

新型炉部会セッション

新型炉及び核燃料サイクルの技術開発の方向性

Path Forward for Development of Advanced Reactor and Nuclear Fuel Cycle Technologies

(1) カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の

技術ロードマップ

(1) Technology roadmap for innovative reactor development toward the realization of carbon neutrality and energy safety security

*黒崎 健^{1,2}¹京都大学、²福井大学

1. はじめに（次世代革新炉開発・建設をとりまく状況）

2050 年カーボンニュートラルやエネルギー安全保障などを背景として、原子力発電に係る期待が大きく膨らんでいることを、最近ひしひしと感じている。この期待に応えるための方策の一つに、次世代革新炉の開発・建設がある。次世代革新炉の開発・建設に関しては、特に海外での進展が著しい。ロシアは高速炉をはじめとする革新炉を含む原子力開発を長年継続的に進めている。近年、それに中国が加わる形で、東側諸国が世界の原子力業界を席卷しつつある。一方、米国や英国をはじめとする西側諸国は、2000 年代初頭の原子力不況以降原子力開発が停滞していた。ところが、原子力をとりまく最近の世界情勢を受けて、特に軽水型 SMR（小型モジュール炉）や高温ガス炉の開発・建設を中心に、原子力復興を成し遂げようとしている。米国やカナダでは、2020 年代後半から 2030 年代前半にかけて、様々な SMR の初号機運転が計画されている。仏国は、再エネと原子力を中心に添えて、2050 年カーボンニュートラル未達を防ごうとしている。このときの原子力発電は、大型の革新軽水炉が中心になるとの見方が強い。

こういった海外情勢のとも、我が国では、2011 年の福島第一原子力発電所の事故以降現在まで、新規性基準に対応するための安全対策や再稼働に関する事業はあったものの、少なくとも「新しい原子力」に関する事業は殆どなされていない。この空白の十年間における原子力事業の停滞は、原子力分野における技術力低下、人材枯渇、サプライチェーン弱体化といった危機をもたらしている。この危機を打破するために、いくつかの策が施されている。具体的には、経済産業省と文部科学省による原子力イノベーション実現に向けた支援プログラム（NEXIP: Nuclear Energy × Innovation Promotion）の実施や経済産業省の革新炉ワーキンググループ [1]での議論などである。

2. 革新炉ワーキンググループでの議論の概要（ポートフォリオと技術ロードマップ）

革新炉ワーキンググループでは、次世代革新炉の開発・建設をテーマに掲げ、様々な議論をしてきている。2022 年 4 月 20 日に第 1 回 WG が開催され、7 月 29 日の第 4 回 WG ではこれまでの議論の中間とりまとめを行い、その後、2022 年 10 月 24 日の第 5 回 WG と 2022 年 11 月 2 日の第 6 回 WG において議論の深堀りを進め、現在に至っている。各回での議論の内容を簡単にまとめたものを、表 1 に示す。

革新炉ワーキンググループでの議論を通じて、様々なアウトプットが出てきている。その中でも、ポートフォリオと技術ロードマップは、わかりやすく影響力の大きなものと認識している。ポートフォリオとは、次世代革新炉の範疇に入るとされる五つの炉型（革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉）に対して、技術成熟度・時間軸、規制対応、サプライチェーン、市場性、非エネ分野への貢献という五軸での評価結果を示したものである。図 1 にポートフォリオを示す。◎や△といった印をもとに、様々な革新炉の得手不得手、課題、今後注力すべき点などが一目でわかるようになっている。例えば、技術成熟度や規制対応の観点からは大型の革新軽水炉に一日の長がある。一方、廃棄物有害度低減の観点からはプルトニウムやマイナーアクチニドの燃焼が可能な高速炉に強みがある。さらに、高温ガス炉は水素製

造という特徴的な用途がある、といった具合である。このポートフォリオをもとに、五つの炉型ごとに、時間軸を意識した技術ロードマップを作成している。一例として、革新軽水炉のロードマップを、図 2 に示す。

表 1 革新炉ワーキンググループでの議論の概要

開催回	開催日	議論の内容
第 1 回	2022 年 4 月 20 日	・ 革新炉開発の背景と価値 ・ 我が国における革新炉開発の取り組み
第 2 回	2022 年 5 月 19 日	・ 革新炉開発の背景と価値（つづき） ・ 核燃料サイクルと原子力利用シナリオ ・ 米国の革新炉開発の状況
第 3 回	2022 年 7 月 1 日	・ 革新炉開発の課題（規制、サプライチェーン、先行する米国の状況）
第 4 回	2022 年 7 月 29 日	・ これまでの議論の整理と中間とりまとめ（骨子案）の確認
第 5 回	2022 年 10 月 24 日	・ 革新軽水炉の一例の紹介 ・ 深掘りしたほうがよいと考えられる四つの議論（①事業環境整備、②開発体制・司令塔組織、③サプライチェーン・人材の維持強化、④研究基盤整備）の提案 ・ ①事業環境整備、②開発体制・司令塔組織、についての議論
第 6 回	2022 年 11 月 2 日	・ 革新炉開発に関する検討の深掘りについて ・ ③サプライチェーン・人材の維持強化、④研究基盤整備についての議論

	技術成熟度・時間軸	規制対応	サプライチェーン	市場性					非エネ分野
				経済性	水素製造	負荷追従	資源の有効利用	廃棄物有害度低減	
革新軽水炉	◎ ※既存技術を活用可	◎ ※既存規制を活用可	◎ ※既存軽水炉のサプライチェーン有	◎ ※現行の軽水炉と同水準	△	○	△	△	○
小型軽水炉	海外	○	○~◎ ※日本が得意とする大型鍛造品が不要のケースも	◎ ※米国のガス火力並が目標	△	○ ※モジュールごとの制御により負荷追従可能なものも	△	△	○
	国内	○	△ ※基準の議論が必要	○~◎	?				
高速炉	○	○	◎ ※常陽、もんじゅの実績	◎ ※現行の軽水炉と同水準	○	◎ ※溶融塩の蓄熱システムを組み合わせた負荷追従可能	◎	◎ ※Pu・MA燃焼可	◎ ※医療用PI製造可
高温ガス炉	○	○	◎ ※HTTRの実績	○⇒◎ ※コジェネで経済性向上	◎ ※高温を活用した水素製造可	◎	△	△ ※高燃焼度で処分場面積低減(○)	○ ※耐高温材料製造技術の獲得
核融合炉	× ※要素技術の開発段階	△	○ ※ITERで部分参加	?	◎	?	?	◎ ※高レベル放射性廃棄物発生せず	○ ※コイルがヒッグス粒子発見に貢献

図 1 革新炉開発のポートフォリオ（出典：経済産業省第 4 回革新炉ワーキンググループ、資料 3「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」（https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/004_03_00.pdf）を加工して作成）

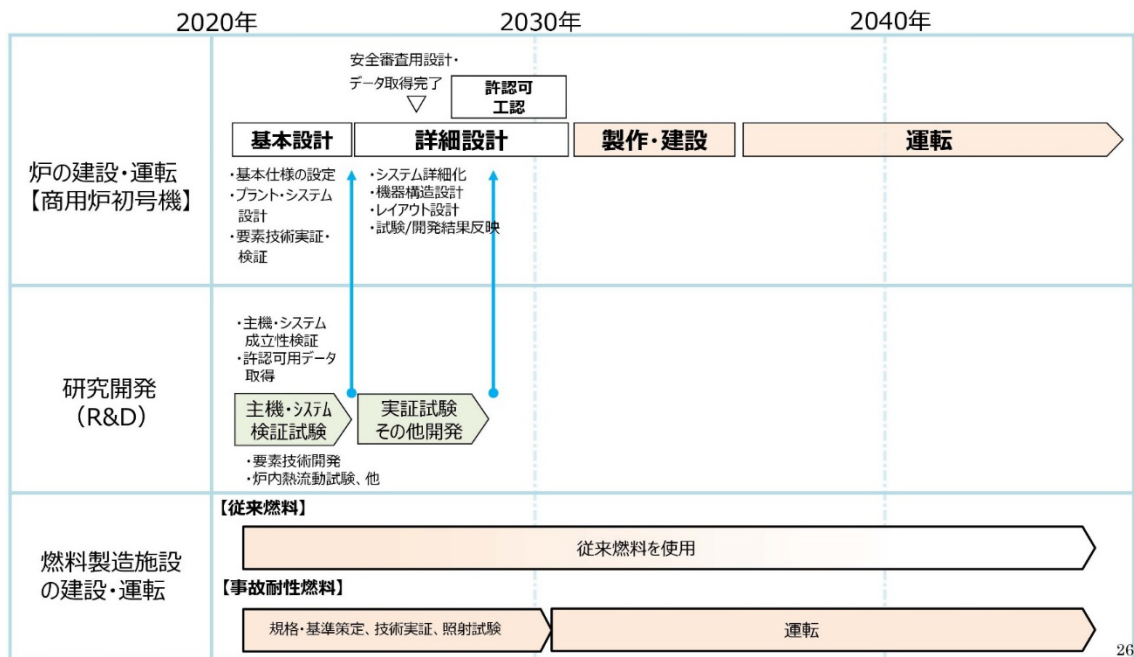


図 2 導入に向けた技術ロードマップ（革新軽水炉）（出典：第 33 回原子力小委員会、参考資料「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）」（https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/pdf/033_s02_00.pdf）を加工して作成）

革新軽水炉の技術ロードマップでは、商用炉初号機を対象とした炉の建設・運転、研究開発、燃料製造施設の建設・運転の三つの項目について、それぞれの実施項目とスケジュールを線表化している。炉の建設・運転の項目では、基本設計から始まり、詳細設計、製作・建設、許認可・工認をはさみ運転へと続いていく流れが示されている。この技術ロードマップでは、2030 年代中旬に運開となるようなスケジュールが示されている。これに連動する形で研究開発が行われ、得られた成果は基本設計や詳細設計に反映される流れとなっている。燃料製造施設の建設・運転では、従来燃料を使う場合と事故耐性燃料を使う場合の二階建て構造が示されている。事故耐性燃料の導入に向けて、企画・基準策定や技術実証、照射試験の必要性やスケジュール感が示されている。

なお、このような技術ロードマップは、事業者等からの個別ヒアリングを踏まえて、あくまで「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定されたものである。そのため、実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されるだろうということに、注意を払う必要がある。

3. おわりに（その他の今後検討が必要とされる議論など）

本稿では、革新炉ワーキンググループで議論をしてきたポートフォリオと技術ロードマップについて概説した。一方で、次世代革新炉の開発・建設を進めるうえで、今後検討が必要とされる議論は他にもたくさんある。例えば、規制やファイナンスといった事業環境整備、司令塔組織を含む事業の実施体制、サプライチェーンの維持・強化、こういった活動を将来担っていく人材の育成や確保、国研や大学のインフラをはじめとする研究基盤の整備等である。また、核燃料サイクルや運転期間との関係も重要である。当日は、これらの検討事項についても、時間の許す限り紹介したい。

参考文献

- [1] 経済産業省革新炉ワーキンググループのホームページ、アクセス日：2022 年 12 月 15 日
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/index.html