

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」WG（BWRブランチ）

0.1 BWRブランチ 設立趣旨

0.2 フェーズ2（前フェーズ）の概要

0.3 BWRブランチのスコープと工程

0.1 BWRランチ 設立趣旨

現況・背景：

- 日本が抱えるエネルギー問題として、自然災害を起因とした大規模停電の経験を踏まえた電力の安定供給の重要性、東日本大震災以降高止まっている電気料金、エネルギー自給率の低さなど、多くの課題が残されている。
- カーボンフリー電源として既に確立した技術であり、且つ大規模な電力を安定的に供給できる原子力発電は重要な役割を担う。
- 2050年カーボンニュートラル（CN）を実現することを念頭に作成された第6次エネルギー基本計画においても、原子力については国民からの信頼確保に努め、安全性の確保を大前提に必要な規模を持続的に活用していくとの方針。
- 原子力発電所建設には準備期間も含めて十数年にわたる長い期間を要するため、原子力を活用して2050年CNを実現するには、速やかに建設を計画する必要あり。新增設・リプレイスに向けた議論を早期に開始することが重要。

目標：

- 軽水炉の社会的受容性の観点から、1F事故が繰り返されないのかという社会からの疑問に応えることは重要と考える。根本的な対策は新規制基準に反映されていることから、WGフェーズ2までの議論で網羅されていると考えられるが、1FでBWRに起こったことへの対応を含め、次期炉に求められる技術要件が、BWRの次期軽水炉の設計に取り込まれていることを確認する。
- 具体的には、BWRの次期軽水炉のコンセプトが、フェーズ2で取り纏めた重要コンセプト・技術要件を満たすことを確認する。

0.2 フェーズ2の概要

フェーズ2で検討・整理した内容を以下に示す。

- 国レベルでの議論から求められる社会的受容性の基本要件を整理し、次期軽水炉の設計の特徴を対比させて、議論する論点を抽出し、次期軽水炉の重要コンセプトを具体化するとともに、それを実現するために考慮すべき規制や制度の考え方について検討を実施した。
- 重要コンセプトの具体化としては、深層防護の実装の考え方を基に安全性向上に係る事項として、内的・外的事象への対応、テロ対策、設計想定を超える事象への対応、設計としての性能目標等を検討し技術要件として整理した。
- また、経済性向上に資する技術についても検討を行い、次期軽水炉としての建設工期短縮（建設コスト低減）、設備利用率の向上（サイクル長、定検期間等）、長期運転（稼働年数）に関する適用技術・効果について検討し技術要件として整理した。
- なお、論点抽出において次期軽水炉の技術事項に特化するものではないため議論の優先度は比較的低いとされた事項（再生エネルギーとの協調、電力システムのレジリエンス等）についても、原子力全般の共通課題としての視点で次期軽水炉の設計方針や考え方を整理した。
- 次期軽水炉の重要コンセプトを実現するために考慮すべき規制や制度の考え方については、次期軽水炉の各技術要件に関連する規制や制度に関して考察要否を判断し、考察が必要な項目については、背景や根拠、海外事例との比較も含め技術的視点より検討した。
- また、プラント建設の際の立地の適性評価について考察した。

以上、「次期軽水炉の技術要件検討」ワーキンググループ（フェーズ2）報告書（以下、フェーズ2報告書）の「7.まとめ」より抜粋

0.2 フェーズ2の概要（続き）

重要コンセプト・技術要件を以下に示す（フェーズ2報告書 表4.9-1より）。

重要コンセプト		技術要件
(1)	深層防護の実装の考え方	(a) 各防護レベル及び防護レベル全体の防護性能の確保 防護レベル内においては、防護策に適切な多重性又は多様性を持たせ、かつ独立性を確保することなどにより防護が有効であること。防護レベル間においては、各防護レベルの防護策が広義の独立性を確保すること。
		(b) バランスの良い深層防護の実装 プラント全体としての安全性を合理的・効果的に高めるために、各防護策に適切な防護性能を持たせ、かつ、特定の防護レベルに過度に依存しないようにすること。
		(c) SA 対策の基本方針 管理・運用性及び信頼性の高い恒設設備を基本とした対応を主とすること。設計想定を超える事象に対して柔軟な対応が可能のように可搬型設備等を有効活用すること。
		(d) 不確かさへの備え 事故シナリオや物理現象の不確かさへの備えの対応として、発生防止と発生した場合の影響低減のための対応を講じることとし、発生頻度は低い但不確かさの大きい現象に対する防護策についても考慮すること。
(2)	内的事象への対応	(a) 共通要因故障の防止と防護レベルの信頼性向上 深層防護の考え方に従い、合理的に達成可能な範囲でレベル間の機能的な独立性を確保し、安全機能に重大な影響を及ぼす共通要因故障を防止すること。加えて、トレン数の増加や区画分離の徹底等によりレベル内の多重性又は多様性及び独立性を強化し各深層防護レベルの信頼性を向上させること。
(3)	外的事象への対応	(a) 共通要因故障の防止 外的事象の種類及びそれらの設計基準は、最新知見等を考慮の上、設計裕度を設けて適切に設定すること。また、建屋の頑健化、敷地計画の適正化等により外的事象に対する高い堅牢性を持たせ、分散配置や区画分離の徹底等の効果的かつ合理的な対策を講じ、頑健化と適切な安全余裕ならびに深層防護の考え方に従い共通要因故障を防止すること。なお、対策を講じる際には自然現象の属性を考慮すること。
(4)	APC その他テロ対策	(a) テロへの耐性の確保 建屋の頑健化や区画分離の徹底、機器・設備のレイアウトの適正化、多層かつ多様なサイバー攻撃対策等により、APC による衝撃力・振動等からの防護、機器の同時損傷防止、侵入防止等のテロへの耐性を確保すること。
		(b) 安全設計と核セキュリティの両立 設計段階における安全対策の設計プロセスにて核セキュリティ施策の設計をフロントローディングし、安全設計と核セキュリティの両立を図ること。

0.2 フェーズ2の概要（続き）

重要コンセプト・技術要件を以下に示す（フェーズ2報告書 表4.9-1より）。

重要コンセプト		技術要件
(5)	設計想定を超える事象への対応	(a) 可搬型設備等の有効活用 外的事象や事故シナリオの不確かさ等、設計想定を超える事象があり得ることを考慮し、防護レベル4a、4b の各種機能（恒設設備で構築）に対して、より前段で事象進展を緩和し、その効果として時間的な裕度を確保するために、大規模損壊への対処として配備される可搬型設備に加え常用設備等を効果的かつ合理的に有効活用できるように、仕様及び接続方式等を共通化すること。
(6)	安全性向上に資する最新技術の反映	(a) 最新技術の反映に関する基本方針 最新技術の取り入れについては、概ね開発が完了し、また規制適合性も考慮された実証段階である技術を優先的に導入すること。
(7)	設計における性能目標	(a) 炉心防護に関する設計目標 指標にCDF を用い、水準は世界最高水準を目標として10-5/炉年未満を設計目標とすること。
		(b) 人と環境への影響の防護に関する設計目標 指標にCFF-2 を用い、熔融炉心対策の拡充等により、水準はCDF の目標値に対し約1/10 を確保するものとして10-6/炉年未満を設計目標とすること。
		(c) 設計と評価のスパイラルアプローチ 上記設計目標に対して防護策の有効性を定量的に評価（測定）し、必要に応じて設計にフィードバックすることで、設計の最適化を図ること。
(8)	経済性向上	(a) 効果的かつ合理的な建設工期の短縮 最新工法（大型モジュール化等）を採用できるように工事計画を設計段階から実施し、適用範囲や取合い条件等を配置や建屋構造等の設計へ反映すること。
		(b) 設備利用率の向上（サイクル長の延長と定検期間の短縮） 燃料の最高燃焼度に応じて合理的なサイクル長を設定し設備設計すること。また、作業・点検の自動化や高速化等の技術導入やOLM の適用も考慮して定検短縮を図るものし、システム・配置設計や設備設計に反映すること。
		(c) 長期運転のための設計配慮 経年劣化事象等の監視及び対応について、最新知見も含め設計に反映すること。また、運転開始後の設備取替も想定した配置設計、検査性向上など状態監視が容易となる設備設計等を実施すること。

0.2 フェーズ2の概要（続き）

「次期軽水炉の技術事項に特化しないその他課題」の項目を以下に示す（フェーズ2報告書 付属書A「5. 政策的課題を含むその他の課題への対応」より）。これら項目について、次期軽水炉の設計方針や考え方を整理した。

No.	技術要件
(1)	再生可能エネルギーとの協調性を考慮した負荷追従性能 将来の電源構成や電力需給に柔軟に対応できるよう、合理的な範囲で、設計段階から日負荷追従性能と周波数制御能力を適切に設計に取り込むこと。
(2)	電力システムのレジリエンスを考慮した所内単独運転性能 送電システムの故障等の外乱に対して、安全に運転継続が可能であることを目標として設定し、新技術を適用することにより合理的に達成すること。
(3)	プラントのライフサイクルを考慮した保守性・運用性の向上 建設から廃止措置までのライフサイクルを考慮し、将来の改造やバックフィットへの柔軟性、放射性廃棄物発生量の最小化、廃炉時の作業性の観点で、将来の技術進歩に配慮した設計とすること。
(4)	作業員被ばくの低減を考慮した設計 ALARA の思想に基づき、最新知見に基づく適切な1 次系水質管理や原子炉及び冷却材配管などの材料の適切な選定、浄化設備の適切な設定、配置・遮蔽設計やロボットの導入などの遠隔化・無人化技術の活用を考慮し、作業員被ばくを極力低減する設計とすること。
(5)	核燃料サイクルを考慮したMOX 燃料の適用性 次期軽水炉におけるMOX 燃料の適用性については、将来的なMOX 燃料の装荷割合の増加を設計段階から考慮しておくこと。
(6)	地政学的リスク等を考慮した燃料の調達安定性 発電電力量当たりのウラン消費量の最少化を考慮しつつ、サイクル政策や経済性の観点も含めて評価し、適切な設計を採用すること。

0.3 BWRブランチのスコープと工程

「次期軽水炉の技術要件検討」WG BWRブランチの設立申請書のうち、「研究・活動項目」の抜粋を以下に示す。

(1)BWRブランチでの論点の整理

BWRの次期軽水炉コンセプトを検討する前提として、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓から見たBWR固有の設計特徴を整理する。これをもとに、フェーズ2で整理された技術要件のうち、BWRでの実装手段を検討する優先順を整理する。

(2)次期軽水炉のコンセプト（BWR）

BWRブランチでの論点の整理結果と技術要件の検討の優先順を踏まえ、BWRの次期軽水炉のコンセプトが、社会のニーズに応えられることについて整理する。

(3)次期軽水炉建設の将来の展望

最新の社会動向や技術動向を踏まえて、次期軽水炉建設におけるサプライチェーンの課題やDX化等に対する将来への展望をまとめる。

(4)まとめ

BWRを対象に、社会のニーズに応える次期軽水炉のコンセプト及び、次期軽水炉建設の課題や将来への展望を報告書にまとめる。

次ページでは、BWRブランチのスコープとして、上記(1)(2)(3)の具体的な検討・整理方針を説明する。

0.3 BWRブランチのスコープと工程（続き）

(1)BWRブランチでの論点の整理（初回会合で説明）

- BWRの固有の設計特徴の整理
 - BWR設計の変遷と安全性向上と合理化設計進展の狙い
 - 1F事故の教訓から得られた知見
 - 次期BWRの設計の狙い
- 確認する技術要件の重み付けの整理

(2)次期軽水炉のコンセプト（BWR）

フェーズ2にて取り纏めた技術要件ごとに、以下の整理を行う。

- 次期BWRにおける技術要件を達成するための方針（炉型共通）
- 次期BWRにおける技術要件の実装手段の例（炉型共通のもの、炉型ごとに異なるオプション、をともに整理）
- 以上の方針および実装手段が技術要件ために妥当であること

また、「次期軽水炉の技術事項に特化しないその他課題項目」への対応については、各項目ごとに、以下の整理を行う。

- 次期BWRにおける方針（炉型共通）
- 次期BWRにおける実装手段の例（炉型共通のもの、炉型ごとに異なるオプション、をともに整理）

(3)次期軽水炉建設の将来の展望

国プロ等で検討しているサプライチェーンの課題や、Additive Manufacturing等のDX活用の検討状況について整理する。なお、炉型ごとに異なるオプションがある場合はこれについても整理する。

0.3 BWRブランチのスコープと工程（続き）

