資料１

革新軽水炉の取り組みについて

2024年9月12日
原子力エネルギー協議会
（ATENA : Atomic Energy Association）

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

1．本日の説明内容

- 前回のCNO意見交換会（3/25）において、 ATENAから国内の革新軽水炉の開発状況および開発に際しての懸念事項を説明し、国内 PWR４電力と三菱重工業が共同開発を進めるSRZ-1200を題材として、革新軽水炉※の規制基準について共通認識を醸成することを目的とした意見交換を行いたい旨を提案。
- 原子力規制委員会からは、次回のCNO意見交換会において、SRZ-1200の設計概要や規制の予見性が十分でないと考える具体的な事項について、事業者側から説明をするようご意見を頂いたところ。

※：原子力規制委員会では「建替原子炉」と呼称されているが、本資料上は「革新軽水炉」と呼称する。

（本日の説明内容）

- ◆ SRZ-1200を題材とした革新軽水炉の安全設計の考え方の概要
- ◆ 革新軽水炉の安全設計の考え方を実現するに当たって、規制の予見性が十分でないと考える事項の概要

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

2．ATENAの活動概要

目的

➢ 事業者が開発に参画している**SRZ-1200を題材とした「革新軽水炉の安全設計の考え方」**を整理するとともに、**「規制の予見性が十分でないと考える事項」**を抽出。

体制

➢ SRZ-1200の開発を進めるPWR電力／メーカーに加えて、BWR電力／メーカーならびに電中研も参画し、既設軽水炉の審査経験や革新軽水炉開発の知見等を基に検討を実施。

プロセス

① 現行の規制基準の理念やSRZ-1200をはじめとした革新軽水炉の設計コンセプトを基に、**「革新軽水炉の安全設計の考え方」**を整理

② ①の「革新軽水炉の安全設計の考え方」を実現するために採用するSRZ-1200の具体的な設計／技術のうち、既設軽水炉と異なる事項を抽出

③ ②で抽出した既存軽水炉と異なる設計／技術を現行の規制基準と照らし合わせ、**「規制の予見性が十分でないと考える事項」**を抽出

＜海外規制基準との比較による妥当性確認＞

- 上記プロセスは、現行の国内規制基準の理念を踏襲することを前提としているが、更に安全性を高める余地がないかを確認するべく、現行の規制基準と代表的な海外規制基準（IAEA、米国）の比較を実施

ATENA Atomic Energy Association

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

（参考）海外規制基準との比較による妥当性確認

海外情報の調査方針

- 現行の国内規制基準は安全性の面から国際的に高い水準にあり、現行規制基準の理念を踏襲することで、革新軽水炉も高い安全性を実現できると認識しているが、**海外から更に学ぶべきものがないかを確認するため、現行の規制基準と代表的な海外規制基準（IAEA、米国）の比較**を実施。
- 具体的には、「設置許可基準規則」の記載事項と下記の海外規制基準の比較により、差異のある項目を抽出して技術的検討を行い、革新軽水炉の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を確認する。

調査対象

- 海外規制基準として、グローバルススタンダードと考え得る、IAEA及び米国の規制基準を対象とした。
  - ✓ IAEA安全基準文書
    - ① 安全要求（SSR 2_1 “Safety of Nuclear Power Plants: Design”）
    - ② 上記に関連する指針（Safety Guides）及び技術図書（TECDOC）
    - ③ Nuclear Security Series （APCその他テロ）
  - ✓ 米国NRC ： SA対策を含めた新設炉に関するNRC見解を示す文書および911テロ以降追加された設計基準
    - ① 一般設計基準（10CFR50 Appendix A “General Design Criteria for Nuclear Power Plants”）
    - ② 個別の設計規則（10CFR50.63（SBO）、10CFR50.150（APC）等）
    - ③ その他、新設炉に対するNRC文書（SECY-93-087 “POLICY, TECHNICAL, AND LICENSING ISSUES PERTAINING TO EVOLUTIONARY AND ADVANCED LIGHT-WATER REACTOR (ALWR) DESIGNS”等）

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

３． SRZ-1200を題材とした革新軽水炉の安全設計の考え方

注：以降のスライドで提示するSRZ-1200の設計内容は、国内PWR４電力と三菱重工業による共同開発の成果である。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

革新軽水炉の目指すべき安全設計のコンセプト

- 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（次頁以降で説明）

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

SRZ-1200の特徴：深層防護の実装、バランスの良い防護対策の配置

- 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	SRZ-1200における深層防護設計方針
第１層　（異常の発生防止）		１系列常用システム	１系列常用システム **(信頼性強化)**
第２層　（異常の検知・制御）		**２系列**安全システム	**３系列**安全システム **（多重性強化・区画分離徹底等）**
第３層　（事故の拡大防止）		**２系列**安全システム	**３系列**安全システム **（多重性強化・区画分離徹底等）**
第４層 (SA緩和)	４a (炉心損傷防止)	**可搬型設備を基本** 【代替炉心注入ポンプ、大容量ポンプ等】	**常設設備を基本** 【代替炉心注入ポンプ等】
	4b (格納容器破損防止)	**専用特重施設(常設)** （離隔または建屋頑健化） 【FVS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】
大規模損壊対応、放射線影響緩和		可搬型設備	可搬型設備

独立性

独立性

独立性強化

独立性

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

SRZ-1200の特徴：多重性強化・区画分離等の具体例

- **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**

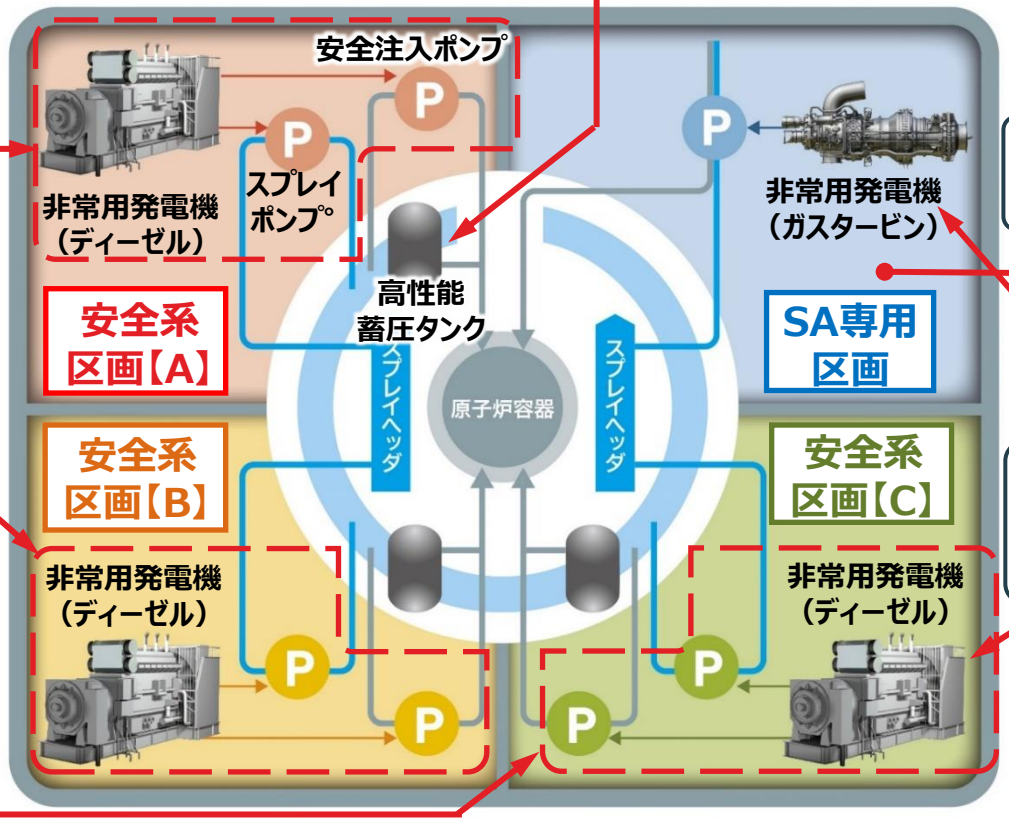
＜設備構成＞

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**

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**)



SA専用区画を新設

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**

安全系設備の**多様性強化**
(電源多様化等)

注：図は三菱重工業から提供

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

SRZ-1200の特徴：その他の安全対策等の概要

➢ **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、溶融炉心対策 *

冷却・閉じ込め機能強化

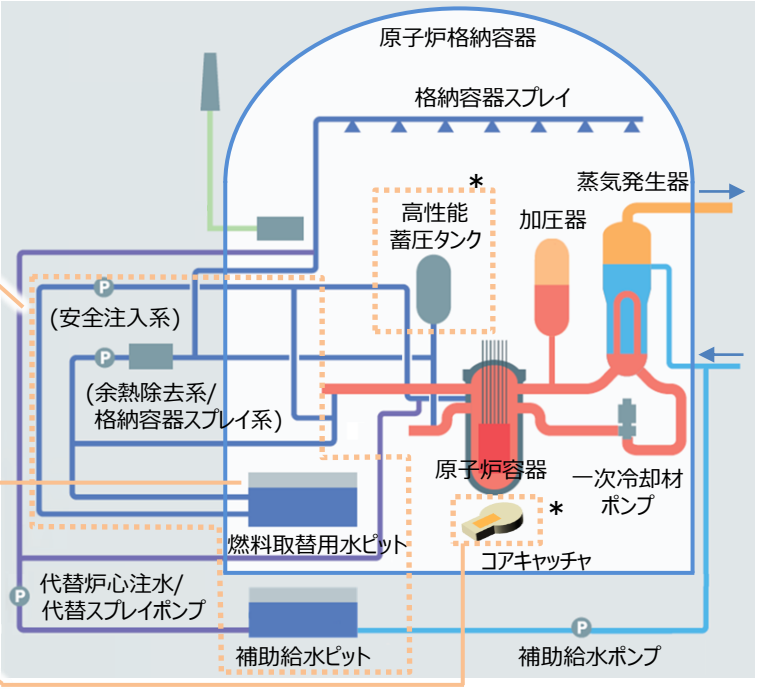
炉心・格納容器冷却システム等の多重性・多様性を強化

運転員操作低減

再循環切替操作の不要化等

溶融炉心対策

万一の炉心溶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】



＜標準プラントでの設計例＞

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靭化

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

注：図は三菱重工業から提供

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

革新軽水炉の目指す姿とSRZ-1200の安全設計特徴（まとめ）

- SRZ-1200を題材に、**合理的に高い安全性を達成するために「目指す姿」**を下表の通り整理。
- 設計基準事象への対策の徹底や重大事故等への対策最適化等を目指し、既設炉と異なる設計／技術の採用を志向する中で、**規制の予見性が十分でないと考える事項が存在**（次頁参照）。

目指す姿			SRZ-1200の特徴・設計 （主な設計変更点を中心に例示）
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	主要機器の設計改良 （RV:上部挿入ICIS※の採用、RCP:耐SBOシール）
			安全系設備の多重性強化（3系列化）
			高性能蓄圧タンク（パッシブ安全設備）の採用
			インターフェイスシステムLOCA対策(原子炉格納容器内への水源配置及び余熱除去配管耐圧強化)
		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
			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
		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
			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

※：ICIS(炉内核計装装置)

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

革新軽水炉の目指す姿とSRZ-1200の安全設計特徴（まとめ）

目指す姿			SRZ-1200の特徴・設計 （主な設計変更点を中心に例示）
深層防護の実装、バランスの良い防護対策の配置			
	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
		常設設備を基本としたSA設備による信頼性向上	別置海水ポンプ、代替炉心注入ポンプ、ガスタービン発電機の採用
		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
		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	APC耐性強化、区画分離徹底 格納容器外部遮蔽壁の頑健化
		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
		新技術の導入	**溶融炉心冷却対策としてコアキャッチャ（パッシブ安全設備）を採用**
	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	大規模損壊対応設備として可搬型設備を配備
		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）
		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

：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

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

４．規制の予見性が十分でないと考える事項

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

規制の予見性が十分でないと考える事項

- SRZ-1200を題材に革新軽水炉の安全設計の考え方を整理した結果、既設炉と異なる設計／技術を採用するために、規制の予見性が十分ではなく、今後の開発推進に大きな影響を及ぼす事項として下記の論点①～③が抽出された。

  ➡ 本日、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」（設置許可基準規則及び解釈）に照らして、概要を説明

- なお、「設置許可基準規則及び解釈」の全条文の記載事項とSRZ-1200の現時点の基本設計方針を確認し、この他に規制の予見性が十分でない項目は現時点においてない（注）。

注：今回は今後の開発推進に直ちに大きな影響を及ぼす事項を抽出したものであり、その他の革新軽水炉を題材に検討した場合も含めて、開発の進捗に応じて下記の他にも事前に確認したい事項が今後抽出される可能性はある。

○ 規制の予見性が十分でないと考える事項

【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**
  （本日は、特重情報の観点で公開可能な内容をご説明）

【論点③】 溶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）

【その他（現時点で直ちに開発に大きい影響を及ぼすものではないが、今後確認したい事項）】

- 新技術等の適用促進に向けて技術等を事前確認する制度の活用・拡大

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点①】常設設備を基本とした重大事故等対応

＜予見性が十分でないと考えている点＞

- 現在の解釈では、**事象収束のために必要な設備として、可搬型重大事故等対処設備の配備**又は同等以上の効果を有する措置が要求されている。
- **信頼性等に優れた常設設備による措置が、可搬型設備を基本とした対応にて求められる措置と「同等以上の効果を有する**」といえるか判断できない。

次頁、既設炉とSRZ-1200の常設設備および可搬型設備の活用の考え方を説明

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点①】各事象に対する常設設備および可搬型設備の活用の考え方

- 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」の特性に優れる常設設備を基本とした対応**を採用。

【既設炉とSRZ-1200の比較（炉心注水の例）】

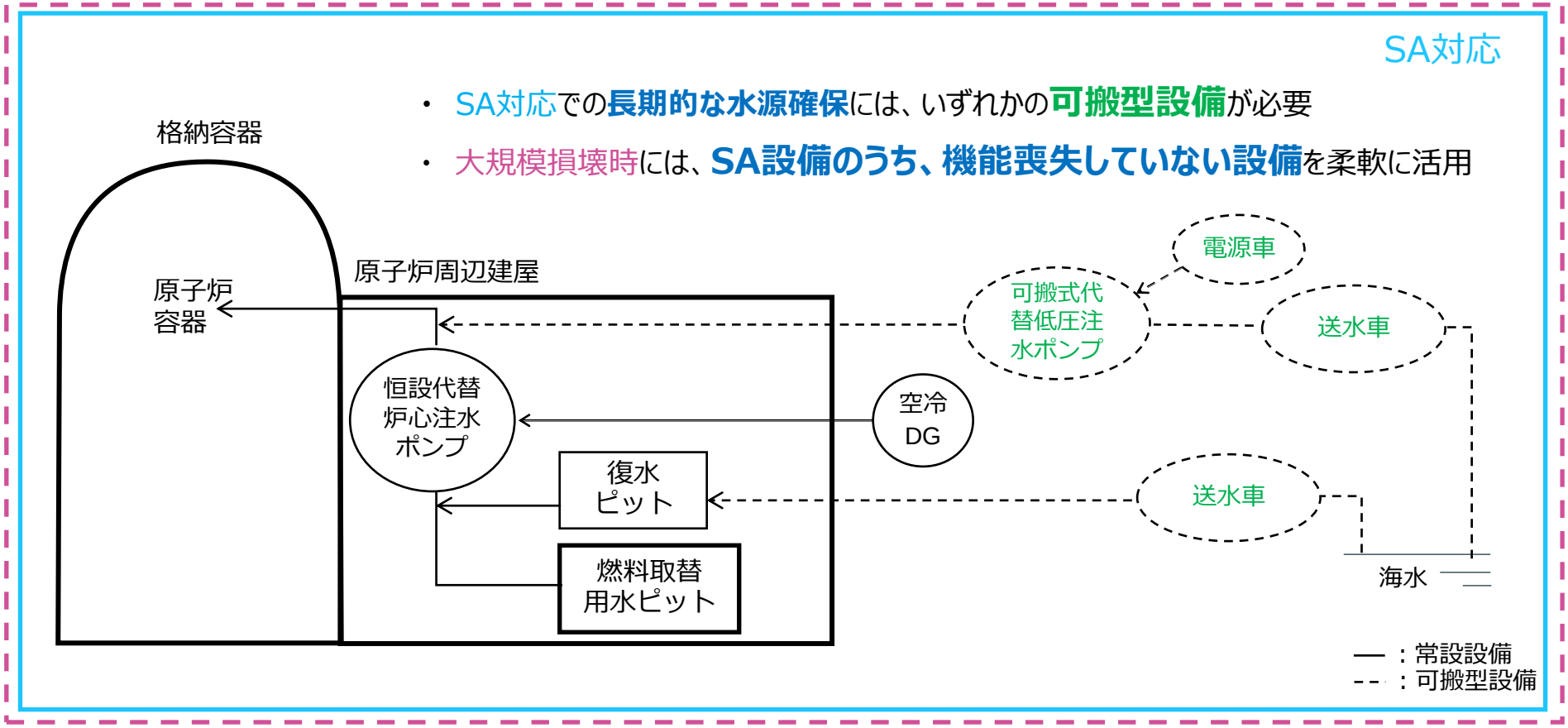
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2"></th><th colspan="4">SA対応</th><th colspan="3" rowspan="2">大規模損壊対応</th></tr>
<tr><th colspan="2">初期対応</th><th colspan="2">事象収束対応</th></tr>
<tr><td rowspan="3">既設炉
（例）</td><td>水源</td><td rowspan="3">常設設備</td><td>燃料取替用水ピット</td><td rowspan="3">可搬型設備</td><td>海水
（送水車で仮設水槽に取水）</td><td colspan="3" rowspan="3">SA設備の
機能喪失してないものを
活用</td></tr>
<tr><td>ポンプ</td><td>恒設代替低圧注水ポンプ</td><td>可搬型
代替低圧注水ポンプ</td></tr>
<tr><td>電源</td><td>空冷DG</td><td>電源車</td></tr>
<tr><td rowspan="3">SRZ-1200</td><td>水源</td><td rowspan="3">常設設備</td><td colspan="3">格納容器内燃料取替用水ピット＋海水
（別置海水ポンプで海水を補助給水ピットへ追加注水）</td><td rowspan="3">SA設備の
機能喪失
していない
ものを活用</td><td rowspan="3">＋</td><td rowspan="3">可搬型設備</td><td>海水
（海水取水設備で取水）</td></tr>
<tr><td>ポンプ</td><td colspan="3">常設代替炉心注入ポンプ</td><td>可搬型
代替炉心注入ポンプ</td></tr>
<tr><td>電源</td><td colspan="3">ガスタービン発電機</td><td>電源車</td></tr>
</table>

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点①】既設炉の設備構成

- 既設炉は、柔軟性等の特性を持つ**可搬型設備を基本としてSA事象を収束する**設計
  （2又は1セット/基＋予備）
  （時間的余裕のない場合（初期対応）は常設設備で対応）
- 不確かさへの対応では、SA設備（基本は可搬型）のうち、機能喪失していない設備を柔軟に活用
  （大規模損壊対応を想定）

【既設炉（炉心注水の例)】



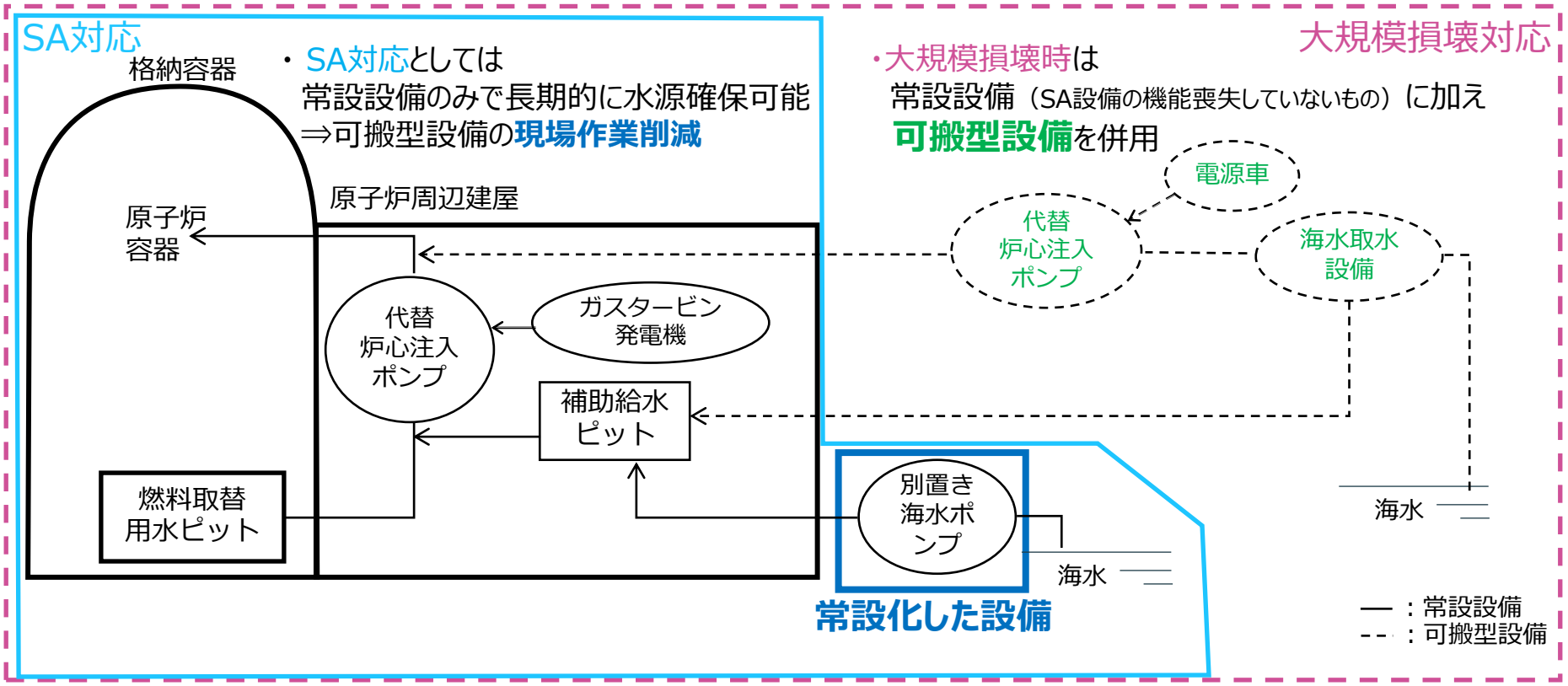
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点①】SRZ-1200の設備構成

- SRZ-1200は、**常設設備を基本としてSA事象を収束**する設計
  （常設設備は1セット/基、可搬型設備は配備しない※ ）
  ⇒ **現場作業の削減**により、**人的過誤の低減**、**対応時間の短縮等**が可能
- 不確かさへの対応では、**常設設備で使用可能なものに加え**、「柔軟性」に優れた**可搬型設備を併用**
  （大規模損壊対応を想定）　　（ 基本1セット/基）

※：第55条対象設備等を除く

【SRZ-1200（炉心注水の例）】



Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点①】常設設備を基本とした重大事故等対応

＜同等以上の効果を有する措置であると判断する理由＞

A) 既設炉は、建設時に**重大事故を想定していない既存設備であることを考慮**し、可搬型設備※で柔軟に重大事故に対応するとしている。

B) 一方、SRZ-1200は、**設計段階から重大事故を想定した区画分離の強化や柔軟な配置による工夫**をDB含めた常設設備に取り入れる。

C) これにより、**常設設備を基本とした重大事故対応を可能とする**とともに、手順書の簡素化による人的過誤低減、操作性向上による事象の早期収束、作業の短時間化、被ばく低減及び十分な容量確保を図る。

D) なお残る**不確かさへの対応として、**設計段階にて考慮した想定を超える事象に対し、可搬型設備※による**柔軟性のある対応を組み合わせる**。

E) また、DBを含めてプラント全体の信頼性を強化し**、事象進展の可能性を低減**する。

➢ 上記A)～C)により、常設設備による重大事故対応については、解釈に記載の措置を施した既設炉と同等以上の効果を有するものとなる。加えて、上記D)、E)により、不確かさなどに対する信頼性を更に向上させることができる。

※:『実用発電用原子炉に係る新規制基準の 考え方について』において、「可搬型設備の場合は、例えば想定していた配管が使えなくなった場合でも、他の配管への接続を試みることができるなど柔軟性があり、接続に要する時間は接続手法の改善で短縮が見込める上、作業環境も接続場所の分散などによって選択肢を広げる等の対策が可能となる。」と記載されている。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

（参考）設置許可基準規則および解釈とSRZ-1200の適合方針の関係性

【47条：原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備（例）】

設置許可基準規則	解釈	SRZ-1200の適合方針
（原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備） 第四十七条 発電用原子炉施設には、原子炉冷却材圧力バウンダリが低圧の状態であって、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の冷却機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損を防止するため、発電用原子炉を冷却するために必要な設備 を設けなければならない。	第４７条（原子炉冷却材圧力バウンダリ低圧時に発電用原子炉を冷却するための設備）	原子炉冷却材圧力バウンダリが低圧の状態であって、設計基準事故対処設備が有する発電用原子炉の冷却機能が喪失した場合においても炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器の破損を防止するため、発電用原子炉を冷却するために必要な設備を設ける設計とする。
	１ 第４７条に規定する「炉心の著しい損傷」を「防止するため、発電用原子炉を冷却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。	第４７条に規定する「炉心の著しい損傷」を「防止するため、発電用原子炉を冷却するために必要な設備」は以下に掲げる措置を有する設計とする。
	（１）重大事故防止設備 ａ）**可搬型重大事故防止設備を配備すること。** ｂ）炉心の著しい損傷に至るまでの時間的余裕のない場合に対応するため、常設重大事故防止設備を設置すること。	**常設重大事故防止設備を設置する。** **炉心の著しい損傷に至るまでの時間的余裕のない場合および長期冷却に対応可能。** **（代替炉心注入ポンプによる炉心注水）**
	ｃ）上記ａ）及びｂ）の重大事故防止設備は、設計基準事故対処設備に対して、多様性及び独立性を有し、位置的分散を図ること。	**常設**重大事故防止設備は、設計基準事故対処設備に対して、多様性及び独立性を有し、位置的分散を図る設計とする。

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点②】重大事故等対処設備(4b)と特重施設の機能統合

＜予見性が十分でないと考えている点＞

- 現状の解釈では、**DB設備及びSA設備に対して、**「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」**（以下、「独立性等」）特重施設の設置又は同等以上の効果を有する措置を要求されている。

- SRZ-1200では、DB、SA(4a)、SA(4b)の各防護レベルに求められる機能の信頼性を高め、独立性等を確保することにより、共通要因に対して同時喪失を防止した上で、**SA設備(4b)と特重施設を統合**する設計とするが、**解釈通りの独立性等が確保できない。**

- この設計においても、APCその他テロ事象の発生時にも特重施設としての機能を維持でき「同等以上の効果を有する」と考えるが、この認識でよいか判断できない。

次頁、SRZ-1200のDB/SA/特重機能の実装等を説明

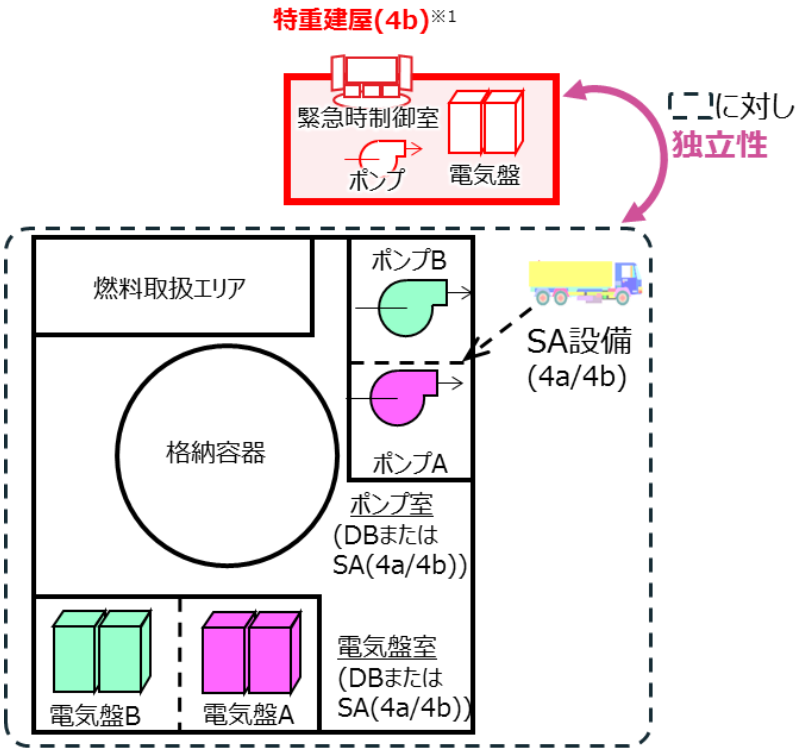
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点②】DB/SA/特重機能の実装（統合後のイメージ）

- 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

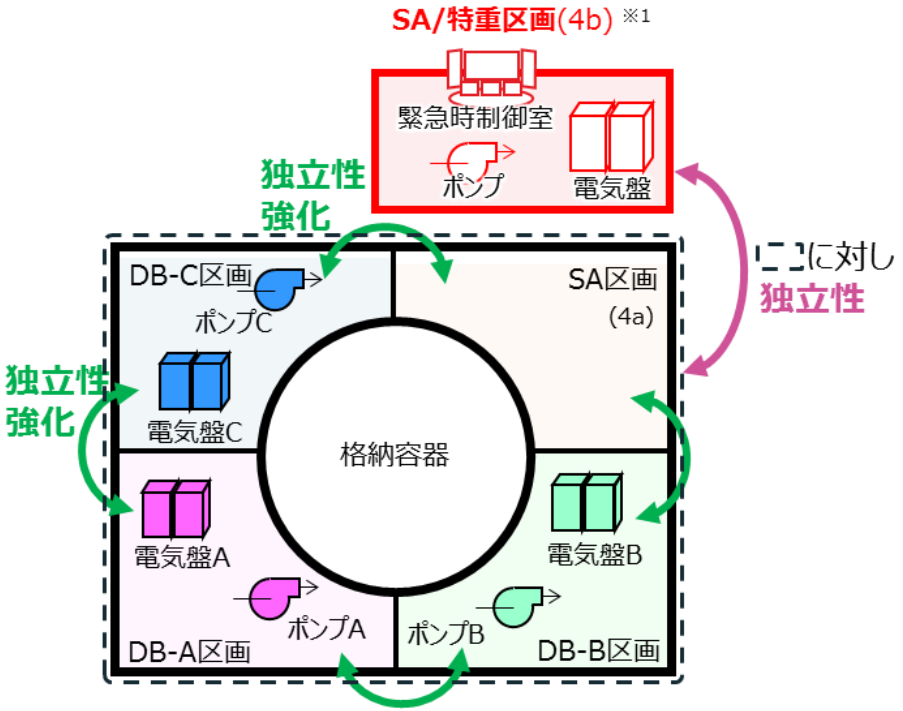


SRZ-1200

【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)



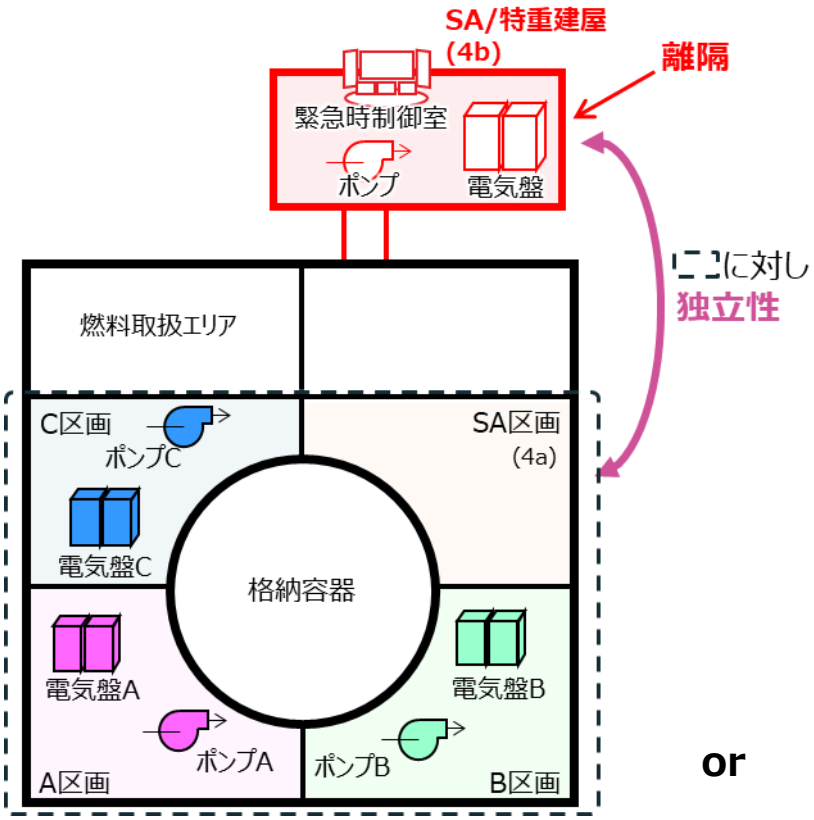
※1：サイト条件等を考慮し、離隔距離または頑健性（物理障壁）によりAPC・その他テロに対する耐性を確保

注：図は三菱重工業から提供

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

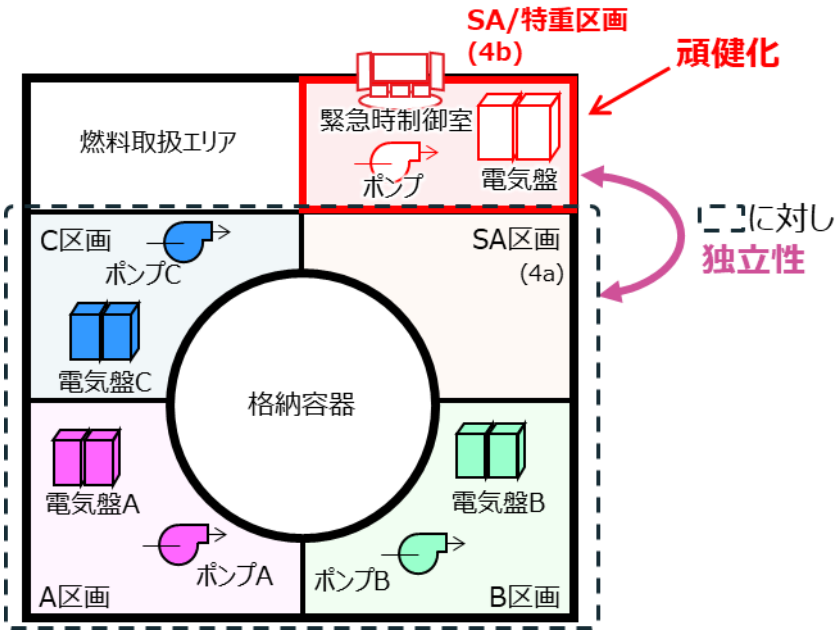
（参考）SA設備(4b)と特重施設の機能統合の設計例

- 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



＜離隔距離を確保＞

or



＜SA/特重区画の建屋頑健化＞

注：図は三菱重工業から提供

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

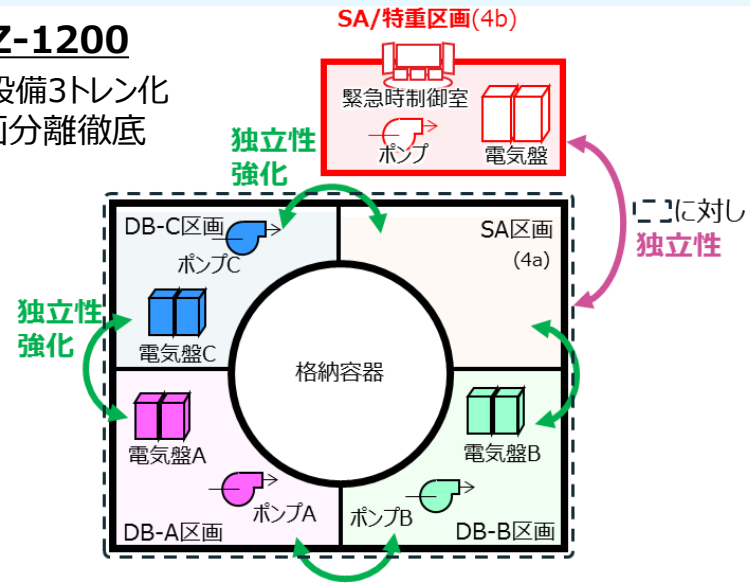
【論点②】DB/SA/特重の独立性確保・強化

- 既設炉では、**DB・SA(4a/4b)と特重(4b)の独立性確保** により、同時喪失防止
  - ✓ **既存設備の制約**により、特重施設を別途設置することで達成
- SRZ-1200では、**DB・SA(4a)とSA/特重統合(4b)の独立性確保** により、同時喪失防止
  - ✓ 特重施設をSA(4b)設備と別で設置せずとも、**既設炉と同等の独立性**を確保

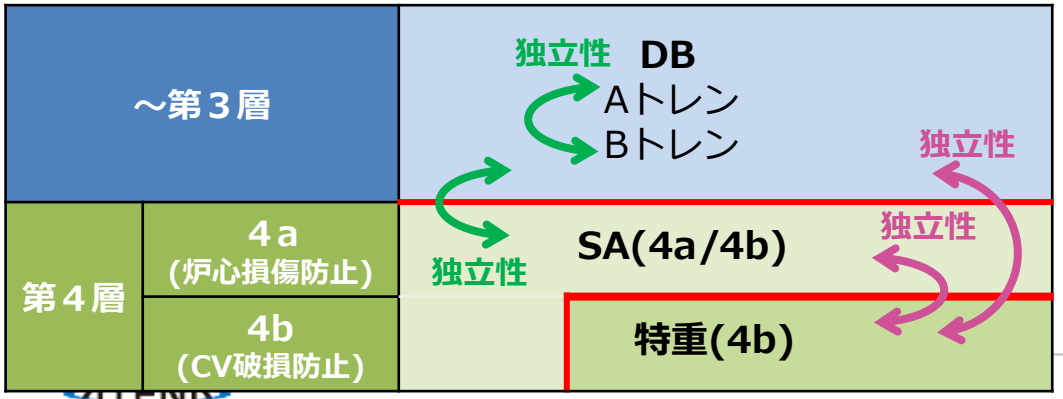
- 更に、第3層以下を含めて**信頼性を強化し、事象進展の可能性を低減**
  (DB設備3トレン化、区画分離徹底による**独立性強化**等)
  - ✓ APC時でもいずれかのDB・SA(4a)設備を使用できる可能性を高めている

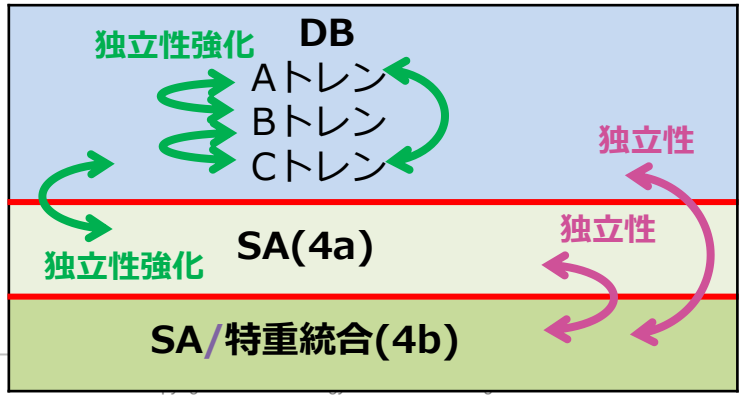
SRZ-1200

・DB設備3トレン化
・区画分離徹底



既設炉





注：図は三菱重工業から提供

【論点②】4b機能統合後の系統構成

➢ **同一機能（格納容器破損防止）を有する設備（スプレイポンプや冷却水供給ポンプ）を統合**

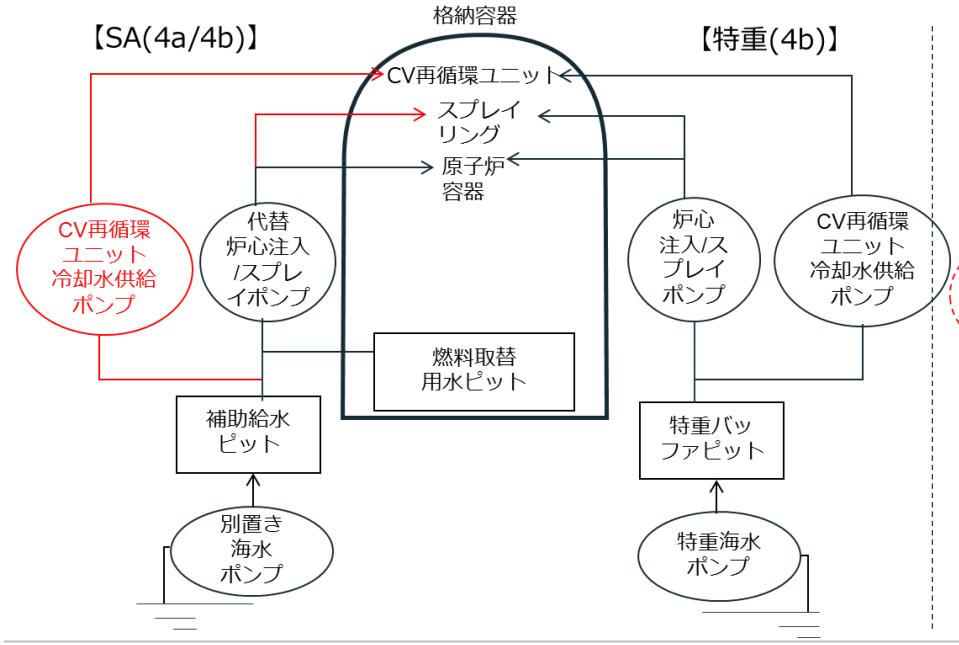
【SRZ-1200設計の統合前後比較(例)】

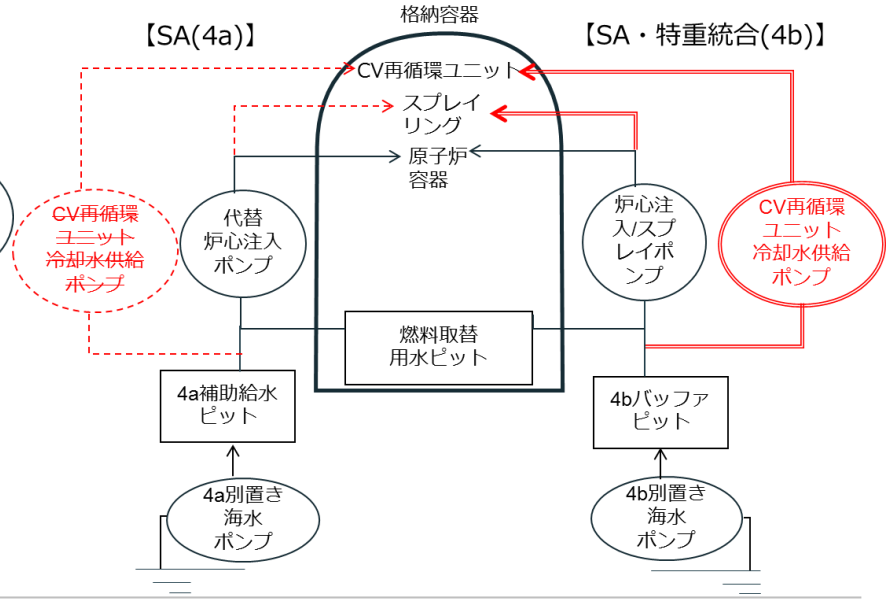
統合前

SA(4a)	SA(4b)	特重(4b)
代替炉心注入/スプレイポンプ (既設炉：代替低圧注水ポンプ等)		炉心注入/スプレイポンプ
–	CV再循環ユニット 冷却水供給ポンプ (既設炉：大容量ポンプ等)	CV再循環ユニット 冷却水供給ポンプ

統合後

SA(4a)	SA・特重統合(4b)
代替炉心注入ポンプ	炉心注入/スプレイポンプ
–	CV再循環ユニット 冷却水供給ポンプ





Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点②】重大事故等対処設備(4b)と特重施設の機能統合

＜同等以上の効果を有する措置であると判断する理由＞

- 既設炉の特重(4b)は、**建設時にAPCを考慮していないDB及びSA(4a/4b)から離隔もしくは頑健化し、独立性等を確保することで同時喪失を防止**している。
- SRZ-1200では、**SA/特重統合(4b)に、APC耐性を持たせた**うえで、DBおよびSA(4a)に対して**独立性等を確保する**。
- この独立性等により、**SA/特重統合(4b)に求められる機能が、APCを含めた共通要因により同時喪失することを防止**できる。
- また、建屋頑健化等のAPC耐性強化により、**いずれかのDBまたはSA(4a)の機能が残る可能性**を高めている。
- 以上により、解釈に記載の措置を施した既設炉と同等以上の効果を有する措置であると考えている。
- なお、APC耐性を頑健性(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

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

（参考）設置許可基準規則および解釈とSRZ-1200の適合方針の関係性

【42条：特定重大事故等対処施設】

設置許可基準規則	解釈	SRZ-1200の適合方針
（特定重大事故等対処施設） 第四十二条 工場等には、次に掲げるところにより、特定重大事故等対処施設を設けなければならない。 二 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するものであること。	第４２条（特定重大事故等対処施設） ３ 第２号に規定する「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、以下に掲げる設備又はこれらと同等以上の効果を有する設備をいう。 (a)以下の機能を有すること。 ～（略）～ (c)上記３(a)の機能を有する設備は、設計基準事故対処設備及び**重大事故等対処設備（特定重大事故等対処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。**	特定重大事故等対処施設は、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する設計とする。 特定重大事故等対処施設は、第２号に規定する「原子炉格納容器の破損を防止するために必要な設備」を有する設計とする。 **格納容器破損防止機能を有する特定重大事故等対処施設を構成する設備と、格納容器破損防止機能を有する重大事故等対処設備を統合する。**

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点③】溶融炉心対策への新技術導入（ドライ型コアキャッチャ）

＜予見性が十分でないと考えている点＞

- 現状の解釈は、既設炉の構造の利用を前提とした設備の設置要求となっており、**ドライ型コアキャッチャにも適用して良いか判断できない**。
- 溶融炉心落下前に格納容器下部に注水する既設炉とは異なる冷却方式の**ドライ型コアキャッチャにおいて設計上考慮すべき事項**（スライド29の項目）**で十分か判断できない**。そのため、新技術の適用に設計手戻り等のリスクを感じている。

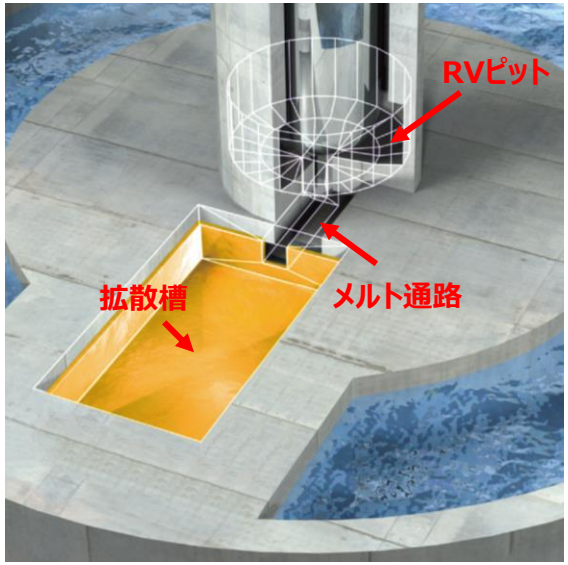
次頁、SRZ-1200の溶融炉心対策の設計上考慮すべき事項等を説明

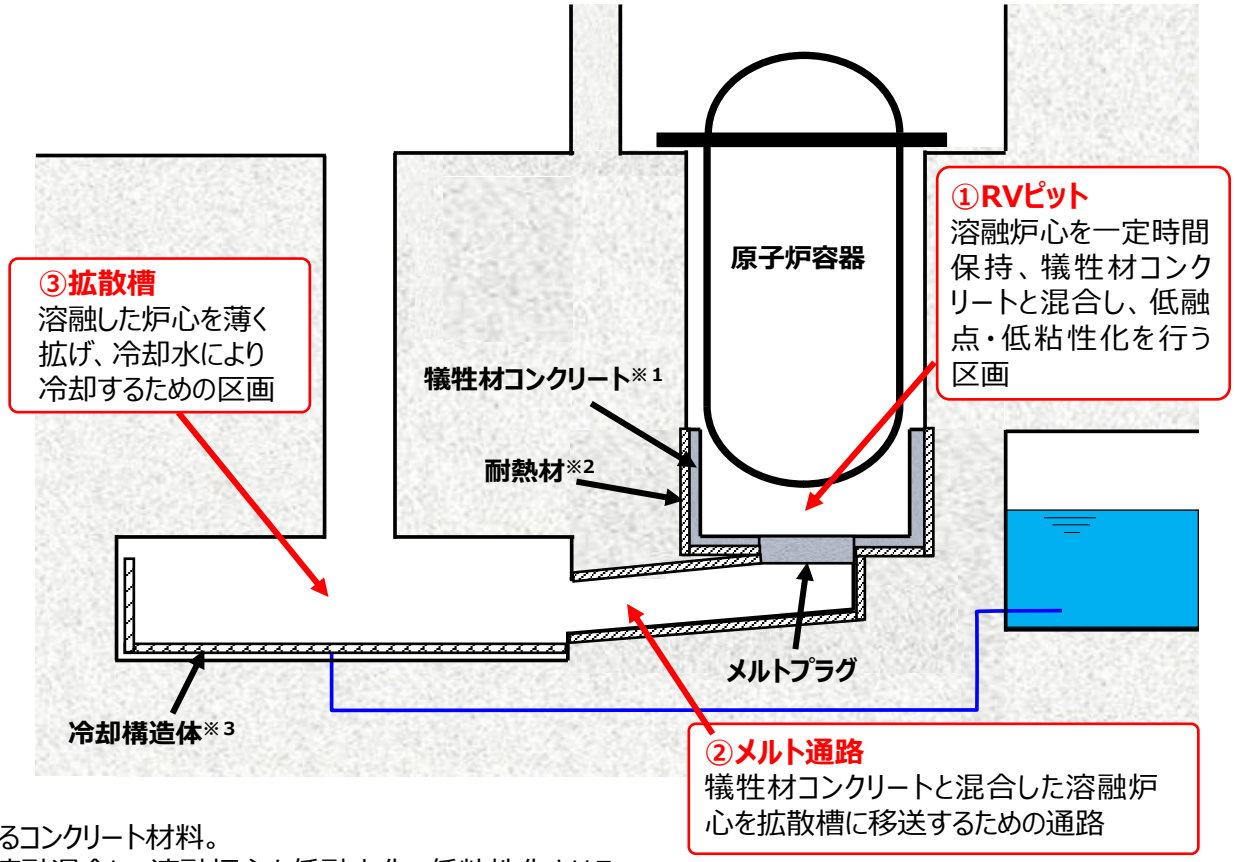
ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点③】ドライ型コアキャッチャの構造

➢ パッシブ設備にて、**溶融炉心を薄く拡げて**から、**注水**することにより、溶融炉心を確実に冷却

- 溶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　：酸化鉄を主成分とするコンクリート材料。
溶融炉心の熱により溶融混合し、溶融炉心を低融点化、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　：拡散槽内での溶融炉心冷却用の鋼板（表面に保護コンクリートを敷設）

注：図は三菱重工業から提供

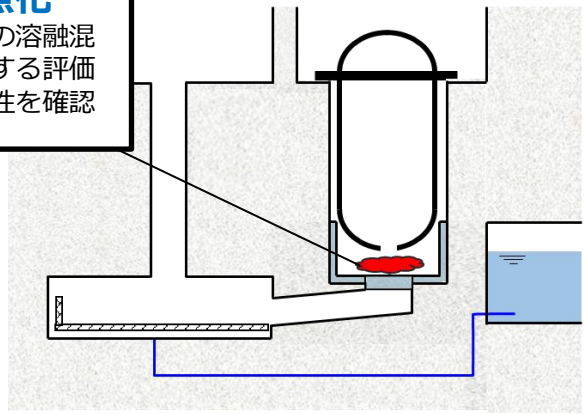
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点③】ドライ型コアキャッチャの設計上の考慮事項

➢ 事象の各段階での**不確かさを適切に考慮し、評価条件の保守的な設定**等により、設計妥当性を確認

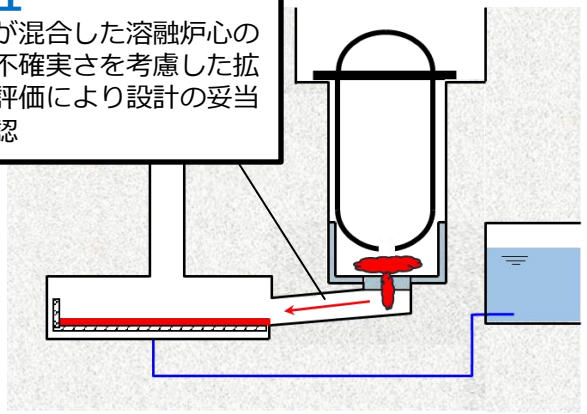
（1）炉心溶融段階

低粘性・低融点化
溶融炉心と犠牲材の溶融混合の不確実さに対する評価により設計の妥当性を確認



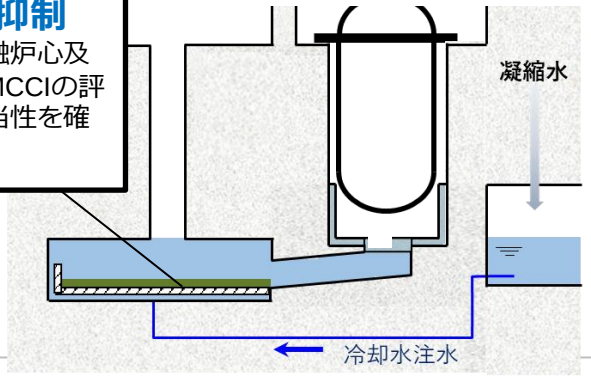
（2）溶融炉心拡散段階

拡散性
犠牲材が混合した溶融炉心の性状の不確実さを考慮した拡散性の評価により設計の妥当性を確認



（3）溶融炉心冷却段階

冷却性・MCCI抑制
冷却水冠水後の溶融炉心及び拡散槽の温度とMCCIの評価により設計の妥当性を確認



注：図は三菱重工業から提供

ATENA Atomic Energy Association
Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

【論点③】溶融炉心対策への新技術導入（ドライ型コアキャッチャ）

＜同等以上の効果を有する措置であると判断する理由＞

- 溶融炉心を犠牲材コンクリートと混合させ、**拡散しやすい性状にした上で、メルト通路や拡散槽では耐熱材や冷却構造体により構造コンクリートを防護**することで、MCCIを抑制し、溶融炉心が格納容器バウンダリに接触しないようにする。

- 拡散槽で**溶融炉心を拡げ**、格納容器内のピットからの静的な重力注水により、**溶融炉心を上面と下部から冷却**する。

- 溶融炉心と犠牲材コンクリートの混合（低粘性・低融点化）や拡がり挙動（拡散性）、冷却水供給後の伝熱（冷却性）等に対し、設備性能に係る物理挙動の**不確かさも考慮した設備仕様**とする。

- 以上より、格納容器の破損を防止するため、溶融し、下部に落下した炉心を冷却する設備として、コアキャッチャが解釈に記載の措置を施した既設炉と同等以上の効果を有する措置であると考えている。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

（参考）設置許可基準規則および解釈とSRZ-1200の適合方針の関係性

【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】

設置許可基準規則	解釈	SRZ-1200の適合方針
（原子炉格納容器下部の溶融炉心を冷却するための設備） 第五十一条 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の破損を防止するため、溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備を設けなければならない。	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）	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の破損を防止するため、溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備を設ける設計とする。
	１ 第５１条に規定する「溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却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。なお、原子炉格納容器下部に落下した溶融炉心の冷却は、溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)を抑制すること及び溶融炉心が拡がり原子炉格納容器バウンダリに接触することを防止するために行われるものである。	第５１条に規定する「溶融し、原子炉格納容器の下部に落下した炉心を冷却するために必要な設備」は、以下に掲げる措置を有する設備を配備する。なお、原子炉格納容器下部に落下した溶融炉心の冷却は、溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)を抑制すること及び溶融炉心が拡がり原子炉格納容器バウンダリに接触することを防止するために行われるものである。
	ａ）**原子炉格納容器下部注水設備**を設置すること。原子炉格納容器下部注水設備とは、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。	**ドライ型コアキャッチャ**を設置する。
	ｉ）原子炉格納容器下部注水設備（ポンプ車及び耐圧ホース等）を整備すること。（可搬型の原子炉格納容器下部注水設備の場合は、接続する建屋内の流路をあらかじめ敷設すること。）	ドライ型コアキャッチャを整備する。
	ii）原子炉格納容器下部注水設備は、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。（ただし、建屋内の構造上の流路及び配管を除く。）	ドライ型コアキャッチャ（注水部分のみ）は、多重性又は多様性及び独立性を有し、位置的分散を図る設計とする。（ただし、建屋内の構造上の流路及び配管を除く。）
	ｂ）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。	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設計とする。

5． まとめ

- 事業者として、電力の安定供給の確保や電源の脱炭素化に資する原子力発電を今後とも継続的に活用するため、革新軽水炉の導入に向けた開発を進めることは重要。
- 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省を十分に踏まえつつ、設計段階から安全対策を取り入れることが可能であるため、合理的に高い安全性を達成可能な設計／技術を導入したい。
- 一方で、規制の予見性が十分ではない現状においては、開発を更に推進することが困難な状況。
- 規制の予見性を向上させて、高い安全性を持つ革新軽水炉の導入を早期に実現させるため、本日説明した**「規制の予見性が十分でないと考える事項」を中心に、革新軽水炉の規制基準について、新技術等の適用促進も含め、具体的な議論ができる場の設定をお願いしたい。**

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

以下、参考
（前回のCNO意見交換会資料の抜粋）

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

1. 背景

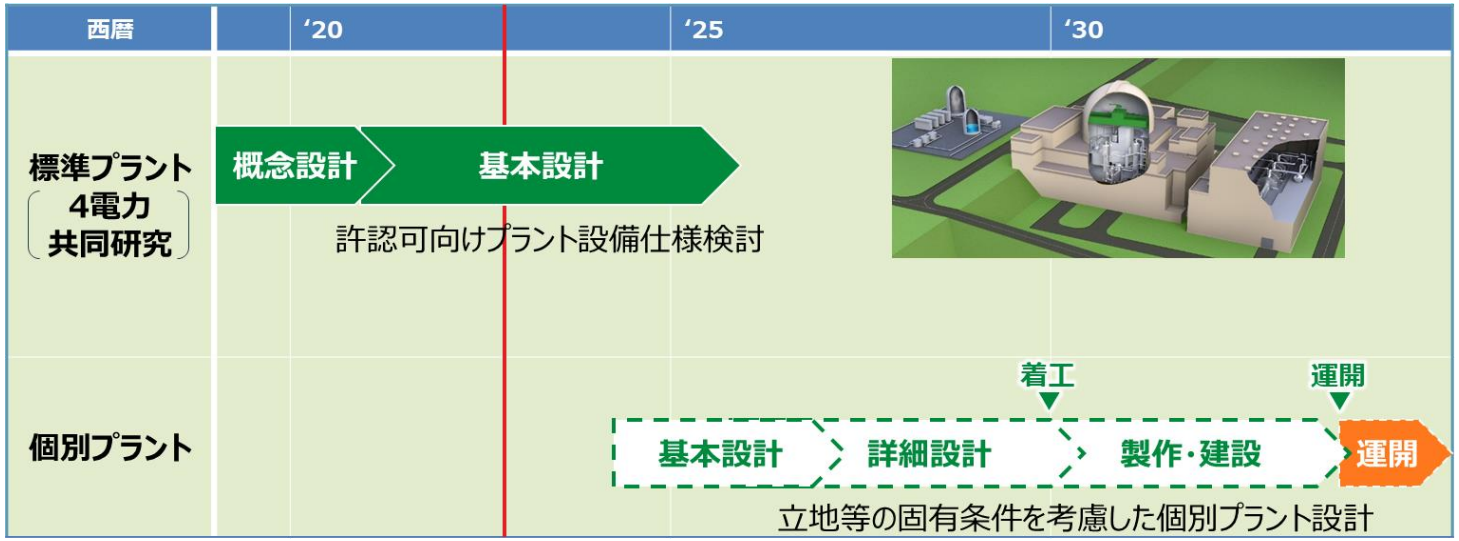
- エネルギー資源に乏しい我が国においては、S+3E（安全性(Safety)、安定供給(Energy security)、経済効率性(Economic efficiency)、環境適合(Environment)）の観点が非常に重要であり、**電力の安定供給の確保や電源の脱炭素化に資する原子力については、安全性確保を大前提として、将来にわたり持続的に活用することが不可欠**。
- 「GX実現に向けた基本方針」(2023/2/10閣議決定)及び「今後の原子力政策の方向性と行動指針」(2023/4/28原子力関係閣僚会議決定)において、国の方針として「次世代革新炉の開発・建設に取り組む」ことが示された。なお、原子力を含む脱炭素電源への新規投資を促進するため「長期脱炭素電源オークション」の運用も開始されているところ。
- 上記方針の発出以降、現時点で事業者として新たにプラント建設の意志表示はしていないが、このままでは国内の原子力設備容量は時間とともに減少していくため、**新たなプラント建設が必要になる**と考えている。また、原子力特有の高い技術を有するサプライチェーンを維持していく観点からも、新たなプラント建設は重要。
- 現行の中大型軽水炉の設計をベースに最適化された安全設備等によって安全性を高めた**革新軽水炉は、既存技術の延長線上にあり成熟度が高く、事業者が早期の導入に向けて選択する可能性が最も高い炉型**。国内では一部の電力会社と各メーカーが革新軽水炉の開発を推進中。原子力学会においても技術要件等が整理されているところ。
- 一方で、**現行の規制基準は既設軽水炉向け**との見解が原子力規制委員会から示されている状況。
- これらの状況を受け、**革新軽水炉と規制基準との関係性を検討するため、ATENAに革新軽水炉WGを設置**。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

2-1. 国内の革新軽水炉の開発状況

- 国内PWR４電力と三菱重工業は、革新軽水炉「SRZ-1200」の共同開発を推進しており、2022年9月に基本設計を進めていくことを公表。また、日立GEや東芝ESSにおいても「HI-ABWR」や「iBR」の開発を推進。
- 東京電力福島第一原子力発電所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る認識で開発。
- 既設軽水炉の技術をベースに開発しているが、多くの追加安全対策を施した既設軽水炉と異なり、**革新軽水炉では設計段階から合理的に安全対策を取り込むことが可能**であり、**既設軽水炉とは異なる技術も採用**しながら、**高い安全性を実現可能**。

＜参考：SRZ-1200設計・建設に向けたロードマップ＞



注：ロードマップは三菱重工業から提供

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

2-2. 開発に際しての懸念事項

- 新たなプラントとして革新軽水炉を導入するにあたり、基本設計を確定し、事業性の見通しを得たいが、下記の点から規制の予見性が十分ではない状況。
  - ① **現行規制基準は既設軽水炉向けとされている。**
  - ② **既設軽水炉とは異なる設計や技術について、安全性は十分あると考えているものの、規制の求める保安水準を達成しているか判断できない。**
- 規制の予見性が十分ではない状況においては、**具体的な設備構成や配置などを確定させるための開発を更に推進することが困難な点が存在**し、投資判断にあたっての工期・建設費等の見通しが困難であるとともに、設計手戻りが発生する※懸念。

※SRZ-1200は標準プラントの基本設計が8割程度完了しており、規制の予見性が十分ではない状況では、既に設計手戻りが発生する懸念が生じている。

- ◆ 開発を更に推進するためには、**新設の軽水炉に適用される規制基準について、原子力規制委員会との共通認識の醸成が必要。**
- ◆ **ATENAにWGを設置し、革新軽水炉と規制基準との関係性を検討中**であるため、**意見交換をお願いしたい**。

Copyright © Atomic Energy Association All Rights Reserved.

3. 意見交換の進め方イメージ

- ATENAでは、検討に際しての具体的な設計の題材として、事業者が開発に参画しており導入の予見性が相対的に高い**SRZ-1200を代表例**※として検討を進めている。

  ※国内で開発されている革新軽水炉のコンセプトは、規制基準との関係性の観点からは、多くの部分が共通している。

- **例えば下記をATENAから説明**した上で、革新軽水炉に対する規制基準について意見交換を行い、共通認識を醸成したいと考えている。

＜意見交換におけるATENAからの提示内容（案）＞

A. SRZ-1200を題材とした革新軽水炉の安全設計の考え方

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の反省や既設軽水炉の審査経験をもとに、既設軽水炉以上の高い安全性を合理的に達成する革新軽水炉の設計の考え方を提示。

B. 主要な海外規制基準と国内の現行規制基準との比較

- 現行の国内規制基準をベースに革新軽水炉を設計することで、海外と比較しても安全性の観点から遜色がないものになることを確認するため、Generation III+世代の軽水炉に係る代表的な基準を例に、国内の現行規制基準との比較結果を提示。

C. 革新軽水炉と規制基準との関係性

- 既設軽水炉とは異なる革新軽水炉の設計や技術のうち、規制の求める保安水準を達成しているか確認したい項目を提示。