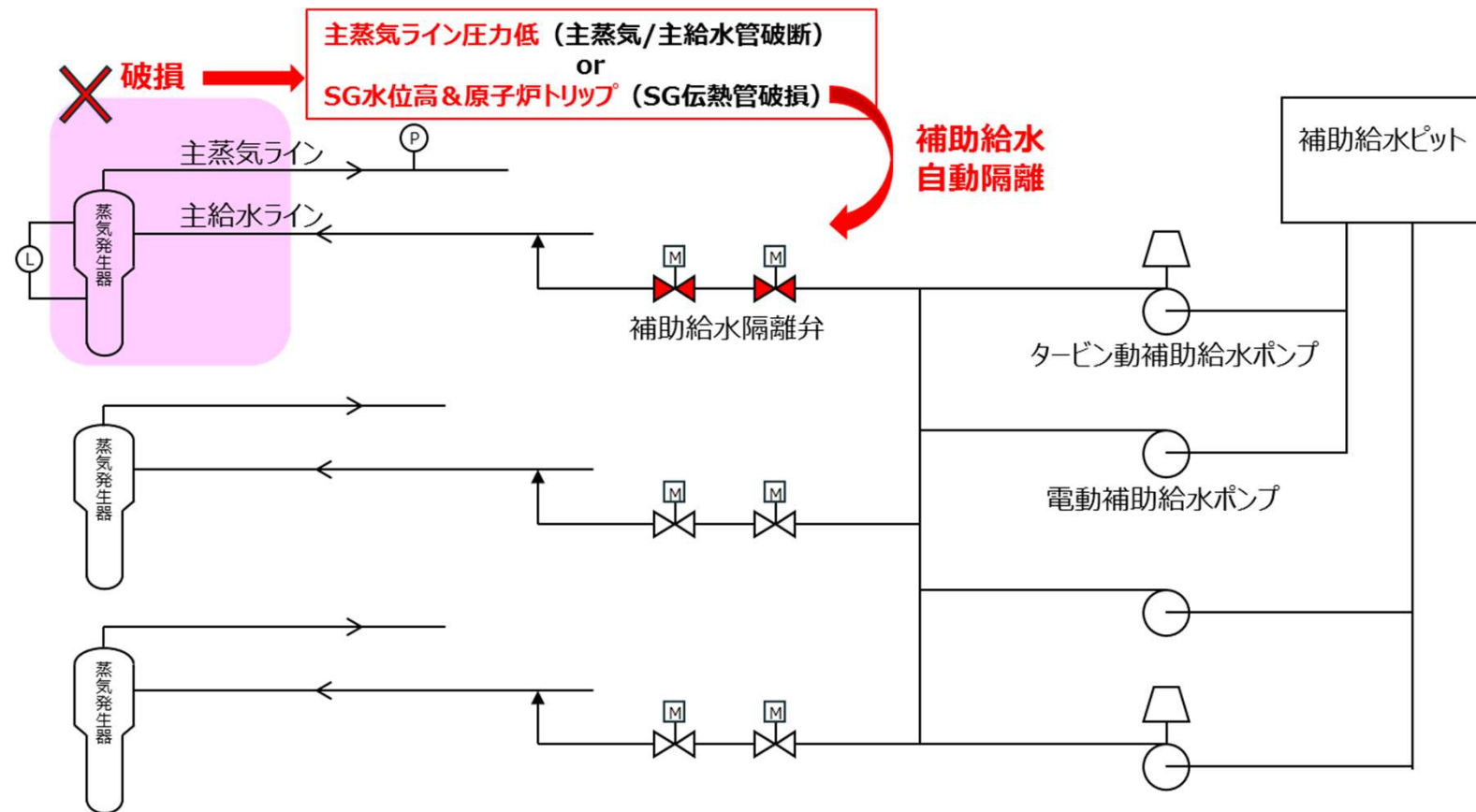
対象	対策	設計の考え方
IS-LOCA 対策	①余熱除去系統構成の変更	1次冷却材系統と余熱除去系統を接続する1次冷却材圧力バウンダリの隔離弁からのリークが発生した際にも漏えい水を格納容器内燃料取替用水ピット（IRWSP）に返送する設備構成とすることで、IS-LOCAによる格納容器バイパス事象の発生を防止
	②配管隔離弁の開運用	上記を達成するため、IRWSPを水源とする余熱除去系統への格納容器隔離弁は通常時開運用
	③配管の高耐圧化	高圧の1次冷却材の流出を想定し、系外への漏えいとなり格納容器バイパス事象のリークパスである余熱除去配管も耐圧強化



- 既設炉では燃料取替用水タンク（ピット）をCV外に設置。事故時、安全系設備の水源を運転員がCV内の再循環サンプに手動で切り替えて注水を継続するが、切替時の誤操作（人的過誤）や機器故障のリスク有り。
- SRZ-1200では**燃料取替用水ピットをCV内に設置**することで、系統構成の簡素化を図るとともに、切替作業が存在しないため、運転員操作低減による切替時の誤操作（人的過誤）や機器故障のリスクが排除され、**安全性の向上**に寄与。



- 既設炉では主蒸気管/主給水管破断や、SG伝熱管破損事故が生じた場合、運転員が手動で破損SGへの補助給水隔離の操作を実施。
- SRZ-1200では、**破損SGへの補助給水隔離を自動化**することで、運転員操作低減による隔離時の誤操作（人的過誤）が排除され、**安全性の向上**に寄与。



- 1F事故の反省を踏まえ、国内の厳しい地震条件にも余裕を持った耐震設計、グランドレベルを津波高さよりも高い位置に設定すること等で津波影響を受けない**ドライサイト**設計の採用。
- 建屋頑健化や火山灰侵入防止対策等により、その他の外部事象（台風や火山等）に対する耐性を大幅に強化。

耐震性

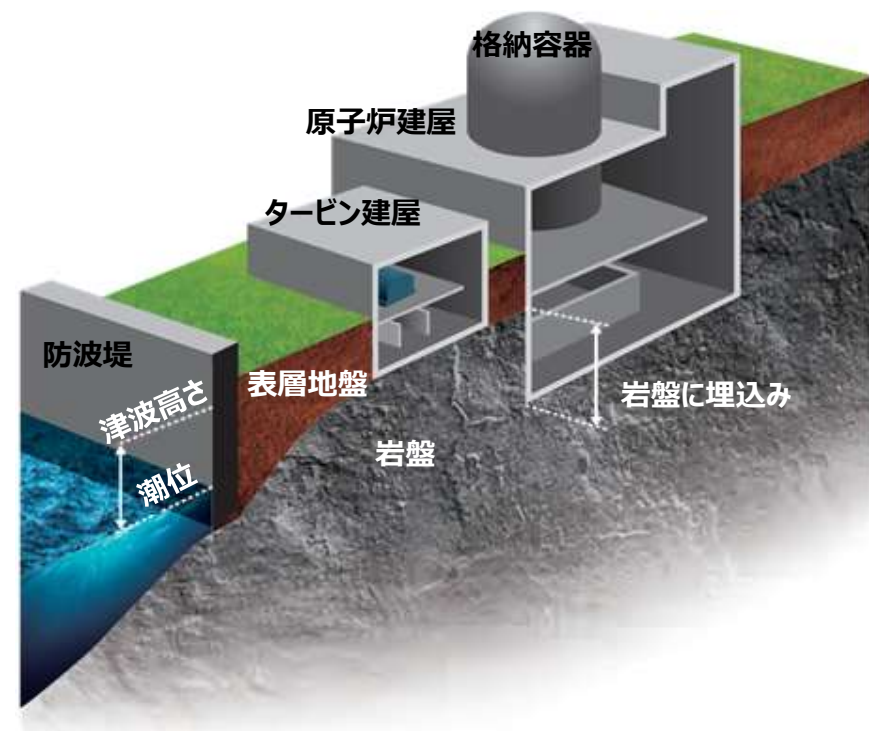
国内の厳しい地震条件での耐震成立性

- 強固な岩盤に建屋を埋込む等により、耐震性を強化
- 原子炉建屋は十分な耐震壁を確保し、国内の厳しい地震条件の地震にも耐える建屋を標準設計とする

津波耐性

津波の侵入を防止するドライサイト設計の実現

- 津波高さよりも高いグランドレベルにすること等で、原子炉建屋への津波影響を回避
- 海水取水エリアからの津波影響はシール、水密化により、原子炉建屋への影響を防止

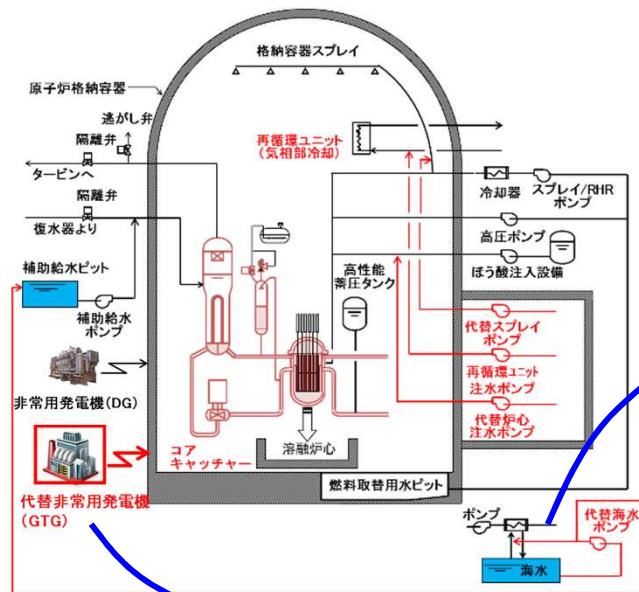


- 既設炉では、「柔軟性」に優れた可搬型設備を基本とした対応。
- SRZ-1200では、既存設備による制約はなく、設計段階から重大事故対策を考慮することが可能。
- 「柔軟性」以外の「信頼性」「必要な要員」「手順書・訓練」「対応時間」「耐環境性」「設備容量」の特性に優れた常設設備を基本とした対応を採用。

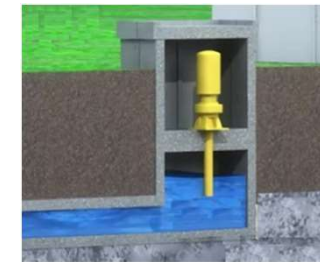
※：更になお残る不確かさを考慮し大規模損壊への対応としては可搬型設備で対応（12）

SRZ-1200のSA対応設備

システム構成



設備イメージ



代替水源（別置き海水ポンプ）

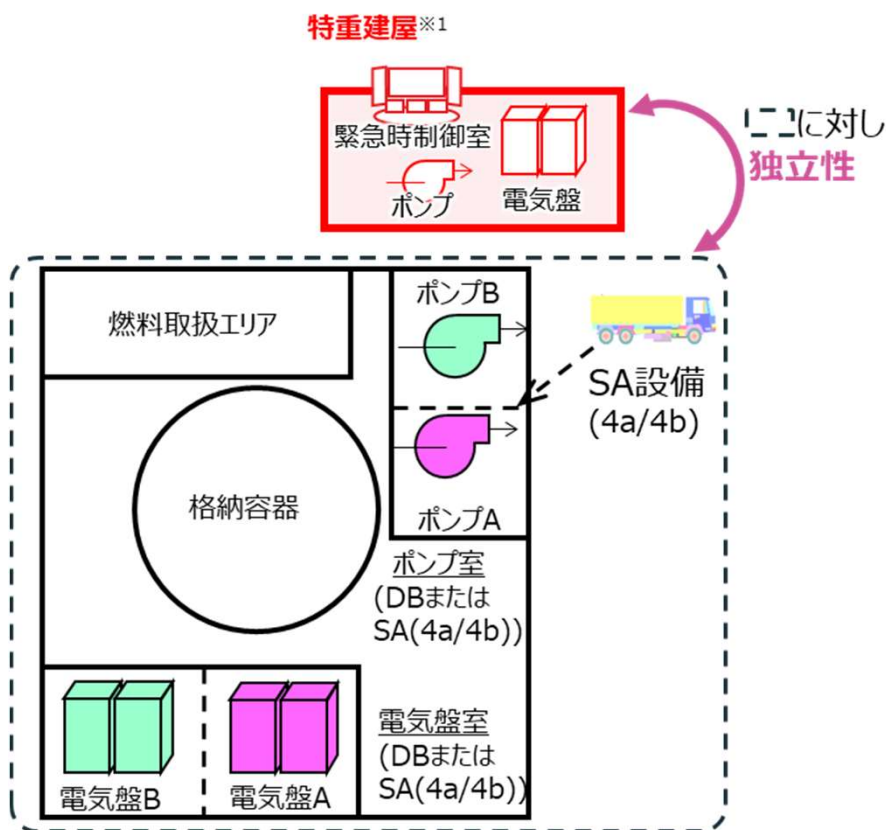


常設代替非常用電源
（ガスタービン発電機）

- 既設炉では、DB・SA設備との同時損傷を防ぐため、**特重施設を原子炉建屋から離隔もしくは頑健化**。
- SRZ-1200では、設計段階から**APCその他テロ対策を講じることで、同一機能を有するSA設備(4b;格納容器破損防止)と特重施設を統合可能**。

既設炉

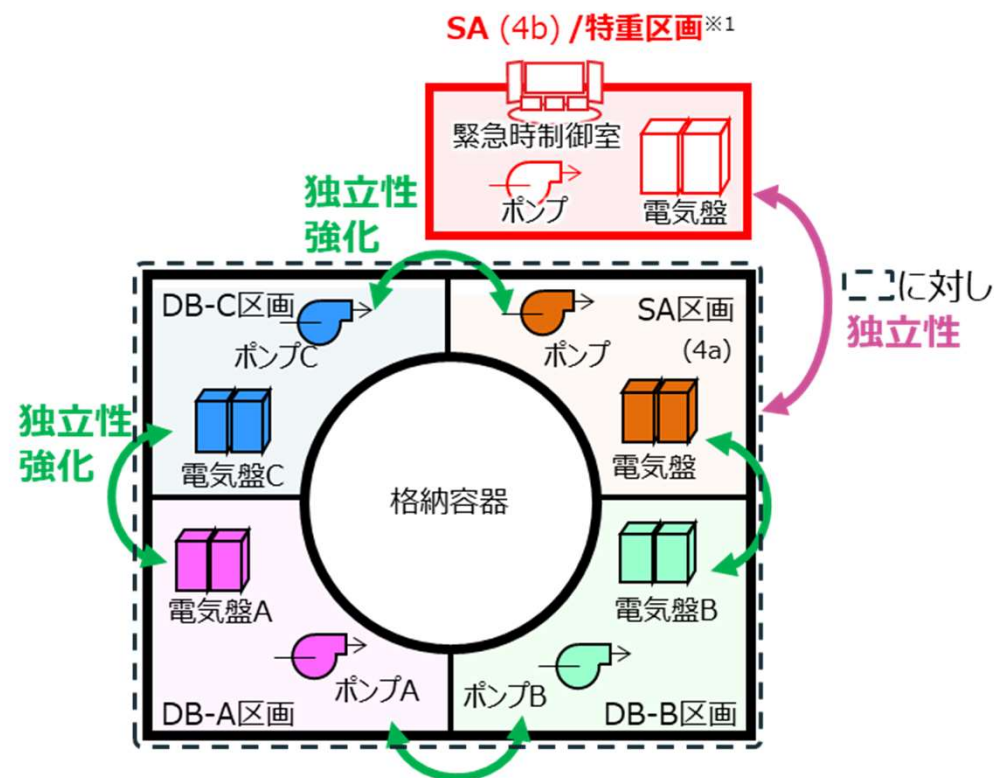
- 原子炉建屋から離隔もしくは頑健化



SRZ-1200

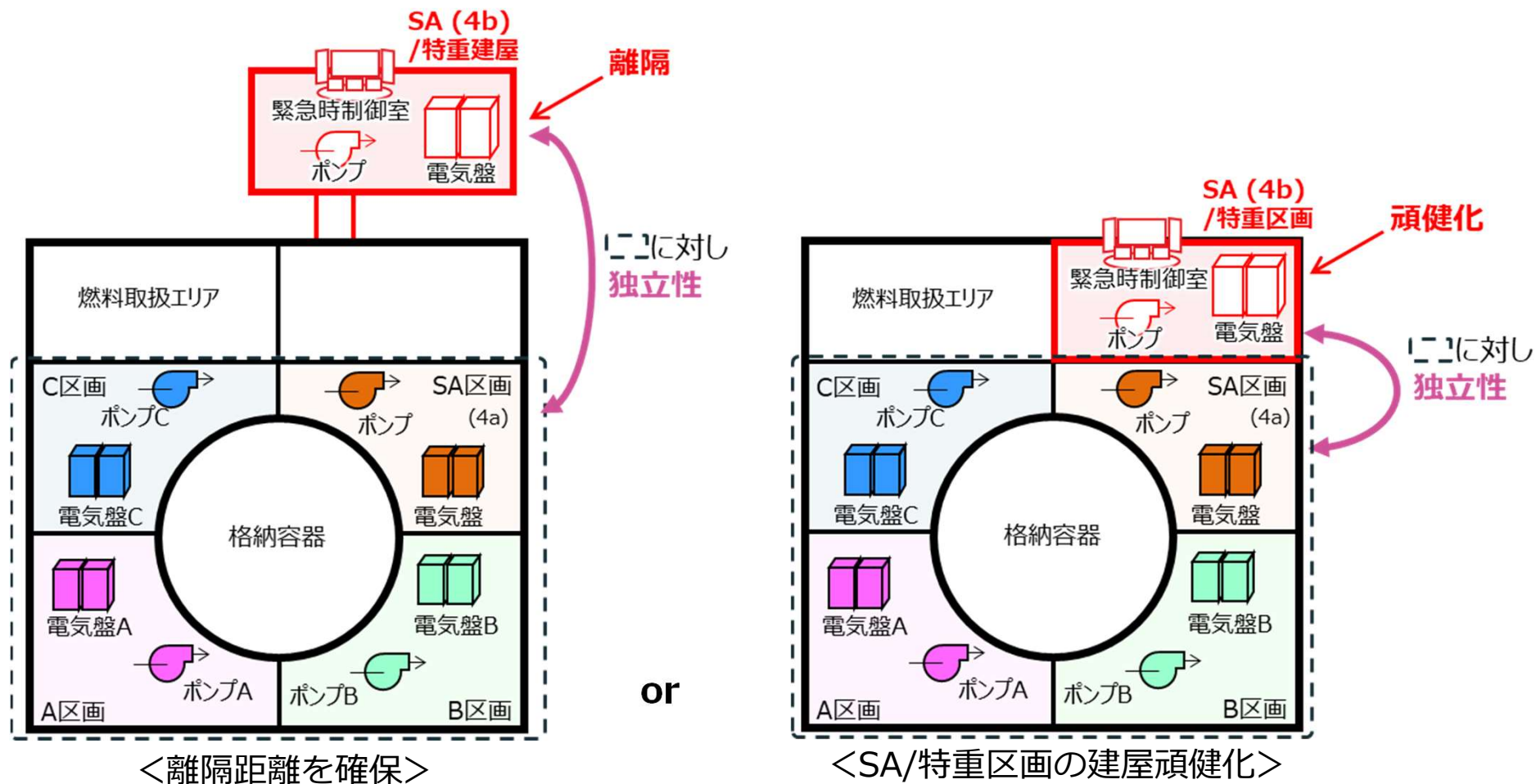
【設計例】

- **SA/特重区画(4b)にAPC耐性を持たせる**（離隔もしくは頑健化）
- **DB設備及びSA(4a)のAPC時の全数機能喪失防止**
(既設炉より建屋を頑健化、多重性強化、区画分離・位置的分散の徹底)

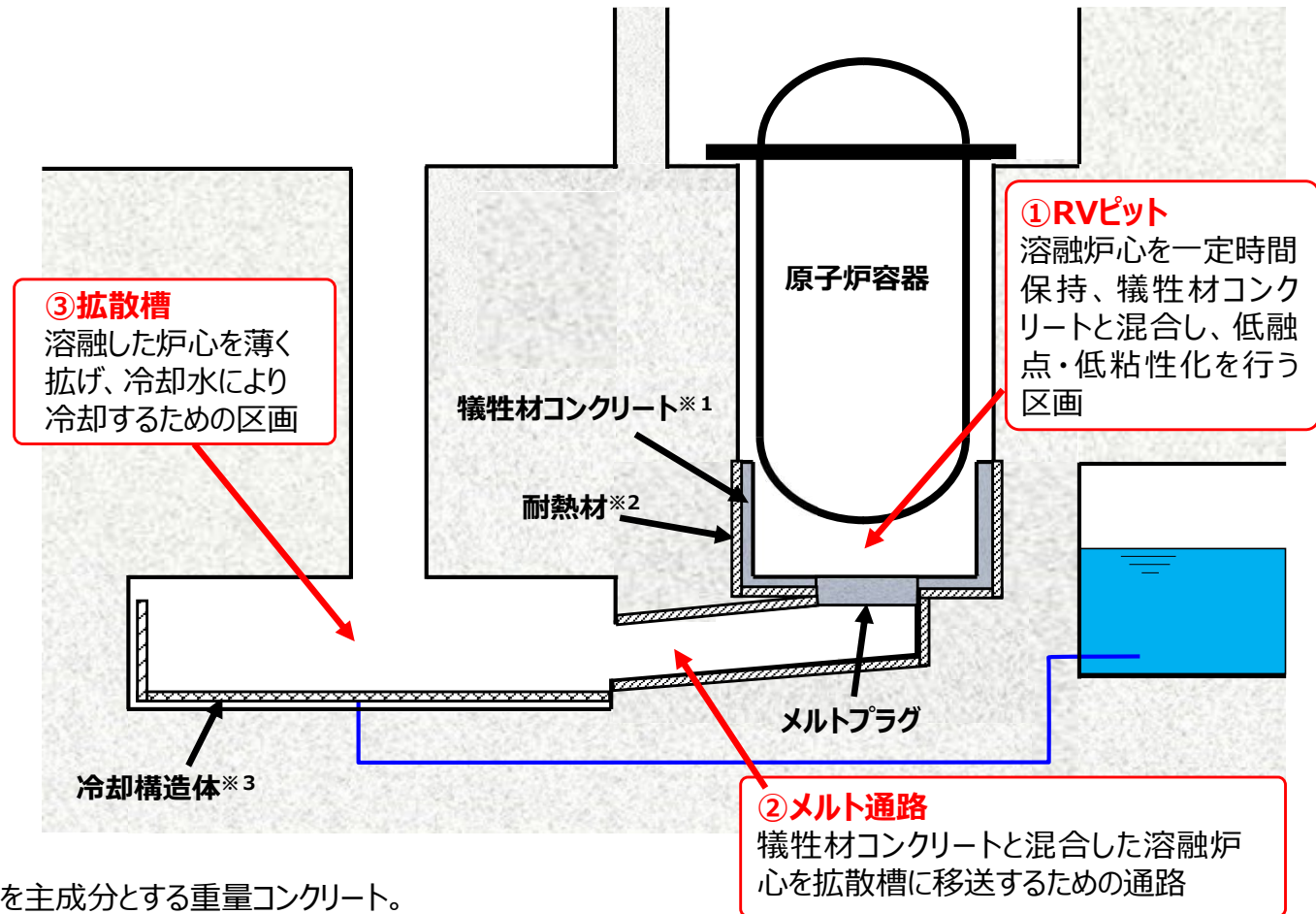
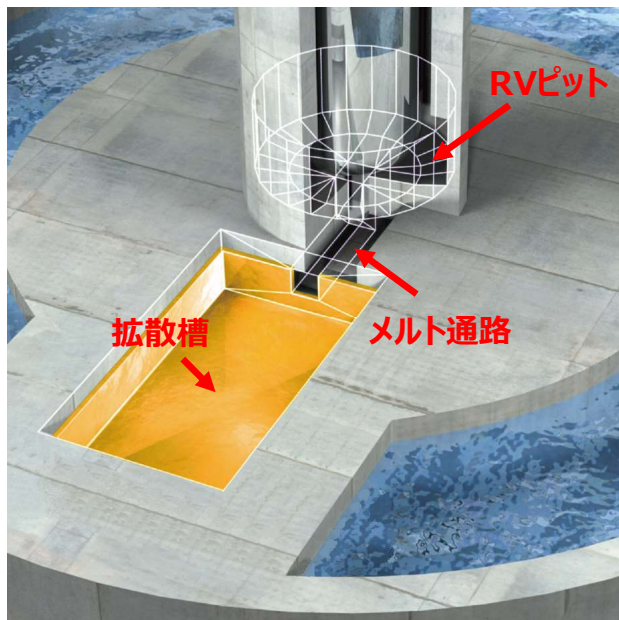


※1：サイト条件等を考慮し、離隔距離または頑健性（物理障壁）によりAPC・その他テロに対する耐性を確保

- APC耐性はサイト条件等を考慮し、離隔距離または頑健性(物理障壁)により確保。
- 頑健性(物理障壁)により確保する場合でも、SA/特重統合(4b)はDB・SA(4a)と区画分離を徹底することで位置的分散も図ることができる。



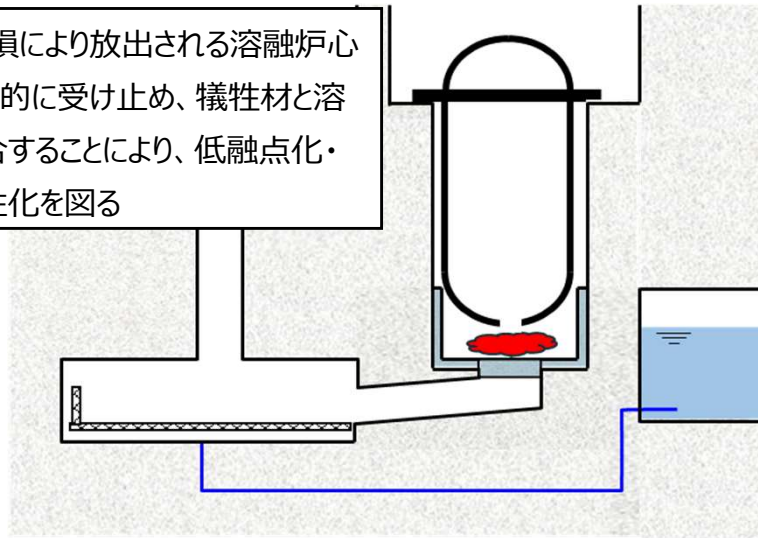
- パッシブ設備にて、**熔融炉心を薄く拡げて**から、**注水**することにより、熔融炉心を確実に冷却。
(熔融炉心の拡がり促進のための低粘性化、拡がりを検知して自動的に重力注水。)



- ※1 犠牲材コンクリート : 粗骨材として酸化鉄を主成分とする重量コンクリート。
熔融炉心の熱により溶融混合し、熔融炉心を低融点化、低粘性化させる。
- ※2 耐熱材 : 耐熱レンガ（酸化ジルコニウム製、耐熱温度：2000℃）
- ※3 冷却構造体 : 拡散槽内での熔融炉心冷却用の鋼板（表面に保護コンクリートを敷設）

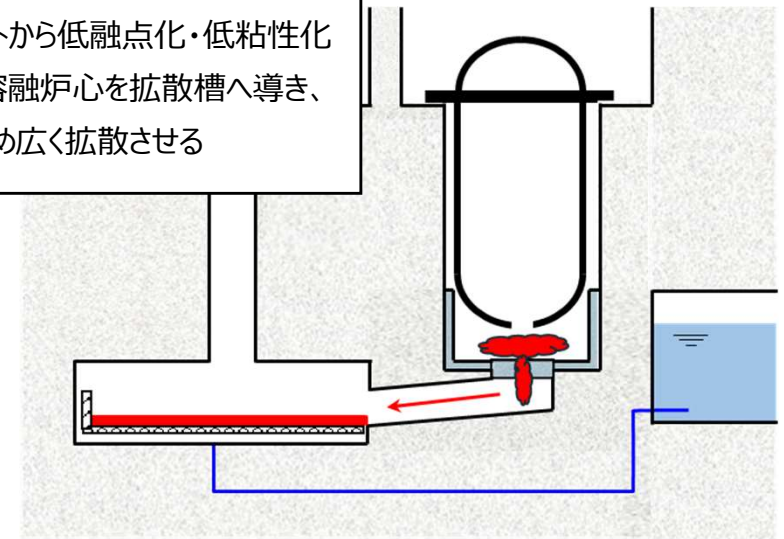
(1) 炉心溶融段階

RV破損により放出される溶融炉心を一時的に受け止め、犠牲材と溶融混合することにより、低融点化・低粘性化を図る



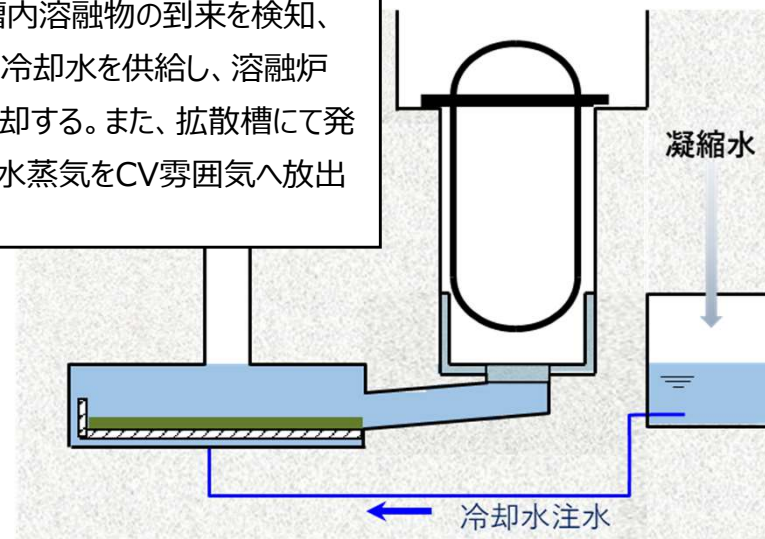
(2) 溶融炉心拡散段階

RVピットから低融点化・低粘性化された溶融炉心を拡散槽へ導き、受け止め広く拡散させる

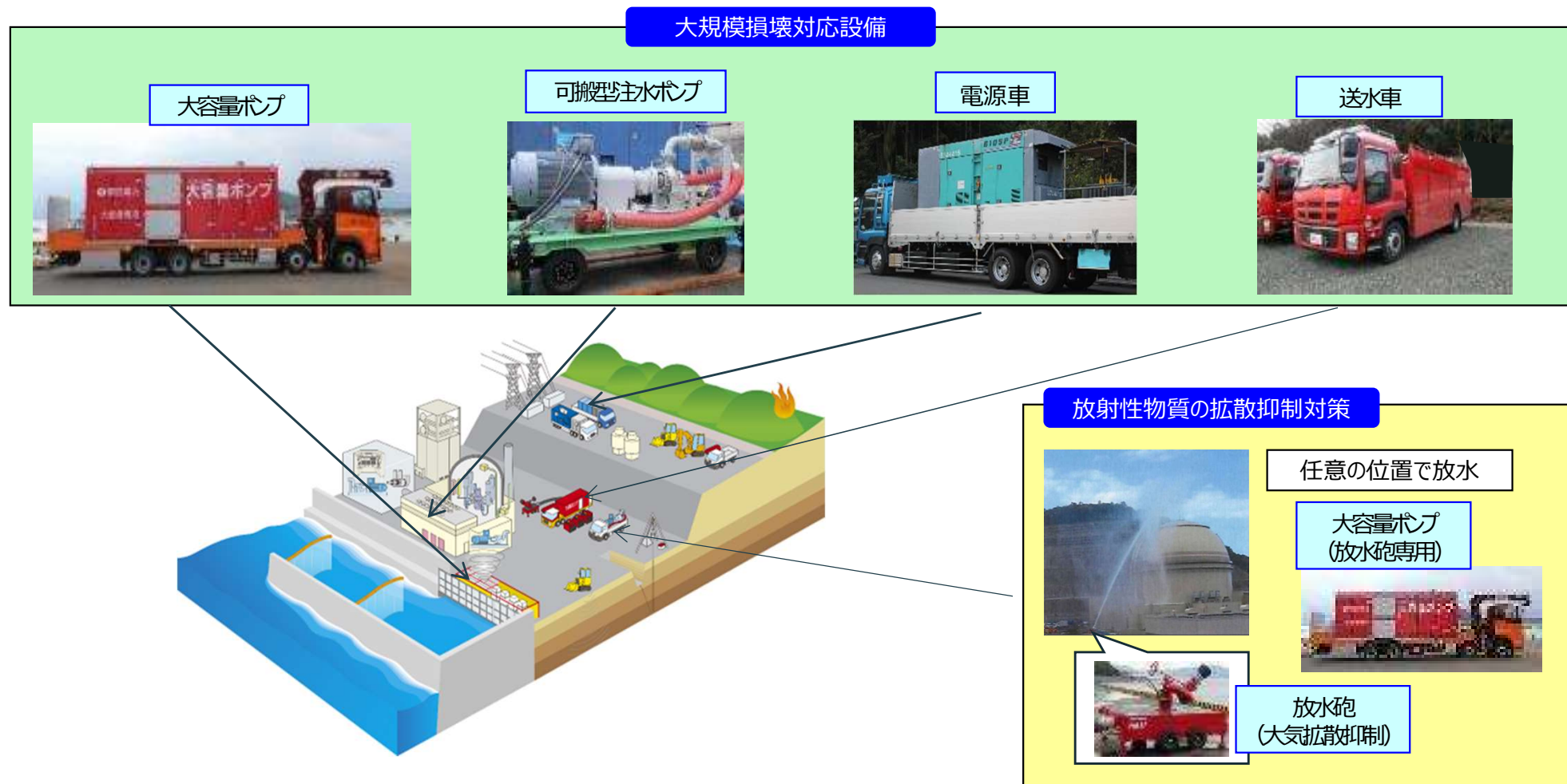


(3) 溶融炉心冷却段階

拡散槽内容融物の到来を検知、自重で冷却水を供給し、溶融炉心を冷却する。また、拡散槽にて発生する水蒸気をCV雰囲気へ放出する



- 常設設備で対応を想定する事象を超える場合に備え、既設軽水炉での対応と同様に、**放射性物質の拡散を抑制する機能および大規模損壊対応として、可搬型設備を配備。**



注：可搬型設備は例であり、実プラントの配備する設備構成は異なる可能性があります。

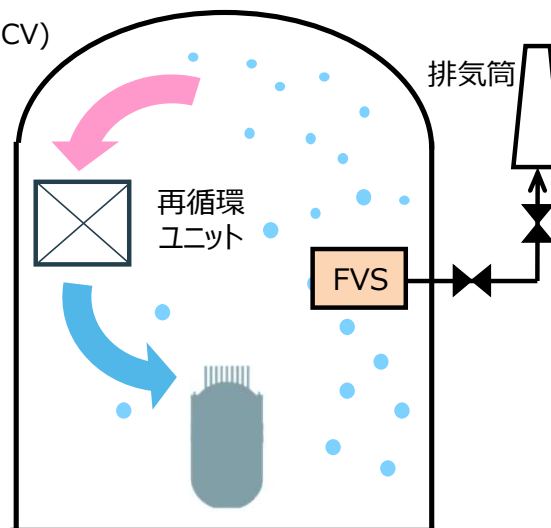
既設炉の可搬型設備(関西電力の配備例)

- 既設炉は、特重事象(APC)時への対応手段として**フィルタベント（FVS）を耐APC化**している。
- SRZ-1200では、「**再循環ユニットによる気相部冷却**」を耐APC化し、特重事象(APC)時にも**環境への放射性物質放出を最小化。バックアップとしてFVSも設置。**

対象	APC時のCV破損防止候補	設計の考え方
既設炉	フィルタベント	FVSを耐APC化して設置し、長期的な被ばく影響なしを達成
SRZ-1200	再循環ユニット	環境への放射性物質放出を最小化するため、再循環ユニット冷却によりCV破損を防止。
	フィルタベント	仕組みが単純で信頼性が高いため、設置する。

- ①再循環ユニットによる気相部冷却**
冷却コイルによるCV気相部を自然循環冷却し、CV破損を防止CV内で冷却するため、環境への放射性物質放出を最小化

格納容器(CV)



- ②フィルタベント**

CV内で内部雰囲気フィルタを介して放出、減圧、除熱を達成するシステム。

參考資料

- 革新軽水炉“SRZ-1200”の特徴・設計例は前述のとおり。
- 特徴および設計例を踏まえ、規制基準や規制基準の解釈に照らし合わせて、論点となりうるかどうかを事業者の考えとして次頁のとおり整理した。
- 論点として「○」とさせていただいた、
 - 【論点①】 常設設備を基本とした重大事故等対応
 - 【論点②】 特重施設の在り方
 - ・重大事故等対処設備（4b;格納容器破損防止）と特重施設の機能統合
 - 【論点③】 熔融炉心冷却対策への新技術導入（ドライ型コアキャッチャの導入）

の3つの論点については、優先的に議論させていただきたいと考えているが、本日の説明内容を踏まえ、論点として「×」としているものでも、原子力規制庁が論点となりうるものについては、必要に応じて、本意見交換の中で議論させていただきたい。

革新軽水炉”SRZ-1200”の特徴の論点整理(2/2)

25

目指す姿		SRZ-1200の特徴・設計例	No.	論点採否（○or×）及び理由	
深層防護の実装、バランスの良い防護対策の配置		深層防護の実装（層間の分離、独立性の確保）	1	×	既設炉と同じ手段で多重性・分離・独立性等を確保しており、規制要求に適合と整理。区画分離の徹底等、更なる強化を図っているもの。（12条等）
a. 設計基準事象への対策の徹底	安全機能を有する設備の信頼性向上	主要機器の改良設計（RV:上部挿入ICISの採用、RCP:耐SBOシール）	2	×	既設炉と同じ手段で原子炉冷却材圧力バウンダリを構成しており、規制要求に適合と整理。設備改良により1次冷却材漏えいリスクを低減し、更なる信頼性向上を図っているもの。（17条等）
		安全系設備の3系列化（多重性・独立性強化）	3	×	既設炉と同じ手段で多重性・独立性を確保しており、規制要求に適合と整理。トレン数増・区画分離徹底等、更なる強化を図っているもの。（12条等）
		高性能蓄圧タンクの採用（信頼性向上）	4	×	既設炉と同じ手段で炉心冷却機能として非常用炉心冷却系を確保しており、規制要求に適合と整理。低圧注入系のパッシブ化により、更なる信頼性向上を図っているもの。（19条等）
		インターフェイスシステムLOCA対策（IRWSP及び余熱除去配管耐圧強化）	5	×	既設炉と同じ手段で炉心冷却機能として非常用炉心冷却系を確保しており、規制要求に適合と整理。系統構成の見直し等によりIS-LOCAの発生リスクを低減し、更なる信頼性向上を図っているもの。（19条等）
	運転員操作の低減による安全性向上	原子炉格納容器内への水源配置による再循環切替操作の不要化	6	×	既設炉と同じ手段で再循環ラインを設けており、規制要求に適合と整理。系統構成の見直し等により、信頼性を向上し、更なる強化を図っているもの。（19条等）
		破損ループへの早期給水隔離対応に補助給水自動隔離の採用	7	×	既設炉と同じ手段で設計基準事故拡大防止対策を確保しており、規制要求に適合と整理。隔離操作の自動化により信頼性を向上し、更なる強化を図っているもの。（13条等）
	各種ハザードへの耐性強化	火災、溢水対策として区画分離徹底による共通要因故障防止機能の強化	3	×	既設炉と同じ手段で火災・溢水防護対策を講じた設計としており、規制要求に適合と整理。区画分離徹底等、更なる強化を図っているもの。（8、9条等）
		耐震性：岩盤埋込等による建屋安定化 津波耐性：ドライサイト化	8	×	既設炉と同じ手段で外部ハザードへの耐性を確保しており、規制要求に適合と整理。建屋構造や配置の見直しにより、各ハザードに対する耐性の更なる強化を図っているもの。（4、5条等）
b. 重大事故等への対策最適化	SA設備の独立性、多様性強化	区画分離徹底、ガスタービン発電機の採用	3	×	既設炉と同じ手段で独立性・多様性を確保しており、規制要求に適合と整理。電源多様化や専用区画への配置による区画分離の徹底等、更なる強化を図っているもの。（12条等）
	常設設備を基本としたSA設備による信頼性向上	常設SA設備（別置海水ポンプ、ガスタービン発電機等）の採用	9	○	NRA-CNO意見交換で提示した論点。
	各種ハザードへの耐性強化	DB設備とSA設備の区画分離徹底による共通要因故障防止機能の強化	3	×	既設炉と同じ手段でハザードへの耐性を確保しており、規制要求に適合と整理。区画分離の徹底等、更なる強化を図っているもの。（12条等）
	APCその他テロ事象への対応				
	DB設備及びSA設備に対するAPCその他テロ事象への耐性強化	原子炉建屋のAPC耐性強化、区画分離徹底、格納容器外部遮蔽壁の頑健化	10	×	既設炉と同じ手段で特重施設はAPCその他テロ事象への耐性を確保しており、規制要求に適合と整理。原子炉建屋の頑健化等、更なる強化を図っているもの。（42条等）
	格納容器破損防止対策設備の特重仕様化	格納容器破損防止機能を有するSA設備と特重施設を統合	10	○	NRA-CNO意見交換で提示した論点
	新技術の導入	熔融炉心冷却対策としてドライ型コアキャッチャ（パッシブ安全設備）を採用	11	○	NRA-CNO意見交換で提示した論点
c. 設計想定を超える不確実さへの対応	シナリオの不確実さ対応としての可搬型設備の配備	大規模損壊対応設備として可搬型設備を配備	12	×	既設炉で配備した設備と同じ機能を有する設備で大規模損壊に対応することとしており、規制要求に適合と整理。大規模損壊対応用の可搬型設備の配備により、更なる強化を図っているもの。
	放射性物質拡散防止対策	放水設備等を配備（既設炉と同様）	12	×	既設炉と同じ手段の放射性物質拡散抑制設備を配備しており、規制要求に適合と整理。（55条等）
	格納容器冷却機能・減圧機能の強化	SA及び特重事象用の再循環ユニットに加え、フィルタベントシステムの設置	13	×	原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を有しており、規制要求に適合と整理。再循環ユニットの耐APC化により特重事象時の放射性物質放出のリスクを低減し、更なる強化を図っているもの。（42条等）

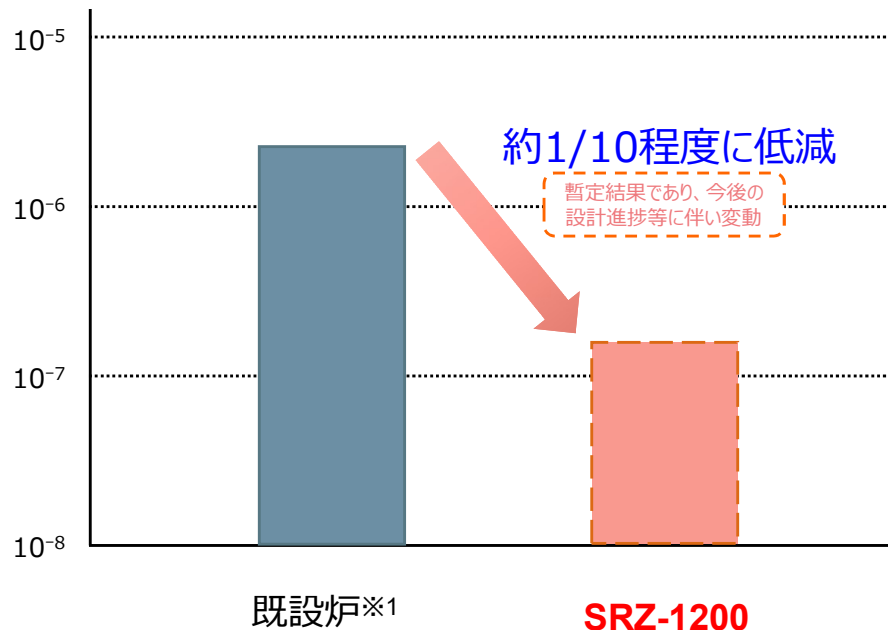
- SRZ-1200の設計がPRAの観点で効果があることを確認するため、内的事象出力時PRAの概略評価を実施し、既設炉とSRZ-1200の内的PRA結果を比較。
- SRZ-1200のシステム設計は進捗しているものの、設計が未確定な部分もあることから、当該部分については既設炉と同等の設計であると仮定した概略評価を実施。

＜内的PRA結果の比較＞

※1：既設PWRの安全性向上評価届出済プラントの平均値からの比較
※2：管理放出機能喪失も考慮

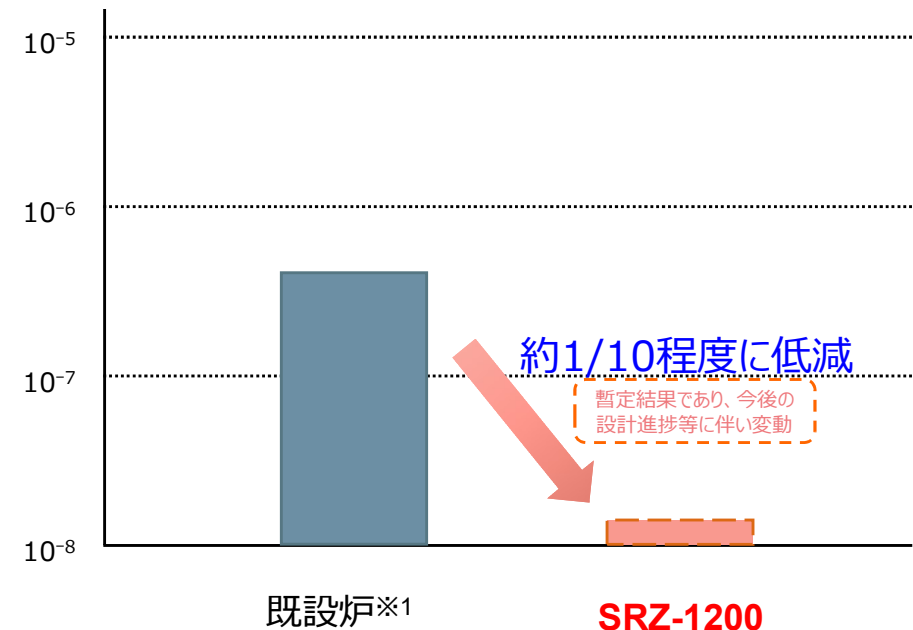
CDF（炉心損傷頻度）

[対数表示]



CFF（格納容器機能喪失頻度※2）

[対数表示]



- ❑ SRZ-1200は既設炉に比べてCDF、CFFともに低減する見込みであることを確認した。
- ❑ 具体的に、CDF、CFF低減が見込まれる設計の詳細は次ページの通り。

- 内的PRA概略結果において、既設炉と比較してCDF/CFF低減に寄与するSRZ-1200の設計は以下の通り。

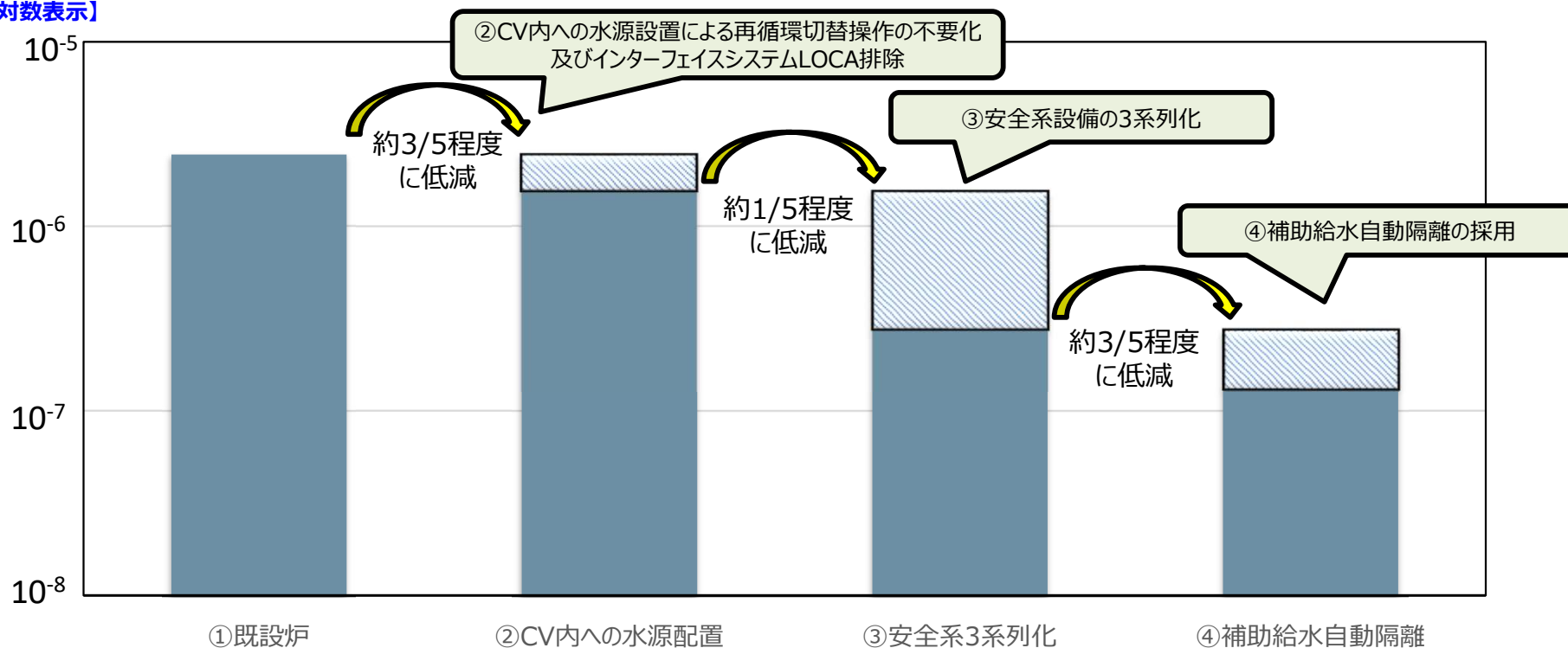
項目	SRZ-1200の設計の特徴	CDFの低減理由	CFFの低減理由
設計基準 事故対応	安全系3トレン (炉心冷却系、電源系等)	- LOCA時におけるECCS設備の信頼性が向上するため - 外部電源喪失時における非常用電源の信頼性が向上するため	CDF低減によりCFFも低減するため (※1)
格納容器 バイパス 事象対策	IRWSP採用によるRHRからのインターフェイスシステムLOCAの排除	インターフェイスシステムLOCAの発生が防止されるため	同左 (※2)
運転員負担 の軽減	IRWSP採用による再循環切替操作の不要化	再循環切替に係る失敗要因が排除されるため	CDF低減によりCFFも低減するため (※1)
	補助給水隔離操作の自動化	2次系破断時及び蒸気発生器伝熱管破損時における補助給水隔離の信頼性が向上するため	同左 (※2)

- ※1 本事象を起因とするCFFは $CDF \times CV$ 破損防止対策設備の失敗確率で計算される。本設計はCV破損防止対策設備に係るものではなく、CDF低減に寄与するため、間接的にCFFが低減することになる
- ※2 本事象のようなバイパス事象を起因とするCFFは、炉心損傷がCV機能喪失に直結することから、事象発生頻度 $\times$ 炉心損傷防止対策設備の失敗確率で計算される ($CDF=CFF$)。本設計はCV破損防止対策設備に係るものではないが、CFF低減に直接的に寄与するものである

- 既設PWRを対象に、DB設備を強化したことによる炉心損傷頻度（CDF）の低減効果を整理。
- 既設炉（①）に対してSRZ-1200の設計特徴のうちCDF低減に寄与するレベル3設備の強化（②～④）を、順次反映した仮想的な状態の評価を実施。

CDF（炉心損傷頻度）

【対数表示】



①既設炉：既設PWRの安全性向上評価届出済プラントの平均値

②CV内への水源配置：①を対象に、CV内への水源配置による再循環切替操作の不要化及びインターフェイスシステムLOCA排除を反映

③安全系3系列化：②を対象に、安全系設備の3系列化

④補助給水自動隔離：③を対象に、補助給水自動隔離の採用

なお、SRZ-1200の設計特徴のうちDB設備の強化としては②～④の強化の他に、タービン動補助給水ポンプの多重化による信頼性向上、高性能蓄圧タンクによる炉心注水機能の信頼性向上がある。タービン動補助給水ポンプの多重化はSBOへの対策になるが安全系設備の3系列化によりSBO発生頻度が低減されること、高性能蓄圧タンクは大破断LOCAへの対策になるが、大破断LOCAの発生頻度は低いことから②～④の強化よりCDF低減の寄与が小さいため上記評価では考慮しなかった。

➤ 核物質防護に係る対応方針

- “SRZ-1200”の安全設計を踏まえて防護が必要となる設備の選定など行うとともに、建屋設計から核物質防護にかかる脅威に対する物理的な防護を設計に取り込み、建屋の堅牢化等を図っていく方針。
- 核物質防護に関連して、既設プラントで議論となるような案件があれば適宜フォローを行い、設計への反映要否等について確認し、反映が必要な案件は、設計に取り込んでいく方針。

➤ サイバーセキュリティに係る対応方針

- 情報システムにかかる対策については、“SRZ-1200”にはデジタル設備を設置する前提とし、設計初期段階から情報システムセキュリティ対策を設計に取り込んでいく方針。
- 一方で、“SRZ-1200”の社会実装には10年以上要すると考えられ、技術進歩のスピードが早いデジタル技術については、適宜最新の安全対策を採用する観点から、適切な時期に必要な技術を導入していく方針。

- PWRは、大きなCV自由体積による希釈、及びCV内での水素処理により、CV内の水素濃度上昇を抑制させることが可能であり、この特徴は、既設炉とSRZ-1200とで同様
- 更にSRZ-1200の水素対策設備（水素濃度低減、水素濃度監視）では、水素濃度計を常設化や、SA専用のアニュラス空気浄化設備設置により安全性を向上。
- なお、水素対策設備は現行規制基準にて審査実績のあるものであり、新たな論点とはならないと考える。

既設炉とSRZ-1200の比較 52条「水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するための設備」

設置許可基準規則	既設炉	SRZ-1200
52条 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉格納容器内における水素による爆発（以下「水素爆発」という。）による破損を防止する必要がある場合には、<u>水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備を設けなければならない。</u> 52条解釈 第52条に規定する「水素爆発による原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備」とは、以下に掲げる措置又はこれらと同等以上の効果を有する措置を行うための設備をいう。 ＜BWR＞ (a) 原子炉格納容器内を不活性化すること。 ＜PWR のうち必要な原子炉＞ (b) <u>水素濃度制御設備</u>を設置すること。 ＜BWR 及びPWR 共通＞ (c) 水素ガスを原子炉格納容器外に排出する場合には、排出経路での水素爆発を防止すること、放射性物質の低減設備、水素及び放射性物質濃度測定装置を設けること。 (d) 炉心の著しい損傷時に<u>水素濃度</u>が変動する可能性のある範囲で測定できる<u>監視設備</u>を設置すること。 (e) これらの設備は、交流又は直流電源が必要な場合は代替電源設備からの給電を可能とすること。	52条解釈(b) <u>水素濃度制御設備として以下を設置</u> - 静的触媒式水素再結合装置(PAR) Zr-水反応等で短期的に発生する水素及び水の放射線分解等で長期的に緩やかに発生し続ける水素を処理 - CV水素燃焼装置(イグナイタ) Zr-水反応により短期間に発生する水素を計画的に燃焼させることで処理 52条解釈(c) SAではCV外への水素排出は無し 52条解釈(d) <u>水素濃度監視設備として以下を設置</u> - 可搬型CV水素濃度計 CV外にて可搬型CV内水素濃度計測装置を、CVガス試料採取系統設備に接続 52条解釈(e) <u>代替電源設備として以下電源から給電</u> - 非常用発電装置	52条解釈(b) <u>水素濃度制御設備として以下を設置</u> - 静的触媒式水素再結合装置(PAR) 同左 - CV水素燃焼装置(イグナイタ) 同左 52条解釈(c) SAではCV外への水素排出は無し 52条解釈(d) <u>水素濃度監視設備として以下を設置</u> CV水素濃度計（常設） CV内環境に耐えられる水素濃度計をCV内に常設予定 52条解釈(e) <u>代替電源設備として以下電源から給電</u> - 非常用発電装置

既設炉とSRZ-1200の比較 53条「水素爆発による原子炉建屋等の損傷を防止するための設備」

設置許可基準規則	既設炉	SRZ-1200
53条 発電用原子炉施設には、炉心の著しい損傷が発生した場合において原子炉建屋その他の原子炉格納容器から漏えいする気体状の放射性物質を格納するための施設（以下「原子炉建屋等」という。）の水素爆発による損傷を防止する必要がある場合には、水素爆発による当該原子炉建屋等の損傷を防止するために必要な設備を設けなければならない。 53条解釈 第53条に規定する「水素爆発による当該原子炉建屋等の損傷を防止するために必要な設備」とは、以下に掲げる措置又はこれらと同等以上の効果を有する措置を行うための設備をいう。 (a) <u>水素濃度制御設備</u>（制御により原子炉建屋等で水素爆発のおそれがないことを示すこと。）又は<u>水素排出設備</u>（動的機器等に水素爆発を防止する機能を付けること。放射性物質低減機能を付けること。）を設置すること。 (b) 想定される事故時に<u>水素濃度</u>が変動する可能性のある範囲で推定できる<u>監視設備</u>を設置すること。 (c) これらの設備は、交流又は直流電源が必要な場合は代替電源設備からの給電を可能とすること。	53条解釈(a) 水素排出設備として以下を設置 ・ アニュラス空気浄化設備 DBAとSAで兼用 53条解釈(b) 水素濃度監視設備として以下を設置 (プラントによって異なり、代表例を記載) ・ 可搬型アニュラス水素濃度計 アニュラス空気再循環設備の排気ラインに可搬型のアニュラス水素濃度計を接続 など 53条解釈(c) 代替電源設備として以下電源から給電 ・ 非常用発電装置	53条解釈(a) 水素排出設備として以下を設置 ・ アニュラス空気浄化設備 DBAとSAで独立し、設置区画を分離 53条解釈(b) 水素濃度監視設備として以下を設置 ・ アニュラス水素濃度計（常設） アニュラス内環境に耐えられる水素濃度計をアニュラス内に常設予定 53条解釈(c) 代替電源設備として以下電源から給電 ・ 非常用発電装置

- 1F事故の事象進展を踏まえてSRZ-1200の特徴・設計例がどのように事故対応に機能するか整理。
- 5つに大別した事象進展のいずれに対してもSRZ-1200では対策を講じる方針（一部は既設と同様）。

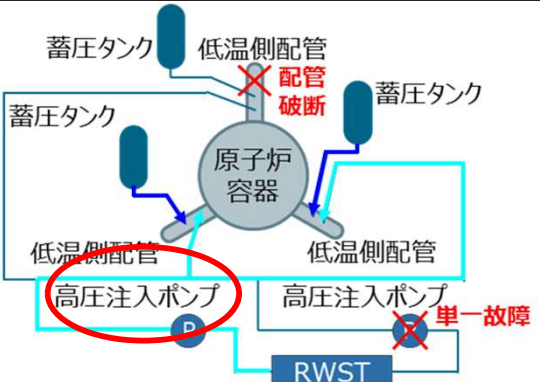
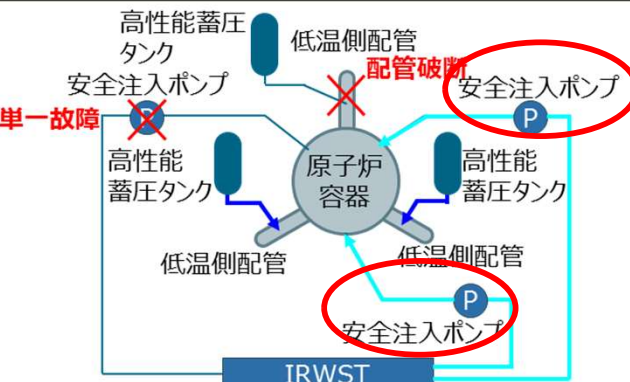
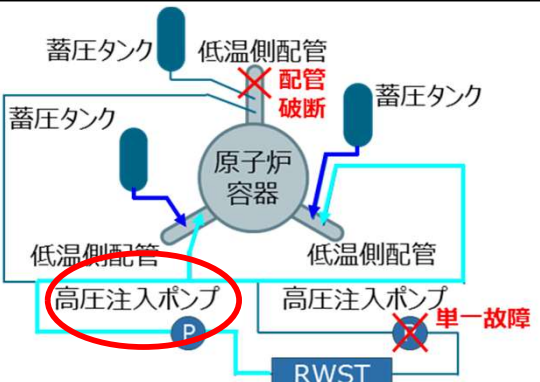
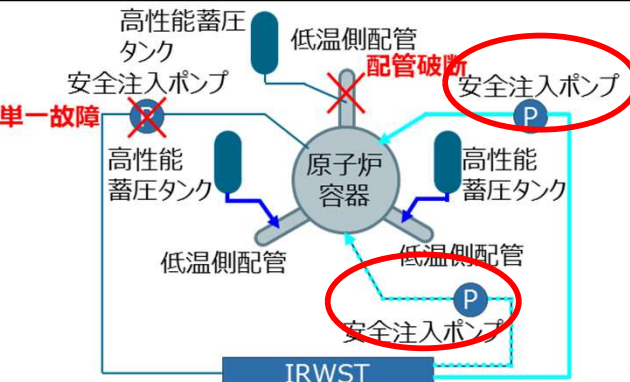
1F事故の事象進展	SRZ-1200の特徴・設計例	No.
(1) 地震に伴う外部電源喪失後の安全系機器の動作 (原子炉停止、非常用DG起動/IC起動、は成功) (一部プラントは号機間融通に成功)	原子炉停止系、非常用DG（既設と同様の方針） タービン動補助給水ポンプの多重化による信頼性向上	—
(2) 地震後の津波による屋外設備の被水、損傷に伴う機能喪失及び最終ヒートシンクの喪失 (津波影響により電源・最終ヒートシンクを喪失しにくい施設/設備の必要性) (津波影響を受けにくい施設/設備の必要性) (共通要因故障による機能喪失防止の必要性)	ドライサイト設計による耐津波性、及び建屋水密化による建屋浸水の発生防止	No.8
	独立性や位置的分散を考慮した別置き海水ポンプ	No.9
	安全系設備の3系列化（多重性・独立性強化）	No.3
	深層防護の実装（層間の分離・独立性の確保）	No.1
	DB/SA設備で電源を多様化(DG/GTG)することにより共通要因故障による機能喪失を防止	No.3
(3) 長期の全交流動力電源喪失(SBO)の発生及び炉心損傷の発生 (電源喪失時においても緩和設備により事故進展防止することの必要性) (炉心損傷に伴い発生した水素の発生およびPCV外への漏えい)	RCPの耐SBOシール採用	No.2
	高性能蓄圧タンクによる炉心注水機能の信頼性向上	No.4
	イグナイタに加えてPARによる電源不要・パッシブなCV内水素処理(既設と同様の方針)	—
	アニュラス空気浄化系統の独立性確保（深層防護の実装（層間の分離・独立性の確保））	No.1
(4) 海水注入を含めた可搬型設備による対応の難しさ (可搬設備による海水注入等の応用操作が求められた) (炉心損傷に伴う高線量環境下/水素爆発リスク下での現場作業があった)	一部のSA設備の常設化による厳しい環境下での屋外作業の低減、準備時間の短縮	No.9
(5) 炉心損傷の進展、原子炉格納容器の損傷及び放射性物質の原子炉格納容器外への放出 (RPV破損に伴い溶融炉心がRPV外に流出した) (PCVの過熱によるPCV過温破損に伴い、放射性物質が環境へ漏えい) (PCVトップヘッド以外の下層階からの建屋漏えいの疑い)	上部挿入ICIS採用によりRV下部貫通部を低減し、SA時のRV破損要因を低減	No.2
	1次系減圧機能の強化（多様性、独立性の強化）	—
	ドライ型コアキャッチャ採用によりRV外へ流出する溶融炉心をパッシブ設備にて冷却	No.11
	CV開放せず冷却する設備（CV再循環ユニット）の採用、かつAPC耐性を持たせ特重施設と統合	No.10
	CV再循環ユニット（SA/特重）に加えてFVSを設置し、放射性物質の大量放出を防止	No.13
	インターフェイスシステムLOCA対策（IRWSP及びRHR配管耐圧強化）	No.5
	蒸気発生器配管破損時対策（破損ループへの早期給水隔離対応に補助給水自動隔離の採用）	No.7
	常設SA設備に加えて可搬型設備を配備し、不確かさの大きな事象に備える	No.12

- 1F事故の調査・分析に係る中間とりまとめを踏まえSRZ-1200での設計方針を整理。
- 中間とりまとめから抽出された9つの項目に加え、事業者意見聴取会合で議論された懸案については、SRZ-1200は既設PWRと同様の対応方針にて問題は生じない見通し。

1F事故の調査・分析に係る項目	SRZ-1200の特徴・設計例を踏まえた分析
(1) 2号機におけるPCVベントのラプチャーディスク(RD)の不動作	FVSを設置する方針であり、RDを設置する場合でもFVSの機能を損なうおそれがない設計とする方針。(既設と同様)
(2) 耐圧強化ベントラインの非常用ガス処理系(SGTS)配管への接続に伴うベントガスの逆流	BWRのSGTSに相当するPWRの系統としてアニュラス空気浄化系統や原子炉建屋空調系統が挙げられる。FVSの配管等は、他の系統・機器や他号機のFVS等と共用しない設計とする方針。(既設と同様)
(3) 1, 2号機共用排気筒下部における高汚染	FVSの配管等は、他の系統・機器や他号機のFVSと共用せず、また、排気の際にベントガスが滞留しない設計とする方針。(既設と同様)
(4) ベントガスのサブプレッションプールにおけるスクラビングのバイパスの可能性 (真空破壊弁の故障に伴い、サブプレッションプールでのスクラビングを経由せずに原子炉格納容器外に放出される可能性)	FVSは、排気に含まれる放射性物質の量を確実に低減させる設計とする方針。(既設と同様)
(5) 各号機における原子炉建屋の水素爆発	大きな容積を有するCVにて水素濃度を抑制するとともに、PAR/イグナイタにて水素処理を行うことで水素濃度を低減する方針。(既設と同様、乾式FVS採用の場合は13vol%以下、湿式FVS採用の場合は4vol%以下に低減。) また、CV内に蓄積した水素はアニュラス区画へ放出されるが、SRZ-1200ではDB設備としてのアニュラス空気浄化ファンとは別に、SA用の空気浄化ファンを独立して設置する設計方針。(既設はDB/SA兼用としており、SRZ-1200は独立性・多重性を強化)
(6) 主蒸気逃がし安全弁の逃がし機能の不安定動作 (制御用空気系統の機能喪失後の動作の不安定事象の発生)	BWRの主蒸気逃がし安全弁(逃がし弁機能)に相当するPWRの設備は加圧器逃がし弁であるが、制御用空気が喪失した際に備えて、窒素ボンベを利用した手段を準備する。(既設と同様) また、SRZ-1200では1次系減圧機能について多様性、独立性を強化する方針。
(7) 主蒸気逃がし安全弁の作動開始圧力の低下 (SA時の環境温度上昇に伴う安全弁ばねの弾性係数低下の影響)	BWRの主蒸気逃がし安全弁(安全弁機能)に相当するPWRの設備は加圧器安全弁であるが、加圧器安全弁の動作に期待するSA事象(炉心損傷を伴う)において、安全弁の動作時点でのCV雰囲気温度はほとんど上昇しないため、環境温度上昇による影響はないと考える。(既設と同様)
(8) 3号機のADSの誤動作 (ADSシーケンスのRHRポンプ出口圧力がPCV圧力を背圧として受ける仕組みとなっており、SA時に当初想定範囲を超えるPCV圧力となったためシーケンスが誤作動)	BWRの主蒸気逃がし安全弁に相当するPWRの設備は加圧器逃がし弁・加圧器安全弁であるが、これらの弁には複数の条件により自動動作する機能はなく、運転員操作による開機能または加圧器圧力のみに応じた圧力逃がし機能のみのため、同様の事象は発生しないものとする。
(9) 3号機のベントガスの流入に伴う4号機の原子炉建屋内における水素爆発	FVSの配管等は、他の系統・機器や他号機のFVS等と共用しない設計とする方針。(既設と同様)
(10) 1号機のRCW系統からの建屋汚染の可能性 (原子炉圧力容器から落下した溶融炉心と格納容器下部に設置された格納容器貫通配管が接触・破損して建屋へのリークパスとなった)	溶融炉心冷却対策としてドライ型コアキャッチャを採用し、溶融炉心を確実に冷却する方針。溶融炉心を冷却する区画には注水配管が接続されているが、溶融炉心と配管は直接接触しない構造とし、原子炉格納容器外へのリークパスとならない設計とする方針。(既設と同等)

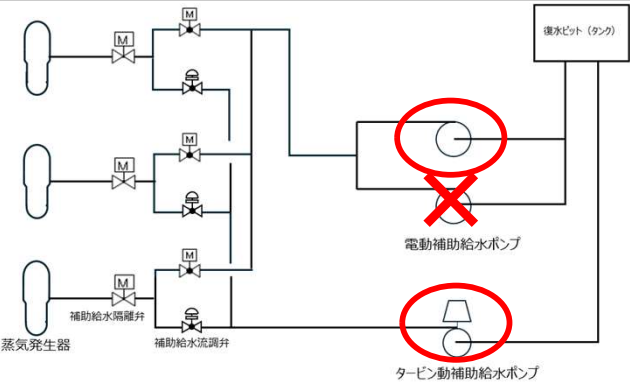
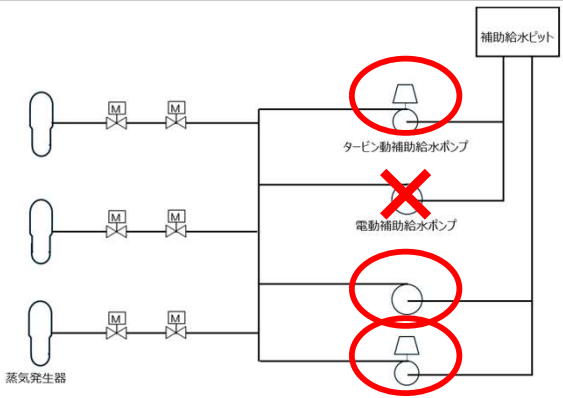
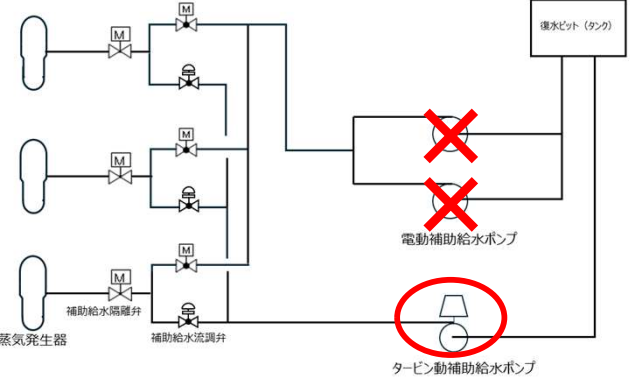
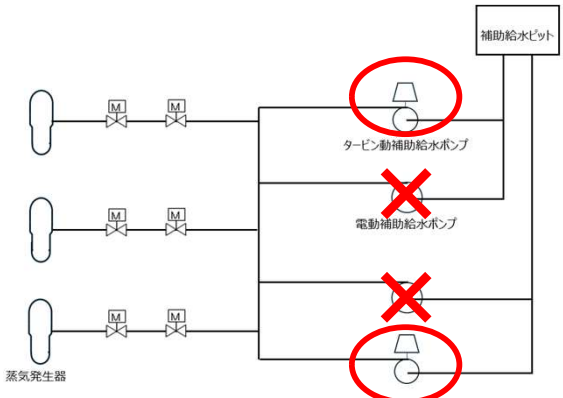
➤ **SRZ-1200のDB設備は単一故障を想定した場合でも想定するシナリオに対して必要な容量を確保する設計**としている。

- 例) ✓ 低温側配管のギロチン破断のような厳しい事象においては、単一故障を想定し2台で必要な容量を確保。
 ✓ 小規模な破断口径のLOCA等の比較的緩やかな事象に関しても同様に、単一故障を想定し2台で必要な容量を確保できる設計としている。ただし、事象の規模によっては1台でも必要な容量が確保できており、台数としての裕度は拡大（プラントの安全性が向上）している。

事象	既設炉	SRZ-1200
設備容量に対して厳しい事象 大規模な破断口径のLOCA 【SIP1台故障の場合】	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保
設備容量に対して余裕のある事象 小規模な破断口径のLOCA (例：低温側配管の2インチ破断) 【SIP1台故障の場合】	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保 ➤ 1台でも必要な容量を確保可能

➤ **SRZ-1200の補助給水設備は単一故障（DB事象）、信頼性向上（SA事象）を想定した設計**としている。

- ✓ DB事象では単一故障を想定した必要容量を確保。さらに任意の1台でも必要な容量が確保できており、台数としての裕度は拡大（プラントの安全性が向上）している。
- ✓ SA事象（SBO時）ではタービン動補助給水ポンプ1台で必要な容量を確保し、信頼性を向上させている。

事象	既設炉	SRZ-1200
DB事象 【単一故障の場合】	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保	 ➤ 単一故障を想定した場合でも必要容量を確保 ➤ 任意の1台でも必要な容量確保可能
SA事象 (SBO時) 【T/D-AFWPのみ使用可能】	 ➤ 1台で必要容量を確保	 ➤ 1台で必要容量を確保（信頼性向上）