

革新軽水炉の取り組みについて

2024年8月20日

原子力エネルギー協議会

(ATENA : Atomic Energy Association)

- 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」の運用も開始された。
- 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。
- **現行の規制基準は既設軽水炉を前提に作成されていることを踏まえ、ATENAに革新軽水炉WGを設置し、「主要な海外規制基準と国内の現行規制基準との比較」や「革新軽水炉と規制基準との関係性」に係る検討を進めてきた。**

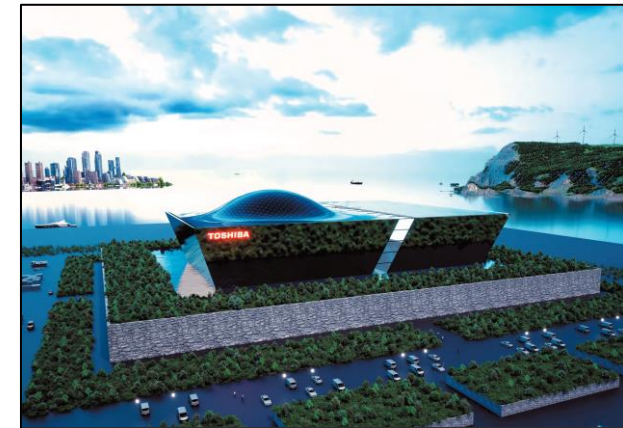
国内の革新軽水炉の開発状況

- 国内PWR 4 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。
- 日立GEや東芝ESSにおいても「HI-ABWR」や「iBR」の開発を推進。

三菱重工業 SRZ-1200
電気出力：約1,210MWe

日立GE HI-ABWR
電気出力：1,350~1,500MWe

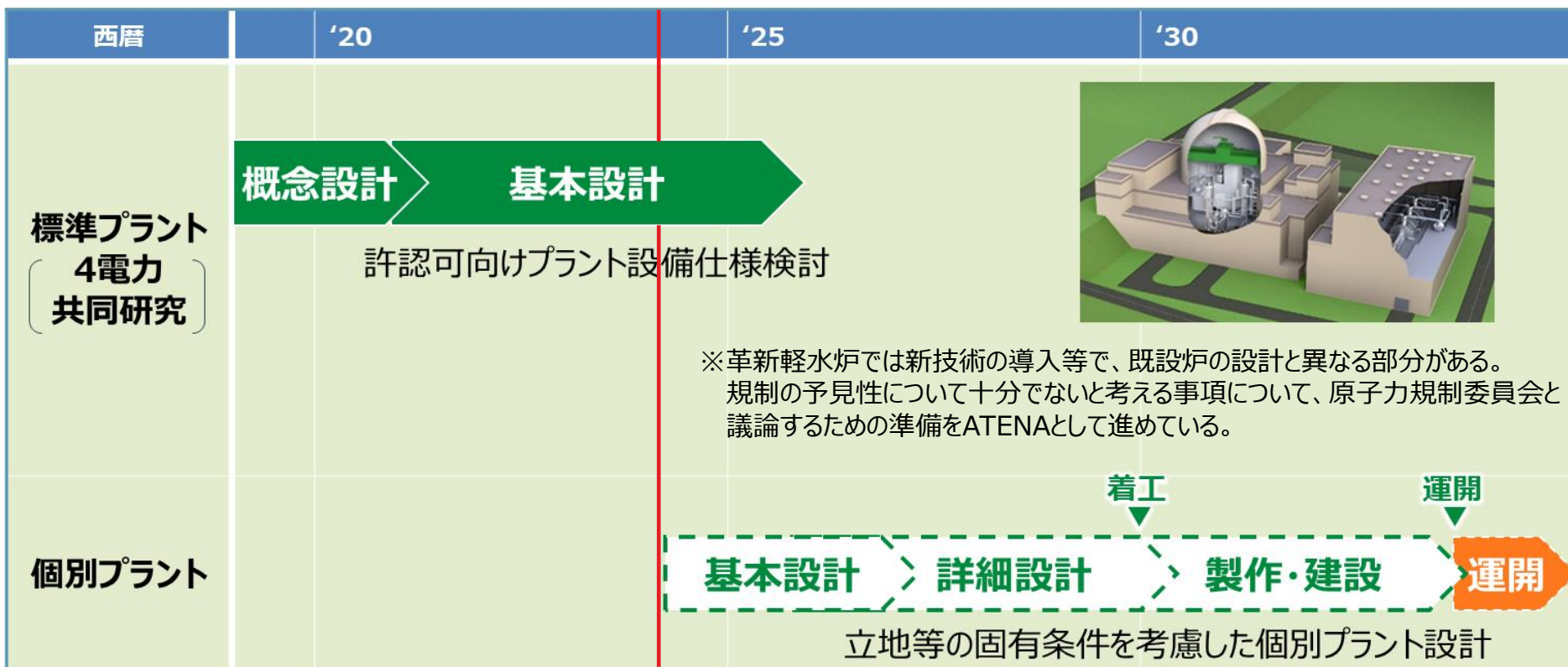
東芝ESS iBR
電気出力：800~1,600MWe



➡ 本日は国内において最も検討が進んでいる、三菱重工業のSRZ-1200について紹介、革新軽水炉の実現に向けたATENAの取組みについて説明する。

【出典】三菱重工業、日立GE、東芝各社のホームページより引用

- 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**。



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
※：多層の防護対策を組み合わせることで、原子力施設全体の防護対策の信頼性を向上させる
- ・ 深層防護レベルの特定の層の対策に過度に依存するのではなく、**各層にバランス良く防護対策を配置**
 - a. 設計基準事象に対する対策の徹底
 - **安全系設備の多重性強化、区画分離の徹底（分散配置を含む）**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）に対する対策最適化
 - **SA設備の多様性及び区画分離の徹底（専用区画の新設）**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）

- 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。

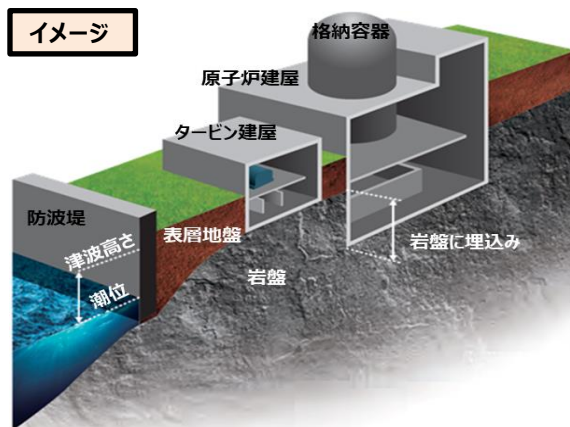
既設炉		SRZ-1200における深層防護設計方針
第1層 (異常の発生防止)	1 系列常用システム	1 系列常用システム (信頼性強化)
第2層 (異常の検知・制御)	<u>2 系列</u> 安全システム	<u>3 系列</u> 安全システム (多重性強化・区画分離徹底等)
第3層 (事故の拡大防止)	<u>2 系列</u> 安全システム	<u>3 系列</u> 安全システム (多重性強化・区画分離徹底等)
第4層 (SA緩和)	4 a (炉心損傷防止)	可搬型設備を基本 【代替炉心注入ポンプ、大容量ポンプ等】 常設設備を基本 【代替炉心注入ポンプ等】
	4 b (格納容器破損防止)	
大規模損壊対応、放射線影響緩和		専用特重施設(常設) (隔離または建屋頑健化) 【FVS※等】 常設設備を基本 (隔離または建屋頑健化) 【格納容器再循環ユニット + FVS※(バックアップ)等】 ※FVS：フィルタベントシステム
		可搬型設備

①地震・津波対策の向上

福島第一原子力発電所事故を踏まえ、国内の厳しい地震条件にも余裕をもった耐震設計や、津波影響の受けない設計の採用による、自然現象への対策の向上

(例)

- ① 強固な岩盤に埋め込む等で、地震時の建屋安定性を高める設計
- ② 想定される津波高さより高い敷地に設置することによる津波侵入防止



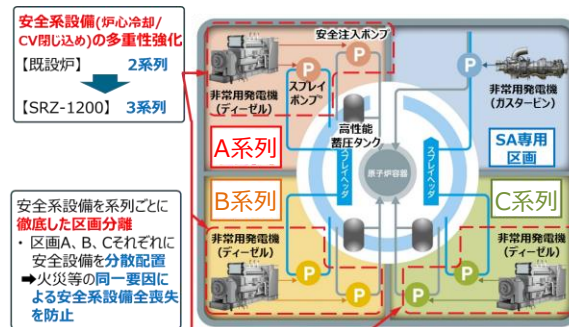
②多重化等による信頼性向上

安全系設備の多重化や区画分離の徹底、常設設備を基本とした重大事故等対応による信頼性の向上

(例)

- ① 安全系設備の多重化による信頼性向上
- ② 区画分離の徹底による火災等の同一要因による安全機能喪失の防止
- ③ 常設設備を基本とした重大事故等対応による信頼性向上
(既設：可搬型設備を基本)

①②のイメージ



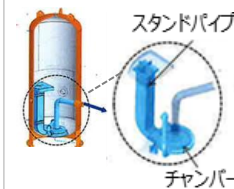
③事故時の更なる信頼性向上

重大事故等対応設備について、電源を必要としないパッシブ安全設備の導入による信頼性の向上

(例)

- ① 高性能蓄圧タンクの採用による、既設プラントで必要となる動的ポンプの機能の一部を集約することによる炉心冷却の信頼性向上
- ② 溶融炉心を薄く拡げた上で、拡がりを検知して自動的に冷却水を注水可能なコアキャッチャーを採用

①のイメージ

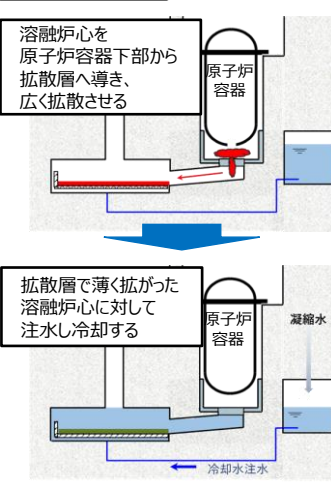


タンク内水位の低下に伴い、パンプに炉心注水流量が大流量から小流量へ切り換わる設計

【タンク水位が高い時】スタンドパイプ上部開口とチャンバーの2か所から取水することで大流量で炉心へ注水

【タンク水位が低下】水位低下に伴い、取水箇所がチャンバーのみとなることで注水流量が抑制される

②のイメージ



- **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

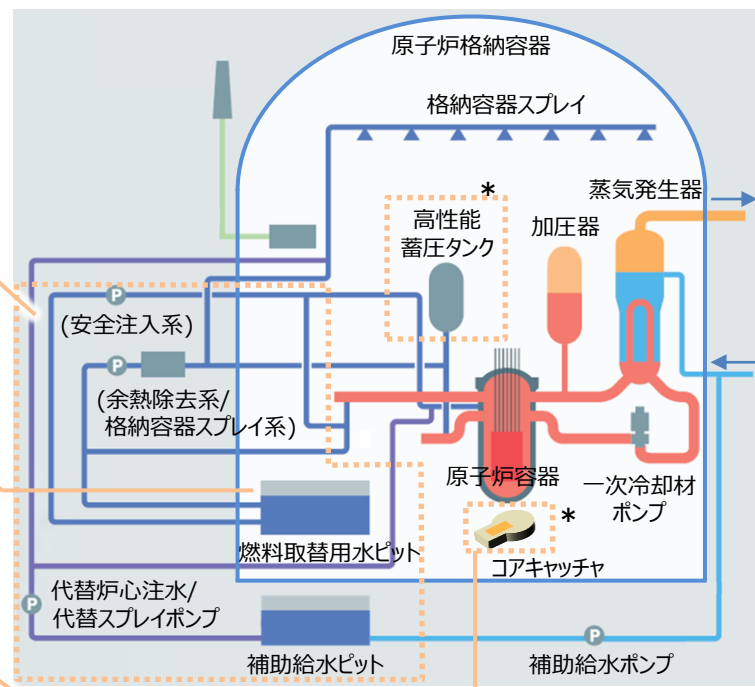
運転員操作低減

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】

※炉心溶融が生じた際にデブリを捕捉して冷却し、原子炉格納容器から流出しないようにする設備



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＞

注：図は三菱重工業から提供

革新軽水炉の実現に向けたATENAの取り組み

- 現行の規制基準は既設軽水炉を前提に作成されていることを踏まえ、新技術等を導入する革新軽水炉と規制基準の関係性について整理することは、規制の予見性の観点からも必要。
- ATENAの革新軽水炉WGでは、新技術等の導入に伴う規制基準や規制基準の解釈への影響要否等について検討を進めてきた。
- 本年3月25日に原子力規制委員会との会合において実務者意見交換の開催を要望したところ、規制の予見性が十分でないとする具体的事項について示すよう求められたため、ATENAにて詳細整理した上で今後議論予定。

<ATENAとして論点と考えている事項>

① 常設設備を基本としたSA設備による信頼性向上

⇔ 既設炉の規制基準では、可搬設備の設置が規制基準の解釈の中で要求されている

② 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)

⇔ 既設炉の規制基準では、SA設備と特重設備は「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」設計とすることが規制基準の解釈の中で要求されている

③ 新技術の導入 (熔融炉心冷却対策としてコアキャッチャを採用)

⇔ 既設炉ではコアキャッチャを設置したプラントはなく、審査実績がない

- 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／技術を導入したいと考えている。
- 現行の規制基準は既設軽水炉を前提に作成されていることを踏まえ、新技術等を導入する革新軽水炉と規制基準の関係性について整理することは、規制の予見性の観点から必要であり、原子力規制委員会との議論に向けた準備を進め、高い安全性を持つ革新軽水炉導入の早期実現に向けた取組みを推進する。

【参考】革新軽水炉の目指す姿とSRZ-1200の安全設計特徴①

10

- 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／技術の採用を志向している。

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 (原子炉容器:上部挿入ICIS※ ¹ の採用、 1次冷却材ポンプ:耐SBO※ ² 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:基準津波高さよりも高い敷地に設置

※1 ICIS (In Core Instrumentation System) : 炉内核計装装置 ※2 SBO (Station Black Out) : 全交流動力電源喪失

【参考】革新軽水炉の目指す姿とSRZ-1200の安全設計特徴②

11

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