

原子力発電部会セッション

「次期軽水炉の技術要件検討」WG 報告
— より安全・合理的な設計を目指して —Working Group Report on "Technical Requirements for the Next Light Water Reactors"
- Toward Safer and Better Optimized Design -

(1) 次期軽水炉の技術要件を議論する上での論点

(1) Discussion Points of Technical Requirements for the Next Light Water Reactors

*佐藤 拓¹, 山口 彰², 山本 章夫³, 大神 隆裕¹, 有田 誠二⁴¹ 関西電力, ² 東京大学, ³ 名古屋大学, ⁴ 三菱重工

1. はじめに

原子力発電部会に次期軽水炉の技術要件を広い見地から議論する WG を設立し、福島第一原子力発電所事故(1F 事故)の教訓や既設炉の新規制基準適合性に係る審査(特定重大事故等対処施設(特重施設)審査も含む)の経験を踏まえ、次期軽水炉のより安全でより合理的な技術要件を検討してきた。本講演では、本 WG の概要及び議論の対象となる論点について紹介する。

なお、本企画セッションでは WG 成果の概要報告にとどめるが、技術検討の詳細については、日本原子力学会原子力発電部会の HP(<http://www.aesj.or.jp/~hatsuden/>)で公開している WG 報告書をご覧頂きたい。

2. 「次期軽水炉の技術要件検討」WG の概要

2-1. 本 WG 設立趣旨

2018 年 7 月に策定された第 5 次エネルギー基本計画において、2030 年に向けては、2014 年策定時の枠組みを踏襲してエネルギーミックス目標(原子力は 20~22%)は見直さず、原子力はエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源としての役割を堅持し、また、2050 年に向けては、原子力は実用段階にある脱炭素化の選択肢として安全炉などの開発を進める方針が示された。

2030 年以降の原子力の電源構成 20~22%を維持するのであれば、高速炉の実用化の目処が 2050 年代以降であることから、2030 年代に次期軽水炉の設置が望まれる。しかし、現在の社会状況を踏まえると次期軽水炉の設置には計画から運開まで 20 年近くの歳月が必要になると考えられるため、2030 年代の運開を想定すると、現時点で設置許可に向けた準備に取り組む必要があると考えられる。

一方、1F 事故の教訓として強化された現行の新規制基準は既設炉を対象としたものであるため、事業者は改造工事や可搬型設備の配備等で対応しているが、次期軽水炉の設置に当たっては、既設炉の対応に捉われず設計段階から柔軟な対策をとることが可能となる。そのため、次期軽水炉では、既設炉の新規制基準適合性に係る審査の経験も踏まえ、既設炉よりもより安全でより合理的な設計対応が可能になると考えられる。

そこで、2018 年 6 月に原子力学会の場に広い見地から議論する WG を設立し、次期軽水炉のより安全でより合理的な技術要件について検討を実施した。議論に当たっては、国内 PWR を対象とした。

2-2. WG メンバー

以下の通り、本 WG は、大学、研究機関、電気事業者、メーカーの技術者・研究者で構成している。

- WG 主査： 山口 彰(東大)
- WG 幹事： 山本 章夫(名大)、大神 隆裕(関西電力)、有田 誠二(三菱重工)
- WG 委員： 大学関係(7 名)、研究機関(3 名)、電力会社(4 名)、メーカー(5 名)

* Taku Sato¹, Akira Yamaguchi², Akio Yamamoto³, Takahiro Oogami¹, Seiji Arita⁴,

¹KEPCO, ²Univ. of Tokyo, ³Nagoya Univ., ⁴MHI

2-3. WG の全体工程及び議論する項目(本 WG の開催実績)

本 WG の活動期間は 2018 年 6 月～2020 年 5 月であり、WG 開催実績を以下に示す(合計 7 回開催)。

	2018 年度上期		2018 年度下期		2019 年度上期		2019 年度下期	
WG の全体工程		第 1 回 (7/23)	第 2 回 (10/31)	第 3 回 (1/28)	第 4 回 (4/24)	第 5 回 (8/1)	第 6 回 (11/8)	第 7 回 (2/19)
議題		議論する項目の抽出	恒設/可搬型 SA 設備	APC その他テロ対策	深層防護の実装	溶融炉心冷却対策	議論の総括	WG のまとめ(報告書等)

2-4. WG の検討プロセス (図 1 参照)

次期軽水炉は設計段階から柔軟に安全対策を考慮できるため、1F 事故の経験を踏まえてより安全かつ合理的な安全対策を講じることが可能であると考えられる。従って、本 WG では、まず既設炉の安全対策の経験も踏まえ、安全対策の最適化の余地の観点などから議論の対象となる項目を整理した上で、論点を抽出した。次に、抽出した論点に対して、関連する海外の規制動向も参考にして次期軽水炉においてどのような対策を実施すべきなのか、既設炉よりもより安全でより合理的な設計方針はどうあるべきかを検討した。更に、検討した次期軽水炉の設計方針に対して、「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会[1]でも議論された深層防護の実装の観点から妥当性を示すと共に、これら設計方針を実現するために望まれる技術要件をまとめた。

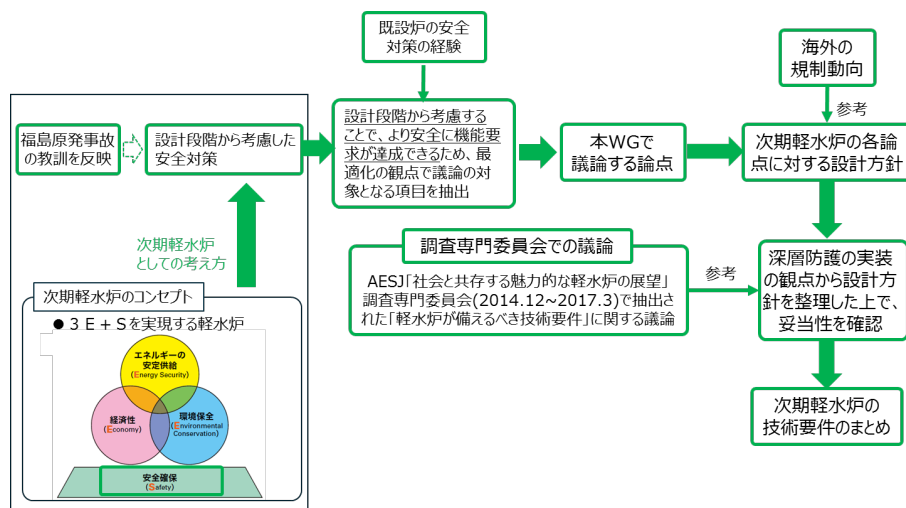


図 1 本 WG の検討プロセス

3. 議論の対象となる論点の抽出

3-1. 論点抽出の考え方

次期軽水炉では、設計段階から 1F 事故の教訓及び新規規制基準で強化／新設された規制要求の考え方を踏まえて柔軟に対応し、最適化を図ることができる。その際、安全確保の実装の考え方として、既設炉と同じものと既設炉から変更し得るものに分類できる。ここで言う「安全確保の実装の考え方」は、安全確保のための根本的思想や概念、原則を基礎として、その実装方法を選択する上での考え方をいう。

上記を踏まえ、以下に論点の抽出の考え方を示す。

- ✓ 既設炉と同じ安全確保の実装の考え方については、実機設計で具体化する。
- ✓ 既設炉から安全確保の実装の考え方を変更し得るものについては、既設炉の経験と深層防護等を参考に、最適化の観点から議論の対象として論点を抽出する。

3-2. 最適化の観点で議論の対象となる論点の抽出

1F 事故の教訓及び新規規制基準で強化／新設された規制要求の考え方に対し、既設炉の安全対策(シビアア

クシデント(SA)対策、特重施設)を踏まえ、次期軽水炉への展開を図り、安全確保の実装の考え方を変更し安全対策の最適化を図ることができるという観点で以下の3つの論点を抽出した。(詳細は表1参照)

(論点1)

既設炉の経験も踏まえ、恒設/可搬型 SA 設備の組合せに最適化の余地がある “SA 対策の機能要求”

(論点2)

APC(AirPlane Crash)及びテロ対策は、設計段階から建屋頑健化、分散配置・区画分離の徹底など柔軟に対応可能であり、深層防護の実装の観点から最適化の余地がある “特重施設の機能要求”

(論点3)

国内既設炉とは安全確保の実装の考え方が異なる海外で実績ある対策の適用も選択肢として考えられる “国内での溶融炉心冷却対策の新技术の適用性”

4. 抽出された論点と議論内容

次期軽水炉として設計段階から柔軟に対応可能な項目として抽出された3つの論点に対して、議論する内容は以下の通りとした。

(1) SA 対策の機能要求(恒設/可搬型 SA 設備の取扱い)

- 既設炉では、SA 対策として可搬型設備を基本
- 次期軽水炉では、SA 対策の機能要求を整理した上で、恒設設備(信頼性、現場操作不要)と可搬型設備(柔軟性)のそれぞれの利点を踏まえた恒設/可搬型の最適な組合せを議論

(2) 特重施設の機能要求(APC その他テロ対策(特重施設)の取扱い)

- 既設炉では、特重事象 (APC、テロ等) 時に格納容器を防護するための施設として専用の特重施設を設置
- 次期軽水炉では、設計基準事故対処設備(DBA)／SA 設備に対し設計段階から特重事象も考慮した設備対応を議論

(3) 国内での溶融炉心冷却対策の新技术の適用性(溶融炉心冷却対策の取扱い)

- 既設炉では、ウェットキャビティ方式により溶融炉心を冷却
- 水蒸気爆発等の溶融炉心冷却に係る現象の不確かさの観点から、欧米の新設炉で採用実績のある溶融炉心冷却方式を含め、次期軽水炉における溶融炉心冷却対策の取扱いを議論

5. まとめ

本講演では、本 WG で議論の対象として抽出した3つの論点と議論の内容について報告した。次の講演では、抽出した論点に対する次期軽水炉の取り得る対応例を踏まえた設計方針について報告する。

参考文献

- [1] 日本原子力学会、「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会報告書、2017年3月
- [2] 原子力規制委員会 HP 掲載情報、「実用発電用原子炉に係る新規規制基準について(概要)、2016年2月

注：本予稿は、2020年春予稿から少し表現を見直したもの

表1 安全確保の実装の考え方の観点からの論点抽出

	新規基準で強化／新設された規制要求	既設炉の安全対策	次期軽水炉への展開（論点抽出）	議論の対象
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、海水ポンプ室及びその周辺に防潮堤や止水壁を設置)を実施	◆ 設定した地震動に対する耐震性や津波高さに対する対策を設計段階から織り込むことで安全性を強化。但し、裕度の更なる向上や頑健化として建屋壁の増厚、建屋の埋込効果、敷地のかさ上げによるドライサイト化等に対応でき、安全確保の実装の考え方は既設炉と同じであるため、今後実機設計で具体化していくこととする	—
②	電源の信頼性	◆ 外部電源ラインの追加(大飯 3,4 号機の例) ◆ SA 対応は可搬型設備での対応を基本とし、所内電源の多重化・多様化(空冷式非常用発電装置の配備、電源車の配備)	◆ 外部電源ラインの多重性確保という安全確保の実装の考え方は既設炉と同じであるため、今後、実機設計で具体化していくこととする ◆ SA 対応は既設炉の経験も踏まえ、次期軽水炉では恒設設備での対応を基本とすることが考えられ、既設炉から安全確保の実装の考え方を変更し得るため、議論の対象として抽出	論点 1
③	火災に対する考慮	◆ 火災影響軽減対策設備(耐火シート、火災検知器/自動消火設備)の追加	◆ 内部火災対策を設計段階から織り込むことで安全性を強化。但し、裕度の更なる向上としてトレン間の区画分離を徹底した配置計画等に対応でき、トレン間の分離の徹底という安全確保の実装の考え方は既設炉と同じであるため、今後、実機設計で具体化していくこととする	—
④	自然現象に対する考慮	◆ 発電所周辺の詳細な調査に基づく火山灰到達の可能性、竜巻(風荷重、飛来物)、森林火災の影響評価・対策として、以下を実施 ・ 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: 施設周辺に防火帯を確保	◆ 設定した火山、竜巻、森林火災に対する対策を設計段階から織り込むことで安全性を強化。但し、裕度の更なる向上や頑健化として、堅牢な建屋、防火帯等に対応でき、外部ハザードの影響を建屋内に持ち込まないという安全確保の実装の考え方は既設炉と同じであるため、今後、実機設計で具体化していくこととする	—
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(壁、水密扉、堰等の設置)を実施	◆ 内部溢水対策を設計段階から織り込むことで安全性を強化。但し、裕度の更なる向上として溢水区画の限定や配管等の耐震性強化、トレン間の区画分離を徹底した配置計画等に対応でき、トレン間の分離の徹底という安全確保の実装の考え方は既設炉と同じであるため、今後、実機設計で具体化していくこととする	—
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、がれき撤去用重機(ブルドーザー)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	◆ アクセスルートの確保対策及び緊急時対策所の耐性強化等については、既設炉と同じ安全確保の実装の考え方で対応するため、今後、実機設計で具体化していくこととする	—
⑦	炉心損傷防止対策(使用済燃料プール内燃料損傷防止対策)	◆ SA 対応は可搬型設備での対応を基本とし、炉心冷却手段、SFP内燃料冷却手段、最終ヒートシンクを多様化	◆ SA 対策は既設炉の経験も踏まえ、次期軽水炉では恒設設備での対応を基本とすることが考えられ、既設炉から安全確保の実装の考え方を変更し得るため、議論の対象として抽出	論点 1
⑧	格納容器破損防止対策	◆ SA 対応は可搬型設備での対応を基本とし、格納容器冷却・減圧・放射性物質低減手段および過圧破損防止手段の多様化 ◆ 溶融炉心を冷却する格納容器下部注水設備(ポンプ車、ホース等)の配備 ◆ 水素爆発防止対策設備の配備	◆ 恒設/可搬型の取扱いについては同上 ◆ 溶融炉心冷却対策については、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対策設備(安全確保の実装の考え方が既設炉と異なる対策)の適用も選択肢として考えられることから議論の対象として抽出 ◆ 水素爆発防止対策は既設炉と同じ安全確保の実装の考え方で対応するため、今後、実機設計で具体化していくこととする	論点 1 論点 3
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として以下を配備 ・ 放水砲 ・ 放水砲用大容量ポンプ ・ シルトフェンス	◆ 本項目は既設炉と同様の安全確保の実装の考え方で対応できるものであり、単独では本WGの議論の対象としないが、深層防護の観点から、⑦炉心損傷防止対策、⑧格納容器破損防止対策と合わせて可搬型設備の取扱いの議論が必要であることから、議論の対象として抽出	論点 1
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した特重設備を、本館から独立して配置	◆ 設計段階から建屋頑健化、分散配置・区画分離の徹底など柔軟に対応可能であり、機能要求への対応方法に対し、深層防護の実装の観点から最適化の余地(頑健な建屋への収容、分散配置)があり、既設炉から安全確保の実装の考え方を変更し得るため、議論の対象として抽出	論点 2