

戦略ロードマップ

令和4年12月23日
原子力関係閣僚会議

0. 戦略ロードマップ改訂の経緯

(1) これまで決定してきた方針の概要

① 「高速炉開発の方針」の概要

2016年12月21日に開催された原子力関係閣僚会議において決定した「高速炉開発の方針」において、核燃料サイクルについては、使用済燃料の処分に関する課題を解決し、将来世代のリスクや負担を軽減するためにも、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減や、資源の有効利用等に資するものであり、高速炉については、こうした核燃料サイクルの効果をより高めるものであるとしている。

今後の高速炉開発に対する新たなチャレンジとしては、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、「1F事故」という。）の教訓を踏まえた更なる安全性の向上、開発段階を含めた経済効率性の追求と本格導入時の市場環境への適合、国際協力を通じた最先端の知見の獲得と国際標準の追求を掲げている。こうした状況を踏まえ、世界最高レベルの技術基盤の維持・発展を図りつつ、高い安全性と経済性を同時に達成する高速炉を開発し、将来的な実用化を図り、国際標準化に向けたリーダーシップを最大限に発揮することを目標に掲げる。その実現のため、開発目標等の具体化を図っていくこととしている。

今後の開発を進めていくに当たっては、国内に蓄積した技術・知見・人材の徹底活用、国際ネットワークを利用した最先端知見の吸収、コスト効率的な開発の推進、国、メーカー、電力、研究機関が密に連携し、責任関係を一元化した体制の確立が掲げられた。このような原則に沿った開発方針を具体化するため、「戦略ワーキンググループ」を設置し、今後10年程度の開発業を特定する「戦略ロードマップ」の策定を行うこととした。

また、国際協力・国内施設の相乗効果を生み出すよう開発を進め、人材育成と基礎・基盤的な研究開発を引き続き推進し、「ナトリウム冷却炉、先進湿式再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の組合せ（MOX燃料）」を念頭に高速炉開発を継続すること、また、国際動向の情報収集を継続的に進め、今後の国際的な関連技術の展開の不確実性へ柔軟に対処することとした。

②「戦略ロードマップ」(2018年12月21日原子力関係閣僚会議決定)の概要

2018年12月21日に原子力関係閣僚会議にて決定された「戦略ロードマップ」では、再生可能エネルギーの導入や電力の小売全面自由化の進展、欧米における政府支援を伴う民間の取組を中心とした原子力技術のイノベーション、中露における国主導による開発の推進、ウラン市場の低迷といった環境変化を踏まえ、戦略的柔軟性がこれまで以上に重要となっていることを指摘した。

高速炉開発の意義については、時代背景や政策環境により重心やプライオリティが変化するとしつつ、ウラン需給状況等を踏まえ、中長期的には資源の有効利用と我が国のエネルギーの自立に大きく寄与する可能性があることに加え、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減に対する寄与の観点の重要性について言及した。

開発スケジュールについては、ウラン需給の現状等を勘案すれば、高速炉の本格的利用が期待されるタイミングは21世紀後半のいずれかのタイミングとされており、技術成熟度、ファイナンス、運転経験等の観点から、今世紀半ば頃の適切なタイミングにおいて現実的なスケールの高速炉が運転開始されることが期待されるとした。

今後の開発の作業計画については、当面5年間程度はステップ1として、民間のイノベーションによる多様な技術間競争を促進するとした。2024年度以降のステップ2では、国、日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)、電気事業者が、技術的知見を有するメーカーの協力を得て技術の絞り込み・重点化を行い、絞り込みに当たっては、各炉型等の技術的な成熟度の確認・評価に加え、経済性や社会環境への適応性についても評価を行った上で、各炉型等の有効性を評価・検討するとした。本ステップが終了後、再生可能エネルギーの導入状況等の、社会環境の変化を踏まえつつ、高速炉開発及び高速炉に付随するバックエンドへの対応、立地対策や規制対応、コスト評価を含め実現可能性を検討の上、場合によっては今後の開発の在り方について見直しを行うとした。ステップ3では、一定の技術が選択される場合、関係者の理解が共通化されたタイミングで、現実的なスケールの高速炉の運転開始に向けた工程を検討するとした。

(2)「戦略ロードマップ」改訂の目的

上記戦略ロードマップに基づけば、2023年度末にはステップ1の多様な技術間競争の結果を評価し、2024年度以降の技術の絞り込みを実施するステップ2に向けた高速炉開発の道筋を検討することが必要である。高速炉開発については複数事業にまたがって、研究開発や実現可能性調査が実施されてきたところ、戦略ワーキンググ

ループの下に事業横断的に技術を評価する「高速炉技術評価委員会」を設置し、多様な高速炉技術の評価を実施した。

これらに基づき、世界最高レベルの技術基盤の維持・発展を図りつつ、高い安全性と経済性を同時に達成する高速炉を開発し、将来的な実用化を図り、もって国際標準化に向けたリーダーシップを最大限に発揮していくためにも、開発目標をより具体化しつつ、2024年以降の開発の在り方について具体的な開発マイルストーンを設定し、関係者の役割をより明確にするために「戦略ロードマップ」を改訂する。

1. 国内外の原子力、高速炉開発を巡る潮流

(1) カーボンニュートラル・エネルギー安全保障を巡る世界の潮流

2021年時点、世界中で2050年までにカーボンニュートラルの実現を目指すことを表明した国と地域は約150を超え、世界のGDPのおよそ90%を占めている。

こうした中、世界の原子力発電の設備容量は、国際エネルギー機関（IEA）の見通しによると、2020年には約400GWであったところ、2050年に最大800GWまで倍増する見通しである。特に、アジア・太平洋地域では、旺盛な電力需要増大やグローバルな脱炭素化の要請に伴い、石炭火力の代替として、原子力による発電量が約3倍に拡大するとしている。さらに、最近のウクライナ情勢を踏まえ、各国において、エネルギー安全保障の観点から原子力発電の重要性が再認識され、その更なる活用について議論がなされている。

一方、現行軽水炉について、中露が政府ファイナンスをバックに市場を席卷しており、世界の新設プロジェクトの半数以上を占めている。また革新炉についても、ロシアでは高速炉実証炉が2015年に運転開始、中国では高温ガス炉実証炉が2021年に初臨界したことに引き続き、ロシア、中国においては高速炉の商用炉が2030年代に導入予定であるなど、米英仏に先行した開発実証・実用化に向けた計画が進んでいる。

このような原子力技術における中露の台頭を背景に、米英仏加を始めとした先進国では、原子力技術のリーダーシップ再興を戦略として掲げ、国主導で原子力イノベーションの促進に向けて予算・法律面での制度整備を進展させ、2030年前後の革新炉の実証を目指した研究開発を加速している。

例えば米国では2020年に「原子力エネルギーにおける米国のリーダーシップ回復戦略」を策定し、国家安全保障の観点から、フロントエンド及び原子力産業全体の再生・強化に加え、次世代原子力技術における米国の主導権の再確立、原子力産業の輸出競争力強化を掲げる戦略を公表した。また英国では、2022年に、新型コロナウイルス

ルス感染症の感染拡大からの復興及びウクライナ情勢に伴うエネルギー価格高騰を受け、「エネルギー安全保障戦略」を発表し、原子力発電割合の拡大、最大8基の新設等の政策を提示した。さらに仏国では、2050年カーボンニュートラルを達成する観点から、2050年までに6基、更に追加で8基の大型軽水炉の新規建設に向けた検討を開始する意向を表明した。

加えて、欧州においても、2022年7月、EU加盟国等の意見聴取を経て、持続可能な経済活動を分類する「EUタクソノミー」規則が成立した。これには、技術的基準に一定条件で天然ガスと原子力による発電が含まれ、2023年初頭から適用される予定である。原子力については、2050年までに高レベル放射性廃棄物処分施設が運用開始できるよう詳細に文書化された計画を有していることを条件とするとともに、原子力発電所の新規建設については2045年までに建設許可を受けたものに限っている。これは、それまでに使用済燃料におけるウランやプルトニウム等の有用な核物質を再利用することで「閉じたサイクル」を実現する、第4世代炉等の革新的な技術への移行を促すためのものである。

（2）世界における高速炉を含めた革新炉開発の加速

高速炉開発についても、中露が米英仏に先駆けて開発・実証を推進していることを踏まえ、米加においても高速炉の実証炉建設プロジェクトが立ち上がっている。例えば米国では、政府による革新炉実証プログラム（ARDP）の支援の下、民間企業であるTerraPower社が2030年頃の高速炉実証炉の運転開始に向けたプロジェクトを立ち上げている。また加国でもニューブランズウィック州政府の支援の下、2030年頃の運転開始に向けた高速炉実証炉開発が進められている。仏国においても、日仏高速炉研究開発に関する一般取決めの下、シミュレーションや実験を中心とする研究開発協力を実施している。

さらに、米国においては、使用済核燃料を直接処分する方針でありながらも、ナトリウム冷却炉や熔融塩炉を含む様々な高速炉の実証を大規模予算措置・制度整備を通じて推進すると同時に、持続可能性等を目指す革新炉のための核燃料サイクルを2030年頃までに評価する予定としている。こうした中、2022年、革新炉の核燃料サイクルや廃棄物削減等に関する研究開発支援を決定するとともに、既存軽水炉についても核燃料サイクルや廃棄物削減等の研究開発支援を公表している。

（3）高速炉開発に係る国際協力の活用・進展

我が国では、高速炉開発の方針や戦略ロードマップを踏まえ、仏米との国際連携も活用しながら、高速炉開発を推進している。

日仏高速炉研究開発協力については、ASTRID 研究開発協力以降も、シミュレーションや実験に基づく研究開発、技術情報やデータの交換等が実施されている。2019年、日仏研究開発協力の成果を活用しつつ、日本型タンク型炉について、耐震性、安全性、経済性等が成立する見通しを確認した。

また、日米研究開発協力においては、日米民生用原子力研究開発ワーキンググループ（CNWG）の下で、高速炉開発について、安全性や経済性を高めた材料の開発及び規格化、高速炉プラントのモデリング及びシミュレーション技術の開発などを行うとともに、核拡散抵抗性の高い金属燃料についても、炉心設計、金属燃料炉心の安全解析シミュレーション技術の開発等について協力を進めている。2019年、米国のナトリウム冷却高速炉の多目的試験炉（VTR）の開発プログラムについて日米両国関係省庁間で協力の覚書を締結した。また、2022年、原子力機構や三菱重工業社、三菱FBRシステムズ社が、米国政府の支援を受けて2030年頃の高速炉実証炉の運転開始を目指す TerraPower 社と、高速炉開発を行う上で覚書を締結して協力について協議を進めている。

（４）原子力開発を進める上での高速炉開発の意義・位置づけ

①国における革新炉開発に係る議論

我が国では、高レベル放射性廃棄物の減容化、有害度の低減、資源の有効活用といった観点から、核燃料サイクルの推進を基本方針としており、高速炉はこうした効果を更に高める技術として、引き続き第6次エネルギー基本計画においても位置づけている。計画においては、引き続き安全性等に優れた炉の追求など、将来に向けた原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発や人材育成を進めることを掲げており、2050年カーボンニュートラル実現に向けて、軽水炉の安全性向上等に向けた研究開発に加え、2030年までに民間の創意工夫や知恵を活用しながら、国際連携を通じた高速炉開発の着実な推進を実施するとしている。また、小型モジュール炉技術の国際連携による実証、高温ガス炉における水素製造に係る要素技術確立等の技術開発等を着実に推進することとしている。

第6次エネルギー基本計画策定後も、2050年カーボンニュートラル実現や新たな安全保障環境を踏まえ、原子力発電の新たな社会的価値を再定義し、我が国の炉型開発に係る道筋を示すため、総合資源エネルギー調査会原子力小委員会の下に「革新炉ワーキンググループ」が設置され議論が行われ、2022年11月2日「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）」として中間的な取りまとめが行われた。それによると、カーボンニュートラルの実現に向けて、電化推進を強力に進めることが必要とされているとこ

ろ、変動電力である太陽光、風力発電等の再生可能エネルギーの導入拡大や、エネルギー安定供給を巡る戦略的資源が化石燃料資源から脱炭素技術へとシフトしたことにより、エネルギー安全保障の定義が多角化しており、高速炉は、優れた安全性を備え、放射性廃棄物の減容と有害度低減、エネルギー及び技術の自給、RI 製造（医療への貢献）、電力系統全体の柔軟な運用、核拡散抵抗性の向上（マイナーアクチノイド含有燃料）に貢献し得る技術という評価であった。また、革新炉開発を巡る課題を整理し、革新炉開発に係る方向性の明確化、開発予算・施設の整備、革新炉開発を支える事業環境の整備、開発の司令塔機能の強化、サプライチェーンの維持・強化を挙げている。それらへの対応の方向性として、基本方針の明確化・ロードマップの策定、実証プロジェクトの創出・支援、事業環境の整備、司令塔機能の創設と役割の明確化、サプライチェーン各工程に即した支援メニューの整備・導入等の必要性が示された。

②高速炉開発の意義

高速炉を活用することで、原子力の最重要課題の一つである放射性廃棄物の問題に対処し、原子力全体を循環型エネルギーとすることが可能である。使用済燃料に含まれる高放射性のプルトニウムやマイナーアクチノイドを分離・回収し、高速炉で燃焼させることにより、高レベル放射性廃棄物の減容と潜在的有害度低減を実現できる。ナトリウム冷却高速炉の場合、高レベル放射性廃棄物の潜在的有害度が自然界並みに低減する期間が 10 万年から 300 年¹に、廃棄物体積も直接処分の約 1/7 となる可能性が指摘されている。中長期的には資源の有効利用も可能であり、昨今のウクライナ情勢で燃料の安定供給に係る地政学リスクが顕在化しているところ、エネルギー安全保障の確保にも貢献する。現時点では我が国においては当面のウラン資源を確保できているものの、今後の、資源の需給バランスの不確定性は大きく、オプションを確保することが重要であり、高速炉を活用すれば国内にある劣化ウラン等を再利用することによってエネルギーの自立に大いに貢献でき、天然ウランの輸入を限定的若しくは不要にできる可能性がある。

高速炉を社会実装するに当たっては、1F 事故後の安全最優先の考えに基づき、安全性の追求が重要である。特に、高速炉は第 4 世代炉として国際的にも高いレベルの安全性・信頼性が期待されている。また、電力自由化の進展により、民間の投資環境が厳しいものになっていることを踏まえ、経済性も重要な視点である。また、我が国

¹ 潜在的有害度とは、軽水炉の発電利用によって発生する高レベル放射性廃棄物を、仮想的に経口摂取した場合の放射線被ばくの影響を意味する。自然界並みとは、この高レベル放射性廃棄物による被ばく線量が、軽水炉の発電に必要な天然ウランを経口摂取した場合の被ばく線量と同程度になるという意味。

が継続的にプルトニウム利用することに対する国際社会の懸念を払拭するため、核拡散に対して十分な抵抗性を有することも求められる。

他方、このような従来の高速炉開発に対するニーズに加え、2050年カーボンニュートラル目標への貢献や、水素製造や熱貯蔵、負荷追従等を通じて調整電源の役割を果たすことにより、再生可能エネルギーとの共存、ひいては電力の安定供給が可能となり、エネルギー多消費産業を含めた産業の空洞化を防ぐことにつながる。我が国の高速炉開発に係る高い技術開発基盤・サプライチェーンを活用することにより、地政学リスクを軽減し、カーボンニュートラルに向けたエネルギー安全保障・経済安全保障強化に貢献する。加えて、高速炉を活用することでがん治療への高い効果が期待される放射性同位体（RI）アクチニウム 225 の大量製造を含む医療等の他分野への貢献も可能である。

以上のような高速炉開発の意義・多様化する社会ニーズを踏まえた開発目標と技術絞り込みをする上での評価軸を明確化する必要がある。

2. 高速炉開発の方向性

（1）高速炉の開発目標

前述の高速炉開発の意義・多様化する社会ニーズを踏まえ、次の項目を開発目標とする：

- ① 安全性・信頼性 1F事故の教訓を踏まえ、高い安全性を追求すること。少なくとも、新規制基準に基づく安全基準を満足する軽水炉及びその核燃料サイクルのシステムと同等以上の安全性を達成すること。炉システムについては、今後の国際設計基準等で次世代炉に期待されるより高い安全性・信頼性を実現する設計上の工夫（受動安全等）を施すこと。施設の運転・保守・補修性を確保すること。
- ② 経済性 市場ニーズに応じた経済性を有すること。基幹電源として利用するプラントは、他の基幹電源と競合し得る経済性を有すること。小型電源や多目的用途に利用する場合には、市場ニーズに応じた経済性を有すること。なお、上記の経済性は1F事故を踏まえた安全性の強化、並びに事故リスク対応費及び政策経費を踏まえた上で実現すること。
- ③ 環境負荷低減性 高レベル放射性廃棄物量減容・潜在的有害度低減のため、マイナーアクチノイド（MA）を分離・回収し、燃料として利用できるようにすること。炉、燃料製造、再処理施設の建設・運転・廃止措置を通じて発生する放射性廃棄物量（高レベル放射性廃棄物を含む）を、軽水炉及びその核燃料サイクルシステムを参照して、合理的に実現可能な限り低減すること。ライフサイ

クルでの環境影響（土地占有、毒性、大気汚染、温室効果ガス（GHG）、酸性化、富栄養化、電離放射線、水資源利用等）が他電源と比して少ないこと。

- ④ 資源有効利用性 軽水炉及び軽水炉のプルサーマル利用から高速炉へ円滑に移行できること。エネルギー需給や資源の不確かさへの対処を始め、社会のニーズに合った増殖比に柔軟に対応可能であること。資源有効利用の観点から、核燃料サイクル内でウラン（U）及びプルトニウム（Pu）の十分な回収による資源循環を図れること。
- ⑤ 核拡散抵抗性 核拡散抵抗性と核物質防護を担保できる高速炉サイクルとすること。
- ⑥ 柔軟性・その他市場性 エネルギー供給システム全体の中で、再生可能エネルギーとの共存等を視野に、原子炉出力規模の選択肢や負荷追従能力等、必要な柔軟性に適切に対応できること。

（２）技術絞り込みを実施する上での評価軸

技術絞り込みにおいては、上記開発目標に対する充足度について、技術成熟度や市場性等を評価軸として、次のような観点で評価することとする。

①技術の成熟度と必要な研究開発

提案技術やシステムの実現性を判断する上で、現状の要素技術に関する技術成熟度（TRL）のレベルを評価する。また、現状の技術成熟度が低い要素技術については、今後実用化までの期間に必要な研究開発項目について評価する。

②実用化された際の市場性

海外又は国内における市場ニーズを踏まえ、導入が想定される分野において、用途や出力規模等の市場性に関する分析・評価が十分であるか、また、経済性については代替・競合技術と比較した場合の競争力の分析・評価、技術イノベーションによる将来的な経済性向上に向けた見通しを含めた競争力の分析・評価が十分であるかを評価する。

再生可能エネルギーとの共存で必要となる負荷追従や水素製造を含む発電以外の多目的利用等については、柔軟性の観点で優位性を有する項目について評価する。

高速炉の最大の利点としての放射性廃棄物の減容・有害度低減やウラン資源の有効利用に関する優位性について評価する。

③具体的な開発体制の構築と国際的な連携体制

持続的な高速炉サイクルの実現のためには、開発体制の安定性も重要な要件であり、実用化までの開発計画・開発体制は現実的なものであるか、また、提案者の事業実施体制は十分であるか、想定されるサプライヤーの体制について、撤退や技能の継承困難等の、脆弱化リスクについての判断や、海外サプライヤーと比較した場合の優位性は十分か、国際連携を含めた将来の連携・協力機関の見通しを評価する。

④実用化する際の規制対応

炉の安全性については最優先課題であり、提案された炉型の安全確保に対する基本的な考え方、深層防護、事故シーケンス、外部ハザードに対する安全対策は十分か、また、実用化までに検討することが必要な安全設計方針や安全性試験等を通じたデータ取得等の要件は十分かを評価する。

⑤その他

高速中性子を利用したがん治療用 RI (アクチニウム 225 等) の製造等、非エネルギー分野での貢献についても評価する。

3. 高速炉技術の多様な技術間競争の結果（中間報告）

（1）高速炉委託事業における技術開発

経済産業省の「高速炉に係る共通基盤のための技術開発委託事業」（高速炉委託事業）では、「戦略ロードマップ」に基づき、多様な高速炉概念に幅広く適用できる共通基盤技術の整備を目的とした研究開発が行われている。

具体的には、高速炉等の共通課題に向けた基盤整備と安全性向上に関わる要素技術開発の拡充を行うとともに、過去の知見・知財のデータベース化と試験研究施設の整備、将来の核燃料サイクルの検討に資するデータ整備が行われている。また、日仏協力や、日米協力を活用し基盤整備が効率的に実施された。

そこでは、日仏協力の成果を活用しつつ、日本では経験のないタンク型ナトリウム冷却炉として、実用炉段階での出力規模の増大やモジュール化を指向した小型化にも柔軟に対応できるプラント概念について、耐震性、安全性、経済性等の成立性が確認され、今後の開発の見通しが得られている。

(2) NEXIP 事業における技術開発

経済産業省の「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」(NEXIP 事業)では、原子力技術の高度化に資する技術開発を支援することにより、安全性の更なる向上に加え、再生可能エネルギーの導入拡大や電力自由化の進展といった、社会的な環境変化に対応できる多様な原子力技術の開発が行われている。

具体的には、小型ナトリウム冷却金属燃料高速炉、四角格子燃料で既存沸騰水型軽水炉に実装できる軽水冷却高速炉、熔融塩炉等の実現可能性調査・研究開発が行われた。

(3) 高速炉技術評価委員会の横断的評価を踏まえた技術選択

戦略ロードマップ(2018年12月21日原子力関係閣僚会議決定)においては、国や原子力機構、電気事業者は、メーカーの協力を得て、高速炉の開発に向けた課題と個々の技術について、国内外における過去の高速炉研究開発の経験や教訓、ピアレビュー結果を参照し、バックエンド関連技術を含めた技術の実現可能性、得られるメリットや必要となるコストについて適宜必要な検討・評価を行い、主たる開発対象とする技術の選択を行うこととしている。

今般、高速炉委託事業及びNEXIP事業の進展を受け、戦略ワーキンググループの下に高速炉技術評価委員会を設置し、技術選択を開始し、多様な技術間競争のステップから絞り込み・重点化のステップへ移行することとした。

高速炉技術評価委員会では、戦略ロードマップ策定以降、経済産業省における研究開発事業に参画してきた事業者から提案された、ナトリウム冷却高速炉3概念、軽水冷却高速炉1概念、熔融塩高速炉1概念を対象に、前述の技術絞り込みを実施する上での評価軸に基づいて技術評価を実施した。2022年度の評価の結果、2024年度以降の高速炉開発に向けて、開発を優先すべき冷却材に関する高速炉技術評価委員会の提言は以下の通りであった。

・高速炉は、核燃料サイクルによって期待される高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減の効果、中長期的には資源の有効利用の効果をより高めるものであり、昨今のウクライナ情勢で燃料の安定供給に係る地政学リスクが顕在化していることに鑑みれば、エネルギー安全保障の確保にも貢献する。また、カーボンニュートラルへの貢献はもちろん、1F事故を踏まえた新たな安全メカニズムや核拡散抵抗性、市場に応じた経済性・柔軟性が期待される。

・「高速炉開発の方針」においてはMOX燃料によるナトリウム冷却炉を念頭に高速炉開発を継続することが掲げられたが、ナトリウム冷却高速炉は技術の成熟度と必要な研究開発、実用化された際の市場性、具体的な開発体制構築と国際的な連携

体制、実用化する際の規制対応の四つの観点から優れており、今後開発を進める概念として最も有望である。

・しかしながら、ナトリウム冷却炉は長期のプロジェクトの空白により既にサプライチェーンに脆弱性が出ている。こうした状況を鑑みれば、高速炉技術の2050年カーボンニュートラルに向けた貢献を見通し、市場の予見性を担保するため、2024年度より実証炉の概念設計を開始すべきである。燃料技術の研究開発計画については、戦略的柔軟性を持たせつつ、原子力機構による実証のための施設整備や国際協力の活用の可能性を含めた検討をすべきである。

・軽水冷却高速炉は、本格的な高速炉利用までのつなぎの技術として、その効果を発揮できる可能性を有している。2024年度以降の技術実証の見通しを得るため、その燃料技術の実現性・許認可性・開発ニーズについて引き続き検討が必要である。

・熔融塩高速炉は、実現すれば放射性廃棄物の減容・有害度低減とウラン資源の有効利用について高い性能を発揮する可能性を有しているため、大学等の学術機関における研究を含めた基礎・基盤的な研究の継続が望まれる。また、将来につながる人材育成が必要である。

以上の高速炉技術評価委員会の提言を踏まえ、開発を優先すべき冷却材としてナトリウムを選定することとした。

引き続き2023年度には、高速炉技術評価委員会で2024年度から開始する実証炉の概念設計の対象となる炉型をナトリウム冷却高速炉の中から選定するとともに、軽水冷却高速炉及び熔融塩高速炉の今後の扱いについても検討する。これらの結果を踏まえ、その後の開発を進めることとする。

4. 今後の開発の作業計画

(1) 研究開発を進めつつ技術絞り込みを実施する上での今後のマイルストーン

高速炉技術の2050年カーボンニュートラルに向けた貢献を見通し、研究開発を効率的に実施していくためには、2030年頃までを目途に概念を固め、2050年までに実証炉が運転開始されていることが望ましい。例えば、国内外における軽水炉や高速増殖原型炉「もんじゅ」の建設経験に基づけば、基本設計・許認可フェーズに10年程度、詳細設計・建設フェーズに10年程度を要している。さらには、燃料供給に向けて、炉に先行して燃料製造施設が運転を開始している必要がある。

このような工程も踏まえ、今後の高速炉の研究開発では、研究開発のリソースを有効に活用するために技術の絞り込みを段階的に行いつつ、ステップ3における実

証炉の基本設計・許認可フェーズの開始につなげることができるよう、以下のマイルストーンを設定する。

2023 年度夏：2024 年度以降の概念設計の対象となる炉概念の仕様と中核企業を選定

2022 年度に選定された開発を優先すべき冷却材を踏まえ、ナトリウム冷却炉の中から、その後の技術検討の結果、国際情勢、国内の市場ニーズを踏まえ、2024 年度から概念設計を開始する対象となる炉概念の仕様を選定するとともに、当該概念の設計とそれに付随した技術開発、将来的には製造・建設等も担う中核企業を改めて選定し、開発体制を明確にする。また、人材・技術・サプライチェーン維持のための施策も具体化する。

2024 年度～2028 年度頃：実証炉の概念設計・必要な研究開発

中核企業を中心に、実証炉の概念設計を実施する。まずはプラントの概念設計を行いつつ、必要な研究開発（様々な事態に対応可能な崩壊熱除去系の評価、炉心溶融事故の炉容器内終息評価、高度化燃料の照射試験、新材料の規格基準データ整備等）を実施し、2026 年度頃を目途に研究開発成果・国際協力を通じて知見を得つつ、これらを踏まえて燃料技術の具体的な検討を行い、プラント・燃料を合わせたシステム全体としての概念設計を、2028 年度頃までを目途に実施する。

2028 年度頃：炉の概念設計の結果と制度整備の状況等を踏まえたステップ3への移行の判断

ステップ3に移行するに当たっては、関係者間での体制構築に向けた認識の共通化に加え、社会から当該技術が受容されるための説明責任を果たし、立地対策や規制対応についても具体的な対応の検討が必要である。また、適切な事業運営体制が構築されることが必須である。

市場メカニズムが適切に働かない場合には、長期にわたる国民の利益が確保されることを検証した上で、他の電源と同様に、適切な規模の市場補完的な制度措置が必要である。立地地域との諸調整は、構築された事業運営体制が主体となり、国や軽水炉での立地経験を有する電気事業者と連携して行うことが適切である。国は、電気事業者や立地地域との連携の下、制度面での支援を実施する。

加えて、原子力発電技術の最終ユーザーである電気事業者と連携した適切な事業運営体制において開発資金調達できる仕組みを構築することも重要であり、国はそのような仕組みが機能する環境整備を実施する。

これらの検討状況を踏まえ、2028年度頃を目途に、ステップ3への移行を判断し、2030年度頃以降の活動について見通し、検討を進めていく。

なお、マイルストーンについては研究開発の進捗、国内外の情勢、予算措置の状況等を踏まえながら、実用化に向けて迅速かつ最適な開発工程につなげていくため、開発目標を実現するに当たってのアウトカム目標（2050年までのカーボンニュートラル、経済波及効果等）、アウトプット目標（経済と環境の両面の目標達成につながる2030年の達成目標）の設定、またプラント建設機会がないことによる急激な民間サプライチェーンの脆弱化、人材・技術の喪失リスクへの対応を含め、高速炉開発会議、戦略ワーキンググループにおいて柔軟に見直していく。

（2）各プレイヤーの役割・開発体制

①国

民間が創意工夫をして技術開発を促進していくために、国は、エネルギー基本計画、原子力利用に関する基本的考え方等を通じて、将来的な原子力開発の方向性を示し、戦略ロードマップにおいて高速炉研究開発の目標と実用化に向けた工程を提示し、研究開発を先導する。これによって、民間にとっての実用化の予見性を高め、サプライチェーンの維持・強化につなげる。また、少なくとも実用化見通しが明確になるステップ3が始まるまでの間は、必要な開発予算とそれに必要な基盤整備予算を国が確保するとともに、建設を可能とする制度整備を進める必要がある。加えて、高速炉の燃料技術については、炉と比較して基礎基盤的な開発段階にあることから、国及び研究開発機関が実用化まで技術の成熟化を図り、電気事業者等のニーズを踏まえながら、技術移転が可能になる段階まで着実に開発を進めていくことが必要である。

また、高速炉開発会議や戦略ワーキンググループにおいて、国、原子力機構、電気事業者、中核企業間で適切に意思疎通を行いながら、関係省庁間で適切に役割分担を行う。経済産業省は、高速炉プラントの開発、軽水炉サイクルと高速炉サイクルの共通技術の開発、金属燃料サイクル（燃料開発を含む）の技術開発、高速炉導入シナリオの分析を担当する。一方、文部科学省は、基礎・基盤的な研究に加えて、MOX燃料サイクル（燃料開発を含む）の技術開発、高速炉及び燃料技術の開発のために必要な基盤施設の維持・整備を担当する。

加えて、電気事業者や立地地域との連携の下、制度面での支援を実施するとともに、原子力発電技術の最終ユーザーである電気事業者と連携した適切な事業運営体

制において開発資金を調達できる仕組みを構築することも重要であり、国はそのような仕組みが機能する環境整備を実施する。

②開発の司令塔組織

「もんじゅ」で発生した事故、トラブルを踏まえたプロジェクトマネジメント機能の強化及び効率化も引き続き重要なテーマであり、概念設計を開始する段階に至ることを踏まえれば、将来的な実用化を念頭に置いたプロジェクトマネジメント体制の構築が必要である。これまでの高速炉開発プロジェクトマネジメントに係る反省に立ち、関係者間の調整を能動的に実施しつつ、核燃料サイクルを含めた高速炉の研究開発全体を、整合性をもって進めていくため、研究開発全体を統括する機能を新たに強化することが必要である。

高速炉概念の選定と併せて、原子力機構の研究開発力と電気事業者のプロジェクトマネジメント能力を結集した開発の司令塔組織の機能、規模、組織形態等を特定することを検討する。事業運営体制が構築されるステップ3が始まるまでの期間において、この開発の司令塔組織は、高速炉開発会議及び戦略ワーキンググループにおいても、関係者間の調整において中心的な役割を果たしつつ、これら会合で定められる開発のマイルストーン、アウトカム目標、アウトプット目標を踏まえて開発の予算措置、技術開発も併せたプロジェクトマネジメントを実施する。実用化の見通しが明確になるステップ3以降は、この開発の司令塔組織は事業運営体制に機能を引き継いでゆく。

③日本原子力研究開発機構

高速実験炉「常陽」、「もんじゅ」の設計・建設・運転・保守の経験を通じて、高速炉とその核燃料サイクル技術の多くが原子力機構に蓄積されており、「常陽」、照射後試験施設、大型ナトリウム試験施設「AtheNa」、核燃料サイクル研究施設等の、高速炉に特有な開発インフラを保有している。これらを有効に活用することが不可欠である。実証炉の実現に向けて、当面は、これまで原子力機構が中心になって担ってきた研究開発（炉心燃料開発やシビアアクシデント対策を含めた安全性確保技術、核燃料サイクル技術、「もんじゅ」を活用した高速炉の廃止措置に係る知見の蓄積等）を行うとともに、開発支援を含む民間への技術移転を進めていく必要がある。また、高速炉技術・サプライチェーンの維持は喫緊の課題であり、ものづくりにつながる取組を積極的に進める。

特に、高速炉サイクル技術については、司令塔組織の指示のもと、炉システムの開発と統合した開発を進めていくことが重要である。サイクル技術は、研究開発の

ために大量のプルトニウムを扱い、ホット試験が必要となる等、民間が主体的に開発を進めるにはハードルが大きいことから、当面は、軽水炉サイクルとの共通技術を含めて、原子力機構がステークホルダーとの連携を図りつつ開発の中心的役割を果たす必要がある。特に、燃料開発については炉の開発とともに進めていくべきであり、「常陽」を再稼働させ、照射試験能力の維持を含め原子力機構が優先して取り組むべき課題である。

原子力機構及び民間が研究開発を実施していくためには、原子力機構が有する、「常陽」、「AtheNa」、ホット試験施設等のハード、及び、解析評価技術や規格基準類の基礎データといったソフトの開発基盤を、必要な時期に利用可能とする維持・整備を行うことも原子力機構の役割である。また、原子力分野の人材育成についても、大学等とともに担う必要がある。

さらに、高速炉及び高速炉サイクルに常に革新的な技術を取り込んでいくためのシーズ型の研究や、RI 製造に必要な技術開発を含めた社会ニーズに対応した研究も着実に進めることが必要である。

④電気事業者

電気事業者は、軽水炉の建設・運転・保守、地元との共生の豊富な経験を有しており、昨今は 1F 事故後の新規制基準の対応も実施している。電気事業者が高速炉の将来的なユーザーとして高速炉開発の方向性やその仕様について意見をしつつ、その経験を高速炉の開発にいて活用することが、高速炉の社会実装のために重要である。

高速炉開発会議やその下の戦略ワーキンググループ等、国が主導する開発プロジェクトに主体的に参画するとともに、軽水炉の建設・運転・保守を通じて培われたプロジェクトマネジメント能力を活かし、新たな開発の司令塔組織に人材・ノウハウ等の提供を積極的に行う。電気事業者においても、炉型システム全体を設計するプロジェクトに関わる機会が得難い環境下にあって、高速炉開発のプロジェクトマネジメントに関わることを通じて、2050 年カーボンニュートラルに向けた原子力の人材基盤を強化することが期待される。

⑤メーカー

ステップ 1 における多様な技術間競争の結果、高速炉の設計と必要な技術開発の中核を担うメーカーを中核企業として選定し、国が掲げる政策の方向性や開発目標に応じた技術開発を推進する。開発に当たっては、高速炉開発会議及び戦略ワーキンググループで設定される開発のマイルストーン、アウトカム目標、アウトプット

目標を踏まえつつ、社会のニーズを踏まえて創意工夫をこらし、高速炉開発を通じたイノベーションを実現していく。

中核企業は国内サプライヤーの、これまでの高速炉開発の基盤を結集して高速炉の開発を進め、高速炉の設計作業を行って結果を取りまとめるとともに、プラント構成機器の設計具体化や性能評価のための技術開発を実施する。設計には自らが実施する技術開発と原子力機構が実施する研究開発の成果を結集させる。また、「もんじゅ」を最後に実機建設の機会が途絶えてしまっていることを念頭に、国際協力を活用しつつ、プラント構成機器や部材調達のためのサプライチェーンの維持・発展に努める。

(3) 国際協力の位置づけ

高速炉とその核燃料サイクルの開発に当たっては、仏国や米国等との二国間及び多国間でのネットワークを活用した国際協力によって、研究基盤や規制に関する知見等を共有しつつ、実用化のための技術基盤の確立とイノベーションの促進に、国内外一体となって取り組んでいく。

具体的には、日仏協力において燃料技術、シビアアクシデント、原子炉技術についてデータシェアや設備共同利用、評価手法の共同開発を進めながら研究基盤の整備を進めるとともに、日米協力では米国の ARDP に提案されている炉、VTR の開発への協力内容の検討、CNWG 等を進めていく。

なお、国際協力の活用の際には、各国が異なる開発目標を有し、常に相手国の政策変更リスクが伴うことや我が国に主要な知的財産権を保持されること等に留意し、その進捗を管理しながら活用について柔軟に見直していくことが必要である。

(4) 工程管理の在り方

プラントと燃料技術の整合を取った開発を進めるためには、高速炉委託事業、並びに、運営費交付金等による原子力機構の開発基盤整備及び高速炉サイクルの研究開発等の、研究開発全体の整合をとったプロジェクトマネジメントが必要であり、開発の司令塔組織がその管理を行う。

本ロードマップに規定した高速炉開発のマイルストーンに加え、2023 年度に選定される炉型概念とともに設定されるアウトカム目標、アウトプット目標に沿って開発が進められているかの工程管理は、第三者委員会による客観的な評価が必要であり、高速炉技術評価委員会等がそれを行う。マイルストーン等の主要なフェーズにおいては、開発や体制構築、制度整備の進捗等の確認を、戦略ワーキンググループで実施し、必要に応じて高速炉開発会議を開催する。