グリーン・トランスフォーメーションに適う原子力開発・利用

東京大学名誉教授　山口 彰（やまぐち あきら）氏

グリーン・トランスフォーメーション（GX）は、本誌特集執筆者も複数回取り上げているように、わが国におけるエネルギー・環境に関する最重要テーマの一つとなっています。2022年7月に第1回実行会議が開催され、2023年2月にいわゆるGX基本方針が決定されました。

では今、GXを実行していくために何をしなければいけないのか、原子力を活用していくために何を具現化する必要があるのか、これからの原子力開発はどんな道筋を通らなければいけないのか。

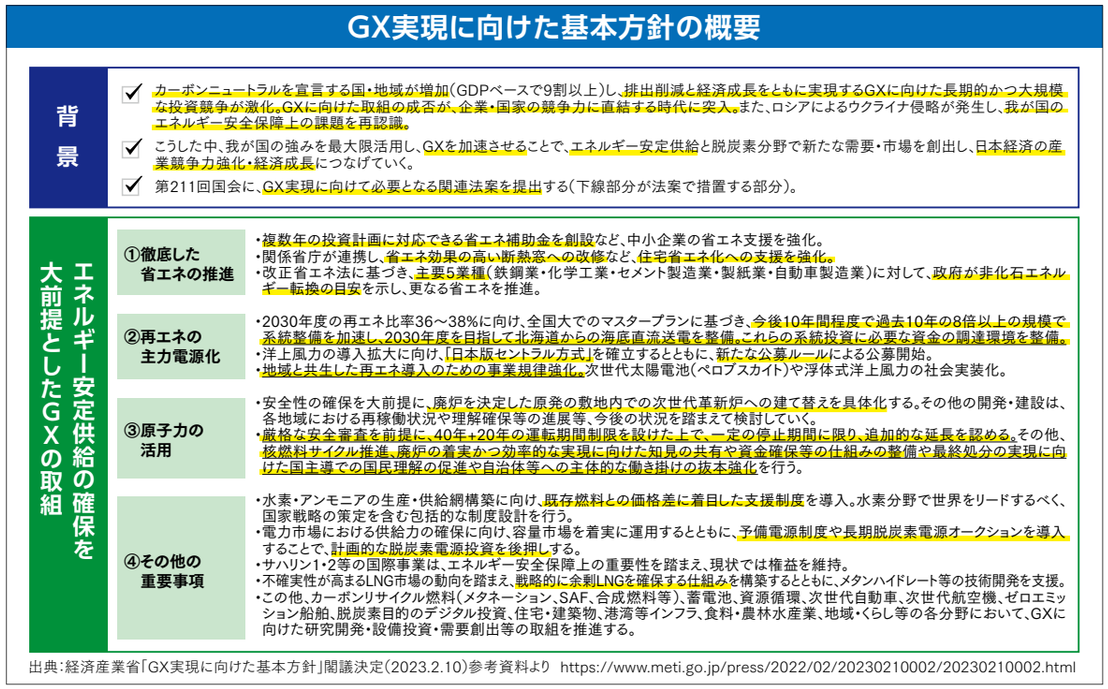
原子炉工学が専門で、政府のエネルギー・原子力関係の委員を多く務めている山口彰氏の最新論考をお届けします。

グリーン・トランスフォーメーション（GX）の基本方針には「脱炭素社会の実現と、エネルギーの安定供給を両立させるために、エネルギーの需給構造を転換させるとともに、日本経済をふたたび成長軌道に乗せていくことが最重要課題」であると記載されている。内閣総理大臣を議長とする第1回GX実行会議が開催されたのは2022年7月27日、産業革命以来の化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、経済社会システム全体の変革を実行すべく、必要な施策を検討することがミッションである。日本のエネルギーの安定供給の再構築に必要となる方策を示し、それを前提として、脱炭素に向けた経済・社会、産業構造変革への今後10年のロードマップを年内に定めるとした。その後5カ月間に4回の会合を重ね、2023年2月に「GX実現に向けた基本方針（以下、GX基本方針）」が閣議決定された**【図1】**。

GX基本方針では、原子力開発・利用についてもロードマップが描かれた**【図2】**（6ページ）。徹底した省エネルギーや地域と共生した再生可能エネルギーの最大限の導入拡大支援とともに、エネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い原子力を最大限活用することとした。今後はロードマップ実現のフェーズへと速やかに移行することが大切である。そのためには原子力開発・利用のロードマップを具体的政策に展開する必要がある。

原子力を最大限活用するために何を具体化していくの

【図1】



GX実現に向けた基本方針の概要

背景

- ✓ カーボンニュートラルを宣言する国・地域が増加（GDPベースで9割以上）し、排出削減と経済成長をともに実現するGXに向けた長期的かつ大規模な投資競争が激化。GXに向けた取組の成否が、企業・国家の競争力に直結する時代に突入。また、ロシアによるウクライナ侵略が発生し、我が国のエネルギー安全保障上の課題を再認識。
- ✓ こうした中、我が国の強みを最大限活用し、GXを加速させることで、エネルギー安定供給と脱炭素分野で新たな需要・市場を創出し、日本経済の産業競争力強化・経済成長につなげていく。
- ✓ 第211回国会に、GX実現に向けて必要となる関連法案を提出する（下線部分が法案で措置する部分）。

エネルギー安定供給の確保を大前提としたGXの取組

①徹底した省エネの推進
- 複数年の投資計画に対応できる省エネ補助金を創設など、中小企業の省エネ支援を強化。
- 関係省庁が連携し、省エネ効果の高い断熱窓への改修など、住宅省エネ化への支援を強化。
- 改正省エネ法に基づき、主要5業種（鉄鋼業・化学工業・セメント製造業・製紙業・自動車製造業）に対して、政府が非化石エネルギー転換の目安を示し、更なる省エネを推進。

②再エネの主力電源化
- 2030年度の再エネ比率36～38%に向け、全国大でのマスタープランに基づき、今後10年間程度で過去10年の8倍以上の規模で系統整備を加速し、2030年度を目指して北海道からの海底直流送電を整備。これらの系統投資に必要な資金の調達環境を整備。
- 洋上風力の導入拡大に向け、「日本版セントラル方式」を確立するとともに、新たな公募ルールによる公募開始。
- 地域と共生した再エネ導入のための事業規律強化。次世代太陽電池（ペロブスカイト）や浮体式洋上風力の社会実装化。

③原子力の活用
- 安全性の確保を大前提に、廃炉を決定した原発の敷地内での次世代革新炉への建て替えを具体化する。その他の開発・建設は、各地域における再稼働状況や理解確保等の進展等、今後の状況を踏まえて検討していく。
- 厳格な安全審査を前提に、40年+20年の運転期間制限を設けた上で、一定の停止期間に限り、追加的な延長を認める。その他、核燃料サイクル推進、廃炉の着実かつ効率的な実現に向けた知見の共有や資金確保等の仕組みの整備や最終処分の実現に向けた国主導での国民理解の促進や自治体等への主体的な働き掛けの抜本強化を行う。

④その他の重要事項
- 水素・アンモニアの生産・供給網構築に向け、既存燃料との価格差に着目した支援制度を導入。水素分野で世界をリードするべく、国家戦略の策定を含む包括的な制度設計を行う。
- 電力市場における供給力の確保に向け、容量市場を着実に運用するとともに、予備電源制度や長期脱炭素電源オークションを導入することで、計画的な脱炭素電源投資を後押しする。
- サハリン1・2等の国際事業は、エネルギー安全保障上の重要性を踏まえ、現状では権益を維持。
- 不確実性が高まるLNG市場の動向を踏まえ、戦略的に余剰LNGを確保する仕組みを構築するとともに、メタンハイドレート等の技術開発を支援。
- この他、カーボンリサイクル燃料（メタネーション、SAF、合成燃料等）、蓄電池、資源循環、次世代自動車、次世代航空機、ゼロエミッション船舶、脱炭素目的のデジタル投資、住宅・建築物、港湾等インフラ、食料・農林水産業、地域・くらし等の各分野において、GXに向けた研究開発・設備投資・需要創出等の取組を推進する。

出典：経済産業省「GX実現に向けた基本方針」閣議決定（2023.2.10）参考資料より　https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002.html

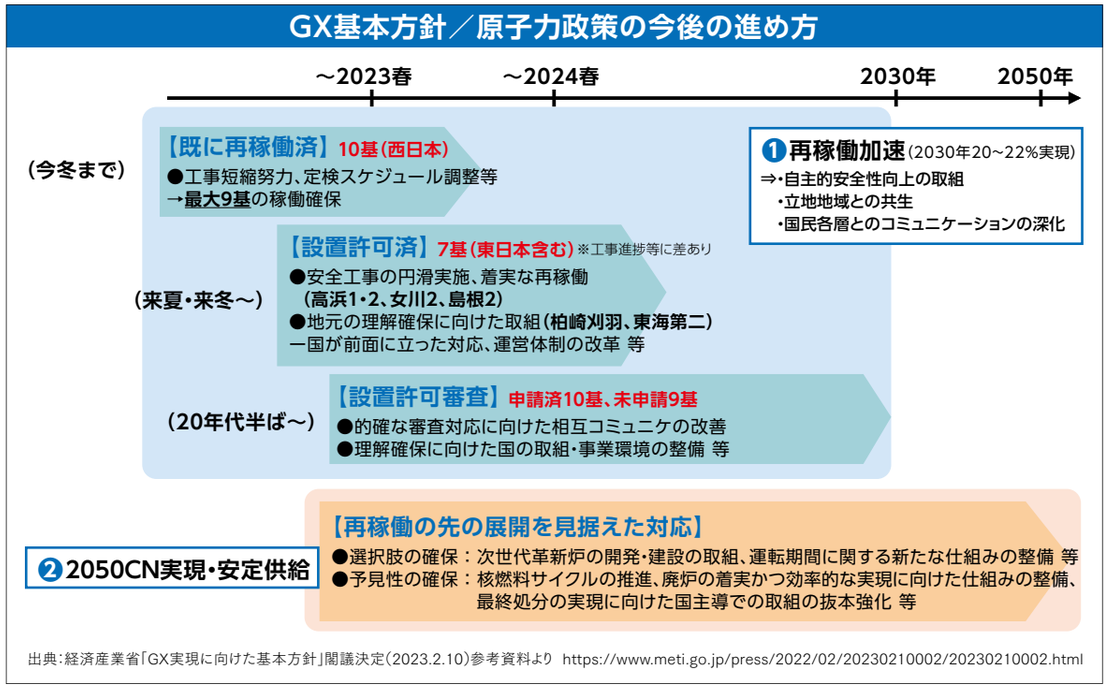
か、GX基本方針に適う原子力開発・利用のあり方について見極めなければならないと考える。GXの目標と原子力開発・利用の道筋を明確にすること、それを関係者が共通理解するとともに原子力開発・利用の全体像を描く必要がある。本稿では、GXとは何を達成することがゴールなのかを明確にした上で、GX実現に適う原子力開発・利用のありようを考えたい。

規律の強化・厳格化と脱炭素電源の導入（GX電源法）

GX基本方針を受けて、2023年5月31日に「脱炭素社会の実現に向けた電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律」が成立した。いわゆるGX脱炭素電源法（以下、GX電源法）である【図3】。GX基本方針に基づいて、地域と共生する再生可能エネルギーの最大限の導入促進と、安全確保を大前提とした原子力の活用を実現するための法律である。

エネルギー安定供給は持続的経済社会の基盤であり、脱炭素社会の構築は人類共通の目標である。GX基本方針は、気候変動問題への対応と経済成長を同時に実現するためにある。持続的経済社会を実現するためには、脱炭素電源が安定的に供給されなければならない。GX電源法の目的は、再生可能エネルギーや原子力などのエネ

【図2】



出典：経済産業省「GX実現に向けた基本方針」閣議決定（2023.2.10）参考資料より https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002.html

【図3】

出典：経済産業省「GX脱炭素電源法の概要」（2023.2.28）法律案概要より https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230228005/20230228005.html

ルギー自給率の向上に資する脱炭素電源へ転換することによりGXに向けた脱炭素の取り組みを進め、かつ、エネルギー安定供給を確保することである。

GX電源法は、原子力について原子力利用の価値や開発・利用における国と事業者の責務、運転期間の延長などを明確化した。原子力の開発・利用が必要であることとそれを円滑に推進するための環境整備、安全最優先の原則や高経年の原子炉の規制の厳格化なども明文化した。再生可能エネルギーについても、最大限導入するための系統整備と最大限活用のための追加投資を定めたことに加え、地域と共生した再生可能エネルギー導入のための事業規律強化を求めた。こうして電気事業法、再エネ特措法、原子力基本法、炉規法、再処理法がGX基本方針に則って改正された。GX電源法の改正内容は、脱炭素電源の最大限活用を目指すと同時に規律の強化・厳格化を各エネルギー源に求めている。

GX基本方針は、「足元の危機を乗り切るためにも再生可能エネルギー、原子力などエネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用する」としている。これを脱原子力から原子力推進への政策転換と揶揄されることがあるが、それは誤った理解に拠っている。第6次エネルギー基本計画は、原子力について「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」とした上で、「安価で安定したエネルギー供給によって国際競争力の維持や国民負担の抑制を図りつつ2050年カーボンニュートラルを実現できるよう、あらゆる選択肢を追求する」という方針を示した。原子力も再エネも脱炭素に不可欠な選択肢である。安定な脱炭素電源供給体制を確立してGXの目標を達成するという文脈で、GX電源法の原子力活用方針を理解するべきであると思う。

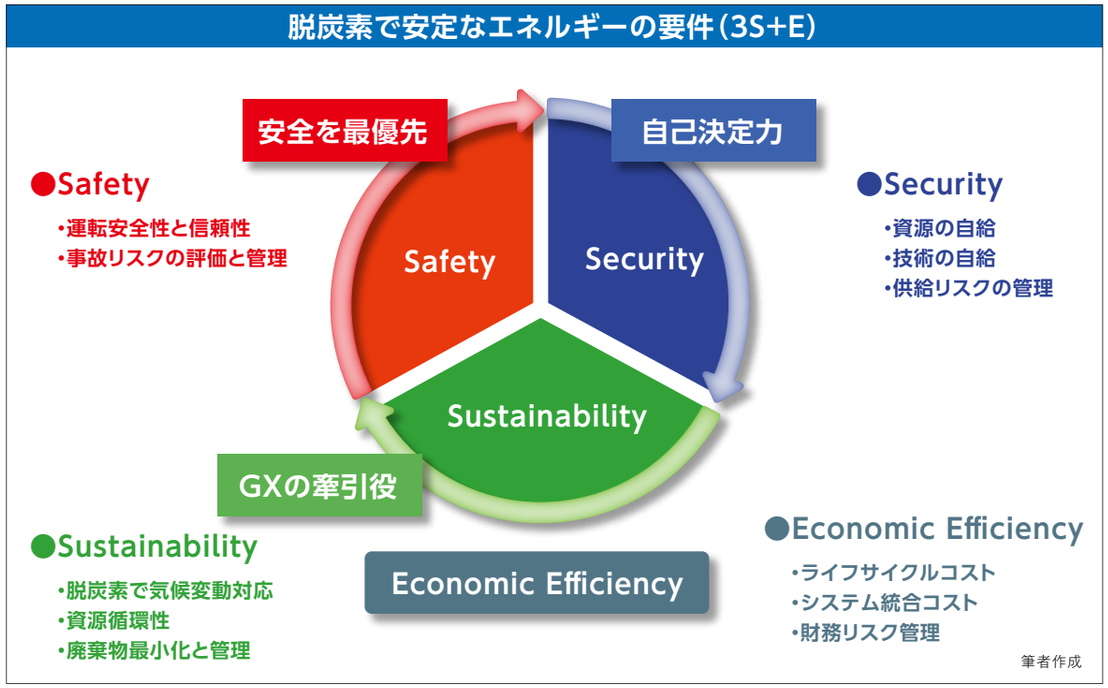
原子力行動指針と原子力の価値

原子力の最大限活用によって、エネルギー政策の遅滞を解消するとともに将来のエネルギー資源の確保と持続的な脱炭素社会の実現を達成しなければならない。2023年4月28日に「今後の原子力の政策の方向性と行動指針(以下、原子力行動指針)」が原子力関係閣僚会議において閣議決定された。第6次エネルギー基本計画や、2023年2月の原子力委員会の原子力利用に関する基本的考え方(以下、基本的考え方)、ならびにGX基本方針やその他の審議会などにおける議論の内容を踏まえた、今後の原子力政策にかかる主要な課題とその解決に向けた対応の方向性を示す政府および原子力事業者などの関係者による行動の指針が示された。原子力行動指針に沿って早期に取り組みを具体化する必要がある。

GX電源法で改正された法律の一つである原子力基本法には、原子力の価値実現と安全最優先の原則が明記された。原子力の価値実現により、脱炭素エネルギーを安定に供給し持続的経済社会の実現に貢献できるが、その前に原子力の価値の意味合いを明確化するとともに、脱炭素の安定なエネルギー源に求められる要件とは何かを考えなければいけない。

第一に、運転時も含めて安全で信頼性の高いエネルギーであること。事故リスクの評価とリスク管理がなされていることが不可欠である。次にエネルギーにかかる資源や技術の枢要部分が国内で自給できること、さらにこれらの供給途絶が起きないよう地政学的リスクなどが分析・管理されていることである。第三に、持続可能なエネルギー生産、すなわち資源を長期的に有効利用可能で、廃棄物を最小限に抑えることである。それに加えて経済効率性、すなわちエネルギー供給コストが低いことが求められる。経済効率性は、発電単価のみでなくライフサイクルコストとシステム統合コストが適正な水準にあり、さらに財務リスクが抑制・管理されていることが必要である。【図4】に示すように、脱炭素エネルギーを安定供給する要件は、安全で高信頼(Safety)、供給安定性(Security)、持続性(Sustainability)の3Sならびに経済効率性(Economic Efficiency)を加えた3S+Eが脱炭素で安定なエネルギー源の要件として求められるのではないか。原子力行動指針は、原子力の開発・利用にかかる基本原則を定めている。安全を最優先で革新技術により安全向上することを第一に掲げ、さらにエネルギー供給の自

【図4】



己決定力を確保し、GXを牽引することを原子力の価値として定め、それを実現することを求めた。その精神は原子力基本法に反映されている。まず、将来のエネルギー資源の確保と学術の進歩と産業の振興に加えて、地球温暖化の防止を原子力利用の目的とした。また、基本方針に安全神話からの脱却と安全最優先の原則を記載した。GXのゴールと原子力の価値は重なっている。

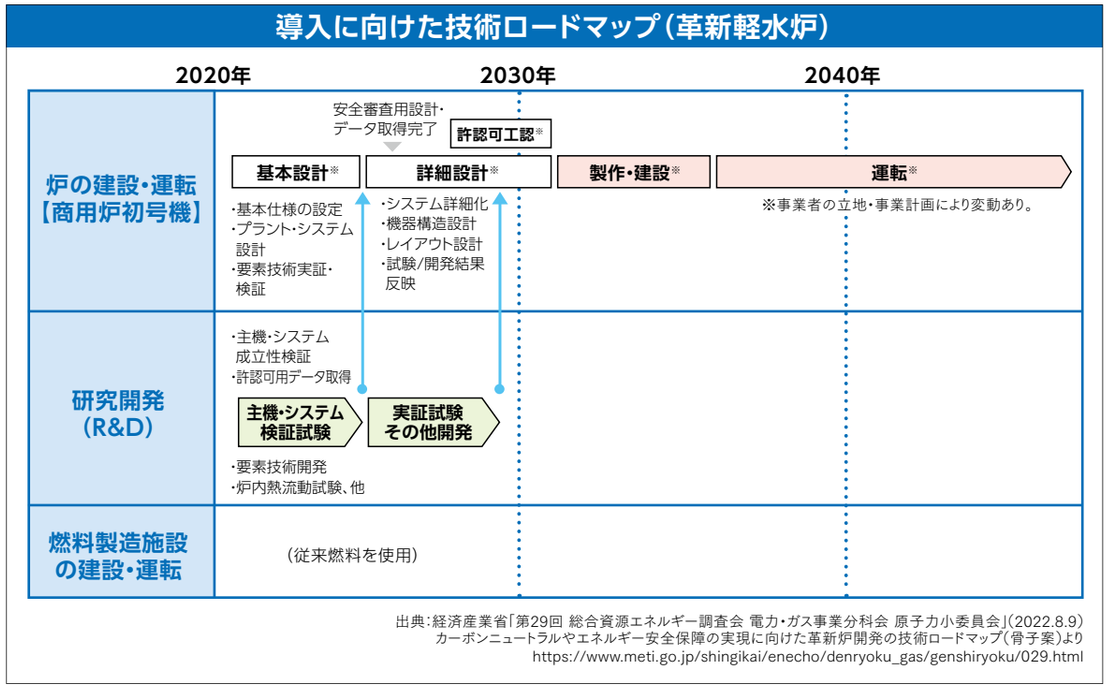
原子力の最大限活用と持続性の限界

GXの実現には原子力を最大限に活用し、原子力の価値を発揮することが不可欠である。とりわけ、昨今のエネルギー資源の供給不安と価格高騰は、エネルギー安全保障が将来にわたって保たれることの重要性を再認識させる。GX基本方針には将来に向けて原子力のポテンシャルを最大限活用していくための論点も示された。2022年8月24日に開催された第2回GX実行会議では岸田総理が、エネルギー政策の遅滞解消は急務であり、①原子力発電所再稼働への関係者の総力の結集、②安全確保を大前提とした運転期間の延長など既設原発の最大限活用、③新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設、④再処理・廃炉・最終処分のプロセス加速化の4つの政治決断が必要であると述べた。そして原子力はGXを進める上で不可欠な脱炭素エネルギーと強調し、これらを将来にわたる選択肢として強化するための制度的な枠組み、国民理解をさらに深めるための関係者の尽力のあり方の検討など、あらゆる方策について年末に具体的な結論を出すことを目指し検討を加速するよう指示した。

2030年の電力需要は1兆920億kWh(省エネ前)と推定され、そのうち20～22%を原子力発電とすることが電源構成の目標である。設備利用率を80%とすれば100万kWの原子力発電所31基が必要となる。「省エネの野心的な深堀り」ができれば電力需要は8640億kWh、これでも25基が必要、綱渡りの状態は継続する。足元のエネルギー危機を克服するために、原子力発電所再稼働は喫緊の最重要課題である。2023年10月時点で、再稼働済みは12基、設置変更許可を取得済みが5基、現在審査中と未申請の16基すべてを加えてようやく33基である。仮に2030年の電源構成の目標が達成され、すべての原子力発電所が60年運転を全うするとしても2040年には原子力発電比率20～22%を維持することは困難になる。それどころか、それ以降は毎年ほぼ1基のペースで廃炉という危機的な状況に陥る。東日本大震災後、12年以上にわたって停止中の原子力発電所の運転中断期間を運転期間から除外することが、GX電源法により可能となった。それでも問題を先送りしているにすぎない。

そこで次世代革新炉の開発・建設が必要となる。2022年8月9日の第29回原子力小委員会は次世代革新炉開発の技術ロードマップ(革新軽水炉、小型軽水炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉)を提示した。革新軽水炉は、わが国が強みとする軽水炉サプライチェーンをつなぎ、規制の予見性が高く実現時期が見通せることから、安全性を向上させた革新軽水炉の開発を最優先に取り組み、2030年代に運転を開始する【図5】。2040年以降の廃炉のペースを踏まえれば、必要な発電規模を確保するためには毎年1基のペースでの建設が必要である。安全性を向上させた次世代革新炉を早期にかつ継続的に建設するとしても、ウラン燃料の供給により持続性の限界につきあたる。革新軽水炉に過度に依存することは、その燃料であるウランの供給リスクと背中合わせであることも認識する必要がある。

【図5】



出典:経済産業省「第29回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会」(2022.8.9)
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)より
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/029.html

核燃料サイクルと資源循環性

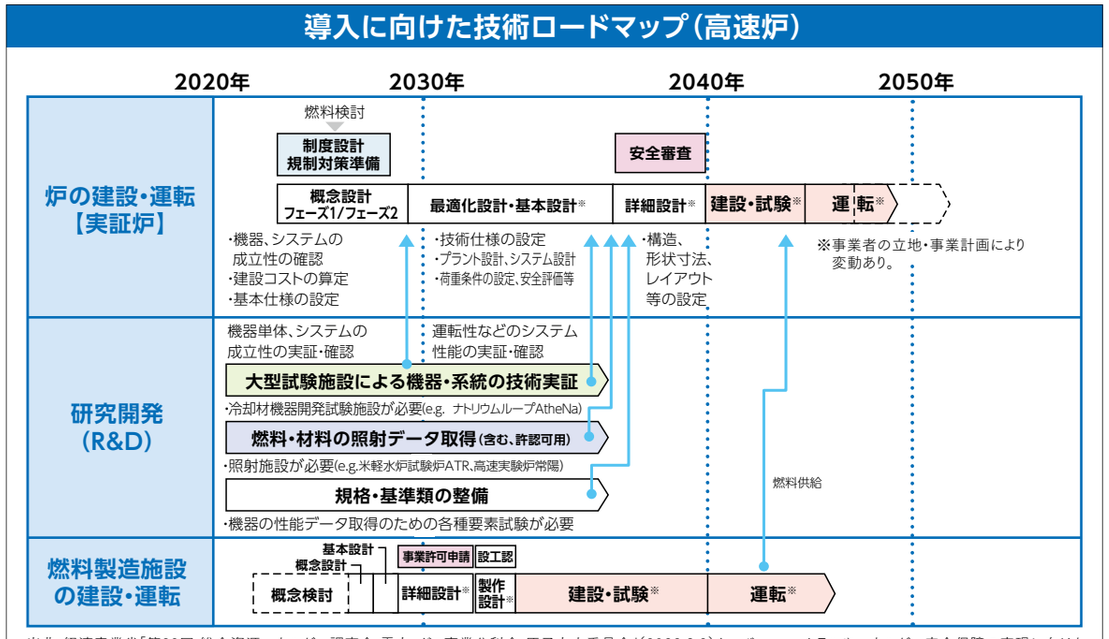
2023年9月16日付のフィナンシャルタイムズ紙(イギリス)は、世界的な原子力復活によりウラン価格が上昇していると報じた。2011年の福島第一原子力発電所事故直前の高値と同水準になり、2025年には現在の3倍程度に上昇する可能性を示唆した。世界も脱炭素社会実現とエネルギー確保に向けて原子力発電を注視している状況である。ウランの需要が世界的に拡大する状況で、軽水炉の使用済み燃料を再処理して燃料となるプル

トニウムを生産し、次世代革新炉の一つである高速炉で利用する戦略の意義は高まっている。

１００万kWの発電所を１年間運転するときに軽水炉は21ｔのウラン燃料を使う。石油は１５５万ｔ、ガスは95万ｔ、石炭は２３５万ｔと原子力の数万倍もの燃料を必要とする。１kWh発電量あたりの二酸化炭素発生量は、原子力では19ｇである。石油は７３８ｇ、ガスは５９９ｇ、石炭は９４３ｇとなる。こうした原子力の価値の恩恵を長期間にわたって受けるべく、着実な取り組みを進めなければならない。革新軽水炉の建設だけでなく、再処理・廃炉・最終処分のプロセス加速化は、将来にわたる脱炭素エネルギーの安定供給、持続的経済社会構築の鍵を握っている。原子燃料資源の利用効率を向上させて資源循環性を備えなければならない。

第６次エネルギー基本計画は、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウムなどを有効利用する核燃料サイクルの推進を基本方針とする。高速炉【図６】は高レベル放射性廃棄物の容積を減じ、潜在的有害度を低減するポテンシャルをもつことから、エネルギー資源の確保に加え、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減などの観点からも高速炉ならびにその核燃料サイクル技術の確立に取り組むとの位置づけである。一方、使用済燃料対策、核燃料サイクル、最終処分、廃炉などさまざまな課題に対応する必要があることも指摘する。２０２４年度には六ヶ所再処理工場が竣工を迎えようとしている。

【図６】



出典：経済産業省「第29回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会」(2022.8.9)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）より　https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/029.html

再処理により回収されるプルトニウムを用いて軽水炉のプルサーマル運転が順調に進めば、資源利用効率は１・５倍になる。核燃料サイクルに高速炉を導入すれば核燃料を自ら生産できることから「閉じた核燃料サイクル」といわれる。この場合、資源利用効率は数十倍から１００倍になる。２０２２年12月23日には「戦略ロードマップ」が閣議決定され、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効果をさらに高める技術として高速炉を位置づけ、２０５０年カーボンニュートラル実現に向けて、国際連携を通じた高速炉開発を着実に推進するとしている。閉じた核燃料サイクルが、さらなる原子力の価値として注目される。資源循環性を獲得できる高速炉と核燃料サイクルは原子力の持続的活用をもたらし、２０３０年や２０５０年にとどまらず、その後もＧＸを実現・維持するけん引役となるであろう。ＧＸ基本方針で再処理・廃炉・最終処分のプロセス加速化が重要とする所以（ゆえん）である。

まとめ

原子力の最大限活用というが、何に取り組めばいいのか。ＧＸとは経済成長と脱炭素社会構築を両立させることにより持続的経済社会を構築することである。そのためには脱炭素・安定電源の供給体制確立が不可欠である。革新技術による安全向上、エネルギー供給の自己決定力確保、ＧＸをけん引することが原子力の価値であり、これはＧＸのゴールと合致する。原子力を最大限活用するという方針が示されているが、原子力を一定規模の割合で利用し続けるためにはいずれ廃炉を迎える既設炉のみでは不十分である。次世代革新炉を年間１基程度のペースで建設する態勢を構築し、再処理・廃炉・最終処分のバックエンドのプロセスを加速する。さらに２０５０年以降、長期的にＧＸを実現・維持するためには、資源循環性と放射性廃棄物の低減が可能な高速炉と、閉じた核燃料サイクルの開発・確立に取り組まなければならない。これがＧＸに適う原子力開発・利用のビジョンであると考える。

東京大学名誉教授　山口 彰（やまぐち あきら）

原子炉工学、システム安全工学を専門とする。東京大学工学系研究科原子力工学専攻修了（工学博士）の後、動力炉・核燃料開発事業団（現在の日本原子力研究開発機構）にて高速炉の熱流動、安全、リスク評価などの研究に従事。大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻教授、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授を経て、現在は原子力安全研究協会理事。日本原子力学会第43代会長、国際ＰＳＡＭ協会（ＩＡＰＳＡＭ）理事、日本電気協会運転保守分科会長、日本原子力学会標準委員会リスク専門部会長など、学会・協会活動に貢献。文部科学省原子力科学技術委員会主査、経済産業省総合資源エネルギー調査会基本政策分科会委員、原子力小委員会委員長、原子力の自主的安全性向上に関するＷＧ座長などを務めている。