

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局  
原子力政策担当室 御中

## 諸外国における高速炉の導入及び核燃料サイクル政策の 理解促進等の実態調査 成果報告書

---

**MRI** エム・アール・アイリサーチアソシエイツ

2026年2月

社会解析ソリューション部  
公共政策第二部

本報告書は、内閣府の令和 7 年度科学技術基礎調査等委託事業として、エム・アール・アイ リサーチアソシエーツ株式会社が実施した「諸外国における高速炉の導入及び核燃料サイクル政策の理解促進等の実態調査」の成果を取りまとめたものです。

従って、本報告書の著作権は、内閣府に帰属しており、本報告書の全部又は一部の無断複製等の行為は、法律で認められたときを除き、著作権の侵害にあたるので、これらの利用行為を行うときは、内閣府の承認手続きが必要です。

# 目次

---

1. はじめに .....	1
1.1 事業目的.....	1
1.2 実施内容 .....	1
2. 調査結果概要 .....	2
2.1 総論 .....	2
2.2 フランス.....	3
2.3 米国.....	6
2.4 カナダ.....	8
2.5 英国.....	10
2.6 ロシア.....	12
2.7 中国.....	14
3. 諸外国調査 .....	16
3.1 フランス.....	17
3.1.1 核燃料サイクルの現況.....	17
3.1.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け .....	26
3.1.3 高速炉に関する研究開発 .....	29
3.1.4 高速炉導入に関する社会的な活動.....	37
3.2 米国.....	46
3.2.1 核燃料サイクルの現況 .....	46
3.2.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け.....	56
3.2.3 高速炉に関する研究開発.....	59
3.2.4 高速炉導入に関する社会的な活動 .....	66
3.3 カナダ.....	73
3.3.1 核燃料サイクルの現況 .....	73
3.3.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け.....	77
3.3.3 高速炉に関する研究開発.....	80
3.3.4 高速炉導入に関する社会的な活動 .....	82
3.4 英国.....	89
3.4.1 核燃料サイクルの現況 .....	89
3.4.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け.....	96

3.4.3	高速炉に関する研究開発.....	99
3.4.4	高速炉導入に関する社会的な活動.....	101
3.5	ロシア.....	107
3.5.1	核燃料サイクルの現況.....	107
3.5.2	核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け.....	118
3.5.3	高速炉に関する研究開発.....	128
3.5.4	高速炉導入に関する社会的な活動.....	136
3.6	中国.....	145
3.6.1	核燃料サイクルの現況.....	145
3.6.2	核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け.....	150
3.6.3	高速炉に関する研究開発.....	153
3.6.4	高速炉導入に関する社会的な活動.....	156
4.	国際機関等の調査.....	160
4.1	第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF).....	160
4.1.1	GIFの概要.....	160
4.1.2	GIFにおける活動.....	162
4.1.3	参加国の狙い.....	163
4.2	革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト(INPRO).....	168
4.3	欧州委員会(EC).....	171
5.	各国の比較・分析.....	1
5.1	核燃料サイクル政策.....	1
5.2	高速炉開発に対する政府方針.....	1
5.3	高速炉開発に関する社会的受容性に関する取組.....	2
6.	まとめ.....	3

# 1. はじめに

---

## 1.1 事業目的

2025年2月に閣議決定された「第7次エネルギー基本計画」に記載されているとおり、我が国は、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルを基本方針としている。この概念には高速炉も含まれ、高速炉開発については、実証炉の運転開始が2050年と見込まれるなど、長期的な展望の下で、戦略ロードマップに基づく研究開発等が進められている。

諸外国においても高速炉開発は進められており、一部の国では商用炉として稼働しているところも存在する。また、軽水炉の使用済燃料を直接処分するなど、核燃料サイクルの方針が我が国とは異なる国においても高速炉の導入が検討されるなど、国によって導入の背景や目的は様々であり、核燃料サイクルが描く長期的展望も国ごとに異なると考えられる。

こうした核燃料サイクル政策について、社会に対してどのような説明してきたのか、その政策決定と社会の影響の関わりについて調査することは、とりわけ、原子力全体を俯瞰する原子力委員会においても参考になる事項であると考えられる。

本業務では、今後我が国において長期的な展望の下に核燃料サイクル政策を推進するにあたり、諸外国の核燃料サイクル政策の推進の実態、特に核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け及び導入の方針、核燃料サイクルの長期的展望、これら政策に対応する社会への理解促進活動などの取組状況の実態を把握することで、我が国の政策検討に資することを目的とする。

## 1.2 実施内容

フランス、米国、カナダ、英国、ロシア、中国を対象に、各国の核燃料サイクル及び高速炉導入に関する実態や政策について調査した。また、各国の特徴について比較・分析を行った。

さらに、GIF、IAEA、ECを対象に、国際機関による高速炉及び核燃料サイクルに係る開発に向けた方針及び取組状況について調査した。

## 2. 調査結果概要

---

### 2.1 総論

米国、英国、ロシアでは軍用プルトニウム製造を目的として再処理及び高速炉の開発が進められてきたが、いずれも将来的なウラン資源の枯渇に備えて資源を有効活用する観点から開発を進める方針に転換した。フランス及び中国においては、当初より資源の有効活用を目的として再処理及び高速炉の開発が進められてきた。一方、ウラン資源を含む天然資源に恵まれ、独自の CANDU 炉が導入されたカナダでは、資源の有効活用に対する優先度が比較的低いため、経済性などを理由に再処理を行わないオープンサイクル政策を採ってきた。

フランス、ロシア、中国では継続的に政府機関による高速炉開発が進められており、これらの国では資源の有効活用に加え、高レベル放射性廃棄物の減容化及び有害度低減を目的としている。

一方、米国では核不拡散を理由に再処理を実施しない方針となったことから、再処理を必要とする高速炉開発も終了した。英国ではウラン資源が枯渇する懸念が小さくなり、高速炉が必要となる時期が数十年先になったことから、高速炉開発が終了した。さらに、英国では民間企業に再処理の実施を委ねた結果、再処理も終了しており、今後高速炉開発が進められる予定はない。

このように、高速炉開発は資源利用や廃棄物といった超長期的課題を解決する観点から開発が進められるとともに、その他の原子力政策との整合性が必要となるため、多くの国では国策として進められている。特に世界で最も高速炉開発が進んでいるロシアは 1950 年代から一貫して政府が協力を推進している。したがって、高速炉開発にはある程度の政府によるイニシアチブが必要であるといえる。

一方、政府としてオープンサイクル政策を採っている米国及びカナダでは民間企業が主導する高速炉計画が進捗しており、立地サイトも決定している。これらの計画は、いずれも政府による先進原子力技術支援の枠組みを利用して実施されており、設計段階から原型炉建設に進む段階である。そのため、現時点では成否が分からず、今後もその動向を注視する必要がある。

核燃料サイクル及び高速炉の開発は、その殆どが数十年以上前に選定された政府機関や国立研究所の敷地内で進められてきており、立地地域の選定が大きな問題となった事例が少ない。一方、高速炉を商用規模で導入しようとする、これらの敷地内では収まらないため、立地地域の選定が課題となる可能性がある。過去の英国での事例や、近年の米国での事例では、地元産業への貢献などを主な理由として立地受入れが決定したことを踏まえ、核燃料サイクルという大きな政策への貢献のみならず、受入れ地域へのメリットも説明した上で合意形成を図る必要があるといえる。

## 2.2 フランス

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

フランスは原子力導入初期から、電力生産における完全な独立性を確保することを目的として、一貫してクローズドサイクルを掲げている。また、法律上、再処理によって高レベル放射性廃棄物の減容化及び有害度低減を図ることが規定されている。

高速炉開発は国家政策として推進された後、ウラン資源が豊富であることから一旦は開発方針を見直していたものの、2026年2月に公表の多年度エネルギー計画では高速炉開発を維持する方針としている。高速炉の開発により、使用済燃料の再処理を通じて、天然ウラン供給への依存からの長期的な脱却、及び使用済燃料の減容化が可能であるとし、21世紀中の実用化を目指している。フランスでは既に軽水炉でのMOX燃料利用が進められ、クローズドサイクルを採用しているが、現時点では軽水炉使用済燃料を1度だけ再処理する単一リサイクルにとどまっている。将来的なマルチリサイクルによる完全なクローズドサイクルの実現に向けて高速炉が位置付けられるとともに、それまでの間、使用済燃料貯蔵量等の抑制のため軽水炉におけるマルチリサイクルを目指している。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

フランスでは既に軽水炉でのMOX燃料利用(単一サイクル)が進められている。政府方針では、高速炉導入までの間、プルトニウム及び使用済燃料の貯蔵量を安定化させる観点から、軽水炉でのマルチサイクルを目指しており、評価対象としているシナリオでは2040年頃に軽水炉マルチサイクルを、2090年頃に高速炉サイクルを導入する想定となっている。

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

フランス政府は、既存の燃料製造施設においては、高速炉燃料を産業規模で製造することも、使用済高速炉燃料を産業規模で再処理することもできないとしている。このため、産業界とCEAが連携のもと、21世紀中に高速炉及び関連する燃料サイクル施設の整備を可能とするためのマイルストーンを特定することが、PPE3で示されている。民間企業においてはnewcleo社が、鉛冷却高速炉「LFR-AS-30」の開発と並行してフランス国内にLFR用MOX燃料加工施設の建設計画を進めており、EDFの使用済軽水炉燃料及び国内濃縮施設に由来するウラン及びプルトニウムを組み合わせ燃料を製造することが想定されている。加工施設はl'Aube(オーブ)県にあるNogent-sur-Seine(ノジャン)原子力発電所に隣接した土地への建設が計画されており、パイロットラインを2030年頃に立ち上げる想定となっている。同施設はモジュール型で段階的に拡張され、2040年頃に2本の生産ラインが追加される計画となっている。

### (4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況

既存のLa Hague(ラ・アーク)再処理施設は運転期間を2040年以降まで延長できるように改修する方針であり、その後新たな再処理施設を建設する想定となっている。新再処理施設は2045年から2050年の間を目途として建設できるよう、調査を進める方針となっている。なお、過去の高速炉運転で生じた使用済燃料は、将来的に使用済高速炉燃料が再処理されるときまで貯蔵されている。

newcleo 社は使用済高速炉燃料を再処理する想定としているが、具体的な方法までは言及されていない。

## **(5) 高速炉の安全性・経済性の評価**

1982 年時点における高速増殖実証炉スーパーフェニックスによる発電量 1kWh 当たりのコストは、1,300kW 級 PWR の約 2.3 倍になると示されている。

CEA が 2015 年に実施した分析において、天然ウラン価格が 100 ユーロ/kgU 未満(2015 年の水準)では、高速炉が経済的競争力を持たないことは明らかであると示している。その上で、将来的に世界規模で軽水炉が普及することによりウラン消費量が増大し、60 年間にわたる軽水炉の運転期間を考慮したウラン価格の上昇分が、高速炉の投資コストを相殺できるようになり初めて高速炉が経済的に競争力を得るとしている。

第三者評価機関である国家評価委員会が 2025 年 5 月に提出した報告書では、高速炉の開発はウラン供給リスクに対する保険的措置につながると評価しつつ、経済性も検討の重要な要素になるとしている。同報告書では、EDF による高速炉と既存 PWR のコスト比較分析を参照しており、概ね既存 PWR と同等であるものの、冷却系統や燃料の製造及び取扱いに関しては高速炉の方が高くなるとしている。

## **(6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動**

フランスでは原子力基本施設立地地域に対して、地域情報委員会(CLI)を設置することが法律上求められている。CLI は、原子力安全、放射線防護、及び人間と環境に対する原子力活動の影響について、監視、情報提供、協議を行う任務を担う。また、CLI は活動の成果を一般にアクセス可能な形式で広く公表することが求められており、年 1 回以上の誰でも参加可能な公開協議の開催が義務付けられている。このほか、原子力安全・放射線防護機関(ASNR)が、情報センターを設けており、原子力施設に関する行政文書を含む様々な資料を提供しているほか、テーマ別の見学やワークショップの開催が可能となっている。

高速炉に直接関連する情報発信や理解促進の具体例として、EDF は廃止措置が進められているスーパーフェニックス建屋等の見学会を 2026 年 2 月にも開催している。見学会では、施設やその歴史、技術、廃止措置に関する 1 時間のプレゼンテーションを受けたのち、原子力建屋内部や制御室を 2 時間かけて見学することが可能となっている。

## **(7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組**

フランスでは環境に多大な影響を及ぼす大規模な公共事業や政策決定について、その構想段階で公開討論会を実施することが法律上定められている。主要方針が確定する前である構想段階に、利害関係者が可能な限り幅広い意見を表明できることが目的とされている。

公開討論会は、国会議員、地方選出議員、裁判官、認可された環境保護団体の代表者、消費者・利用者の代表者等で構成される独立機関である公開討論国家委員会が担当する。

## **(8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組**

フェニックスではナトリウム漏えいが32件(最大2キロ)、スーパーフェニックスではナトリウム漏えいが4件発生している。フェニックスの蒸気発生器等からの漏えいによるNa-水反応事象は1982年から1983年に5件のほか、2003年にも発生している。いずれも環境または人への影響はなかったと報告されている。

## 2.3 米国

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

米国は、1950年代初頭から、高速炉の開発、実証及び商業運転を実施した実績を有する。再処理について、現在法的に禁止する規定はないものの、経済的成立性を踏まえて民間による再処理は実施されていない。過去の経緯としては、プルトニウムを生成する再処理について核拡散の懸念が指摘され、1976年にフォード大統領の声明において、再処理の民営化はプルトニウム非分離の技術、直接処分の研究などの核不拡散の検討を行うまで保留する方針が打ち出された。1977年4月、カーター大統領の核不拡散声明により民間再処理事業の無期限延期等が打ち出され、AECの後継にあたる原子力規制委員会(NRC)によるバーンウェル等の許認可審査もその後に停止されている。

一方で、2025年1月に2期目の大統領に就任したトランプ現大統領は同年5月に、大統領令「原子力産業基盤の再活性化」に署名した。本大統領令では、国内核燃料サイクルの強化のため、240日以内にエネルギー長官に対して、再処理、リサイクルで発生する放射性廃棄物の処分に関する提言や、再処理、分離、貯蔵施設の再評価などについて検討した報告書を作成して提出することを求めている。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

米国では、Atoms for Peace 政策により民間原子力事業が奨励されてからは、核兵器開発にも直結する機微な技術である濃縮を除き、民生用原子力発電事業は民間が実施している。連邦政府は、1960年代中期より、増殖炉の開発を原子力発電プログラムにおける主要な目標としており、クリンチリバー増殖炉(CRBR)の建設計画などが進められたものの、CRBRは完工に至っていない。DOEはこれ以降の時期も現在に至るまで、核燃料サイクルの研究・開発に対して支援を行っている。

なお、オバマ政権時の2010年に使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理方策の検討を行うためにブルーリボン委員会が設置された。同委員会の「最終報告書」(2012年)では、高速炉を利用するクローズサイクルが検討対象の一つになっている。

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

高速炉燃料製造に関する政府戦略は存在しないが、民間の高速炉開発事業者が独自に進めている。

TerraPower社が開発する「Natrium」では、GNF社と既設施設に燃料加工施設を建設する契約を締結している。またTerraPower社は2023年7月に、セントラス社と2030年の「Natrium」実証プラントの運転開始に間に合うように、HALEUの供給において協力する覚書を締結している。

OKLO社が開発するオーロラでは、2019年にアルゴンヌ国立研究所(INL)と協力して金属燃料のプロトタイプを製造し実証を行った。また、2021年にOKLO社は、HALEU製造施設の実用化に向けた協力に関してセントラス社と拘束力のない基本合意書を締結した。さらに、2023年に両社はセントラス社が製造したHALEUをOKLO社が購入する可能性を検討することで合意している。このほか、OKLO社は2025年9月に、テネシー州で燃料リサイクル施設を設計・建設・運営する計画を発表した。同社は最大で16億8,000万ドルを投資し、使用済燃料をリサイクルして同社のオーロラ炉などの高速炉の燃料にする施設を建設する計画である。

#### **(4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況**

米国には現在、運転している商用高速炉はない。上述のとおり、トランプ政権で署名された大統領令で再処理やリサイクルが検討対象になっているが、現状戦略策定には至っていない。

TerraPower 社と OKLO 社はいずれも将来の先進炉から発生する放射性廃棄物量の最小化を目指す DOE の ONWARDS プログラムを活用して使用済燃料処理に関する研究開発を進めていたが、TerraPower 社のプロジェクトステータスはキャンセル済みとなっており、同社における使用済燃料の処理計画について詳細は確認できない。一方、OKLO 社のプロジェクトはアクティブであり、同社は数年内に、高速炉向け金属燃料を生産する最先端の核燃料リサイクル施設の商業化を目指している。

#### **(5) 高速炉の安全性・経済性の評価**

ブルーリボン委員会の「最終報告書」では、高速炉を利用するクローズサイクルの安全性は「さらなる改良が可能」、コストは「再処理に多額の資本コストが必要。設計・認可・長期的経済性の評価の基盤を提供するため、研究開発が必要。ベースラインに対する運転コストは、将来のウラン価格、燃料製造コスト、運転信頼性に大きく依存」との判断が示されている。

#### **(6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動**

連邦政府はブルーリボン委員会を設置して高速炉を含めて燃料サイクル技術の開発に関する検討を行っており、その結果や、設置された小委員会の報告書などは、ウェブサイトを通じて公表されている。

#### **(7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組**

TerraPower 社はワイオミング州のケメラーにおいて「Natrium」を建設する計画である。同社は、建設プロジェクトの技術や想定されている開発プロセス、及び安全性といった点について、地元のリーダーや住民に対してプレゼンテーションを実施するイベントを複数回開催している。また同社は、パブリックミーティングやラジオ、各種イベントの機会を通じて、プロジェクトの最新情報を提供している。

また、同社は 2025 年 8 月にケメラーで労働力開発のための「ケメラー・トレーニングセンター」の建設を開始したことを公表した。同センターは、「Natrium」の運転のためのトレーニングをすべて実施する施設であり、運転員認定プログラムをサポートするため、先進原子力産業の将来の人材育成に不可欠な施設となる。また、シミュレーター、電気・計装制御実験室、機械・科学実験室、トレーニング教室、講堂などが設置される。

#### **(8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組**

ナトリウム冷却高速炉であるフェルミ-1 炉では 1966 年 10 月に燃料溶融事故が発生したが、社会的影響などについて、事業者や規制機関などが公表した一次情報は確認できていない。

## 2.4 カナダ

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

カナダは 1940 年代から 1960 年代にかけて実験的な再処理を実施したが、天然ウラン資源が豊富に賦存することから再処理を実施せず、使用済燃料を直接処分する方針である。したがって、カナダでは政府として高速炉を導入する計画は存在しない。第 6 回放射性廃棄物等安全条約 2017 年国別報告書のピアレビューで提示された質問に対する回答において、カナダは再処理を実施しない理由として以下を挙げている。

- 現在の再処理技術は、特に濃縮されていない CANDU 炉の燃料について極めて費用がかかり、また放射性廃棄物管理にいかなる実質的な便益ももたらさない(すなわち、再処理を実施することで地層処分の必要性がなくなるわけではない)。
- 軽水炉の使用済燃料と比較して CANDU 炉の使用済燃料では核分裂性の成分が極めて小さいことから、CANDU 炉の使用済燃料に比べて軽水炉の使用済燃料の再処理の経済的インセンティブははるかに大きい。
- CANDU 炉の使用済燃料の再処理により、極めて酸性の強い液体廃棄物を含め、大量の化学的に複雑な廃棄物ストリームが発生する。

一方、カナダ政府は SMR 開発を推進しており、その中で SMR の用途として使用済 CANDU 炉燃料の再利用を挙げている。高速炉は、SMR 開発プロジェクトの一部として間接的に推進されており、使用済燃料の減容化をはじめ、熱利用や、建設及び運用コスト低減等の観点から、民間主導で開発が進められている。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

カナダでナトリウム冷却高速炉を開発している ARC 社は、使用済燃料のリサイクルについて、再処理方法が規制の承認を受け、公衆に受容され、経済的に実行可能になった際の「長期的な目標」と位置づけている。

高速溶融塩炉を開発している Moltex 社は、CANDU 炉及び高速溶融塩炉の使用済燃料を再利用し燃料となる塩を製造する WATSS プロセスと、高速溶融塩炉で燃焼させるプロセスを組み合わせる計画としている。

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

ARC 社は米国 EBR-II での実績を有するウラン・ジルコニウム合金による金属燃料を計画している。Moltex 社は超ウラン元素を溶融塩に直接抽出し、燃料塩とする計画である。

### (4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況

ARC 社は使用済燃料のリサイクルを長期的な目標と位置付けており、具体的な検討は明らかになっていない。

一方、Moltex 社は使用済燃料を燃料とすることをアピールポイントとしており、同社が WATSS プ

ロセスと呼ぶ再処理を前提としている。

## **(5) 高速炉の安全性・経済性の評価**

カナダエネルギー規制機関(CER)が2025年8月に公表したSMRに関するMarket SnapshotではSMR全般について、OECD諸国で商用SMRが未完成であるため、コストは不透明であること、SMRは小型ゆえに初期投資は小さくなり得る一方で、単位出力当たりのコストが相対的に高くなり得ることなどが示されている。

## **(6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動**

カナダでは規制文書において、情報公開及び公衆への情報提供について、原子力事業者等が策定する情報公開プログラムが考慮すべき事項や、公衆が情報に容易にアクセスできるよう検討すべき事項等を定めている。また州レベルでは、SMR展開に関する戦略計画を策定しており、先住民と公衆の関与について、公衆との信頼関係の構築、対話の促進、情報交換や視点の共有等で協力して行く方針を示している。

## **(7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組**

ARC社とMoltex社のいずれも原子力発電事業者であるニューブランズウィック・パワー社と協力し、同社のポイント・ルプロー原子力発電所サイトで実証炉を建設する計画としている。また同社は、ニューブランズウィック州において、SMR導入にかかる特設ウェブサイトを設け、ARC社やMoltex社の導入計画の状況の発信や、理解促進活動に関する情報提供等を行っている。

## **(8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組**

カナダでは高速炉の運転実績がないため、事故も発生していない。

## 2.5 英国

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

英国ではウラン資源の枯渇に対する懸念から、1950年代から高速炉開発の方針を示していた。しかし、北海ガス田からの安価な天然ガスや、1980年代における電力供給能力過多などを背景に、1988年に高速炉開発計画を撤回し、実験高速炉は1994年に閉鎖された。

また、英国は1950年代から軍事用プルトニウムの抽出を目的として再処理を実施しており、初期の原子炉はプルトニウム抽出に適した黒鉛ガス冷却炉であった。次いで英国の原子力開発は、軍事利用と発電利用のデュアルパーパスへと移行し、マグノックス炉による原子力発電所計画が進められ、1956年にはコールダーホール原子力発電所が商用炉として運転を開始した。原子力開発の重点が民生へ移った後も、マグノックス炉の使用済燃料は水中での長期保管に向かないことから、全量が再処理された(2022年完了)。さらに改良型ガス冷却炉(AGR)の導入に伴い、1969年には酸化燃料用の再処理施設が操業を開始し、国外の軽水炉燃料を含む商業規模での再処理役務を提供した。

一方、英国内では1990年代に電力自由化が進められた結果、再処理の要否は燃料所有者(電気事業者)の判断に委ねられたが、英国内の事業者は再処理の継続を望まなかった。1994年に操業を開始した酸化燃料再処理施設 THORP は、国外の使用済燃料の再処理を続けていたが、コスト、技術や収益性を検討した結果、既存契約に基づく再処理が完了した2018年に閉鎖された。

英国政府としては民間事業者が再処理を実施する場合は協議するものの、政府として再処理を推進しないという方針を明確にしている。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

英国では現在、高速炉プロジェクトは実施されていない。第4世代炉を対象とした支援政策において高速炉も候補に挙げられたが、高温ガス炉が選定されている。過去にはドーンレイ高速炉(DFR)が1954年から1977年まで、原型高速炉(PFR)が1974年から1994年まで運転していた。しかし電力生産の余剰を背景に、英国政府は1988年に高速炉開発方針を撤回し、その後の導入判断を電気事業者に委ねた。核燃料サイクルについて、英国政府として再処理を支持する方針は取っておらず、使用済燃料は直接処分する見通しである。過去の再処理によって生じたプルトニウムを MOX 燃料として再利用することが検討されていたが、2025年に地層処分する方針が示された。

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

英国では高速炉開発計画が存在しないため、高速炉燃料に関する検討は存在しない。なお、過去に実験炉を運転していた際は国立原子力研究所で製造していた。

### (4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況

英国政府は現在、軽水炉燃料も含めて再処理を支持していない。なお、過去には1994年に閉鎖された PFR の使用済燃料の再処理が実施され、クローズドサイクルの実証が試みられた。しかし現在、英国内では高速炉の建設を目指す事業者がいらないため、高速炉使用済燃料の再処理に関する研究開発も進められていない。

## **(5) 高速炉の安全性・経済性の評価**

英国政府は政府事業として支援する革新炉を選定する過程で、第4世代炉に対する定性的な評価を行った。その結果、高速炉は安全性と経済性の両面において、支援対象として選定された高温ガス炉よりも低い評価を受けた。安全性に関してはナトリウムの化学的活性や炉心停止手段の多様化などが課題に挙げられた。経済性に関しては2次ナトリウム系に要する資本コストと再処理に伴う追加費用が指摘された。

## **(6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動**

過去に運転していたDFR及びPFRについて、NSR等の事業者が廃止措置の状況などをウェブサイトや動画配信サイトで情報発信している。なお、DFRの制御室は科学遺産としてスコットランド国立博物館とロンドン科学博物館の共同所有物として寄贈されている。

英国では原子力立地地域毎に地域参画及び原子力事業者による資金面を含む地域支援の受け皿としてステークホルダーグループが設置されており、年4回以上の定例会合において事業者や規制当局と情報提供、意見交換を行っている。ドーンレイのステークホルダーグループのもとでは、学校の科学技術教育(STEM)支援や、高速炉を含むサイトの歴史を伝承する語り部活動などが報告されている。

英国では重要な政府方針を決定する前にコンサルテーションを実施し、政府案に対する意見募集を行う。NDAの廃止措置方針戦略も全国を対象としたコンサルテーションの対象である。2026年3月に公表された同戦略では、ドーンレイの廃止措置終了後の最終的な姿(エンドステート)に向けて、ステークホルダーグループを中心とした地域と協議を重ねるプロセスをとることが示されている。

## **(7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組**

英国政府は高速炉開発拠点として、人口密度が低い、海に近い、経済振興が必要という条件を設定した。その結果、伝統産業の衰退、若年層の流出、雇用機会の不足といった課題を抱えていたケイネス地方のドーンレイにおいて、地元議会や自治体が政府主導の高速炉開発を地域再生の機会と捉え、積極的に受け入れを支持した。

なお、核燃料サイクルの拠点となるセラフィールドサイトは、核兵器開発拠点として国家安全保障上決定された。

## **(8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組**

英国では2基の高速炉が運転されたが、1基は事故を起こさなかった。もう1基はナトリウム漏えいとそれに伴う原子炉緊急停止を発生させたが、環境中への影響はなかった。この事故による社会的影響は確認されていない。

## 2.6 ロシア

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

ロシアでは軍民の原子力行政、原子力産業を ROSATOM グループのもとに集約しており、核燃料サイクル全体が国家方針のもと、国家事業として推進されている。

ロシア(当時ソ連)は原子力開発初期より、核物質及び燃料再生産の燃料サイクルを志向しており、高速炉開発は軍事利用と発電利用のデュアルパーパスで開始された。一方、高速炉開発が実験から実証炉へとスケールアップする段階で、プルトニウム増殖比の向上を追求する方針から、エネルギー生産を主目的とする方針に移行していった。

ソ連崩壊後のロシアでは、クローズドサイクルの実現を目指し、高速炉を将来のエネルギー問題解決の鍵と位置づけ、再処理によって有益な資源を再利用し、放射性廃棄物の量と毒性を最小化する方針で研究開発が進められた。したがって、高速炉に関してはプルトニウム増殖、核燃料再生を前面に打ち出していたソ連時代の構想から、蓄積された使用済燃料やプルトニウム、さらにはマイナーアクチノイドを高速炉で燃焼させ消費する形へとシフトしている。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

ロシアは原子力開発の長期戦略として、VVER と高速炉を組み合わせるクローズド核燃料サイクルを実現する「二成分システム」への移行を目指している。当初の二成分システムは、使用済高速炉燃料から回収した核分裂性プルトニウムの割合が高いプルトニウムを VVER に供給し、使用済 VVER 燃料から回収した核分裂性プルトニウムの割合が低いプルトニウムを高速炉に供給してリサイクルし、クローズドサイクルを実現するサイクルを中心に考えられていた。燃料需給量の観点から、高速炉 1 基と VVER2 基の運転でバランスする想定である。なお、ROSATOM は国外顧客に対しても、使用済燃料等を引き取り、ロシアの二成分システムのクローズドサイクルに組み込んで処理する「持続可能な核燃料サイクル」をサービスパッケージとして提供している。

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

ロシアでは BN-800 において高速炉 MOX 燃料を運用中である。なお、ロシアは 2023 年に中国の高速炉 CFR600 の初装荷燃料(MOX 燃料)を輸出した実績を持つ。

さらに、プルトニウム燃焼の次の段階として、ロシアは高速炉でのマイナーアクチノイド燃焼による長寿命放射性廃棄物の減少を目指している。その一環として、2024 年 7 月にアメリシウムとネプツニウムを混合した MOX 燃料の BN-800 への初装荷が実施された。

また、ウラン・プルトニウム混合窒化物燃料(MNUP)の開発も進めている。窒化物燃料と比較して高密度、高熱伝導率、また動作温度が融点に対し低いことなどから、安全性と効率性の面で有利であるとされている。2020 年までに BN-600 において 18 体の MNUP 燃料集合体が装荷され照射された。

### (4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況

ロシアでは BN-600 及び BN-800 の使用済燃料の再処理を実施している。研究開発フェーズのものとしては「ブレイクスルー」計画の一環として、鉛冷却高速炉を核としてサイト内でクローズドサイクル

(燃料製造、原子炉、再処理)をほぼ実現できる「パイロット実証エネルギー複合体」の構想が進められている。MNUP の再処理については、窒化物燃料の特性に応じた独自技術が採用されており、再処理プラントモジュールの建設は 2026 年にも開始され 2030 年ごろ完成予定である。

#### **(5) 高速炉の安全性・経済性の評価**

ロシア連邦物理エネルギー研究所等が、IAEA 支援のもと、IAEA の INPRO で開発された手法を用いて BN-1200 の安全性及び経済性に関する評価を行った。その結果、BN-1200 の安全性は BN-800 よりも優位にあるとされた。また、経済性に関しては、BN-800 より安く、軽水炉との比較では、天然ウラン価格上昇率によって変化するとされた。

#### **(6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動**

ROSATOM は傘下の非営利組織として、原子力産業が立地する 19 都市に「原子力産業情報センター(ICAIE)」を設置しており、これらが ICAIE ネットワークを形成している。同ネットワークの活動目的は、原子力産業の原則や原子力の発展の展望について、国民に情報提供を行うこととされている。ICAIE ウェブサイトには、原子力辞典や発電所のバーチャルツアー、立ち入りが制限される閉鎖都市 ZATO のバーチャルツアーなどの教材を含む「アトムテカ」コーナーが設置され、一般向けの情報発信や教育素材などを提供している。

#### **(7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組**

ロシアにおける高速炉及び関連する核燃料サイクル施設の立地はいずれも、旧ソビエト時代に端を発する。このうち、高速炉が立地するスヴェルドロフスク州ザレチヌイ市は、原子力発電所と共にゼロから開発された原子力のための都市であり、ソ連時代から原子力の国際的なショーケースとして外部者の立ち入りが可能な開放都市であった。一方、これ以外の鉛冷却高速炉やウラン濃縮、転換、再処理等の燃料サイクル関連施設の立地地域は、ソ連時代の秘密都市に由来し、現在も閉鎖行政地域に指定され、人の出入りが管理監視されている。

2010 年の連邦ターゲットプログラムで公的な予算配賦が行われた BN-1200 計画に関しては、現在のロシアの法律に基づき、設置許可に向けた環境影響評価が行われ、関連書類を公表すると共に、市民を対象とした公聴会が開催されている。

#### **(8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組**

BN-600 ではナトリウム漏えい事象等が複数報告されているが、いずれも、住民や環境への放射能影響はなかったとされている。一方、これらの事象がどの程度社会に認識され、社会に影響を及ぼしたかは不明である。BN-800 に関しては、1986 年のチョルノービリ原子力発電所事故の影響やその後のソビエト崩壊に伴い南ウラルで計画中止、ベロヤルスクで 2006 年まで建設が中断されたが、これは原子力安全基準の強化や資金難などに主に起因するものであり、先行する BN-600 における事象が直接的に社会に影響を与えたものではないと考えられる。

## 2.7 中国

### (1) 高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割

中国は、1980年代から一貫して、熱中性子炉、高速炉、核融合炉と開発を進める政策を堅持している。これは、1983年に「原子力発展技術政策論証会議」で提示された戦略に基づくものである。そのうえで、自国の技術によるクローズサイクルの確立に向けた取組を進めている。

### (2) 高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ

使用済燃料は再処理してウランやプルトニウムを回収して利用し、資源を最大限に利用して、また高レベル放射性廃棄物の発生量を減少させることとしている。具体的には軽水炉の使用済燃料を再処理施設で処理してウラン 235 の濃度を 0.9%まで高めた燃料、又は回収ウランと劣化ウランを混合し、天然ウランと同程度のウラン 235 の濃度とした燃料を CANDU 炉に装荷し、燃料することで濃度 0.27% のウラン 235 と 0.35%のプルトニウム 239 を回収する構想である。

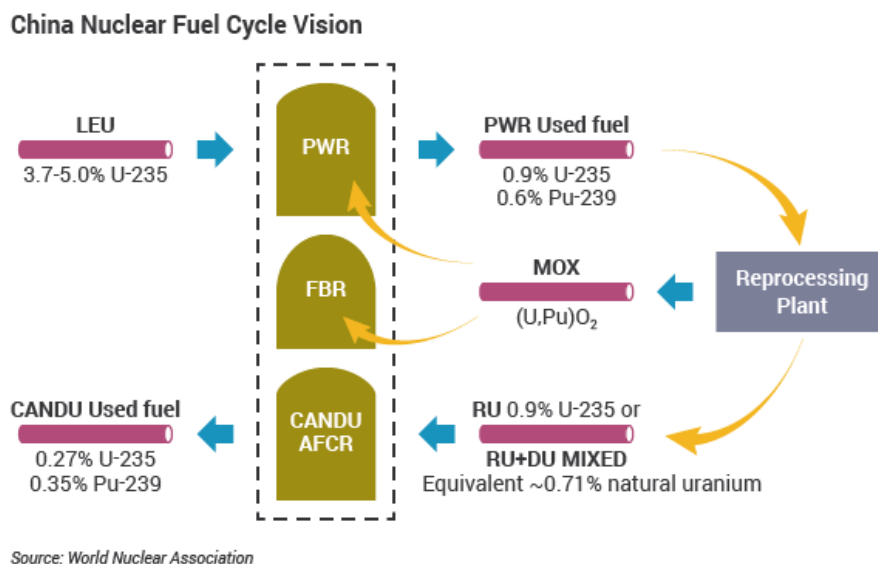


図 2-1 中国の核燃料サイクルのビジョン

(出典)世界原子力協会 “China’s Nuclear Fuel Cycle”より引用

### (3) 高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況

中国実験高速炉(CEFR)では、 $UO_2$  燃料が使用されている。電気出力 600MWe の中国実証高速炉(CDFR)である CFR600 においてもロシア製の  $UO_2$  燃料を使用するが、のちに中国製の MOX 燃料を装荷するとの情報がある。

### (4) 高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況

中国では、現在運転している高速炉は実験高速炉である CEFR のみであり、使用済燃料の処理・再処理の戦略や状況について情報は確認できていない。再処理に関して、2006年に甘粛省の蘭州核燃料複合施設において、ピュレックスプロセスを用いたパイロット再処理プラントの建設が開始された。

2010年にホット試験が完了し、2013年から2015年にかけて約50トンの使用済燃料の再処理が実施され、現在年間約36トンの処理能力を持つとのことである。

## (5) 高速炉の安全性・経済性の評価

ハーバード大学の Yun Zhou は、中国の原子力発電の経済性の評価において、以下の3シナリオを検討した。

- 再処理を実施しない:このシナリオでは、原子力発電所サイトで貯蔵できない使用済燃料はすべてオフサイトの乾式又は湿式貯蔵施設に搬出。
- ニーズベースで再処理を実施:2011年に年間50トンの再処理を開始し、その後は高速炉開発プログラムの必要に応じて、かつ不必要なプルトニウム在庫を回避して徐々に再処理容量を追加。分離したプルトニウムは高速炉に装荷するMOX燃料の製造に使用。
- 能力ベースで再処理を実施:2025年には年間800トンの再処理容量を実現。分離したプルトニウムは、核不拡散抵抗性を備えた方法で保管するか、又は軽水炉に装荷するMOX燃料のために使用。

Zhouによれば、中国の専門家は使用済燃料の再処理及びプルトニウムの再利用は、ワンスルーサイクルよりも費用がかかることを認識している。しかし、ウラン価格が上昇し資源が減少すれば、再処理と再利用が限りあるウラン資源から最大のエネルギーを産出し、中国のエネルギー開発を持続可能なものとする唯一の方法であると考えられている。

## (6) 核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動

中国では、広東省・江門市鶴山市における核燃料加工施設のサイト選定や江蘇省・連雲港市における核燃料サイクル施設のサイト選定において、住民の反対運動があり選定が中止されている。鶴山市における事例では、公示期間から十分な時間をおかずにプロジェクトが進められたことで安全性に対する懸念が高まり、公衆の間で強い反対が巻き起こった。政府側は10以上のメディアに対する状況説明、SNSを利用した公衆の質問への回答、原子力発電及び核燃料加工施設の安全性に関する知識の発信、著名な専門家を招いての安全知識の普及などを行ったが、こうした取組は奏功しなかった。

## (7) 高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組

中国の高速炉の立地プロセスについて、情報は確認できていない。

## (8) 高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組

中国の高速炉における事故情報は確認できていない。

### 3. 諸外国調査

本調査では、フランス、米国、カナダ、英国、ロシア、中国の各国を対象に、13 項目について調査を実施し、以下のとおり取りまとめた。

表 3-1 3 章の構成及び内容

項目立て	調査項目
3.X.1. 核燃料サイクルの現況	①核燃料サイクル政策の今現在の方針に至るまでの変遷 ②高速炉導入の背景及び目的、政策的位置づけ、核燃料サイクルにおける高速炉の役割
3.X.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け	③高速炉を含めた核燃料サイクルのシナリオ ④高速炉の安全性・経済性の評価
3.X.3 高速炉に関する研究開発	⑤これまで開発された高速炉 ⑥高速炉における燃料製造・確保の戦略と状況 ⑦高速炉における使用済燃料の処理・再処理の戦略と状況 ⑧高速炉導入における他国との協定・協力関係 ⑨高速炉技術関連の輸出入動向
3.X.4 高速炉導入に関する社会的な活動	⑩核燃料サイクル及び高速炉導入に向けた政府及び政策推進主体による社会への情報発信、理解促進活動 ⑪高速炉の導入に関する立地地域の選定プロセスと立地自治体への理解促進の取組 ⑫高速炉の事故、事故によるその後の高速炉開発への影響と社会的に影響に関する事故対応の取組 ⑬高速炉の導入又は導入の方針に伴う社会的影響

## 3.1 フランス

### 3.1.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクルの変遷

フランスは、民生用原子力計画の当初からクローズドサイクルを原子力政策方針として選択しており、その目的を電力生産における国の完全なる独立性を確保することと位置付けている。そのため、2006年6月28日の「放射性廃棄物及び放射性物質の持続可能な管理に関する計画法」は、第3条でこれを可能とする原子炉の開発を規定している。さらに、同法第6条は「特に使用済燃料の再処理を通じて、放射性廃棄物の量及び有害性の低減を図る」と規定しており、クローズドサイクルを支持する方向性を法的に裏付けている<sup>12</sup>。

フランスは、クローズドサイクルの実現に向けた第一段階として、単一リサイクル(モノリサイクル)を実施することを現在の基本戦略としている。即ち、使用済ウラン燃料を一回だけ再処理してプルトニウム及びウランを回収し、ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX<sup>a</sup>)燃料及び回収ウラン燃料の製造に利用する。ただし、中長期的には、軽水炉における多重リサイクル(マルチリサイクル)、高速炉の導入を通じて、クローズドサイクルを実現することを視野に入れている。フランス政府のエネルギーに関わる10年間の優先行動は、「多年度エネルギー計画」(PPE<sup>b</sup>)として5年ずつの連続する2期に分けて定められている。2020年4月に発行されたPPE第2版は2019年から2028年まで(第1期:2019~2023年、第2期:2024~2028年)を対象期間としている<sup>3</sup>。PPE第2版における核燃料サイクル政策に関する主な記載は、以下のとおりである。

- 現在までの研究では、第4世代のナトリウム冷却高速炉(SFR<sup>c</sup>)の開発に注力してきた。「放射性物質及び放射性廃棄物の持続可能な管理に関する2006年6月28日の計画法n°2006-739」の枠内で、2010年には技術実証炉ASTRID<sup>d</sup>の設計研究が開始された。研究は現在も継続中であり、2016-2019年は詳細設計フェーズとなっている。しかし、天然ウラン資源が豊富で安価に入手できる以上、少なくとも21世紀の後半までは、高速炉の実証炉や商業規模での展開に有益性はない。したがって、高速炉に関わる研究については方向性を見直す必要がある。
- 短期的な時間枠では、加圧水型軽水炉(PWR<sup>e</sup>)におけるマルチリサイクルにより、モノリサイクル以上に分離プルトニウム及び使用済燃料のストックを安定化させることができるであろう。したがって、このソリューションの実行可能性は検証されるべきである。
- PWRにおけるプルトニウムのマルチリサイクルを実施するためには新型燃料「MOX 2」を開発する必要がある。MOX 2の使用条件は、詳細な研究・開発プログラム及びエンジニアリング研究を通じて満足される。また、PWRにおけるマルチリサイクル戦略は、新たな核燃料サイクルインフラの開発(La Hague 再処理施設及びMOX燃料加工施設(Melox)の改造)を必要とするであろう。

<sup>a</sup> Mixed Oxide

<sup>b</sup> Programmation Pluriannuelle de l'énergie

<sup>c</sup> Sodium-Cooled Fast Reactor(フランス語表記ではRNR-Na)

<sup>d</sup> Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration

<sup>e</sup> Pressurized Water Reactor

- したがって事業者は、マルチサイクルの定量的な開発計画を、原子炉と燃料サイクルの両面で、今後5年間について詳細に、更に商業展開までを視野に入れて策定するべきである。開発計画は、原子炉安全、運転条件の変化、産業規模での製造、ロジスティクス等に係る様々なソリューションの利点に関する研究を可能にする研究・開発プログラムに基づいて策定される。2040年頃の商業展開を見据え、2025～2028年を目途に試験燃料集合体を原子炉に装荷することを目指すべきであろう。
- 長期的な時間枠でのクローズドサイクルの見通しは、高速炉の炉物理及び関連するサイクルプロセスの知識に係る専門能力の強化・維持を目指す研究・開発プログラムによって明らかになるであろう。そのプログラムは、デジタルシミュレーションの能力開発及びテーマを絞った実験プログラムに依拠することになるであろう。プログラムの内容は、本PPEの発表から最初の数か月間で詳細かつ定量化された形で明確になる見込みである。さらに、世界で推進されている第4世代炉に関するプロジェクトの成果を蓄積するために国際的な戦略を構築しなければならない。
- 原子力発電設備容量の縮減は核燃料サイクルにも影響を及ぼす。特に使用済燃料の再処理・リサイクル戦略は、最終廃棄物の総量を削減する上で主要な課題である。したがって、本PPEは、対象期間はもとより、La Hague再処理施設の大部分が供用期間を終える2040年代まで保持される。そのため、MOX燃料を使用している90万kW級原子炉が今後閉鎖されることを踏まえ、これらを補填し、フランスのサイクル計画を永続化させるため、130万kW級原子炉におけるMOX燃料利用を十分な基数に普及・拡大させることが計画されるであろう。
- フランス電力(EDF<sup>f</sup>)は、130万kW級原子炉でMOX利用を行う上で、決定的な技術的障害はないと判断している。したがって、実施に先立つ準備期間や許可手続きを考慮すれば、一部の原子炉でのMOX燃料利用は2030年頃に行われる可能性がある(最初の装荷目標は2028年)。
- 政府と事業者は、2040年以降の核燃料サイクル政策の方向性を、中期的には既存の商用原子炉におけるマルチサイクルに関する研究・開発プログラムに、長期的には第4世代原子炉の展開を見据えた研究・開発プログラムに基づいて決定する。

上記のとおり、PPE第2版では2040年以降の核燃料サイクルの方針が不透明であったが、2024年2月にマクロン大統領を議長とする原子力政策評議会(CPN<sup>g</sup>)は、現在の再処理路線を継続するためLa Hague再処理施設への長期にわたる大規模投資を宣言した<sup>4</sup>。これを受け、2024年3月にはル・メール経済・財務・産業兼デジタル主権大臣(当時)が、2040年以降における燃料サイクル戦略の継続を発表し、以下の目標を発表した<sup>5</sup>。

- La Hague再処理施設及びMOX燃料加工施設の運転期間を2040年以降に延長するための持続可能性及び強靱化プログラムの実施
- La Hagueサイトにおける新たなMOX燃料加工プラントの建設に向けた調査の開始
- 2045年から2050年の間を目途にLa Hagueサイトにおける新たな再処理プラント建設に向けた調査の開始

ル・メール大臣は、原子力は大規模な国家プロジェクトであるとの前提を述べた上で、脱炭素化やエ

<sup>f</sup> Électricité de France

<sup>g</sup> Conseil de politique nucléaire

エネルギー主権の強化、産業活性化の中心的存在であり、この戦略により最終的には放射性廃棄物を75%削減可能であると強調した。核燃料サイクル関連企業である Orano 社によると、フランスでは2024年時点で原子力発電量の10%がMOX燃料利用に由来しており、使用済MOX燃料の再処理により最大約40%まで増加していく可能性があるとしている。

2026年2月には、2026年から2035年を対象とするPPE第3版が発行された<sup>6</sup>。PPE第3版において、核燃料サイクルに関する主な記載は、以下のとおりである。

- 核燃料の再処理及び回収に関する戦略を継続し、バックエンド施設の更新に向けた作業を完了する。
  - 核燃料の再処理及び回収に関する戦略は、核燃料サイクルのクローズド化を見据えてPPEの対象期間中及びそれ以降において継続される。バックエンド施設の更新に向けて、原子力産業界は政府の監督の下、2040年以降の核燃料サイクルにとって最適な産業シナリオ、資金調達方法及び関連する意思決定のタイムラインを定義する作業を2026年末までに実施する。
- 新たなロードマップを策定し、フランスにおける核燃料サイクルのクローズド化及び高速炉の建設に関する作業を開始する。
  - 高速炉の開発により、使用済燃料の再処理を通じて、天然ウランへの依存から長期的に脱却できるほか、放射性廃棄物量を低減することが可能となる。
  - しかし、既存施設では、高速炉燃料を産業規模で製造することも、使用済高速炉燃料を産業規模で再処理することもできない。さらに、既存施設は2040年頃に運転終了が見込まれている。燃料を原子炉に装荷後、その再処理により得られる物質を有効利用できるようになるまでには、およそ20年を要する。
  - 産業界はPWRにおけるマルチリサイクルに関する作業を継続し、原子力・代替エネルギー庁(CEA<sup>h</sup>)と連携の上、遅くとも2026年までに定義するロードマップにこれを含める。このロードマップは、特に実証炉の建設に関する技術的及び意思決定上のマイルストーンを特定し、遅くとも今世紀末までにフランスで高速炉及び関連する燃料サイクル施設の整備を可能にすることを目的とする。
  - これに加えて産業界はCEAと連携の下、革新炉に対応する燃料需要の特定及び想定される核燃料サイクルへの適応に向けた作業に着手するとともに、適切な見通し時期の特定を目指す。また、CEA及び産業界は、核燃料サイクルのクローズド化に向けた取組と、バックエンド関連施設の将来に向けて進められている取組との整合性を確保する。
- 再処理ウランの転換及び濃縮に関する欧州内での供給体制を確立する。
  - 産業界は、EDFが2030年以降の需要に対応できるよう、欧州における再処理ウラン転換施設の設置に向けた作業を開始する

このようにフランスの核燃料サイクル政策は、モノリサイクルを基盤とした再処理路線の継続、及び将来の核燃料サイクルのクローズド化に向けた取組を進めて行く方向性が、PPE第3版においてより具体的されたと整理できる。

---

<sup>h</sup> Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

## (2) フロントエンド

Orano(オラノ)社<sup>i</sup>がウラン資源開発、転換、濃縮を担い、フロントエンドからバックエンドまで一貫したサービスを提供している(図 3.1-1)<sup>7</sup>。ウラン燃料の成型加工はFramatome(フラマトム)社が担う。

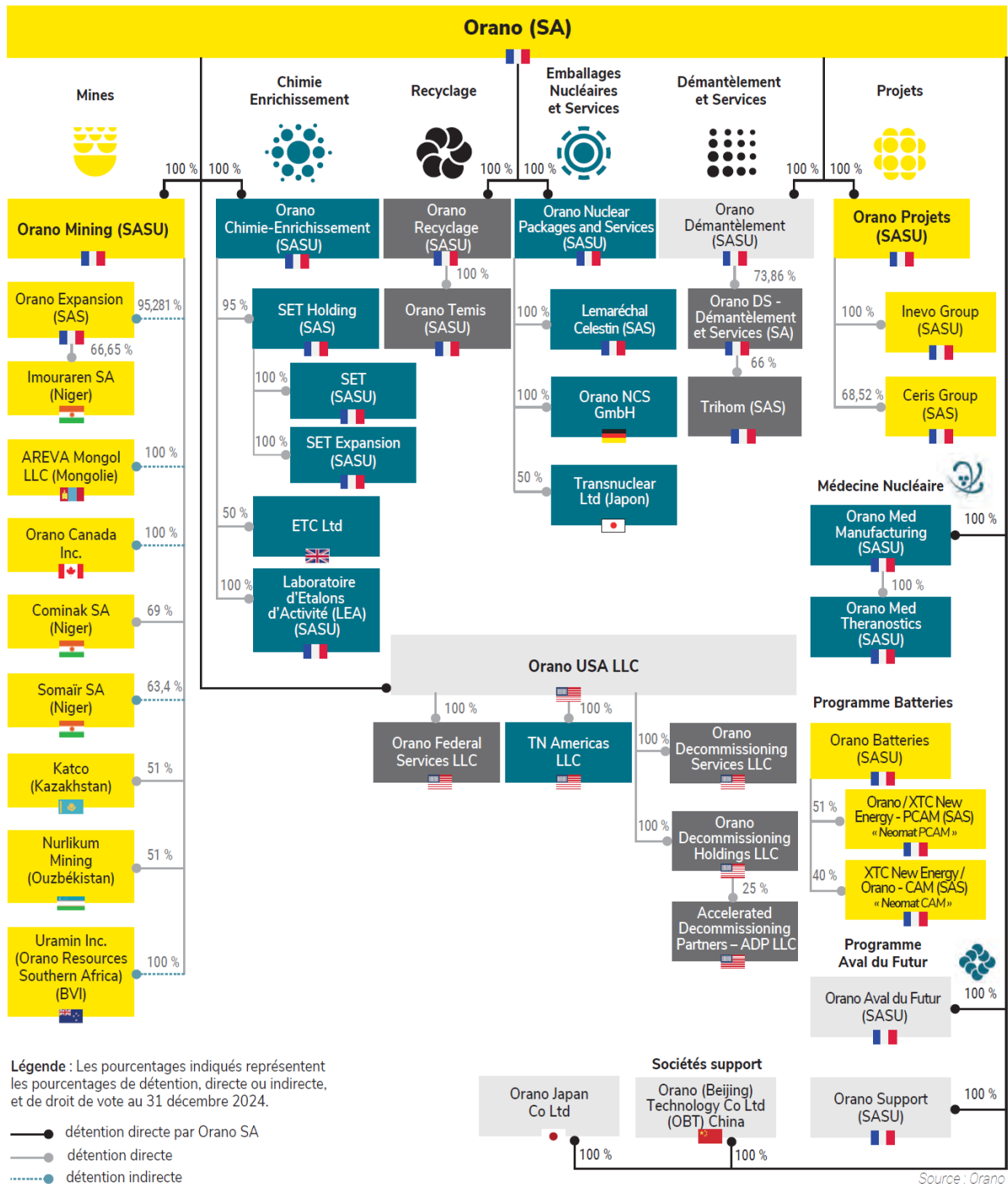


図 3.1-1 Orano グループの事業

(出典)Orano, "Rapport Annuel d'Activité 2024"(2025 年)

<sup>i</sup> Orano 社の前身は AREVA グループであり、同グループの経営悪化を受け、燃料サイクル事業部門を分社化して設立された。

## 1) ウラン採掘

Haute-Vienne(オート=ヴィエンヌ)県のJouac(ジュア)ウラン鉱山が2001年に閉山されて以降、フランス国内ではウラン採掘が行われていない。したがって、ウラン資源の全量を輸入している。ウラン資源の調達には Orano グループが担い、図 3.1-2 に示す地域で採算性の高い鉱床の探査や開発を行っている。

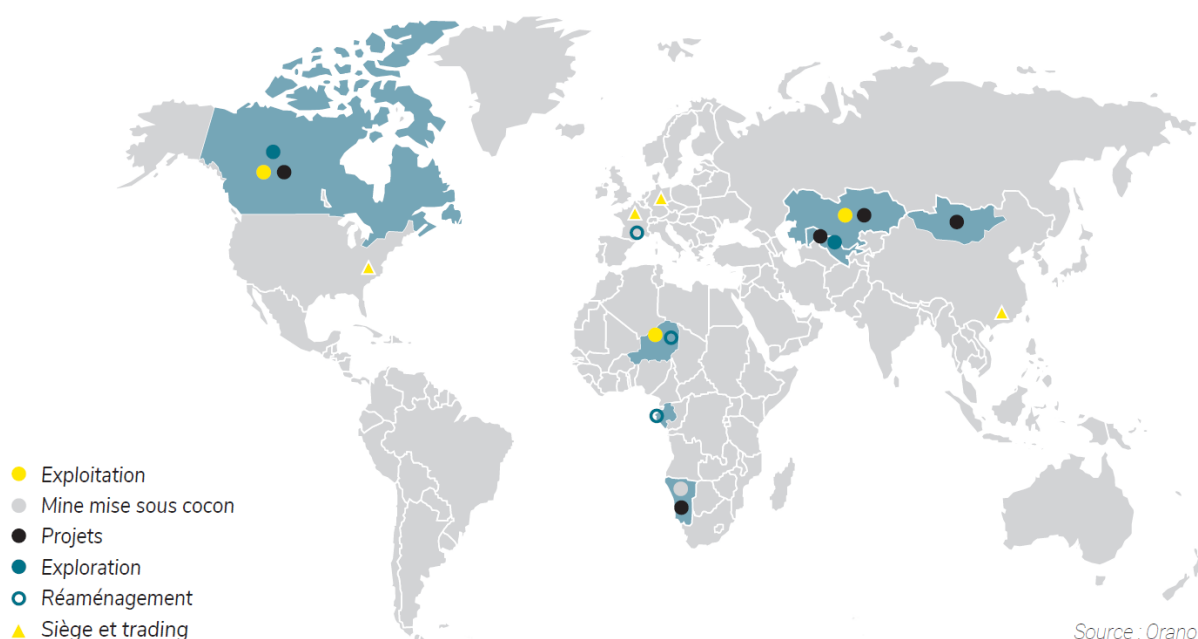


図 3.1-2 Orano グループによるウラン鉱床開発

(出典)Orano, "Rapport Annuel d'Activité 2024"(2025 年)

フランスにおける 2023 年の国別天然ウラン輸入先の比率は以下のとおりである<sup>8</sup>。

表 3.1-1 フランスの天然ウラン輸入先(2023 年)

国	天然ウラン総輸入量の比率
カザフスタン	30%
ナミビア	29%
ニジェール	26%
オーストラリア	13%
南アフリカ	1%
カナダ	1%
その他	1%以下

(出典)フランス政府,"Bilan énergétique de la France pour 2023"(2025 年)を基に作成

フランスは、ウラン資源の全量を輸入していることから、地政学リスクの軽減や調達コストの削減へ向けて、調達先の多様化を進めてきた。ウラン資源は地理的に広く分布しているため、供給途絶リスクは比較的 low、福島第一原子力発電所事故以降ウラン市場は停滞し、2019 年時点では 1 ポンド当たり約 25 ドルと低価格で推移していた<sup>9</sup>。一方、ロシアによるウクライナ侵略が始まった 2022 年以降は、天然ウランの価格高騰が指摘されている。

EDF は次のような手段により供給安定性を確保している。

- 燃料サイクルの各段階(ウラン資源の採掘、転換、濃縮及び燃料加工)に関わる調達元を地理的・商業的に多様化する。ウラン資源の確保は特に重視されており、EDF は主にニジェール、カザフスタン、カナダ、オーストラリア及びロシアからウランを輸入している。
- 主な供給者と 10 年単位の長期契約を締結する。
- ストックを管理する。EDF は天然ウラン、転換・濃縮段階のウラン、新燃料、炉内燃料等の形態で大量のウランを備蓄していることから、仮に供給途絶が発生したとしても、原子炉の運転を数年間継続することができる。

2025 年版国家インベントリによると、フランスは 2023 年末時点で、33,200t の天然ウラン、3,350t の濃縮ウラン、341,000t の劣化ウランを保有している<sup>10</sup>。

## 2) 転換

現地で精錬されたイエローケーキは、Malvesi(マルヴェジ)サイトの Comurhex II-Malvesi プラントで四フッ化ウラン(UF<sub>4</sub>)に転換される。その後、Tricastin(トリカスタン)サイトに立地している Comurhex-Pierrelatte プラントの Philippe Coste 転換施設で六フッ化ウラン(UF<sub>6</sub>)に転換される。なお、これらのプラントは、ウラン 235(U-235)を 0.7%程度しか含まない天然ウランを扱っていることから、法令上のカテゴリは原子力基本施設(INB<sup>j</sup>)ではなく環境保護指定施設(ICPE<sup>k</sup>)となる。

## 3) 濃縮

UF<sub>6</sub>は更に同じ Tricastin サイトの Georges Besse II 濃縮プラントで超遠心分離法により 3～6%に濃縮される。同プラントは INB に位置づけられる。

## 4) 再転換

Orano 社の Georges Besse II 濃縮プラントで製造された濃縮 UF<sub>6</sub> は、Framatome 社の Romans 燃料加工施設で二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)に再転換される。

なお、Georges Besse II 濃縮プラントで発生した劣化ウランは、同じ Tricastin サイトにある W プラントで八酸化三ウラン(U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)に再転換される。また、同サイトの TU5 プラントでは、La Hague 再処理施設で発生した回収ウランが U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>に再転換(脱硝)される。

## 5) 燃料加工

Framatome 社の Romans 燃料加工施設では、再転換と PWR 用燃料製造を行っている。

MOX 燃料は、Orano 社の Marcoule(マルクール)サイトに位置する Melox 施設において製造される。

<sup>j</sup> Installation nucléaire de base

<sup>k</sup> Installations classées pour la protection de l'environnement

表 3.1-2 フランスにおける転換施設

項目	概要
①Comurhex II-Malvesi	
施設概要	Malvesi サイトに立地。 Orano 社が調達したウラン資源(国外でイエローケーキに精製)を UF <sub>4</sub> に転換している。生産された UF <sub>4</sub> は、Tricastin サイトの Comurhex-Pierrelatte プラントに輸送される。
技術	あらゆる起源のウランに対応可能
能力	2018 年 12 月の操業開始時点の処理能力は 7,500t/年、公称処理能力は 15,000t/年。
稼働状況	操業中
稼働実績	未詳であるが、Pierrelatte プラントでは 2023 年の実績として、Comurhex II プラントで生産された UF <sub>4</sub> を 10,368t 処理している。
②Comurhex-Pierrelatte	
施設概要	Tricastin サイトに立地。 Comurhex II-Malvesi プラントで生産された UF <sub>4</sub> を UF <sub>6</sub> に転換している。生産された UF <sub>6</sub> は、同サイトの Georges Besse II プラントで濃縮される。
技術	新たに 2018 年に操業を開始した Philippe Coste 転換プラントは最も厳格な安全基準に適合し、密封性に優れた施設を有する。
能力	公称処理能力は 14,000t/年
稼働状況	操業中
稼働実績	1961 年に操業開始。Comurhex II-Malvesi プラントで生産された UF <sub>4</sub> を 11,259t 処理し、12,758t の UF <sub>6</sub> を生産、全量を Georges Besse II プラントに搬送(2021 年実績)

(出典)Orano 社資料を基に作成

表 3.1-3 フランスにおける濃縮施設

項目	概要
Georges Besse II	
施設概要	Tricastin サイトに立地。 同サイトの Comurhex-Pierrelatte プラントで生産された UF <sub>6</sub> を濃縮している。生産された濃縮ウランは、Framatome 社の Romans-sur-Isère サイトの Romans プラントで PWR 用の燃料に成型加工される。
技術	超遠心分離法
能力	750 万 SWU/年
稼働状況	操業中
稼働実績	2011 年に操業開始。Comurhex-Pierrelatte プラントで生産された 12,758t の UF <sub>6</sub> のうち 10,208t を処理し、濃縮ウラン 1,393t を生産、全量を Romans プラントに搬送(2021 年実績)。また、2021 年に発生した劣化ウラン 8,644t は Orano 社の W プラント(Tricastin)に全量搬送された。

(出典)Orano 社資料を基に作成

表 3.1-4 フランスにおける燃料加工施設

項目	概要
①Romans	
施設概要	Framatom 社の Romans sur Isère サイトに立地。 Orano 社、Urenco 社、Tenex 社の濃縮ウランを燃料集合体に加工し、それぞれ EDF、台山原子力発電所(中国)、ゲスゲン原子力発電所(スイス)に供給している。 研究用照射ターゲットも製造可能であり、ANF 社(Framatome 社の子会社)のリンゲン燃料加工施設(ドイツ)由来の UO <sub>2</sub> 燃料棒を粉末状 UO <sub>2</sub> と U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> に加工し、Framatome 社のリッチランドプラント(米国)及び CEA に供給している。
技術	商用原子炉用の燃料集合体と研究用の照射ターゲットを製造
能力	濃縮ウランの処理能力は 700t/年
稼働状況	操業中
稼働実績	2021 年には、Orano 社の濃縮ウラン 564t、Urenco 社の濃縮ウラン 142t、Tenex 社の濃縮ウラン 21t を処理し、約 750t の燃料集合体を製造。そのうち 710t 分を EDF に、42t 分を台山に、2t 分をゲスゲンに搬送した。2022 年には 709t、2023 年には 568t の燃料集合体を製造。
②Melox	
施設概要	Orano 社の Marcoule サイトに立地。 リンゲン燃料加工施設及びスウェーデンウェスティングハウス社の Vasteras 燃料加工施設で生じた劣化 UO <sub>2</sub> 、並びに La Hague 再処理施設由来の PuO <sub>2</sub> を MOX 燃料集合体に加工。 なお、過去には Tricastin サイトの Comurhex-Pierrelatte プラントで再転換した劣化 UO <sub>2</sub> を MOX 燃料に加工していたが、同プラントの閉鎖により 2015 年以降は海外由来の劣化 UO <sub>2</sub> のみを使用している。
技術	Advanced MIMAS 法
能力	公称生産能力は 195 tHM/年。
稼働状況	操業中
稼働実績	1995 年に操業開始。累積生産量は 2,600t 以上(2021 年時点)。2021 年の生産実績は MOX 燃料ペレット 51t、燃料集合体 106 体。

(出典)Orano 社資料を基に作成

### (3) バックエンド

フランスでは使用済燃料から回収されたプルトニウムを MOX 燃料に加工して再利用する方針がとられており、EDF は使用済燃料の再処理をオラノ社に委託している。EDF は使用済燃料の発生者として、再処理及び高レベル放射性廃棄物管理の資金(処分費用を含む)を確保する義務を負っている。

#### 1) 再処理

国内で発生した使用済燃料は、オラノ社の La Hague 再処理プラントで処理されており、2024 年には 871 トンの使用済燃料が再処理された。また、同プラントでは 1970 年代以降、日本、ドイツ、ベルギー、イタリア、オランダ等、海外由来の使用済燃料の再処理も、オラノ社と電気事業者との個別契約に基づき実施された。国内の原子力施設分と合わせて、2024 年末までに累計 41,236 トンの使用済燃料が再処理されている<sup>11</sup>。

2024 年末時点で La Hague 再処理プラントに存在している海外の使用済燃料は、イタリア、ベルギー及びオーストラリア(研究炉)由来のものであり、イタリア由来が 25.86 tHM、ベルギー由来が 99.2 kgHM、オーストラリア由来が 553.7 kgHM となっている。

またフランスでは、再処理により発生した回収ウランは廃棄物ではなく資源とみなされ、燃料として再利用されている。このため回収ウランはトリカスタンオラノ社サイトにおいて貯蔵されている。EDF は 1994 年から 2013 年まで、クリュアス原子力発電所の 4 基で回収ウラン燃料による発電を行っており、

4,000 トンの回収ウランを再利用していた。しかし、天然ウランの価格下落により、EDF は 2013 年以降、回収ウランの利用を中止していた。その後のウラン価格の上昇を受けて EDF は、2024 年にクリュアス原子力発電所における回収ウランの再利用を再開しているほか、2027 年以降、1,300MW 級原子炉でも再利用していくことを発表している。

なお、フランスで実施されている再処理は主として軽水炉及び一部の研究炉使用済燃料によるものである。ただし高速炉に関しても、1960 年代末から 1980 年代前半にかけて、実験レベルの再処理実績がある。以下に示すとおり、フランスの研究炉ラプソディ<sup>1</sup>及び原型炉フェニックス、ドイツの実験炉 KNK-I の使用済燃料合計 20 トン弱について、再処理の実績が確認されている。フランスでは 1964 年に、La Hague に実験用高速炉ラプソディから発生する使用済燃料を再処理するパイロット施設 AT1 の建設が決定され、1974 年にはマルクールにフェニックスの使用済燃料再処理を行うパイロット施設 APM の建設が決定した。これら高速炉専用の設備に加えて、La Hague 再処理工場の UP2 プラントでも一時期、フェニックスの使用済燃料再処理が実施された。実証炉スーパーフェニックスの使用済燃料再処理実績は確認されていない<sup>2</sup>。

表 3.1-5 フランスにおける高速炉使用済燃料の再処理実績

燃料種類	初期プルトニウム濃度	再処理実施年	再処理施設	燃焼度 (GW・d/t HM)	冷却期間 (月)	再処理量(kg)(U+Pu)
ラプソディ						
Ist Core	25%	1969-1979	AT1	40-45	6-12	250
Fortissimo	30%	1969-1979	AT1	50-120	5-24	660
Fortissimo	30%	1975	APM	55-76	6-10	50
KNK-I(ドイツの高速実験炉)						
濃縮ウラン	-	1975-1976	APM	3.4-6.8	12-20	1,650
フェニックス						
濃縮ウラン	-	1977-1978	APM	38-45	10-30	2,300
Pu Core I	18%	1978-1979	AT1	8-44	18	180
Pu Core I	18%	1979	APM	37	10-30	155
Pu Core I	18%	1979-1983	UP2	23-34	38-50	7,900
Pu Core II	25%	1979-1983	APM	36-83	14-42	6,360
Pu Core I	18%	1983	APM	35-100	29-36	225
合計						19,730

(出典)IAEA Nuclear Energy Series, “Status of Developments in the Back End of the Fast Reactor Fuel Cycle”(2011)より作成

## 2) 使用済燃料貯蔵

フランスにおいて発生した使用済燃料は、原子力発電所の使用済燃料プールにおいて 2 年程度貯蔵された後、オラノ社の La Hague 再処理プラントに輸送される。その後再処理までにさらに 5 年から 10 年間、同プラント内の使用済燃料プールに貯蔵される。使用済燃料は、原子力発電所においては使用済燃料プールで、炉心から取り出された燃料集合体の形で貯蔵される。その後、発電所から La Hague 再処理プラントに輸送された後も、燃料集合体をラックに整理してプール内で貯蔵され、貯蔵用の容器は用いられない<sup>3</sup>。

2024 年末時点で、La Hague では、10,157tHM の使用済燃料を貯蔵しており、そのうち 99.7%

<sup>1</sup> 技術実証を目的とした小規模な研究炉。発電設備は持たない。1967 年から 1983 年にかけて運転。

が自国由来のものとなっている。また、これらの使用済燃料には高速炉の燃料等も含まれている。使用済 MOX 燃料の再処理は行われておらず、当面は La Hague 再処理プラントにおいて貯蔵される。

### 3) 放射性廃棄物管理

フランスは高レベル放射性廃棄物及び長寿命中レベル放射性廃棄物について、2006 年の「放射性廃棄物等管理計画法」により、可逆性のある地層処分を行う方針を決定した。可逆性のある地層処分により、処分事業は段階的に行われ、各段階での最新の知見を基に、それまでの選択肢の再評価が可能となる。2016 年 7 月には地層処分場の設置許可の条件を定めた、「長寿命高・中レベル放射性廃棄物の可逆性のある深地層処分施設の設置方法を明確にした法律」が制定され、当初 2015 年とされていた設置許可申請の提出は、2018 年に変更された。その後 2023 年 1 月には、放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) が放射性廃棄物の地層処分場 (Cigéo) 設置許可申請書を提出した<sup>14</sup>。

Cigéo はフランス東部のビュール(ムーズ県/オート=マルヌ県)に建設予定で、地下 500m に 83,000m<sup>3</sup>(長寿命・中レベル廃棄物が 73,000m<sup>3</sup>、高レベル廃棄物が 10,000m<sup>3</sup>)の中・高レベル放射性廃棄物を 100 年以上にわたり処分可能となる<sup>15,16</sup>。

## 3.1.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

フランスの原子力産業において、国内全ての原子力発電所は EDF が所有・運営を一括して担い、オラノ社がウランの調達、転換、濃縮から使用済燃料の再処理、リサイクルまでを含む核燃料サイクルを担い、フラマトム社が原子炉設備の設計、供給、保守と燃料の設計・製造を担う体制である。そしてこれら 3 社を含む主要な原子力産業の株式は、仏政府が直接又は間接的に大半を保有している。

高速炉開発においては、前述のとおり PPE や CPN 等で政府が方針や優先順位等を示し、フランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA) が中核となり産業と協力して開発を進める体制となっている。また近年の小型炉及び革新炉開発においては、国家投資計画「フランス 2030」による政府の後押し、複数のスタートアップが開発を進めている。

フランスは、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウムは軽水炉で利用中である。将来的な高速炉実用化に向けて高速炉開発を継続中であり、それまでの間、使用済燃料貯蔵量等の抑制のため軽水炉でのマルチサイクルを目指している。マルチサイクルまでの道のりとして、「放射性物質及び放射性廃棄物の管理に関する国家計画 (PNGMDR) 2022-2026 年版」<sup>17</sup>では、MOX 燃料の軽水炉での利用継続 (Mono-recyclage)、再処理停止 (Arrêt du retraitement)、軽水炉でのマルチサイクル (MRREP)、高速炉でのマルチサイクル (RNR) を含む 4 つのシナリオが提示されている<sup>18</sup>。一方で、これらシナリオは、原子力発電を 50% に低減させるという、減原子力政策推進時の多年度エネルギー計画 (PPE) をもとにしている。新たな PPE は 2026 年 2 月に発行<sup>19</sup>されている。また、2027 年から 2031 年を対象とする PNGMDR の改訂版は、2026 年 2 月現在策定中となっている。

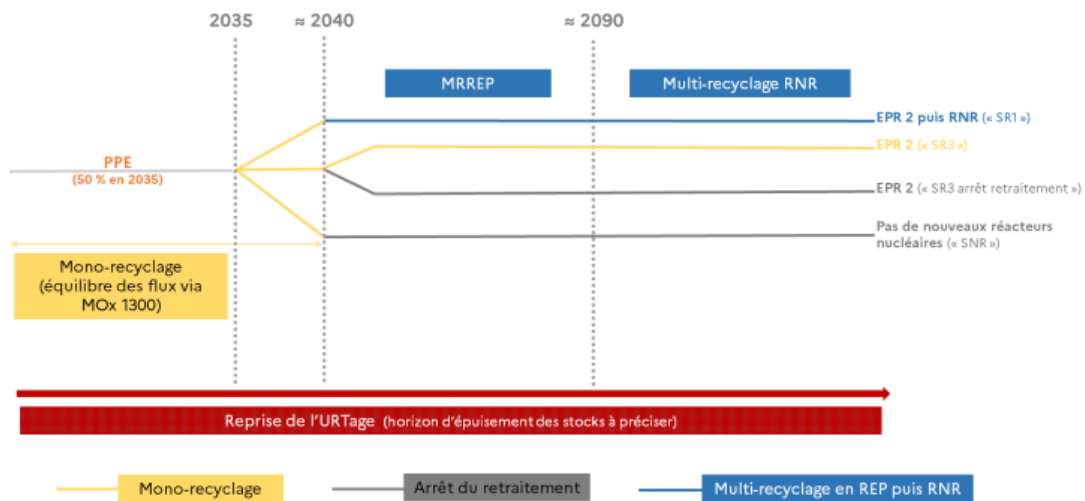


図 3.1-3 PNGMDR における核燃料リサイクルシナリオ

(出典)フランス政府, "Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2022-2026" (2022)

PNGMDR の上記 3 段階は、少なくとも短期、中期は既存の PWR でのプルサーマルを継続し、長期的に高速炉によるマルチサイクルへの移行を示している。ANDRA はこれら前提に基づき、放射性廃棄物の発生量を以下の通り試算しており、高速炉開発や再処理による廃棄物の発生量低減が示されている<sup>19</sup>。

表 3.1-6 PNGMDR における核燃料リサイクルシナリオの設定

		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4
原子炉	既存炉(PWR)	60年間運転(2035年までに停止の12基を除く)			
	EPR2によるリプレイス	実施	実施	実施	なし
	高速炉	導入あり	導入なし	導入なし	導入なし
再処理	ウラン燃料	全量	全量	2040年中止	2040年中止
	MOX燃料	全量	なし	なし	なし
廃棄物発生量の予測					
高レベル放射性廃棄物	使用済ウラン燃料	—	—	約 7,000 m <sup>3</sup>	約 7,000 m <sup>3</sup>
	使用済回収ウラン燃料	—	約 3,000 m <sup>3</sup>	約 3,000 m <sup>3</sup>	約 3,000 m <sup>3</sup>
	使用済 MOX 燃料	—	約 3,000 m <sup>3</sup>	約 3,000 m <sup>3</sup>	約 3,000 m <sup>3</sup>
	未照射 MOX スクラップ	—	約 200 m <sup>3</sup>	約 200 m <sup>3</sup>	約 200 m <sup>3</sup>
	使用済 FR 燃料	—	約 100 m <sup>3</sup>	約 100 m <sup>3</sup>	約 100 m <sup>3</sup>
	使用済研究炉用燃料	—	約 10 m <sup>3</sup>	約 100 m <sup>3</sup>	約 100 m <sup>3</sup>
	未照射分離プルトニウム	—	約 20 m <sup>3</sup>	約 20 m <sup>3</sup>	約 20 m <sup>3</sup>
	その他	—	約 90 m <sup>3</sup>	約 90 m <sup>3</sup>	約 90 m <sup>3</sup>
	ガラス固化体	11,800 m <sup>3</sup>	8,960 m <sup>3</sup>	6,890 m <sup>3</sup>	6,890 m <sup>3</sup>
	高レベル合計	11,800 m <sup>3</sup>	約 15,000 m <sup>3</sup>	約 20,100 m <sup>3</sup>	約 20,100 m <sup>3</sup>
長寿命中レベル放射性廃棄物		68,800 m <sup>3</sup>	67,100 m <sup>3</sup>	63,200 m <sup>3</sup>	63,200 m <sup>3</sup>
長寿命低レベル放射性廃棄物	減損ウラン	—	約 300,000 m <sup>3</sup>	約 300,000 m <sup>3</sup>	約 300,000 m <sup>3</sup>
	長寿命低レベル放射性廃棄物	218,000 m <sup>3</sup>	218,000 m <sup>3</sup>	218,000 m <sup>3</sup>	218,000 m <sup>3</sup>
短寿命低中レベル放射性廃棄物		1,870,000 m <sup>3</sup>	1,870,000 m <sup>3</sup>	1,850,000 m <sup>3</sup>	1,850,000 m <sup>3</sup>
極低レベル放射性廃棄物		2,430,000 m <sup>3</sup>	2,410,000 m <sup>3</sup>	2,400,000 m <sup>3</sup>	2,400,000 m <sup>3</sup>

(出典)フランス政府, "Plan national de gestion des matières, et des déchets radioactifs 2022-2026"(2022)

## (2) 高速炉の安全性及び経済性に関する評価

フランスの第三者評価機関である放射性物質及び放射性廃棄物の管理研究・調査に関する国家評価委員会(CNE)は、ウランの供給確保や燃料サイクルクローズド化、高速炉開発に関する評価を含む報告書を2025年5月に提出した<sup>20</sup>。同報告書でCNEは、高速炉の開発はウラン供給リスクに対する保険的措置につながると評価しつつ、その経済性も検討の重要な要素になるとしている。高速炉と既存のPWRのコストを比較するためにEDFは技術分析を実施している。この分析によると、高速炉の土木・建築、計装制御システム、電力系統、換気設備、使用済燃料プールのコスト等ではPWRと同程度となるものの、冷却系統(一次系及び二次系)や燃料の製造や取り扱いで高速炉のコストが高くなるとしている。一方で、PWRを使用し続けることで枯渇し得る天然ウランの供給リスクを考慮した上で、その保険的措置としての分析においては、技術的要素のみを比較したコスト試算は大きな意味をなさない

CNE は強調している。また、実際に建設された高速炉によるコスト比較としてはスーパーフェニックスに関する報告がある。1982年時点の状況に基づくこの比較では、スーパーフェニックスによる発電1kWh当たりのコストは、1,300kW 級 PWR の発電コストの約 2.3 倍になると示されている。このため、高速炉のコスト低減は、スーパーフェニックスに続く研究における焦点の一つとなっている。その後の分析では、より高い安全基準が求められる中でも、高速炉のコストは研究開発や複数基建設によるモジュール化により削減できるとの見通しも示されている。高速炉の経済性について CNE は、ウラン供給リスクに対する保険的措置を含めた総コストを客観的に評価することが重要であると結論づけている。ウラン高騰リスクに対する保険的措置としての高速炉開発という論点は、2015 年の CEA による分析においても示されている<sup>21</sup>。この分析で CEA は、2015 年時点の天然ウランの価格が 1 キログラム当たり 100 ユーロ未満という状況下においては、高速炉が経済的競争力を持たないのは明らかであると示している。その上で、将来的に世界規模で軽水炉が普及することによりウラン消費量が増大し、60 年間にわたる軽水炉の運転期間を考慮したウラン価格の上昇分が、高速炉の投資コストを相殺できるようになり初めて高速炉が経済的に競争力を得るとしている。そのため、初期の導入段階においては、経済的合理性よりもむしろ、エネルギー自給率の向上や、放射性廃棄物管理の最適化、あるいは自国産業の技術的主導権の確立といった、戦略的な動機が、高速炉の導入を主導する可能性が高いと考えられている。初期に建設される高速炉は、関連する産業基盤(サプライチェーン)を構築することで技術的な実効性を確保し、将来的な天然ウラン不足や価格高騰リスクに対する保険としての役割を担うことになると分析されている。

CEA は 2014 年に発行された高速炉の基本概念を説明する報告書<sup>22</sup>において、高速炉がウランによるエネルギーの潜在能力を最大限に引き出すことができるとい側面で、高い経済性を持っていると解説している。ウランは希少元素ではなく、海水、河川、土壌などあらゆる場所に大量に存在するものの、採掘コストを考慮すると、大量のウランが集中して存在する鉱床を見つけることは困難である。軽水炉におけるウランのコストは 2014 年時点で 1kWh 当たり総コストのわずか 4%であるが、高速炉の利用によりこのコストは 100 分の 1 程度と、1kWh 当たりのコストが無視できるものとなり得る。これにより、仮に天然ウランの価格が大幅に上昇するという状況においても、経済性を損なうことなく電力生産が可能となる。また、劣化ウランの利用だけを考えても、高速炉の利用により数千年分の電力生産が可能となる。

上記のように、高速炉の経済性は、長期的なウラン価格の上昇や資源制約を前提としていた。しかしその後のフランスの高速炉開発においては、ウラン価格の低迷や建設コスト上昇という課題のほか、政治的判断により、高速炉の開発が後ろ倒しとなった。

### 3.1.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

##### 1) フェニックス

フェニックスは高速増殖炉の原型炉であり、電気出力は 250MW とされている。建設開始は 1968 年 11 月で、1973 年 8 月に初臨界を達成し、翌 1974 年 7 月より営業運転を開始したのち、2010 年 2 月に運転を終了した。原子力・代替エネルギー庁(CEA)及び EDF の共同で運転がされていたが、2009 年の閉鎖に伴い、現在は CEA が単独で管理している<sup>23</sup>。

フェニックスは、RNR-Na の炉型に関する知見の獲得及び実証と、マイナーアクチノイドの分離や長寿命の放射性核種の核変換処理を目的とし、1974 年から 2009 年にかけて、CEA が炉心で約 200 件の照射試験を実施した<sup>24</sup>。

### a. 設置経緯・目的

フェニックスは、軍用プルトニウム生産等を主たる事業としていたマルクール複合原子力サイトにおいて、軍事から民生原子力への転換を担う事業の象徴として、同サイトへの設置が決定された<sup>50</sup>。同炉はナトリウム冷却炉に関する知見の獲得及び実証と、マイナーアクチノイドの分離や長寿命の放射性核種の核変換処理を目的とし、1974 年から 2009 年にかけて、CEA が炉心で約 200 件の照射試験を実施した<sup>25</sup>。

立地の経緯含めた詳細は 3.1.4 (2) 参照。

### b. 諸元

フェニックスの諸元は以下の通りである<sup>51,26</sup>。

表 3.1-7 フェニックスの諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	563/250
出口温度(°C)	560
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	ウラン-プルトニウム混合酸化物 燃料

(出典)フランス国民議会調査委員会報告書, “RAPPORT FAIT AU NOM DE LA COMMISSION D’ENQUÊTE (1) sur SUPERPHÉNIX et la FILIÈRE des RÉACTEURS à NEUTRONS RAPIDES,” (1998 年), CEA, “e-den A Nuclear Energy Division Monograph Sodium-Cooled Nuclear Reactors”(2016 年)より作成

### c. 運転実績

フェニックスは高速増殖炉の原型炉であり、電気出力は 130MW である。建設開始は 1968 年 11 月で、1973 年 8 月に初臨界を達成し、翌 1974 年 7 月に営業運転を開始したのち、2010 年 2 月に運転を終了した。2010 年までに供給した電力は合計 24.44TWh、運開以来の設備利用率は平均で 40.5%であった<sup>27</sup>。原子力・代替エネルギー庁(CEA)及びEDFの共同で運転がされていたが、2009 年の閉鎖に伴い、現在は CEA が単独で管理している<sup>28</sup>。

### d. 事故情報

2016 年に CEA が公表したナトリウム冷却高速炉報告書によれば、フェニックスで 2010 年の運転停止までに発生した、主な技術トラブル、事故は以下の通りである<sup>26</sup>。

- 初期稼働期間(1974～1990 年)
  - 中間熱交換器や一次系ナトリウムポンプの設計上の欠陥が判明、コンポーネントを取り外して修理、改修を実施

- ▶ 使用されていたオーステナイトステンレス鋼において、溶接の残留応力にともなう経年ひび割れが発生。該当部品を段階的に交換
- 1979～1988年
  - ▶ 当該期間中に計15回の燃料被覆管破損が発生。材料改良により1988年以降の発生はなし
- 1980年:10年目の定期検査において、余熱喪失により燃料取扱移送ロックのバルブ内に約60kgのナトリウム蓄積が確認
- 1982～1983年:蒸気発生器の再熱器モジュールで、熱疲労に伴う亀裂を原因とするナトリウム・水反応が4回発生。特に1回目の反応では約30kgの水がナトリウム側に流入
- 1989～1990年:負の反応度による緊急停止が複数回発生。原因究明と大規模改修のため2003年まで運転停止
- (運転停止中)
  - ▶ 1993年:ナトリウムエアロゾル蓄積により燃料取扱いアームが固着。6.5kgの固着物を除去
  - ▶ 1996年:アルゴン浄化のための大型スパジャーが閉塞
  - ▶ 1998年:アルゴン再循環ラインの小型スパジャーが閉塞
- 再稼働直後(2003年):再熱器の溶接部の欠陥によるナトリウム・水反応発生。このほかバルブからのナトリウム漏洩や計装制御系のトラブルなどが発生

稼働期間通期の継続的なトラブルとして、計32回のナトリウム漏洩が発生、うち3回で局所的なナトリウム火災が発生した。また、ナトリウムエアロゾルの酸化、体積による制御棒駆動機構の動作不良などが発生し、アルゴンガス運用方法の変更等が必要になった。このほか、一次系ポンプなどの大型部品の洗浄後に、ブラインドホルの乾燥が不十分であったために、残留した水酸化ナトリウムが応力と組み合わせ、最大15cm厚の部品に亀裂が生じるといったトラブルも確認されている。

## 2) スーパーフェニックス

### a. 設置経緯・目的

同原子炉は、欧州の複数国のコンソーシアムによる産業規模の高速実証炉プロジェクトとして、1200Mweの電気出力を持つ大型高速炉計画として進められた。目的は、石油ショックを背景に、将来的なウラン資源枯渇に備えプルトニウムを増殖、エネルギーの独立性を確保することをめざす、商業用の高速増殖炉の実証であった。スーパーフェニックスは、フランスEDF(51%)とイタリアENEL(33%)、ドイツRWE(16%)が1974年に共同事業体「NERSA」を設立して事業主体となって進めた。1998年の運転停止後に同社は解散し、スーパーフェニックスはEDF所有となった<sup>29,51</sup>。

立地の経緯含めた詳細は3.1.4(2)参照。

## b. 諸元

スーパーフェニックスの諸元は以下の通りである<sup>51</sup>。

表 3.1-8 スーパーフェニックスの諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	3,000/1,200
出口温度(°C)	545
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	ウラン-プルトニウム混合酸化物 燃料

(出典)フランス国民議会調査委員会報告書, “RAPPORT FAIT AU NOM DE LA COMMISSION D’ENQUÊTE (1) sur SUPERPHÉNIX et la FILIÈRE des RÉACTEURS à NEUTRONS RAPIDES,” (1998年)より作成

## c. 運転実績

スーパーフェニックスは高速増殖炉の実証炉であり、電気出力は 1,200MW である。建設開始は 1976 年 12 月で、1985 年 9 月に初臨界を達成し、翌 1986 年 12 月に営業運転を開始したのち、1998 年 12 月に運転を終了した。1998 年までに供給した電力は合計 3.39TWh、運開以来の設備利用率は平均で 7.9%と非常に低い<sup>30</sup>。これは次項に示す事故・トラブルのほか、行政手続き等のため運転、発電を停止した期間が長いことによる。こうした事故や稼働率の低さによる影響については、3.1.4 (3)に整理する。

## d. 事故情報

同炉が閉鎖された 1998 年に国民議会調査委員会が作成した報告書によれば、スーパーフェニックスの閉鎖までに発生した主な事故や技術トラブルは以下の通りである。いずれも事故のレベルとしては原子力の核心部の安全性に関わるものではなく、安全規制当局は、スーパーフェニックスの安全性はフランス国内の標準的な PWR と同等と評価した<sup>51</sup>。

- 燃料貯蔵槽からのナトリウム漏洩(1987年):鋼材の選択ミスにより溶接部に亀裂が生じ、ナトリウムが漏洩。国際原子力事象評価尺度レベル(INES)2 相当として報告
- 一次冷却性ナトリウムの汚染:コンプレッサーの不具合により空気が混入し、ナトリウムが汚染された(INES2)
- タービン建屋の屋根崩落(1990年):運転停止中に、大雪でタービン建屋の屋根が崩落した
- アルゴンガスの漏洩(1994年):原子炉容器内の熱交換器でアルゴンガスが漏洩

## 3) ASTRID(中止)

### a. 開発目的

ASTRID(Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration:

実証用先進ナトリウム技術炉)は、将来の高出力な商用第4世代ナトリウム冷却高速炉に適用される革新的な技術を、産業規模で実証することを目的として開発された。ASTRID プロジェクトは、「放射性物質および放射性廃棄物の持続可能な管理に関する 2006 年 6 月 28 日の計画法」(2006 年計画法)で、2012 年までに技術を選択し、2020 年までに第4世代炉の実証炉の運転を開始することが目標に掲げられたことを受け、立ち上げられたものである。CEA がプロジェクトオーナー(事業主体)としてプロジェクトを統括し、プロジェクトを複数の「エンジニアリング・バッチ」に分割して、費用分担を伴う二国間協力協定を通じ、各分野の専門企業に割当を行った。2013 年 6 月には日仏首脳会談において高速炉開発での協力が確認された。2014 年 5 月には、高速炉開発に関する日仏の政府機関間取り決めが締結され、8 月には両国の実施機関間の取り決めが締結された。実施機関間取り決めに参加した組織はそれぞれ以下のとおりである<sup>31</sup>。

- フランス:CEA、EDF、AREVA
- 日本:JAEA、三菱重工、三菱 FBR システムズ株式会社(MFBR)

2013 年時点における ASTRID の具体的な開発目的、設計上の要求事項としては、以下の点が挙げられる<sup>26</sup>。

- 安全性の向上:過去の SFR より安全性を高め、炉心溶融やナトリウムの水・空気との反応などの過酷事故を設計によって防止・排除。また福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、コアキャッチャーの設置などの対策を考慮
- ナトリウム特有リスク低減と検査性の向上:ナトリウム火災、ナトリウム・水反応といったリスクを低減。不透明なナトリウム中にある安全上重要な構造物の検査性を向上
- 放射性廃棄物管理(マイナーアクチノイド変換):マイナーアクチノイド(特にアメリシウム)を核変換(消滅処理)する能力の大規模実証
- 資源管理とプルトニウムのマルチリサイクルの実証:まずはプルトニウムを消費転換(等量発電)する炉として稼働しつつ、将来的な増殖可能性を実証
- 経済性と稼働率の確保:同時期に新設される第3世代炉と同等の高稼働率(実験等による停止のぞき 80%以上)を達成、他電源と経済的に競合できるシステムを目差す
- 実験炉としての機能:過去のフェニックス同様、各支援的な技術や新燃料、構造材料のテストを行う照射サービスを提供する

## b. 諸元

ASTRID の諸元を以下に示す<sup>32,33</sup>。

表 3.1-9 ASTRID の諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	1500/600
出口温度(°C)	-
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	MOX 燃料(UO <sub>2</sub> -PO <sub>2</sub> )

(出典)IAEA ARIS “ASTRID”(Archive)、GIF webinar「Astrid プロジェクトの教訓」(2022)より作成

### c. 導入目標及び現在の進捗

ASTRID は 2007 年から 2009 年にかけて、CEA と EDF、AREVA の三者枠組みで研究開発が開始され、2010 年には正式な予備設計フェーズが開始された。その後、a. で記載のとおり CEA の主導の下で、国際的な産業パートナーの体制が組まれた。

しかし、フランス政府は、初回の PPE (2019～2028 年対象) において、「第4世代高速炉の産業的展開の必要性は21世紀後半まで生じない」との見込みを提示し<sup>34</sup>、これをうけて実証炉の建設プロジェクトである ASTRID 計画は、2019 年に終了した。

終了までの間に、以下の3つの主要な構成について、設計が行われた<sup>35</sup>。

- ASTRID600 Steam: 2015 年後半に基本設計完了
- ASTRID600 Gas (窒素): 2015 年から 2017 年後半に実施
- 新 ASTRID600 Steam (または ASTRID150): 2017 年から 2019 年後半に実施。

### d. 将来展望

上述のとおり、ASTRID 計画は 2019 年に終了したが、同年12月には CEA 及び FRAMATOM が、日本の JAEA、三菱重工、MFBR と、新たに実施機関間取り決めを締結し、その後もこの取り決めを更新し、ナトリウム高速炉技術開発に関する協力を継続している<sup>31</sup>。

ASTRID 計画では中止までの間に、約 2.3 万件の技術文書が蓄積された。こうした知識を体系的に管理するツールとして、CEA では MOOK (Management of Organized Online Knowledge) と呼ばれるオンラインの知識管理ツールを開発した。このツールは、上記の技術文書を記録するだけでなく、専門家のインタビュー動画、推奨文書リンク、ASTRID のプロダクトの構造といった情報を収録するもので、プロジェクトに係る専門家の暗黙知を含めて、知見を体系化する試みがなされている<sup>36</sup>。こうした知見は、今後の高速炉技術開発に活用されていくと考えられる。

## 4) newcleo 社

### a. 開発目的

Newcleo 社は、パリに本社を置くスタートアップであり、フランス政府の投資計画 France 2030 において革新的原子炉として投資対象に採択されている。同社は、鉛冷却高速炉 LFR-AS-30 (3 万 kW) を建設し、脱炭素化に貢献することを目的に掲げている。具体的には、使用済燃料の再利用による廃棄物の低減及び天然ウランの輸入回避を実現させる核燃料サイクルのクローズド化への貢献を目的としている。また、低出力と柔軟性を活かし、小規模な都市や産業施設の需要に応えることで既存及び今後新設される原子力発電所を補完することも狙いであるとしている<sup>37</sup>。Newcleo 社は、鉛冷却高速炉 LFR-AS-30 (3 万 kW) を、アンドル＝エ＝ロワール県のシンノン原子力発電所に隣接したサイトに建設する計画を進めている。LFR-AS-30 は LFR-AS-200 へとスケールアップされる計画である。

なお、LFR-AS-30 の建設プロジェクトのほか Newcleo 社は、LFR に使用される MOX 燃料製造施設をオーブ県に建設する予定であり、この計画については 3.1.3 (2) で述べる。

## b. 諸元

LFR-AS-30 及び LFR-AS-200 の諸元は以下のとおり。冷却材は鉛ビスマスではなく、純鉛を冷却材とする想定である<sup>38</sup>。

表 3.1-10 LFR-AS-30 及び LFR-AS-200 の諸元

	LFR-AS-30	LFR-AS-200
熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	第1段階 60→第2段階 90/30	480/200
出口温度(℃)	第1段階 440→第2段階 530	530
中性子スペクトラム	高速中性子	高速中性子
冷却剤	純鉛	純鉛
燃料	MOX 燃料	MOX 燃料

(出典) GIF LFR webinar “newcleo’s materials strategy for Gen-IV LFR research and development” (2025 年)より作成

## c. 導入目標及び現在の進捗

LFR-AS-30 の 2031 年の稼働を目指し、2025 年 12 月には原子力安全プログラムがフランスの原子力安全・放射線防護局(ASNR)に提出された。2027 年には原子力施設の設置許可申請(DAC)を予定しており、これに先立つ事前許認可プロセスとなる。Newcleo 社は原子炉の運転特性を分析するため、非核反応炉のモックアップであるプレカーサー(PRECURSOR、熱出力 1 万 kW、電気出力約 0.3 万 kW)を建設している。プレカーサーは 2026 年末までに、イタリアの ENEA ブラジモーネ研究センターで完成予定とされている。

## d. 将来展望

2033 年以降は LFR-AS-30 を商用レベルにスケールアップした電気出力 200MW 級の原子炉(LFR-AS-200)を、フランス、スロバキア、英国などで建設し、最終的には欧州を中心に約 60 基の原子炉(うち 20 基がフランス国内)を建設する構想である<sup>39,40</sup>。

## (2) 高速炉用燃料

フランス政府は、PPE3において、高速炉開発が天然ウラン供給の依存から長期的な脱却を可能にするとともに、放射性廃棄物の発生量を低減し得る一方で、既存の燃料製造施設では、高速炉燃料を産業規模で製造することも、使用済高速炉燃料を産業規模で再処理することもできないとしている。このため、産業界は CEA と連携して、遅くとも 2026 年までにロードマップを定め、21 世紀中にフランスで高速炉及び関連する燃料サイクル施設の整備を可能にするための技術的及び意思決定上のマイルストーンを特定することとしている。これに加えて、産業界は CEA と連携の下、革新炉に対応する燃料需要の特定及び想定される核燃料サイクルへの適応に向けた作業に着手することとしている。

Newcleo 社においては、前述のとおり、LFR-AS-30 の開発と並行してフランス国内に LFR 用の MOX 燃料製造工場の建設計画を進めている。Newcleo が想定する MOX RNR 燃料は、EDF の使用済燃料から抽出されるプルトニウムと、国内濃縮施設に由来する劣化ウランを組み合わせる。MOR RNR により、現在 La Hague に貯蔵されている使用済燃料を最大限に活用し、廃棄物を大幅に削減し、持続可能性の向上に資することができるかとされている。この燃料製造施設は、プルトニウム

粉末および低濃縮ウランを用いて、高速中性子炉への搬入・装荷が可能なペレット、燃料ピン、および燃料集合体を製造する施設であり、オーブ県にあるノジャン原子力発電所に隣接した場所への建設が計画されている。最初のパイロットラインは 2032 年頃の稼働開始が想定され、年間 20 トンの生産能力を持つとされている。このパイロットラインでは、LFR-AS-30 の燃料に加え、商用スケールの原子炉 LFR-AS-200 の初号機の燃料を製造する計画である。同施設はモジュール式で段階的に拡張され、2040 年頃に 2 本の生産ラインが追加される計画となっている<sup>40,41</sup>。

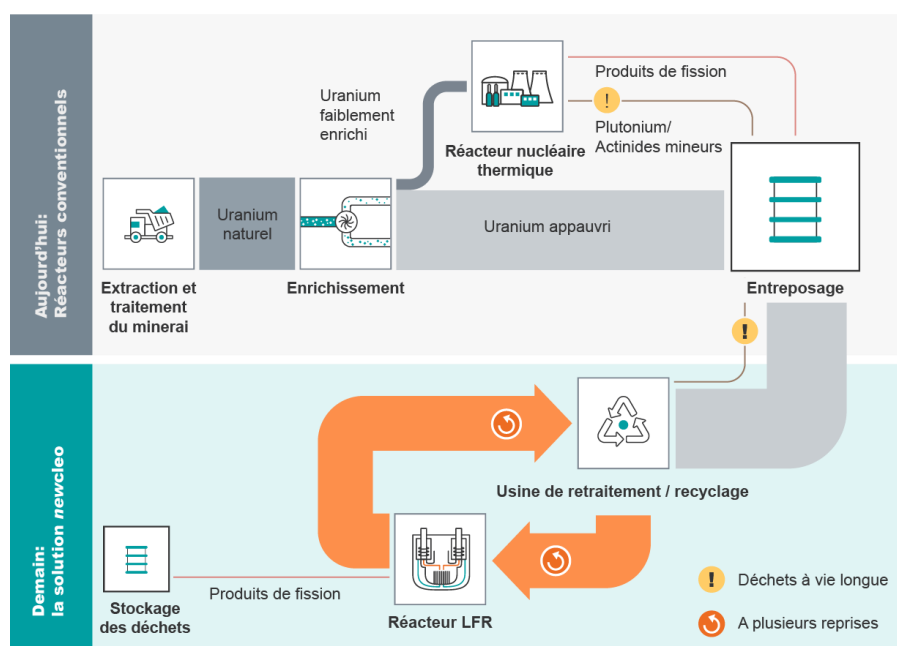


図 3.1-4 Newcleo 社の核燃料サイクル概念

(出典)Newcleo, “Notre vision d’un cycle du combustible fermé”(2025)

### (3) 高速炉使用済燃料の処理

フランスの放射性廃棄物管理機関(ANDRA)は、放射性物質及び廃棄物の国家インベントリの概要版を毎年発行しており、その 2025 年版によると、2023 年末時点で国内に 131tHM<sup>m</sup>(2022 年比 6tHM 増加)の高速炉の使用済燃料が再処理待ちの状態にある<sup>42</sup>。

フェニックスの使用済燃料の取り出しは、2024 年時点でも継続されており、貯蔵は La Hague で行われている<sup>43</sup>。スーパーフェニックスについては、3 年半の作業ののち 368 体の炉心燃料集合体及び 229 体のブランケット燃料集合体、及び 50 体の制御棒の取り出しを完了している<sup>44</sup>。スーパーフェニックスの使用済燃料は、サイト内にある使用済燃料貯蔵施設(APEC)のプールで、高速炉使用済燃料を再処理するまでの間、貯蔵されている<sup>45</sup>。なお、ANDRA が 5 年ごとに発行するインベントリ報告書の 2023 年版によると、APEC の使用済燃料貯蔵量 1,344 体のうち、2021 年末時点で、99.6%の貯蔵率となっている<sup>46</sup>。

前述のとおり、Newcleo 社は、将来的に高速炉燃料を再処理することを想定している。

<sup>m</sup> tHM(トンヘビーメタル)とは、MOX 中のプルトニウムとウランの 金属成分の重量を表す単位。

### 3.1.4 高速炉導入に関する社会的な活動

#### (1) 情報発信及び理解促進活動

フランスでは原子力基本施設(INB)立地地域に対して、地域情報委員会(CLI)を設置することが環境法典 L125-17 から L125-33 条により規定されている<sup>47</sup>。CLI は、原子力安全、放射線防護、及び人間と環境に対する原子力活動の影響について、監視、情報提供、協議を行う任務を担う。また、CLI は活動の成果を一般にアクセス可能な形式で広く公表することが求められる。CLI の構成は、県議会及び各市町村(コミューン)議会、コミューン共同体の代表、当該県の国会議員、環境団体、経済的利害関係者、労働組合及び医療職の組合組織等となっている。また CLI には、年 1 回以上の誰でも参加可能な公開協議の開催が義務付けられている<sup>48</sup>。

このほか規制レベルの取組としては、原子力安全・放射線防護機関(ASNR)が、情報センター(Centre d'information du public)を ASNR 本部に設けている。ここでは、原子力施設(INB)に関する行政文書を含む様々な資料を提供しているほか、テーマ別の見学やワークショップの開催が可能となっている。事業者や専門家、環境団体だけでなく、一般市民や学生が、原子力安全や放射線防護を含む幅広い情報にアクセスできる仕組みとなっている<sup>48</sup>。

高速炉に直接関連する情報発信や理解促進の具体例として、EDF は廃止措置が進められているスーパーフェニックス建屋等の見学会を 2026 年 2 月にも開催している<sup>49</sup>。見学会では、施設やその歴史、技術、廃止措置に関する 1 時間のプレゼンテーションを受けたのち、原子力建屋内部や制御室を 2 時間かけて見学することが可能となっている。見学会は 18 歳以上の誰でも参加でき、事業者による理解促進活動の一つとして位置付けられる。

#### (2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動

フランスの公開討論は、環境保護の強化に関する 1995 年 2 月の法律法(バルニエ法)により概念化されたのち、2002 年 2 月の地方民主主義に関する法律により規定、具体的な組織手続きは、公開討論の組織と国家公開討論委員会に関する 2002 年 10 月の政令により定められている。

主要方針が確定する前のプロジェクト構想段階において、事業者、行政機関、専門家、地域住民や一般市民などを含むすべての利害関係者が可能な限り幅広い意見を表明することが目的であり、プロジェクトの中止や変更も可能な段階での協議とされている。CNDP は、国会議員、地方自治体議員、裁判官、認可を受けた環境保護団体の代表者、消費者や利用者の代表者等で構成される独立機関である。公開討論会では、プロジェクトやその課題について国民に情報が提供され、利害関係者間の意見交換、プロジェクトによる影響の評価や改善、個々の利益とプロジェクト全体の利益の比較検討等が行われる。一方でプロジェクトやその特徴について必ずしも合意に達する必要はなく、討論会後には、プロジェクトを進める事業者が、討論会で提起された課題等をどのようにプロジェクト設計に反映させたかを示す必要がある。公開討論会では、平等性、建設的な議論、透明性及び客観性という原則に基づき、議論が進められる。

<sup>48</sup> スーパーフェニックスを有するイゼール県の CLI による会議資料及び議事録等は、以下より確認できる。  
<https://www.isere.fr/amenagement-du-territoire/cli-creys-malville>

## 1) 原型炉フェニックス

2009年に運転を停止し、廃止措置中の高速原型炉フェニックス(250MWe)は、南フランスのマルクール複合原子力サイトに立地している。同サイトはフランスの核燃料サイクル研究開発拠点として設置され、当初は軍事目的が強かったが、後に民生原子力利用にも展開していった。フェニックスはそうした既存の原子力拠点に立地している。

1970年代初頭に発行された同サイトのパンフレットには、同サイトの沿革が記録されている。フランス議会は1952年に原子力庁(CEA)の第1次5ヵ年計画を承認、その中核として、プルトニウム生産炉と再処理施設を集約した「マルクール原子力センター」の創設が決定された。アヴィニョン北方約30kmに位置する同地が選択された要因としては、以下が挙げられている。

- ローヌ河の河川水:冷却水の供給及び排水が可能
- 適切な標高:洪水を避けるのに十分な高さかつ、過剰なエネルギーを使わずに水をくみ上げられる
- 強固な地盤:重量のある構造物を支持するに立つ強固な地盤がある
- 交通アクセス:主要交通網、通信網に近い
- 地方分散政策:同地への原子力センター立地により、農業中心の地域に新たな雇用などを創出

マルクールでは、1950年代以降、軍事用プルトニウム生産などを目的とした原子炉の建設・運転が行われ、こうした取組は後のフランス電力(EDF)による民生用・商業用原子炉の開発にもつながっていった。1970年当時のパンフレットでは、1970年代後半には軍事向けのプログラムが縮小される見通しとなっているため、マルクールは原子力事業の多様化と民生向け生産・サービスへの転換を推進していると述べられている<sup>50</sup>。

高速原型炉フェニックスは、こうした民生転換を象徴するプロジェクトとして企図され、1964年に同地への建設が決定した。理由としては以下が挙げられている。

- 大型炉(プルトニウム生産炉を指す)の運転経験
- インフラと後方支援:マルクールは高度な原子力開発の経験と強力なインフラを持つ。CEAや産業界に対し、高品質な後方支援を提供できる

上記のとおり、マルクール及び高速原型炉フェニックスの立地に関しては、基本的に国家計画の一環として進められた。立地自治体に対する特別な理解促進活動や、地元の反応は記録されていない。1998年にフランス国民議会の調査委員会が、スーパーフェニックスの閉鎖に関連して作成した報告書では、フェニックスはCEAの敷地内であり、「研究者が作業を行う限定された区画内の施設」については、のちのスーパーフェニックスのような「自然の中に新たに設置された産業用原子炉」よりも、周辺住民にとって安心できるものであったとのコメントが記録されている<sup>51</sup>。

## 2) 実証炉スーパーフェニックス

1997年に運転を停止し、廃止措置中の高速実証炉スーパーフェニックスは、クレイ・マルヴィルに立地している。同原子炉は、1200MWe級の発電炉であり、欧州の複数国のコンソーシアムによる産業プロジェクトとして進められた。社会党と緑の党による左派政権下で1998年に作成された国民議会調査委員会の報告書は、スーパーフェニックスの立地選定プロセスについて、企業にとっての地理的な利便性が優先され、事後承認的な手続きが取られ、透明性に欠けていたと指摘している。スーパーフェニックス

スは、EDF とイタリア ENEL、ドイツ RWE の共同事業体「NERSA」が実施主体として進めていた。クレイ・マルヴィルは、ロヌ河に接しているなど、取水・排水の利便性などもあるものの、これらの産業パートナーの「地理的な中間点」に位置していたことが、最大の立地理由であったとされている。

NERSA は、1973 年に用地の買収を開始し、1974 年にボーリング調査を実施したとされている。また、同年末にはサイト造成や準備のための土木工事を開始しており、1976 年には、NERSA 監査役会が最初の設備発注を承認した。しかし、フランスでスーパーフェニックスの建設許可が出されたのは 1977 年 5 月であり、許可が無い状態での着工等が、とりわけ批判の対象となった。1974 年に行われたボーリング調査等の際して、地元に対する事前情報公開や協議はなく、買収された土地の利用目的（大型原子炉建設）が公にされたのは、1976 年になってからであった。地元で唯一開催された意見交換の機会は、1976 年 9 月に二日間、専門家やスーパーフェニックス計画の関係者、住民代表者を招いて行われた、イゼール県議会主催の討論会のみであったとされている。

こうした経緯を受けて、1976 年から 1977 年にかけて、スーパーフェニックス計画に対する環境団体等による抗議活動が激しくなり、死者が発生する事態となった。その後も、事業者は地元や国民に対する十分な説明を行わず、噂や偽情報といったものに対しても積極的な情報開示で対応せず、情報不足と偽情報の悪循環を生んだと指摘されている。また、これに対して政府も、事業者が意思決定過程の不透明さ等を批判される中で、政治的なダメージを恐れてプロジェクトを表立って支援することを避けるなどの姿勢が見られたと指摘されている。

同報告書ではこうしたスーパーフェニックスでの失敗からの教訓として、以下のような点を挙げている。これらの指摘は、その後のフランスにおける原子力の情報公開、立地プロセスのあり方に大きく影響を及ぼしている<sup>51</sup>。

- 議会を通じた事前の民主的議論が絶対に必要：数千億フランもの国費を投じる重大なエネルギー政策の選択は、政府や官僚が密室で決めるべきでなく、必ず国会で議論し、プログラム法等を通じ民主的な承認を得るべきである
- 透明性の確保：原子力政策に係る伝統的な秘密の文化や不透明性に終止符を打つ。不要なパニックや偽情報拡散を防ぎ、国民理解を得るには、日常的な運営情報やトラブルまで、より多くの情報公開と透明性、民主的なプロセスが不可欠である
- 専門家偏重と閉鎖的意思決定プロセスは危険：政府が一部の指定された技術専門家の意見を偏重し、異なる意見や社会の懸念を排除するような閉鎖的なプロセスが、社会との大きな軋轢につながった

### 3) 現在の理解促進活動

上述のスーパーフェニックスを含め、フランスでは原子力施設やその他、高速道路等の大規模なインフラ計画において、計画決定後に反対運動が激化するケースが見られた。こうした中で、当時の整備・住宅・交通省大臣であったビアンコ大臣が、1992 年に通達（ビアンコ通達と呼ばれる）を発出し、大規模インフラ事業の初期構想段階で、市民、専門家、自治体を含めた討論を行う仕組みを導入し、意思決定過程に住民参加を組み込む方針を打ち出した<sup>52</sup>。その後、政府は当時のバルニエ環境大臣に制度検討を命じ、1993 年に公開討論制度の制度設計を示すバルニエ報告書が作成された。公開討論制度は、環境保護の強化に関する 1995 年 2 月 2 日法（バルニエ法）により法制化された。具体的な組織手続き

は、2002年の政令2002-1275号で定められた<sup>53</sup>。

これらの法令に基づき、現在のフランスでは、高速炉を含む原子力施設等、環境に多大な影響を及ぼす大規模な公共事業や政策決定について、その構想段階で公開討論会が実施される。公開討論国家委員会(CNDP)は独立した行政委員会として、この実施を担当する。

CNDPは、国会議員、地方選出議員、裁判官、認可された環境保護団体の代表者、消費者・利用者の代表者等で構成される独立機関である。公開討論会は、プロジェクトや課題について国民に情報を提供し、利害関係者間の意見交換、プロジェクトの影響を改善・評価、個々の利益とプロジェクト全体の利益を比較検討する場でもあり、独立性、中立性、透明性、平等性、議論や論証、包括性の原則のもと議論が進められる<sup>54,55</sup>。

### (3) 高速炉の事故と社会的影響

フェニックス及びスーパーフェニックスで発生した技術トラブルや事故については、3.1.3 (1)1)、3.1.3 (1)2)に整理したとおりである。これらの事故はいずれも、環境または人に影響を及ぼすものではなかった。フェニックスに関しては、改修などによる長期停止期間を挟みつつも、原型炉としての期待された役割を果たし、フランスの原子力安全規制当局が想定した燃焼期間720EFPD(Effective Full Power Days<sup>o</sup>)に到達し、運転を終了した。一方、スーパーフェニックスにおいては、3.1.3 (1)2)に示したトラブルや事故に伴って合計25カ月の停止期間が発生したことに加え、認可に係る手続きや反対運動への対応など、政治・行政起因で運転できない期間が54カ月に及んだ。このほか、非原子力部分のトラブルも、稼働率の押し下げに影響した。3.1.3 (1)2)に示した通り、1986年の運開から1998年の閉鎖までの平均設備利用率は、7.9%と低かった。

ただし、2016年のCEAの報告書によれば、スーパーフェニックスは1996年までに初期の欠陥を克服し、同年単体では計画停止を除く稼働率として95%を記録、安定して発電し技術的には成功しており、規制当局も安全性に関しては軽水炉に遜色ないとの見方を示していた。

しかし、上掲のような技術トラブルや行政起因の停止等についてはメディアや反対派に大きく取り上げられ、同炉が「無用の大聖堂」と比喻されるなど、負のイメージが世間に流布された。

最終的には1997年のフランス総選挙に際し、社会党が環境系政党の緑の党等との連立協定にスーパーフェニックスの閉鎖を盛り込み、選挙に勝利し左派政権を樹立したことで、同原子炉の閉鎖が決定された。同政権は1998年2月に政府声明「原子力政策とエネルギーの多様化：政府の指針」を公表し、「スーパーフェニックスの運転を再開せず、可及的速やかに廃止措置を実施する」方針を示した。その後同年12月の政令(98-1305)によって、同炉の閉鎖が法的に確定した。上記の政府声明では、同炉の閉鎖理由として、以下の2点を挙げている<sup>26,51,56</sup>。

- 情勢の変化：スーパーフェニックスの開発が開始された1970年代は石油危機などにより深刻なエネルギー危機に直面していたが、1998年時点においてはエネルギー価格が安定し、ウラン備蓄も問題なく、PWRで十分に電力需要を賄うことができる。また、近い将来に高速増殖炉を商業化できる見通しは立っていない

<sup>o</sup> 原子炉が定格熱出力で連続運転した場合に相当する日数を表す指標

- 費用対効果:スーパーフェニックスは技術的な難点に加え、当初予想よりコストが大きく増大。スーパーフェニックスの限界発電コストは 25 サンチーム/kWh であり、通常の軽水炉(19~20 サンチーム/kWh)や火力発電に比べて競争力がない。さらに 1996 年の会計検査院報告などで、最終的な総コストが約 600 億フランに達すると指摘された

## 参考文献

- <sup>1</sup> ASSEMBLÉE NATIONALE , "Compte rendu Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques"(2023 年)  
[https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/16/comptes-rendus/ots/116ots2324182\\_compte-rendu.pdf](https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/16/comptes-rendus/ots/116ots2324182_compte-rendu.pdf)
- <sup>2</sup> Légifrance,"LOI n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (1) "  
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000240700>
- <sup>3</sup> フランス政府,"Programmations pluriannuelles de l'énergie"  
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>
- <sup>4</sup> フランス政府,"Nucléaire: l'Élysée annonce de futurs "investissements importants" sur le site Orano de La Hague"(2024)  
<https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/09/09c15f29b00311ee1e75aa69891e24caedb32a64.pdf>
- <sup>5</sup> Orano, "Bruno Le Maire et Roland Lescure en visite sur le site Orano la Hague confirment la stratégie de traitement-recyclage au-delà de 2040"(2024)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/mars/bruno-le-maire-et-roland-lescurer-en-visite-sur-le-site-orano-la-hague-confirment-la-strategie-de-traitement-recyclage-au-dela-de-2040>
- <sup>6</sup> フランス政府,"Programmation pluriannuelle de l'énergie"(2026)  
<https://www.economie.gouv.fr/files/files/2026/ppe3.pdf?v=1771405459>
- <sup>7</sup> Orano, "Rapport Annuel d'Activité 2024"(2025)  
<https://www.orano.group/finance-raa2024/fr/>
- <sup>8</sup> フランス政府,"Bilan énergétique de la France pour 2023"(2025)  
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/bilan-energetique/fr/pdf/bilan-energetique-france-2023.pdf>
- <sup>9</sup> Orano, "Rapport Annuel d'Activité 2019"(2020)  
[https://www.orano.group/docs/default-source/orano-doc/finance/publications-financieres-et-reglementees/2019/orano\\_rapport-annuel-activite\\_2019\\_vdef.pdf](https://www.orano.group/docs/default-source/orano-doc/finance/publications-financieres-et-reglementees/2019/orano_rapport-annuel-activite_2019_vdef.pdf)
- <sup>10</sup> ANDRA, "Inventaire national des matières et déchets radioactifs LES ESSENTIELS 2025"(2025)  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA\\_Inventaire%20national\\_Les\\_Essentiel\\_2025.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA_Inventaire%20national_Les_Essentiel_2025.pdf)
- <sup>11</sup> Orano, "Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano la Hague Édition 2024"(2025)  
[https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/traitement-des-combustibles-uses-provenant-de-l-etranger-sur-le-site-orano-la-hague-2024.pdf?sfvrsn=6be3c160\\_8](https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/traitement-des-combustibles-uses-provenant-de-l-etranger-sur-le-site-orano-la-hague-2024.pdf?sfvrsn=6be3c160_8)
- <sup>12</sup> IAEA Nuclear Energy Series, "Status of Developments in the Back End of the Fast Reactor Fuel Cycle"(2011)  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1493\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1493_web.pdf)
- <sup>13</sup> フランス政府,"L'entreposage du combustible usé"(2024)  
<https://dechets-radioactifs.ecologie.gouv.fr/lentreposage-du-combustible-use-72>
- <sup>14</sup> ANDRA,"Dépôt du dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo"(2023)

- <https://www.andra.fr/depot-du-dossier-de-demande-dautorisation-de-creation-de-cigeo>
- <sup>15</sup> ANDRA, "Projet Cigéo Centre"  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2024-01/Andra\\_Plaquette\\_Cigeo\\_MAJ\\_JANV%202024\\_V3.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2024-01/Andra_Plaquette_Cigeo_MAJ_JANV%202024_V3.pdf)
- <sup>16</sup> フランス政府 "Chiffres clés de Cigéo et du stockage des déchets nucléaires"  
<https://www.cigeo.gouv.fr/chiffres-cles-cigeo-du-stockage-dechets-nucleaires>
- <sup>17</sup> フランス政府, "Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2022-2026" (2022)  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2023-01/PNGMDR\\_2022.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2023-01/PNGMDR_2022.pdf)
- <sup>18</sup> フランス政府, "3. Le renforcement de l'articulation entre la politique énergétique et la gestion des matières et déchets radioactifs" (2022)  
<https://dechets-radioactifs.ecologie.gouv.fr/3-le-renforcement-de-larticulation-entre-la-politique-energetique-et-la-gestion-des-matieres-et-51>
- <sup>19</sup> ANDRA, "Inventaire national des matières et déchets radioactifs LES ESSENTIELS 2025" (2025)  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA\\_Inventaire%20national\\_Les\\_Essentiel\\_2025.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA_Inventaire%20national_Les_Essentiel_2025.pdf)
- <sup>20</sup> COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION, "DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES À LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS" (2025)  
<https://www.cne2.fr/wp-content/uploads/2025/07/Rapport19-mai2025.pdf>
- <sup>21</sup> CEA, "Avancées des recherches sur la séparation-transmutation et le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à flux de neutrons rapides" (2015)  
<https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/rapports/avancees-recherches-separation-transmutation-et-multirecyclage-pu-rnr.pdf>
- <sup>22</sup> CEA, "Pourquoi des Réacteurs à Neutrons Rapides (RNR) ?..." (2014)  
<https://www.cea.fr/Documents/monographies/reacteurs-nucleaires-sodium-pourquoi-reacteurs-rapides-sodium.pdf>
- <sup>23</sup> CEA, "Central Phénix" (2011)  
<https://www.asn.fr/sites/rapports-exploitants-ecs/CEA/CEA-centrale-phenix.pdf>
- <sup>24</sup> ASNR, "Arrêt de la centrale Phénix : l'ASN contrôle des essais de fin de vie et des opérations de préparation à la mise à l'arrêt définitif précédant le démantèlement de l'installation" (2009)  
<https://reglementation-controle.asnr.fr/information/archives-des-actualites/arret-de-la-centrale-phenix>
- <sup>25</sup> ASNR, "Arrêt de la centrale Phénix : l'ASN contrôle des essais de fin de vie et des opérations de préparation à la mise à l'arrêt définitif précédant le démantèlement de l'installation" (2009)  
<https://reglementation-controle.asnr.fr/information/archives-des-actualites/arret-de-la-centrale-phenix>
- <sup>26</sup> CEA, "e-den A Nuclear Energy Division Monograph Sodium-Cooled Nuclear Reactors" (2016 年)  
[https://www.cea.fr/english/Documents/scientific-and-economic-publications/nuclear-energy-monographs/CEA\\_Monograph7\\_Sodium-cooled-nuclear-reactors\\_2016\\_GB.pdf](https://www.cea.fr/english/Documents/scientific-and-economic-publications/nuclear-energy-monographs/CEA_Monograph7_Sodium-cooled-nuclear-reactors_2016_GB.pdf)
- <sup>27</sup> IAEA-PRIS, "PHENIX"  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=162>

- <sup>28</sup> CEA, "Central Phénix" (2011)  
<https://www.asn.fr/sites/rapports-exploitants-ecs/CEA/CEA-centrale-phenix.pdf>
- <sup>29</sup> CEA, "Historique et bilan de fonctionnement des RNR-Na" (2014 年)  
<https://www.cea.fr/Documents/monographies/reacteurs-nucleaires-sodium-historique-bilan-fonctionnement.pdf>
- <sup>30</sup> IAEA-PRIS, "SUPER-PHENIX"  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=178>
- <sup>31</sup> 三菱 FBR システムズ株式会社, 「プロジェクトの変遷」(2025)  
<https://www.mhi.com/jp/group/mfbr/company/technology/project>
- <sup>32</sup> IAEA-ARIS, "ASTRID" (Archive)  
<https://aris.iaea.org/Archives/ASTRID.pdf>
- <sup>33</sup> GIF webinar「Astrid プロジェクトの教訓」(2022)  
[https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series22/webinar-guidebook\\_jp-s22.pdf](https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series22/webinar-guidebook_jp-s22.pdf)
- <sup>34</sup> フランス環境省, "Programmation pluriannuelle de l'énergie" (2020)  
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>
- <sup>35</sup> CEA-IRESNE, "ASTRID reactor design"  
<https://www.cea.fr/energies/iresne/en/Pages/Our%20achievements/Design%20and%20innovation/ASTRID%20reactor%20design.aspx>
- <sup>36</sup> CEA "MOOK: The Knowledge Management Method Applied to a Gen IV Project. The Continuation of a Successful Story" (2024)  
[https://www.gen-4.org/sites/default/files/2024-08/gilles\\_rodriguez\\_gif\\_webinar\\_nov\\_2023\\_2023-12-04\\_12-06-36\\_181.pdf](https://www.gen-4.org/sites/default/files/2024-08/gilles_rodriguez_gif_webinar_nov_2023_2023-12-04_12-06-36_181.pdf)
- <sup>37</sup> Newcleo, "Réacteur électronucléaire LFR-AS-30 de 30 MWe en Indre-et-Loire (37) et installation de fabrication de combustible MOX (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium) dans l'Aube (10) (Newcleo) "  
<https://www.debatpublic.fr/reacteur-electronucleaire-lfr-30-de-30-mwe-en-indre-et-loire-37-et-installation-de-fabrication-de>
- <sup>38</sup> GIF LFR webinar "newcleo's materials strategy for Gen-IV LFR research and development" (2025)  
[https://www.gen-4.org/sites/default/files/2025-06/250527%20-%20Presentation%20-%20Webinar%20-%20Gif%20x%20Industry%204%20LFR%20newcleo\\_0.pdf](https://www.gen-4.org/sites/default/files/2025-06/250527%20-%20Presentation%20-%20Webinar%20-%20Gif%20x%20Industry%204%20LFR%20newcleo_0.pdf)
- <sup>39</sup> Newcleo, "newcleo achieves important milestone with nuclear safety program submission to French Nuclear Regulator" (2026)  
<https://www.newcleo.com/news-insights/newcleo-achieves-important-milestone-with-nuclear-safety-program-submission>
- <sup>40</sup> Newcleo, RTE, "Projet de filière énergétique basée sur des réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au plomb" (2025)  
<https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2025-07/Synth%C3%A8se%20Cosaisine%20CNDP%20-%20Version%20du%201%20juillet%202025%20VF.pdf>
- <sup>41</sup> Newcleo, "Notre vision d'un cycle du combustible fermé" (2025)  
<https://www.newcleo.com/notre-technologie/combustible-MOX/>
- <sup>42</sup> ANDRA, "Inventaire national des matières et déchets radioactifs LES ESSENTIELS 2025" (2025)  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA\\_Inventaire%20national\\_Les\\_Essentiel\\_2025.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2025-02/ANDRA_Inventaire%20national_Les_Essentiel_2025.pdf)

- <sup>43</sup> ASNR, "Centrale Phénix"(2025)  
<https://reglementation-controle.asnr.fr/controle/l-asnr-en-region/occitanie/centrale-phenix>
- <sup>44</sup> CEA, "DECOMMISSIONING OF SODIUM FAST REACTORS: Presentation of French experience"(2017)  
[https://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/kaihatu/022/shiryo/\\_icsFiles/afieldfile/2017/08/23/1393867\\_02.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/022/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2017/08/23/1393867_02.pdf)
- <sup>45</sup> ASNR, "Atelier pour l'entreposage du combustible de Creys-Malville"(2025)  
<https://reglementation-controle.asnr.fr/controle/l-asnr-en-region/auvergne-rhone-alpes/atelier-pour-l-entreposage-du-combustible-de-creys-malville>
- <sup>46</sup> ANDRA, "Inventaire national des matières et déchets radioactifs"(2023)  
<https://www.andra.fr/sites/default/files/2023-12/202312014-ANDRA-RAPPORTDESYPHTHESE-INTERACTIF-PAP-BD.pdf>
- <sup>47</sup> Légifrance, "Sous-section 3 : Les commissions locales d'information (Articles L125-17 à L125-33)"]"  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000025107944/#LEGISCTA000025107944](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000025107944/#LEGISCTA000025107944)
- <sup>48</sup> ASNR, "Centre d'information du public"(2025)  
<https://reglementation-controle.asnr.fr/information/centre-d-information-du-public>
- <sup>49</sup> EDF「Visite du bâtiment réacteur de SUPERPHENIX」  
<https://www.edf.fr/groupe-edf/visiter-edf/758/events/1745/animations>
- <sup>50</sup> フランス原子力庁、「マルクール-産業用原子力センター」(1970年のパンフレット)  
<https://inis.iaea.org/records/f0cd5-p8831>
- <sup>51</sup> フランス国民議会調査委員会報告書, "RAPPORT FAIT AU NOM DE LA COMMISSION D'ENQUÊTE (1) sur SUPERPHÉNIX et la FILIÈRE des RÉACTEURS à NEUTRONS RAPIDES," (1998年)  
<https://www.assemblee-nationale.fr/rap-enq/r1018-1.asp>
- <sup>52</sup> Circulaire du 15 décembre 1992 relative à la conduite des grands projets nationaux d'infrastructures  
[https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article\\_jo/JORFARTI000001504641](https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000001504641)
- <sup>53</sup> Décret n° 2002-1275 du 22 octobre 2002 relatif à l'organisation du débat public et à la Commission nationale du débat public
- <sup>54</sup> Légifrance, "Section 2 : Composition et fonctionnement de la Commission nationale du débat public (Articles L121-3 à L121-6)"  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176440/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006176440/)
- <sup>55</sup> CNDP "MODE D'EMPLOI"  
[https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2022-04/MODE-D-EMPLOI-CNDP\\_2.pdf](https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2022-04/MODE-D-EMPLOI-CNDP_2.pdf)
- <sup>56</sup> フランス政府, "Communiqué des services du Premier ministre sur les orientations gouvernementales concernant la politique nucléaire et de diversification énergétique, Paris le 2 février 1998."(1998年)  
<https://www.vie-publique.fr/discours/129660-communique-des-services-du-premier-ministre-sur-les-orientations-gouvern>

## 3.2 米国

### 3.2.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクル政策の変遷

##### 1) 米国で開発・運転が行われた高速炉の概要

現在、米国では商用炉で発生した使用済燃料の再処理は実施されていないものの、米国は 1950 年代初頭から、高速炉の開発、実証及び商業運転の歴史を有している。エネルギー省(DOE)のウェブサイトでは、米国で開発や運転が行われた高速炉として、具体的に以下の 5 基(プログラム)が挙げられている<sup>57</sup>。なお、これらの炉について、表 3.2-1 で整理している。

表 3.2-1 米国で開発された高速炉の概要

名称	概要
実験用高速炉-I (EBR-I)	アイダホ州で 1951 年から 1963 年にかけて運転。原子力により発電を行った世界初の原子炉
実験用高速炉-II (EBR-II)	アイダホ州で 1964 年から 1994 年にかけて運転。1980 年代に残留熱除去試験において運転員による行為なしでの運転停止能力実証に成功
フェルミ-1 炉	ミシガン州で 1966 年から 1972 年にかけて運転。米国における最初の商用高速炉
高速フラックス試験施設(FFTF)	ワシントン州ハンフォードにて 1982 年から 1992 年にかけて運転。DOE による液体金属高速炉の燃料、材料及び機器の試験を支援
統合高速炉 (IFR)	イリノイ州アルゴンヌ国立研究所で 1984 年から 1994 年にかけて実施された EBR-II をベースとしたプログラム。原子炉で発生した使用済燃料のリサイクルを実証し、また高速炉技術の安全性と効率性に関する研究を実施

(出典)DOE “Nuclear 101: What is a Fast Reactor?”に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツにて作成

##### 2) 連邦政府による過去の開発プログラム

米国では 1960 年代中期より、増殖炉の開発が連邦政府の原子力発電プログラムにおける主要な目標であった。1967 年に DOE の前身である原子力委員会(AEC)は、液体金属冷却高速増殖炉(LMFBR)を最優先の開発対象に選定した。LMFBR は、ウラン資源の高効率利用、産業界の支持、技術的蓄積、1946～63 年に 6 基の小型の炉が運転された実証性を理由に他の方式より優位と判断された。計画では、連邦政府と産業界が協力して少数の実証炉を建設・運転し、電力会社が将来導入を判断できる水準まで技術を成熟させることを目指した。LMFBR 計画の目的は、長期的な電力供給の選択肢を適切な時期に確保することであり、そのために技術、安全、環境、経済、許認可、産業基盤の確立を図ることであった。計画は基盤的技術開発の支援、燃料サイクル開発の支援、及び実証炉建設・運転の三要素からなり、中心は 375MW 級クリンチリバー増殖炉(CRBR)であった。DOE は 1990 年代半ばに大型実証炉を想定し、必要に応じ追加実証も検討するとしており、1966～81 年に約 60 億ドルが投じられた<sup>58</sup>。しかしながら後述のとおり、CRBR の開発は 1983 年に実質的に終了している。

1981 年以降 1989 年までの増殖炉の研究開発に関する主要な経緯は以下のとおりである<sup>59</sup>。

表 3.2-2 1980 年代における米国の高速増殖炉の研究開発

時期	出来事
1981 年	DOE が液体高速増殖炉の概念設計調査を完了。当時のレーガン大統領が、CRBR プロジェクトの完遂を含む高速炉開発プログラムの刷新などを内容とする原子力政策を公表
1982 年	DOE と電力研究所 (EPRI) が大規模実証増殖炉に関する協力協定を締結
1983 年	連邦議会上院が CRBR への予算配賦を中止し、プロジェクトは実質的に終了。政府の役割は、液体金属高速増殖炉の開発から民間のイニシアチブの支援や研究開発における海外との協力にシフト。DOE は液体金属高速増殖炉プログラムを縮小・統合
1985 年	DOE は引き続き増殖炉開発のリストラを実施して、民間における実証・開発の前提となる主要な技術的問題や不確実性の解決に注力
1986 年	DOE は増殖炉技術の商業利用開始が 2000 年以降になるとの見通しを踏まえ、開発プログラムを再編、以下の点に注力 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 長期的な技術開発や関連する燃料サイクルの開発の継続</li> <li>• 国際協力を強化して核不拡散や保障措置に関する議論における米国のプレゼンスを確保</li> <li>• 国内・国際市場で競争力のある先進的液体金属増殖炉設計の開発</li> </ul>
1988 年	DOE はゼネラルエレクトリック (GE) 社の PRISM (Power Reactor Innovative Small Module) のコンセプトを、1989 年に始まる国による先進的液体金属炉設計プログラムの開発基盤として選定 (PRISM について、3.2.3 (2)3 を参照)。DOE は液体金属炉について酸化燃料サイクルから金属燃料サイクルにシフト。DOE はアルゴン国立研究所において、金属燃料／統合型高速炉 (IFR) の概念を重視し、金属燃料を用いたモジュール式液体金属炉の受動的安全性と経済性の向上に注力
1989 年	DOE は連邦議会からの予算額の減少を理由として、液体金属炉技術開発に関する作業スコープを縮小。DOE は、液体金属炉のアクチノイド再処理能力と、廃棄物管理ソリューションに与える影響の可能性について、より重点を置くようになった。

(出典) 会計検査院 “U.S. Electricity Needs and DOE’s Civilian Reactor Development Program” (1990 年 5 月) に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツにて作成

米国における使用済燃料の再処理に関して、第 2 次トランプ政権前までの経緯は、表 3.2-3 のとおりである<sup>60</sup>。表に整理したとおり、米国では民間再処理が禁止されてはいないが、経済的成立性を踏まえて中止されている。

表 3.2-3 米国の使用済燃料の再処理に関する経緯 (第 2 次トランプ政権前まで)

時期	出来事
1974 年	インドが初の核実験を実施
1976 年	プルトニウムを生成する再処理について核拡散の懸念が指摘され、フォード大統領の声明において、再処理の民営化はプルトニウム非分離の技術、直接処分の研究などの核不拡散の検討を行うまで保留する方針が打ち出される。
1977 年 4 月～	カーター大統領の核不拡散声明により民間再処理事業の無期限延期等が打ち出され、AEC の後継にあたる原子力規制委員会 (NRC) によるバーンウェル等の許認可審査もその後停止される。
1981 年	レーガン大統領が再処理の無期限延期を解除したが、バーンウェル計画は政府補助がなければ経済的に成立しないと判断から、中止される。
2010 年	オバマ政権、使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理方を検討するブルーリボン委員会を設置
2012 年	ブルーリボン委員会、「最終報告書」で「現在利用可能な、あるいは合理的に予測可能な原子炉及び燃料サイクル技術の開発 (再処理・リサイクル技術の進歩を含む) は、少なくとも今後数十年、あるいはそれ以上の期間にわたり、我が国が直面する廃棄物管理の課題を根本的に変える可能性を秘めていない」と結論

### 3) 第 2 次トランプ政権発足後の動き

2025 年 1 月に 2 期目の大統領に就任したトランプ現大統領は同年 5 月 23 日に、大統領令「原子力産業基盤の再活性化」に署名した。本大統領令では、国内核燃料サイクルの強化のため、240 日以

内にエネルギー長官に対して<sup>a</sup>、以下の報告書を作成して提出することを求めている<sup>61</sup>。

- 使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理をサポートし、長期的な核燃料サイクルを確立するための核燃料サイクルの開発及び導入をサポートするための政策の推奨案
- 核燃料サイクル政策を実現するために必要なものとして、法律における法的権限の見直し
- 連邦政府が所有して民間が運営する再処理・リサイクル施設へ使用済燃料を移送するための法的、予算的、政策等の考慮事項
- 再処理、リサイクルで発生する放射性廃棄物の処分に関する提言
- 有益な歴史的及び現在の再処理、分離、貯蔵施設の再評価

さらに、エネルギー省(DOE)は原子力ライフサイクル・イノベーション・キャンパス(NLIC)の設置計画を進めており、2026年1月には州政府を対象として情報提供依頼(RFI)を発出した。RFIは、NLICの設置場所の選定のための情報収集や計画策定を目的として、州の意向を募るものである。

NLICは、燃料製造、濃縮、使用済燃料の再処理、廃棄物処理など、原子力燃料ライフサイクル全体にわたる活動を支援するために設置されるものである。DOEによれば、州の優先事項や地域の能力に応じて、NLICサイトには先進炉や発電炉、先進的製造施設が設置可能であるほか、データセンターの併設も可能とされている。

DOEは今回のRFIを通じて、州に対し、イノベーションキャンパスの構造に関する明確な関心表明と建設的なフィードバックの提供を呼びかけている。提出書類には、労働力育成、インフラ投資、経済の多様化、技術リーダーシップなど、州の優先事項を概説するとともに、州が想定する活動範囲を記述する必要がある。また、州は、イノベーションキャンパスの全サイクルを確立・維持するために必要な資金調達構造、リスク分担アプローチ、インセンティブ、連邦政府との連携についても特定することが推奨されている<sup>62</sup>。NLIC設置に向けた費用について、RFIは資金確保モデルの構築においては産業界の専門能力と資金を活用するために、民間投資を優先するとのことである。また、DOEは費用の分担、債務保証、及びその他の原子力法や2005年エネルギー政策法、及び国防生産法で付与されている権限により、こうした民間投資を補完する可能性があるとしている<sup>63</sup>。

## (2) フロントエンド

### 1) ウラン採掘

1947年から1970年にかけて、米国政府は軍事情報のウラン調達と平和的原子力利用の研究開発促進を目的として、国内民間セクターのウラン探査・生産産業を育成した。1957年末までに、民間企業が生産に投入した新規鉱床の数と生産能力は、予測需要を満たすのに十分な水準まで増加した。連邦政府の探査プログラムは終了した。1970年代を通じて、米国ウラン産業による民間探査は増加した。これは価格上昇と、民間発電所向け原子炉の建設・計画増加に伴うウラン燃料の需要高予測に対応するためである。年間総地表掘削量は1978年にピークに達した。探査は主にコロラド高原、ワイオミング盆地、テキサス沿岸平野などのウラン鉱区における砂岩型ウラン鉱床を対象としてきた。

<sup>a</sup> 大統領令で規定された240日間に、提出が求められていた報告書が公表されたとの情報は確認できていない。この期間中、米国連邦政府では政府閉鎖があり、その期間をカウントしていないといった可能性も考えられるが、エネルギー省(DOE)から情報は公表されていない。

2021 年及び 2022 年、米国のウラン産業は引き続き、ウラン需要の大部分を国外調達源に依存した。市場活動は 2021 年に最低水準に達したが、2022 年には増加した。ウラン産業の総支出額は、2021 年の 7,250 万ドルから 2022 年には 8,470 万ドルに増加した。DOE のエネルギー情報局 (EIA) は、掘削活動が極めて低水準であったため 4 年間公表を見合わせていた探査・開発掘削活動データを、2022 年に再び発表した。2022 年、原子力発電所運転者は長期契約では 2018 年以来、スポット契約では 2013 年以来の最高金額をウラン調達のために支出した。米国でウラン探査・生産を行う民間企業は、ウラン価格の持続的な上昇と連邦政府によるウラン購入を背景に、活動を拡大し始めている。これらの購入は、新たに資金提供された連邦政府のウラン備蓄プログラムの一環として、国内備蓄用に米国産ウランを購入する取り組みとして、2022 年末に公表された。

2022 年末時点での米国の推定ウラン埋蔵量(原位置合理的に保証された資源量)は 168,182 トンウランであった。また、米国のウラン鉱山は 2022 年に 75 トンウランを生産し、2021 年から大幅に増加した。2022 年の生産は 5 施設(ネブラスカ州とワイオミング州の 4 カ所の ISR プラント(クロウ・ビュート操業、ロス CPP、ニコルズ・ランチ、スミス・ランチ・ハイランド操業)及びユタ州のホワイト・メサ・ミル)で行われた。

## 2) 転換

米国では、イリノイ州南部のメトロポリス・ワークスのプラントが、唯一の商業用転換施設である。

表 3.2-4 米国の転換プラント<sup>64,65,66,67</sup>

項目	概要
施設名称	メトロポリス・ワークス
施設概要	イリノイ州メトロポリスに立地する米国唯一の民間転換施設。U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> を UF <sub>6</sub> に転換。連邦政府との契約で 1950 年代に軍事用の転換目的で建設されたが、1960 年代後期に民生用の利用を開始。
技術	乾式プロセス
能力	7000 t U/年。当初は 15,000 t U/年であったが、2017 年に国際的な転換需要を考慮して縮小。
稼働状況	1964 年に稼働開始
稼働実績	操業者の Solstice 社(2025 年 10 月に前の操業者であるハネウェル社からスピノフされた)は、2026 年の生産量を 1 万トン以上(2024 年比で 20%以上増加)とする意向を表明

(出典)WNA 「Conversion and Deconversion」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、WNA 「US Nuclear Fuel Cycle」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、IAEA 「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、WNA 「Solstice plans expansion of US conversion facility」(2026 年 2 月 11 日)より作成

## 3) 濃縮

米国において商業レベルで操業中の濃縮施設は、Urenco グループの Urenco USA 施設の 1 か所のみとなっている。他に、セントラス・エナジー社が DOE との契約により American Centrifuge Plant (ACP) で HALEU の実証試験を実施している。また、実証段階にとどまるものの、Global Laser Enrichment (GLE) 社はレーザー濃縮技術の商業化に向けた取組を進めている。

表 3.2-5 米国の濃縮プラント 66,68,69,70,71

項目	概要
①Urenco USA 施設(旧称国家濃縮施設)	
施設概要	ニューメキシコ州ユーンニスに立地。
技術	ガス遠心分離法
能力	4,300 MTSWU/年。2025～2027 年に、製造能力を 70 万 SWU まで増強するために、2025 年以内に 3 基の新しい遠心分離カスケードの追加を完了し、濃縮を開始。
稼働状況	2010 年に稼働開始
稼働実績	2025 年 12 月に LEU+と呼ばれる濃縮度 8.5%の濃縮ウランの製造をはじめて完了。2026 年半ばには顧客に向けた LEU+の製造を開始予定。
②American Centrifuge Plant(ACP)	
施設概要	セントラス・エナジー社がオハイオ州パイクトンに所有する施設であり、実証段階であるが HALEU 製造を実施しているほか、低濃縮ウランの製造も計画
技術	ガス遠心分離法
能力	4800 MTSWU/年。なお、施設を操業している American Centrifuge Operating, LLC は DOE の支援を受けて能力の拡張を進めており、5)c を参照
稼働状況	本格稼働はまだ実施していない。
稼働実績	2019 年締結の DOE との契約により、2023 年から HALEU 製造の実証は行っている。
③Global Laser Enrichment	
施設概要	ノースカロライナ州ウィルミントンに立地
技術	同位体分離によるレーザー励起によるウラン濃縮。なお、GLE 社は DOE の支援を受けて先進的な次世代ウラン濃縮技術開発を進めており、5)c を参照
能力	3500 MTSWU/年
稼働状況	IAEA の「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」におけるステータスは「Others」と表記されている。
稼働実績	まだ稼働していない。

(出典)WNA 「Uranium Enrichment」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、Urenco 社 「UUSA」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、Urenco USA 社 「Urenco USA Advances U.S. Nuclear Fuel Supply with New Capability and Capacity」(2025 年 12 月 17 日)、WNA 「US enrichment funding recipients flesh out plans」(2026 年 1 月 13 日)、IAEA 「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026 年 2 月 19 日閲覧)より作成

#### 4) 燃料製造

米国では、核燃料を製造する燃料成型・加工施設は、4 か所が稼働中であり、以下に整理する。

表 3.2-6 米国の燃料加工プラント<sup>66,72,73,74,75</sup>

項目	概要
①GNF Wilmington 燃料加工施設	
施設概要	Global Nuclear Fuel-Americas 社がノースカロライナ州 Wilmington にて所有する施設
技術	—
能力	1200 t HM/年。2025 年 10 月には、所有者の親会社である GE ペルノバ日立ニュークリア エナジー社(GVH 社)が、GNF Wilmington 燃料加工施設で次世代燃料 GNF4 を製造することを公表している。
稼働状況	1982 年に稼働開始
稼働実績	不明
②Columbia 燃料加工施設	
施設概要	ウェスティングハウス社の所有施設でサウスカロライナ州ホプキンスに立地
技術	—
能力	1350 t U/年
稼働状況	1969 年に稼働開始
稼働実績	不明
③Richland 燃料加工施設	
施設概要	仏フラマトム社が米国ワシントン州 Richland にて所有する施設
技術	—
能力	700 t U/年
稼働状況	1972 に稼働開始
稼働実績	不明
④リンチバーグ燃料加工施設	
施設概要	バージニア州リンチバーグに立地しており、BWXT Nuclear Operations Group 社が許可を所有している。DOE の先進ガス原子炉燃料開発プログラムの下で、TRISO 燃料を製造している。
技術	—
能力	400 t HM/年
稼働状況	1982 年に稼働開始
稼働実績	不明

(出典)IAEA「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、BWXT 社「TRISO FUEL」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、NRC「BWXT」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、フラマトム社「Richland, Washington」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、GVH 社「Global Nuclear Fuel introduces next generation fuel product」(2025 年 10 月 6 日)より作成

#### 5) 政策動向

##### a. ウランを含む重要鉱物の関税賦課をめぐる動き

米国では、商務省が大統領の指示を受けて、2025 年 4 月に重要鉱物に関する 1962 年通商拡大法 232 条に基づく調査を開始した。これは、ウランを含む重要鉱物の輸入が米国の国家安全保障に影響を及ぼす影響を判断するためのものである。調査を実施したうえで商務長官は、2025 年 10 月に大統領に報告書を提出した。報告書では、重要鉱物・派生品が米国の防衛・商業サプライチェーン全体に深く組み込まれており、先端兵器からエネルギーインフラ、日常消費財に至るまで、広範な分野で重要な役割を果たしていると指摘した。同時に、米国が重要鉱物の供給を外国に過度に依存しており、国内生産能力が弱体化しているほか、重要鉱物の市場価格の変動の大きさに直面していることなどを指摘し、

現在の輸入量及び輸入状況が米国の国家安全保障を損なう恐れがあると判断した。報告書を踏まえて大統領は、商務長官及び米国通商代表部(USTR)代表らに次の措置を指示した。

- 輸入量調整に向けた貿易相手国との協定の交渉を推進する。交渉を通じて、重要鉱物の取引の最低価格設定や貿易制限措置の導入を検討する。
- 交渉の結果と状況を布告発表から 180 日以内に大統領に報告する。大統領は報告の内容に応じて、関税など輸入調整措置を講じる可能性がある。

このように、今回の大統領の指示では関税の賦課は行われていないが、今後の交渉次第で関税など輸入調整措置が実施される可能性は残されている<sup>76,77,78</sup>。

## b. ロシア産ウランの輸入禁止に関連する動向

2024 年 5 月に「ロシア産ウラン輸入禁止法」が成立した。2024 年 5 月 13 日、バイデン大統領は「ウラン輸入禁止法」に署名し、同法は成立した。本法は、ロシア連邦又はロシアの事業者から米国に輸入される天然ウラン及び未照射低濃縮ウラン(LEU)の輸入を禁止するものであり、2040 年 12 月 31 日に失効することになっている。また、輸入禁止を回避する目的で、ロシア連邦又はロシアの事業者によって生産された未照射 LEU 又は天然ウランと交換、スワップ、又は代替として取得されたと認められる輸入も禁止する。2024 年 8 月 11 日より、ロシア連邦又はロシアの事業者によって生産された未照射低濃縮ウラン及び天然ウランの米国への輸入は、DOE 長官が輸入を許可する免除を付与しない限り禁止される。本法は、2024 年から 2027 年の暦年における LEU の輸入可能量に割当制限を設けている。これらの制限は商務長官が管理する。また同法は、一定期間に限り、DOE 長官に対し輸入禁止措置を適用除外とし、禁止対象となる未照射 LEU 及び天然ウランの輸入を認可することを認めている<sup>79</sup>。

DOE 長官による輸入禁止措置の適用除外について、DOE はガイダンスを公表している。ガイダンスに関する DOE のウェブサイトによると、DOE は、DOE 長官が国務長官及び商務長官と協議の上、以下のいずれかを満たすと判断した場合に限り、輸入業者に対しロシア産 LEU の特定数量について輸入免除を認める。

- 原子炉又は米国原子力企業の継続的な運転を維持するために、代替可能な LEU 供給源が存在しない場合
- ロシア産 LEU の輸入が国益にかなう場合

2 点目について、輸入が国益にかなうとされる条件は以下のいずれかを満たす場合である<sup>80</sup>。

- 輸入が、米国原子力燃料供給網において重要な役割を担う米国原子力企業の存続維持に必要である場合
- 当該輸入が、他国の原子力発電所への燃料供給に関する既存の取り決めを支援し、当該国が米国以外の燃料供給者を求める可能性を最小限に抑えることを目的とする場合

「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立の前年である 2023 年に、米国の原子力発電事業者は輸入ウラン濃縮物( $U_3O_8$ )を 3,200 万ポンド使用し、米国内生産の  $U_3O_8$  はわずか 5 万ポンドに留まった。同年に核燃料製造に使用した  $U_3O_8$  の 99%がカナダ、オーストラリア、ロシア、カザフスタン、ウズベキスタン

などからの輸入に依存していた。図 3.2-1 は、2003 年から 2023 年の期間において、米国の商用炉が調達したウランが生産された国である<sup>81</sup>。

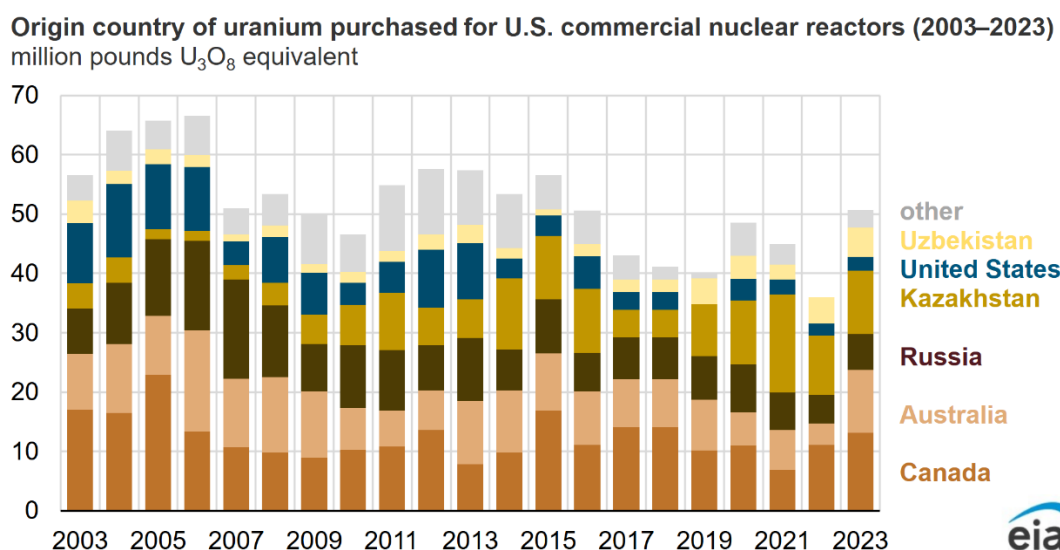


図 3.2-1 2003 年から 2023 年の期間において米国の商用炉が調達したウランが生産された国  
(単位:U3O8 換算で百万ポンド)

(出典)EIA 「U.S. nuclear generators import nearly all the uranium concentrate they use」(2025 年 1 月 30 日)より引用

ウラン濃縮等の事業を行っているセントラス・エナジー社の 2025 年 11 月付の投資家向けプレゼンテーション資料によると、DOE は同社に対して 2024 年と 2025 年を対象としたロシアからのウラン輸入禁止の適用除外を認めた。2026 年と 2027 年については、成約済みの分は適用除外を受けているが、未成約の分はまだ DOE の決定は出されていないとのことである<sup>82</sup>。

### c. LEU 及び HALEU の製造能力の拡大や確保に向けた取組

現在米国には、HALEU を製造する商用の施設はないため、DOE は HALEU の国内サプライチェーンを確立するための取組を進めている。2024 年に DOE は、HALEU 入手可能性プログラムで以下の 4 社を選定し、各々に 200 万ドルを配分した。これにより、将来の HALEU 供給業務について競争を行うための提案書作成が準備されることとなった。

- American Centrifuge Operating, LLC
- General Matter Inc.
- Louisiana Energy Services, LLC
- Orano Federal Services, LLC

これに続いて、2026 年 1 月、DOE は、今後 10 年間で米国における HALEU の濃縮能力を拡大するため、HALEU 入手可能性プログラムで以下の企業にそれぞれ 9 億ドルの発注を行うことを最終決定した。なお、上記の 4 社はすべて、歳出法により予算が配布されれば、将来発注を受けるための競争に参加する資格を有している<sup>83</sup>。

- American Centrifuge Operating, LLC

- General Matter Inc.

また、2026年1月にDOEは、今後10年間で国内の濃縮サービスを強化するために27億ドルを投入することを公表した。この投資は、米国のLEU製造能力を拡大し、またHALEUの新たなサプライチェーンとイノベーションを活性化し、雇用創出と国の核ルネサンスを切り開こうとするものであり、以下の3社にそれぞれ9億ドルの発注が行われる<sup>84</sup>。

- American Centrifuge Operating:国内におけるHALEUのための濃縮能力の構築
- General Matter:国内におけるHALEUのための濃縮能力の構築
- Orano Federal Services:国内におけるLEU濃縮能力の拡大

さらにDOEは、GLE社が先進的な次世代ウラン濃縮技術の開発を継続するために、追加で2,800万ドルを授与することも公表している<sup>84</sup>。

このほか、事業者側でもウラン濃縮能力の拡充に向けた取組が進んでおり、BWXT Technologies社はテネシー州で「遠心分離製造開発施設」(CMDf)が完工したことを2026年1月に公表している<sup>85</sup>。また、同年2月には、溶融塩冷却炉の開発を進めているKairos Power社がオークリッジ・国立研究所(ORNL)と、同研究所からの専門家の派遣や施設利用のためのパートナーシップ関係を締結したことを公表した。このパートナーシップにより、ORNLは原子炉開発及び試験用の部品を製造し、計画された原子炉運転に関連する条件下での照射後の被覆粒子燃料の性能評価も行うこととなっている<sup>86</sup>。

#### d. 使用済燃料の再処理促進に向けた研究開発支援

2021年5月にDOEのエネルギー高等研究計画局(ARPA-E)は、「放射性廃棄物と先進炉処分システムの最適化」(ONWARDS:Optimizing Nuclear Waste and Advanced Reactor Disposal Systems)プログラムを開始した。ONWARDSプログラムは、将来の先進炉からの放射性廃棄物量の最小化を目指すARPA-Eの官民コストシェア・プログラムである<sup>87</sup>。ONWARDSプログラムを活用したTerraPower社及びOKLO社の研究開発について、3.2.3(4)2)及び3.2.3(4)3)で整理している。

ONWARDSに続いて2022年3月にARPA-Eは、「使用済燃料の放射性物質をエネルギーに変換」(CURIE:Converting UNF Radioisotopes Into Energy)プログラムの資金提供公募(FOA)を開始した。CURIEプログラムは、使用済燃料を再処理して再利用可能なアクチノイドを回収し、先進原子炉(AR)用の新たな燃料にリサイクルすることで、燃料利用率を向上させ、恒久的な処分を必要とする廃棄物の量を大幅に減らすことを目的としている。具体的には、再処理燃料の原料としてのアクチノイド群の回収を実現し、プロセス監視を現場に組み込み、廃棄物量を最小化するとともに、再処理燃料の燃料コストを0.01ドル/kWhに抑え、処分コストを0.01ドル/kWhの範囲内に維持することを目指している。CURIEのウェブサイトによれば、2026年1月末時点で13件のプロジェクトが実施されている<sup>88</sup>。

DOEの原子力局は2026年2月に、使用済燃料のリサイクルに関する研究開発で5社に合計1,900万ドルの資金提供を決定したことを公表した。DOEは今回の支援を通じて、信頼性の高い発電を最大化し、濃縮ウランの対外依存を終わらせ、国内で保管されている使用済燃料の量を大幅に削減することで、トランプ大統領の大胆で野心的な原子力エネルギー政策を実現するとしている。各プロジェ

クトは最長で 3 年間実施され、支援対象企業側は自身で最低 20%の費用分担を求められる。支援対象企業及び取組の内容は以下のとおりである<sup>89</sup>。

- Alpha Nur Inc.:米国の研究用原子炉で生産された使用済燃料から高濃縮ウランを回収し、それを小規模モジュール炉設計で再利用可能な HALEU に変換するプロセスの研究と検証
- Curio Solutions, LLC:使用済燃料から UF<sub>6</sub> を生産するプロセスを開発
- Flibe Energy Inc.:使用済燃料の処理における電気化学的手法の利用の研究
- OKLO 社:パイロプロセスプラント設計の最適化のために、熔融塩中の重元素沈着を研究 (OKLO 社について、3.2.3 (2)2)を参照)
- Shine Technologies, LLC:輸送、貯蔵、廃棄と使用済燃料の水力処理を組み合わせたプロセス設計を開発

### (3) バックエンド

2024 年 8 月付の放射性廃棄物安全条約報告書によれば、米国の商用原子力発電所で発生した使用済燃料は、湿式又は乾式の間蔵施設で貯蔵されており、概要は図 3.2-2 のとおりとなっている<sup>90</sup>。

Function	Number of Facilities <sup>49</sup>	Inventory <sup>50</sup>	Units	Annex
<b>Government</b>				
Wet Storage	8	30	MTHM	D-1A
Dry Storage <sup>51</sup>	6	2413	MTHM	D-1A
<b>University Research Facilities</b>				
Wet Storage	20	1231	kg HM	D-1B
Dry Storage	0	0	kg HM	D-1B
<b>Other Research and Nuclear Fuel Cycle Facilities</b>				
Wet Storage	3	36	kg HM	D-1C
Dry Storage	1	44	kg HM	D-1C
<b>Onsite Storage at NPPs<sup>52</sup></b>				
Wet Storage	55	42037	MTHM	D-1D
Dry Storage	72	48926	MTHM	D-1D

図 3.2-2 米国の商用原子力発電所で発生した使用済燃料の間蔵施設の状況

(出典)DOE 「United States of America National Report for the Eighth Review Meeting of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management」(2024 年 8 月)より引用

現在、米国で商用再処理は実施されていない。かつて米国では、アイゼンハワー大統領の Atoms for Peace 政策を受け、当時の原子力委員会(AEC)は米国内における自立した商用原子力発電産業の実現のため、再処理事業の連邦政府から民間企業への移管を進めた。その結果として、ウェストバレー再処理施設のほか 2 カ所、合計 3 カ所の商用再処理施設が建設されたが、実際に再処理が実施されえたのはウェストバレー再処理施設においてのみであった。同施設は PUREX 法を採用し、設計年間処理量は 300t であった<sup>91</sup>。

米国では、使用済燃料を高レベル放射性廃棄物として直接処分する方針であり、法律で連邦政府が処分責任を負うことが規定されている。かつてユッカマウンテンサイトにおける処分計画が進められたが、

この計画は中止されているため処分場サイトは決定していない。2025年5月の大統領令により、今後はDOEが使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理や、核燃料サイクルの開発及び導入をサポートするための政策などを検討することになっている<sup>61</sup>。

### 3.2.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

#### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

米国では、Atoms for Peace 政策により民間原子力事業が奨励されてからは、核兵器開発にも直結する機微な技術である濃縮を除き、民生用原子力発電事業は民間が実施している。連邦政府は、特に高速炉を対象として限定するものではないが、DOE 予算に「核燃料サイクル研究開発」プログラムを設定し、支援を行っている。また、トランプ大統領による大統領令については 3.2.1 (1)に記載したとおりである。

#### 1) ブルーリボン委員会による評価

先述のとおり、オバマ政権時の 2010 年に使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理方策の検討を行うためにブルーリボン委員会が設置された。「最終報告書」(2012年)では、以下の4つのケースについて、安全性、コスト、持続可能性、核不拡散・対テロ抵抗性及び廃棄物管理の観点で比較評価が行われている。

- 軽水炉によるワンスルー(ベースラインシナリオ)
- 高温炉によるワンスルー
- 改良型軽水炉オープンサイクル
- 高速炉を利用するクローズサイクル

評価結果を表 3.2-7 に示しているが、安全性についてはいずれのケースもさらなる改良が可能と評価されている。経済性(コスト)については、高速炉を利用するクローズサイクルは再処理に多額の資本コストが必要であり、また設計・認可・長期的経済性の評価の基盤を提供するため、研究開発が必要とされている。さらに、ベースラインに対する運転コストは、将来のウラン価格、燃料製造コスト、運転信頼性に大きく依存すると評価されている。

表 3.2-7 ブルーリボン委員会の最終報告書における評価結果

評価項目	軽水炉 ワンスルー	高温炉による ワンスルー	改良型軽水炉 オープンサイクル	高速炉を利用する クローズサイクル
概要	軽水炉で照射された被覆ウラン酸化物燃料の漸進的改良	グラファイト系燃料などを使用、600℃を超える温度で運転可能	軽水炉で MOX 燃料を使用し、MOX 燃料は1度照射して最終処分	アクチノイド元素の連続再循環が可能な高速スペクトル液体金属冷却炉
安全性	ベースライン、さらなる改良が可能	さらなる改良が可能	さらなる改良が可能	さらなる改良が可能
コスト	ベースライン	試験炉は順調に運転したが、フォートセントブレイン実証炉は信頼性を欠いた。燃料コストは不確実で高額とな	再処理と MOX 燃料製造が必要なため資本コストが大きい。Pu 含有燃料を使用するため運転コストも増加	再処理に多額の資本コストが必要。設計・認可・長期的経済性の評価の基盤を提供するため、研究開発が必

評価項目	軽水炉 ワンスルー	高温炉による ワンスルー	改良型軽水炉 オープンサイクル	高速炉を利用する クローズサイクル
		る可能性。設計・認可・ 長期的経済性の評価 の基盤を提供するた め、研究開発が必要		要ベースラインに対す る運転コストは、将来 のウラン価格、燃料製 造コスト、運転信頼性 に大きく依存
ウランの使用	ベースライン	ベースラインと同様だ が設計により変化	ウラン必要量を最大 19%削減	ウラン必要量を最大 95%削減
気候変動 への影響	ベースライン	化石エネルギー多用 産業での利用と、非炭 素系輸送用燃料向け 水素製造により、CO <sub>2</sub> 大幅削減が可能	ベースラインとほぼ同 等	ベースラインとほぼ同 等
エネルギー セキュリティ	ベースライン	石油輸入を削減して 大きなベネフィットをも たらす可能性	ベースラインとほぼ同 等	長期的な国内ウラン資 源依存で中程度のベ ネフィットをもたらす可 能性
不拡散	ベースライン	リファレンス設計では 8~20%の濃縮が必要。 軽水炉と比較して 燃料の再処理が困難	Pu や他のアクチノイド 類の相当量の常態化 された在庫による拡散 リスクの上昇	Pu や他のアクチノイド 類の相当量の常態化 された在庫による拡散 リスクの上昇
テロへの抵抗性	ベースライン	ベースラインとほぼ同 等	ウラン/Np/Pu 及び 5~10%濃縮ウランの 生産・在庫管理、 並びにこれらを含む 燃料の取り扱いを伴 う。分離物質の発生、 追加施設及び輸送に 伴うセキュリティリス クの上昇	ウラン/Np/Pu 及び これらを含む燃料の 製造・在庫管理を伴 う。分離物質及び追加 施設・輸送に伴うセ キュリティリスクの上 昇
処分時の有害度 と廃棄物の寿命	ベースライン	処分場:ベースライン と同等 燃料サイクル:採掘・ 精錬での公衆と職業リ スクと同等	処分場:廃棄物中の TRU 量が顕著に減 少。HLW の最大 90%が定型的な廃棄 物形態 燃料サイクル:採掘・ 製錬の削減により、 燃料サイクルにおけ る公衆・作業員リス クが15~20%低減。 再処理による排出量 は増加するものの、 前工程のリスク低減 により総合的なリス クは減少	処分場:FP は定型的 な廃棄物形態。サイ クルが長期間実施さ れば TRU 由来の線量 が低減する可能性 燃料サイクル:採掘・ 製錬削減による燃料 サイクル公衆・職業被 ばくリスク約 85%低 減、再処理由来排出 量増加
廃棄物量	ベースライン	使用済燃料の処分量 が最大 10 倍増。精錬 鉍さい以外の LLW は ベースラインとほぼ同 量	使用済燃料と HLW はベースラインより少 ないが、二次廃棄物は 多い。 浅地中処分廃棄物(特 に精錬鉍さいと劣化ウ ラン)は最大 20%減 量。精錬鉍さいと劣 化ウラン以外はベー スラインとほぼ同量	HLW はベースライン より少ないが、二次 廃棄物は多く、処分量 は最大 40%増加 浅地中処分廃棄物(主 に精錬鉍さいと劣化ウ ラン)は最大 95%減 量 フロントエンドで処 理量が大幅に減るた め精錬鉍さい以外の LLW は 40%減量

評価項目	軽水炉 ワンスルー	高温炉による ワンスルー	改良型軽水炉 オープンサイクル	高速炉を利用する クローズサイクル
処分場の容積	ベースライン	炉の効率が高いため 最大 25%削減	ベースラインと同様だ が、長期的な崩壊熱発 生量は若干減少	TRU が回収され長期 間再処理が実施され れば最大 75%処分 場容積が減少

(出典)ブルーリボン委員会「最終報告書」(2012 年)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツにて作成

## 2) DOE による評価

2017 年に DOE は、当時の「核技術研究開発(NTRD)プログラム」で活用するために、報告書「先進的燃料サイクルのコストの基礎－2017 年版」を公表した<sup>92</sup>。本報告書では、以下の技術を対象にコストの検討などが行われている。

- 軽水炉
- 高速炉
- ガス冷却炉
- 小型－中型炉
- 加圧型重水炉
- 加速器駆動システム
- 液体燃料溶融塩冷却炉
- 核融合と核分裂のハイブリッドシステム

本報告書では、高速炉について工学的観点からは、液体ナトリウムは水と比較して体積熱容量が低いため配管サイズが大きくなると予想されることや、化学的に反応性の高い金属である液体ナトリウムの使用に伴う安全性と材料に関する追加的な考慮事項があることを指摘している。しかしながら、高速炉の炉心サイズは、核分裂性物質の含有量が多いため、軽水炉に比べて重金属含有量が少ないことを意味しており、より小さくすることができる可能性があるとの研究結果に言及している。コストについて、一部の電力会社やその他の利害関係者の間では、複数基目として建設された高速炉(NOAK)の資本コストは、NOAK の軽水炉の 1.0～1.6 倍になるだろうという見方があるとしつつ、こうした主張を裏付ける詳細な研究はないとしている<sup>92</sup>。

本報告書では、米国以外の国における高速炉の建設コストの実績や見通しが表 3.2-8 のとおり整理されている<sup>92</sup>。

表 3.2-8 米国以外の国における高速炉の建設コストの実績や見通し

炉の名称と出力	合計資本コスト	単位当たり資本コスト
もんじゅ(日本)、280MWe、建設完了	60 億ドル(2006 年のドルでの価額)	21,400 ドル/kWe(2006 年のドルでの価額)
スーパーフェニックス(フランス)、1,240MWe、建設完了	90 億ユーロ=110 億ドル	8,870 ドル/kWe(2006 年のドルでの価額)
日本で提案されている大型のナトリウム高速炉、1,500MWe	23 億ドル(総建設コスト)	1,600 ドル/kWe(総建設コストで算出)
BN-800(ロシア)、建設中で 2007 年時点の推計	20 億ドル(2006 年のドルでの価額)	2,500 ドル/kWe
BN-800(ロシア)、2010 年から 2014 年への完工時期の遅れや調達における問題を踏まえた 2008 年時点の推計	20 億ドル(2006 年のドルでの価額)	6,000 ドル以上/kWe(2008 年のドルでの価額)
将来の原型炉(フランス)、800MWe	15 億ユーロ(2007 年のドルの価額で 20 億ドル)	2,500 ドル/kWe
カルパッカム FBR(インド)、建設中	7 億 6,700 万ドル	最高で 1,500 ドル/kWe

(出典)DOE「Advanced Fuel Cycle Cost Basis – 2017 Edition」(2017 年 9 月 29 日)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツにて作成

### 3.2.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

##### 1) 実験用高速炉-I(EBR-I)

###### a. 設置経緯・目的

EBR-I は、液体金属冷却高速炉であり、国家原子炉試験場(NRTS)に建設された最初の原子炉であった。EBR-I は、アルゴンヌ国立研究所によって設計・建設・運転された。同炉は、軍事用ではなく平和利用のために開発されたものであり、設置の主要目的は高速炉概念の開発と試験であった<sup>93</sup>。

###### b. 諸元

EBR-Iで最初に使用された燃料はウラン金属ピンであった。同炉の電気出力は100kWであった<sup>93</sup>。

###### c. 運転実績

EBR-Iは1951年に運転を開始し、1964年に廃止されている<sup>93</sup>。

###### d. 事故情報

1955年にEBR-Iで燃料溶融事故が発生した。事故時、運転員は燃料フィードバックを試験する実験において、意図的に反応度を急激に上昇させた。危険なレベルに達する前に手動で反応度上昇を停止させる計画であったが、最終段階での指示が誤解され、緊急停止が間に合わず燃料の一部が溶融した。ナトリウム蒸気に押し出され燃料は炉心中心部から離脱(反応度低下につながる重要な現象)し、エネルギー放出はほとんどなく原子炉は停止した<sup>94</sup>。

## 2) 実験用高速炉-II(EBR-II)

### a. 設置経緯・目的

EBR-II は、液体金属冷却炉であり、アイダホ州にある当時のアイダホ国立エンジニアリング研究所のアルゴンヌ西サイトに設置されていた<sup>95</sup>。

### b. 諸元

EBR-II の熱出力は 62.5MW、電気出力は 20MW であった。一次冷却系、二次冷却系ともに冷却剤として熔融ナトリウムを使用していた。1989 年の情報によれば、当時使用されていた燃料は当初 5% の模擬核分裂生成物を含有するウラン合金であり、ウラン 235 を 66% に濃縮したものであった<sup>96</sup>。

### c. 運転実績

EBR-II は、1964 年 8 月に運転を開始し、30 年間運転したのち、1994 年に恒久停止されている<sup>96,97</sup>。

### d. 事故情報

EBR-II において発生した事故に関する情報は確認できていない。

## 3) フェルミ-1 炉

### a. 設置経緯・目的

1963 年 5 月 10 日に、AEC はフェルミ-1 炉の運転許可を、運転事業者である発電炉開発社 (PRDC) に発給した。フェルミ-1 炉は、ナトリウム冷却高速炉であり、大気圧で運転されるものであった。設計上の最大出力は 430MWt であったが、第 1 炉心 (炉心 A) の最大出力は 200MWt であった。一次冷却系にナトリウムが充てんされたのは 1960 年 12 月であり、1963 年 8 月に初臨界を達成した<sup>98</sup>。

## b. 諸元

IAEA PRIS によれば、フェルミ-1 炉の諸元などの情報は以下のとおりである<sup>99</sup>。

表 3.2-9 フェルミ-1 炉の諸元などの情報

炉型	FBR
モデル	液体金属 FBR
グロス電気出力	65MWe
熱出力	200MWt
建設開始日	1956 年 8 月 8 日
初臨界日	1963 年 8 月 23 日
初回グリッド併入日	1966 年 8 月 5 日
商業運転開始日	1966 年 8 月 7 日
恒久停止日	1972 年 11 月 29 日
所有者	Power Reactor Development Company(公営電気事業者 34 社のコンソーシアム)
運転者	デトロイト・エジソン社

出所)IAEA PRIS(2026 年 2 月 19 日閲覧)より作成

## c. 運転実績

IAEA PRIS によれば、フェルミ-1 炉は 1971 年に 19.4GWh の発電を行った実績があるのみである。

## d. 事故情報

フェルミ-1 炉では、1966 年 10 月、出力上昇試験中に、フローバップルに取り付けられていたジルコニウム板がはがれて燃料サブアセンブリー流路が閉塞され、燃料溶融事故を起こした<sup>100</sup>。

## 4) 高速フラックス試験施設(FFTF)

### a. 設置経緯・目的

FFTF は DOE の所有施設であり、同省のワシントン州リッチランド近郊のハンフォードサイトで運転された。DOE は FFTF を、先進的な燃料、材料、機器や炉の安全設計を試験する液体金属高速増殖炉プログラムのために、増殖を行わない試験炉として運転した。また、DOE は FFTF において、国際共同研究や様々な医療・産業用放射性同位体を製造するための照射試験などの付随的な実験活動も実施した<sup>101</sup>。

### b. 諸元

FFTF は液体金属(ナトリウム)によって冷却する試験炉であり、その熱出力は 400MW であった<sup>101</sup>。

### c. 運転実績

FFTF は、1982 年から 1992 年にかけて運転された<sup>101</sup>。

#### d. 事故情報

FFTF の事故情報は、確認できていない。

### 5) 統合高速炉(IFR)

#### a. 設置経緯・目的

IFR は、アルゴンヌ国立研究所が開発した、革新的な原子炉設計概念である。IFR プロジェクトは、原子炉、燃料サイクル、及び廃棄物管理技術のすべてを含んだ技術開発プログラムである。IFR の使用済燃料は、パイロプロセッシングによって再処理され、発電、再処理及び廃棄体の製造までがすべて同一の施設で行われることとされていた<sup>102</sup>。

#### b. 諸元

IFR は、金属アロイの燃料を装荷し、液体ナトリウムで冷却する原子炉である。

#### c. 運転実績

IFR は、1984 年から 1994 年にかけて運転された。1986 年 4 月 3 日には、2 件の試験によって IFR の安全性が実証された。この試験では、冷却材フローの喪失を含む事故をシミュレーションするものであった。通常の間鎖機構が機能不全となっても、システムのいかなる場所においても過熱を生じさせることなく、IFR は安全に停止された<sup>102</sup>。

#### d. 事故情報

IFR の事故情報は、確認できていない。

### 6) 多目的試験炉(VTR)

#### a. 設置経緯・目的

VTR は、2018 年 9 月に成立した「2017 年原子力革新ケイパビリティ法」(NEICA)を受けて、DOE により建設に向けた取組が進められたものである。NEICA は DOE に対して、「多目的な原子炉ベースの高速中性子源に関するミッションの必要性」について決定するよう求めていた<sup>103</sup>。DOE は、2019 年 2 月に VTR プロジェクトを開始した。VTR プロジェクトは、先進核燃料、材料、計測機器、センサーの加速試験のための最先端能力を提供するものである。DOE は、プロジェクトによって重要な原子力インフラを近代化し、米国内で重要な先進技術及び材料試験を安全かつ効率的かつ迅速に実施することが可能になるとしている。VTR プロジェクトは、DOE のアイダホ国立研究所(INL)が主導する<sup>104</sup>。

環境影響評価書において DOE が提示していた VTR プロジェクトの具体的な構想は、以下のとおりである<sup>105</sup>。

- INL サイト及びオークリッジ国立研究所(ORNL)での VTR の建設と運転。これには VTR での実験の運用・実施、ホットセル施設での試験試料の照射後の検査、使用済燃料のコンディショニングと貯蔵(中間貯蔵又は処分のための輸送まで)が含まれる。
- INL サイト及び/又はサバンナリバーサイト(SRS)での VTR 用燃料の製造、燃料の原料の準備、燃料ピンの製造、燃料ピンの原子炉燃料への組み立てなど

こうして、NEICA の規定を受けて VTR の建設に向けた取組が実施されたが、2022 年の歳出法で連邦議会は VTR プロジェクトに対する予算配賦を止め<sup>106</sup>、2023 年 3 月に取りまとめられた 2024 会計年度の予算要求以降、DOE は同プロジェクトに対する予算を要求していない<sup>107</sup>。

## b. 諸元

DOE は、熱出力 300MW 程度の、冷却材としてナトリウムを使用し、高速中性子スペクトルの試験炉を建設する計画であった<sup>103</sup>。

## c. 運転実績

VTR は完工しておらず、運転実績はない。

## d. 事故情報

VTR の事故情報は、確認できていない。

## (2) 現在開発中の高速炉

### 1) Terra Power 社

TerraPower 社は、GE ベルノバ日立ニュークリアエナジー社(GVH社)との共同開発で「Natrium」と命名されたナトリウム高速炉と熔融塩エネルギー貯蔵を組み合わせたシステムの開発を進めている。このシステムの開発プロジェクトは、DOE の ARDP による支援を受けている。ARDP で TerraPower 社と DOE は開発コストを折半して負担しており、DOE の支援の上限額は 20 億ドルとなっている。ワイオミング州の閉鎖された石炭火力発電所跡地で初号機の建設が進められており、2024 年 3 月に NRC に対して建設許可が申請され、同年 6 月には非原子力部分を建設するための起工式が開催されている<sup>108,109</sup>。

「Natrium」の電気出力は 345MW であるが、貯蔵技術を組み合わせることで出力を 500MW まで上昇させることが可能である<sup>109</sup>。下表は、OECD/NEA の「SMR ダッシュボード」で整理されている「Natrium」の主要諸元である<sup>110</sup>。

表 3.2-10 「Natrium」の主要諸元

熱出力(MWt)	840
出口温度(°C)	500
中性子スペクトラム	高速中性子
燃料の種類	金属 U-Zr アロイ
燃料	HALEU

(出典)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Third Edition”(2025年)より引用

「Natrium」で使用する燃料について、GE グループで燃料加工を行っている GNF 社と TerraPower 社は、GNF Wilmington 燃料加工施設の既設施設サイトに燃料加工施設を建設する契約を締結した。また TerraPower 社は 2023 年 7 月に、セントラス社と 2030 年の「Natrium」実証プラントの運転開始に間に合うように、HALEU の供給において協力する覚書を締結している<sup>110</sup>。

## 2) OKLO 社

オーロラの開発を進めている OKLO 社は、OpenAI 社の最高経営責任者であるサム・アルトマン氏等が設立した企業であり、同氏は現在 OKLO 社の会長を務めている。オーロラは、金属燃料を使用し、液体金属で冷却する高速炉であり、燃料としては、未使用燃料又はリサイクル燃料を用いる。下表は、「SMR ダッシュボード」で整理されているオーロラの主要諸元である<sup>110</sup>。

表 3.2-11 オーロラの主要諸元

熱出力(MWt)	40
出口温度(°C)	500
中性子スペクトラム	高速中性子
燃料の種類	金属 U-Zr アロイ
燃料	HALEU

(出典)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Third Edition”(2025年)より引用

オーロラで使用する燃料について、OKLO 社は 2019 年に、INL と協力して金属燃料のプロトタイプを製造し実証を行った。2020 年に、INL は競争的プロセスを経て OKLO 社を、HALEU の受領先として選定した。この HALEU は、アルゴンヌ国立研究所のナトリウム冷却高速炉である実験増殖炉-II (EBR-II) の使用済燃料を処理して製造されるものである。2021 年に OKLO 社は、HALEU 製造施設の実用化に向けた協力に関してセントラス社と拘束力のない基本合意書を締結した。また 2023 年に両社は、セントラス社が製造した HALEU を OKLO 社が購入する可能性を検討することで合意している<sup>110</sup>。さらに OKLO 社は、2025 年 9 月に、テネシー州で燃料リサイクル施設を設計・建設・運営する計画を発表した。同社は最大で 16 億 8,000 万ドルを投資し、使用済燃料をリサイクルして同社のオーロラ炉などの高速炉の燃料にする施設を建設する計画である<sup>111</sup>。

### 3) GE ベルノバ日立ニュークリアエナジー社(GVH 社)

GVH 社は、プール型で、液体金属燃料を使用する小型モジュールナトリウム冷却高速炉 PRISM を開発している。熱出力は 840MW、電気出力は 311MW となっている。PRISM は、原子炉温度を設計限界よりも十分に低く保つために、金属燃料を常圧で液体金属(ナトリウム)で満たした槽に浸して使用する。原子炉モジュールから、自然対流で熱が除去される。PRISM の概念は、1)で整理した GVH 社と TerraPower 社が共同開発を進めている「Natrium」、及びカナダの ARC-100 で用いられている<sup>112</sup>。

表 3.2-12 PRISM の主要諸元

熱出力(MWt)	840
中性子スペクトラム	高速中性子
燃料の種類	金属燃料
燃料	HALEU

(出典)GVH 社「Sodium-cooled fast reactors (SFR)」より作成

### (3) 高速炉用燃料

「Natrium」及びオーロラで使用される燃料の調達については、上記の TerraPower 社及び OKLO 社の最終段落に記載している。

### (4) 使用済燃料の処理

#### 1) フェルミ-1 炉

フェルミ-1 炉の使用済燃料は、すでに発電所サイトにはなく、アイダホ国立研究所(INL)で貯蔵されている。INL で貯蔵されているナトリウム炉の使用済燃料は、フェルミ-1 炉、INL の試験増殖炉(Experimental Breeder Reactor-II)及びワシントン州ハンフォードサイトにある高速フレックス試験施設で発生したものである。また、フェルミ-1 炉と試験増殖炉で発生した燃料は、発電に用いる燃料集合体及びプルトニウムを発生させるためのブランケットである。1996 年から 2017 年にかけて、DOE はナトリウム炉の使用済燃料 4.5MTHM を化学的に処理しており、こうした処理はその後も続けられている。化学的処理プロセスでは溶融塩により燃料を溶解しており、プロセスで 2 種類の高レベル放射性廃棄物が発生する。1 種類は金属とされ、もう 1 種類はセラミックの廃棄体とされるが、いずれも地層処分される予定である<sup>113</sup>。

#### 2) TerraPower 社

TerraPower 社は DOE の ONWARDS プログラムを活用して、高温塩化物塩の揮発性を利用した使用済燃料からのウラン回収を行うプロジェクトを実施している。本プロジェクトでは、塩素ベースの揮発性(CBV)パラメータ調整により高いウラン回収率を達成し、廃棄物量を減少させることが目標とされている。検証は代用物から開始し、最終的に実際の酸化使用済燃料での実証を行う。CBV プロセス

は金属／酸化／塩ベースの使用済燃料に適用可能であることを実証する。これまでの研究で照射済酸化燃料から 99%以上のウラン回収が実証されており、処分場への負荷を 1/10～1/20 に減少できる可能性があるとのことである<sup>114</sup>。なお、現在 ONWARDS プログラムのウェブサイトで、本プロジェクトのステータスは「キャンセル済み」となっており、TerraPower 社における使用済燃料の処理計画について詳細は確認できていない。

### 3) OKLO 社

OKLO 社も TerraPower 社と同様に、ONWARDS プログラムに参画している。同社は、数年内に、最先端の核燃料リサイクル施設の商業化を目指している。この施設は同社の金属燃料高速炉向け燃料を生産し、先進炉燃料サイクルを完結させることで、商業規模の燃料リサイクル施設による先進核分裂技術の経済的パラダイムを変革する。OKLO 社のプロジェクトでは、電気精製施設におけるウラン(U)及び U/超ウラン元素(TRU)燃料材料の製造に現在必要とされる 4 つの工程の最適化が行われる。

- U 及び U/TRU 合金の回収のための電気精製
- 塩/金属製品の分離
- ランタノイド廃棄物の濃縮
- 分別結晶化による活性金属廃棄物の除去

遠隔操作を可能にする次世代プロセスにより操業が最適化される。技術開発と並行して、OKLO 社は施設の認可基準確立と最終廃棄物処分ソリューションの開発にも注力する。本技術により、再処理なしのベースラインと比較して廃棄物を 1 桁以上削減することが期待されている<sup>115</sup>。なお、現在 ONWARDS プログラムのウェブサイトで、本プロジェクトのステータスは「実施中」(Active)となっている。

#### 3.2.4 高速炉導入に関する社会的な活動

##### (1) 情報発信及び理解促進活動

上述のとおり、連邦政府はブルーリボン委員会を設置して高速炉を含めて燃料サイクル技術の開発に関する検討を行っており、その結果や、設置された小委員会の報告書などは、ウェブサイトを通じて公表されている。

##### (2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動

TerraPower 社は、ワイオミング州のケメラーにおいて「Natrium」を建設する計画である。なお、これはケメラーのかつての石炭火力発電所サイトに「Natrium」を建設するものである。同社は、建設プロジェクトの技術や想定されている開発プロセス、及び安全性といった点について、地元のリーダーや住民に対してプレゼンテーションを実施するイベントを複数回開催している。また同社は、パブリックミーティングやラジオ、各種イベントの機会を通じて、プロジェクトの最新情報を提供している<sup>116</sup>。

同社は 2025 年 8 月に、ケメラーで労働力開発のための「ケメラー・トレーニングセンター」(KTC)の建設を開始したことを公表した。KTC は、「Natrium」の運転のためのトレーニングをすべて実施する

施設であり、運転員認定プログラムをサポートするため、先進原子力産業の将来の人材育成に不可欠な施設となる。KTC には、シミュレーター、電気・計装制御実験室、機械・科学実験室、トレーニング教室、講堂などが設置される<sup>117</sup>。

### **(3) 高速炉の事故と社会的影響**

上述のとおり、フェルミ-1 炉では 1966 年 10 月に燃料溶融事故が発生したが、社会的影響などについて、事業者や規制機関などが公表した一次情報は確認できていない。

## 参考文献

- <sup>57</sup> DOE “Nuclear 101: What is a Fast Reactor?”(2026 年 3 月 18 日閲覧)  
<https://www.energy.gov/ne/articles/nuclear-101-what-fast-reactor>
- <sup>58</sup> 会計検査院 “The Liquid Metal Fast Breeder Reactor – Options For Deciding Future Pace And Direction”(1982 年 7 月 12 日)  
<https://www.gao.gov/assets/emd-82-79.pdf>
- <sup>59</sup> 会計検査院 “U.S. Electricity Needs and DOE’s Civilian Reactor Development Program”(1990 年 5 月)  
<https://www.gao.gov/assets/rced-90-151.pdf>
- <sup>60</sup> ブルーリボン委員会「最終報告書」(2012 年)  
[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc\\_finalreport\\_jan2012.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf)
- <sup>61</sup> 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター「米国で高レベル放射性廃棄物管理に関連する大統領令へ署名」(2025 年 6 月 2 日)  
<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=35171>
- <sup>62</sup> DOE “Department of Energy Seeks Hosts for Nuclear Lifecycle Innovation Campuses”(2026 年 1 月 28 日)  
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-seeks-hosts-nuclear-lifecycle-innovation-campuses>
- <sup>63</sup> DOE “Request for Information on Establishment of Nuclear Lifecycle Innovation Campuses”(2026 年 1 月 28 日)  
<https://sam.gov/workspace/contract/opp/4e30976204964df3b556ff7149dae444/view>
- <sup>64</sup> WNA “Conversion and Deconversion”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/conversion-and-deconversion>
- <sup>65</sup> WNA “US Nuclear Fuel Cycle”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>66</sup> IAEA “Nuclear fuel Cycle Facilities Database”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facilities>
- <sup>67</sup> WNA “Solstice plans expansion of US conversion facility”(2026 年 2 月 11 日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/solstice-plans-expansion-of-us-conversion-facility>
- <sup>68</sup> WNA “Uranium Enrichment”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment>
- <sup>69</sup> Urenco 社 “UUSA”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://www.urencocom/global-operations/uusa>
- <sup>70</sup> Urenco USA 社 “Urenco USA Advances U.S. Nuclear Fuel Supply with New Capability and Capacity”(2025 年 12 月 17 日)  
<https://urencousa.com/news/sustainability/2025/urenco-usa-advances-u-s-nuclear-fuel-supply-with-new-capability-and-capacity>
- <sup>71</sup> WNA “US enrichment funding recipients flesh out plans”(2026 年 1 月 13 日)  
<https://world-nuclear-news.org/articles/us-enrichment-funding-reactions>
- <sup>72</sup> BWXT 社 “TRISO FUEL”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://www.bwxt.com/sectors/nuclear-fuel/triso/>
- <sup>73</sup> NRC “BWXT”(2026 年 2 月 19 日閲覧)

- <https://www.nrc.gov/info-finder/fc/bwxt-nuclear-lc>
- 74 フラマトム社 “Richland, Washington”(2026年2月19日閲覧)  
<https://www.framatome.com/en/implantations/richland/>
- 75 GVH社 “Global Nuclear Fuel introduces next generation fuel product”(2025年10月6日)  
<https://www.gevernova.com/news/press-releases/global-nuclear-fuel-introduces-next-generation-fuel-product>
- 76 JETRO「トランプ米大統領、重要鉱物の輸入に対する232条調査開始を商務長官に指示」(2025年4月16日)  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/04/01ac6a2b3dd70117.html>
- 77 JETRO「トランプ米大統領、232条に基づき重要鉱物の協定交渉を指示、将来的な関税賦課の可能性残る」(2026年1月16日)  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2026/01/3d1e434532dc1fd0.html>
- 78 ホワイトハウス “ADJUSTING IMPORTS OF PROCESSED CRITICAL MINERALS AND THEIR DERIVATIVE PRODUCTS INTO THE UNITED STATES”(2026年1月14日)  
<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2026/01/adjusting-imports-of-processed-critical-minerals-and-their-derivative-products-into-the-united-states/>
- 79 NRC “Backgrounder on Uranium Import Ban”(2026年2月5日閲覧)  
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/uranium-import-ban>
- 80 DOE “Russian Uranium Ban Waiver Guidance”(2026年2月5日閲覧)  
<https://www.energy.gov/ne/russian-uranium-ban-waiver-guidance>
- 81 EIA “U.S. nuclear generators import nearly all the uranium concentrate they use”(2025年1月30日)  
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=64444>
- 82 セントラス・エナジー社 “Investor Presentation”(2025年11月)  
<https://investors.centrusenergy.com/static-files/058b474a-c135-4600-a84b-e9908864a7af>
- 83 DOE “HALEU Enrichment Services”(2026年2月5日閲覧)  
<https://www.energy.gov/ne/haleu-enrichment-services>
- 84 DOE “U.S. Department of Energy Awards \$2.7 Billion to Restore American Uranium Enrichment”(2026年1月5日)  
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-awards-27-billion-restore-american-uranium-enrichment>
- 85 WNA “Oak Ridge at heart of US enrichment supply chain developments”(2026年1月26日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/oak-ridge-at-heart-of-us-enrichment-supply-chain-developments>
- 86 WNA “Kairos, DOE enhance collaboration on advanced reactor design”(2026年2月23日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/kairos-doe-enhance-collaboration-on-advanced-reactor-design>
- 87 ARPA-E “ONWARDS Optimizing Nuclear Waste and Advanced Reactor Disposal Systems”(2026年2月19日閲覧)  
<https://arpa-e.energy.gov/programs-and-initiatives/view-all-programs/onwards>
- 88 ARPA-E “CURIE Converting UNF Radioisotopes Into Energy”(2026年2月10日)

- 閲覧)  
<https://arpa-e.energy.gov/programs-and-initiatives/view-all-programs/curie>
- <sup>89</sup> DOE “DOE’s Office of Nuclear Energy Awards \$19 Million to Advance Recycling of Used Nuclear Fuel”(2026年2月5日)  
<https://www.energy.gov/ne/articles/does-office-nuclear-energy-awards-19-million-advance-recycling-used-nuclear-fuel>
- <sup>90</sup> DOE “United States of America National Report for the Eighth Review Meeting of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management”(2024年8月)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML2434/ML24347A174.pdf>
- <sup>91</sup> Congressional Budget Office “Nuclear Reprocessing and Proliferation: Alternative Approaches and their Implications for the Federal Budget”(1977年5月)  
<https://www.cbo.gov/sites/default/files/95th-congress-1977-1978/reports/77doc586.pdf>
- <sup>92</sup> DOE “Advanced Fuel Cycle Cost Basis – 2017 Edition”(2017年9月29日)  
[https://sai.inl.gov/content/uploads/29/2024/11/2017\\_advanced\\_fuel\\_cycle\\_cost\\_basis.pdf](https://sai.inl.gov/content/uploads/29/2024/11/2017_advanced_fuel_cycle_cost_basis.pdf)
- <sup>93</sup> アルゴンヌ国立研究所 “Reactors Designed by Argonne National Laboratory Fast Reactor Technology”(2026年2月19日閲覧)  
<https://www.ne.anl.gov/About/reactors/frt.shtml>
- <sup>94</sup> Charles E. Till, Yonn Il Chang “Plentiful Energy The Story of the Integral FASE Reactor”(2011年)  
<https://www.thesciencecouncil.com/pdfs/PlentifulEnergy.pdf>
- <sup>95</sup> L. J. Christensen “Experimental Breeder Reactor II (EBR-II), Instrumentation for Core Surveillance”(1989年)  
[https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1192142/m2/1/high\\_res\\_d/7013773.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1192142/m2/1/high_res_d/7013773.pdf)
- <sup>96</sup> アルゴンヌ国立研究所 “Experimental Breeder Reactor-II”(2026年2月19日閲覧)  
<https://www.anl.gov/eof/experimental-breeder-reactorii>
- <sup>97</sup> Leonard J. Koch “EBR-II Experimental Breeder Reactor-II”  
<https://publications.anl.gov/anlpubs/2004/03/49168.pdf>
- <sup>98</sup> DTE エナジー社 “Proposed License Amendment- License Termination Plan”(2009年3月25日)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML0909/ML090970803.pdf>
- <sup>99</sup> IAEA “Power Reactor Information System”(2026年1月21日閲覧)  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=602>
- <sup>100</sup> 池本一郎ほか「エンリコ・フェルミ高速炉における200MWt運転経験」(1972年)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesj1959/14/3/14\\_3\\_113/pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesj1959/14/3/14_3_113/pdf/-char/ja)
- <sup>101</sup> 連邦官報 “DEPARTMENT OF ENERGY Notice of Intent To Prepare an Environmental Impact Statement for the Decommissioning of the Fast Flux Test Facility at the Hanford Site, Richland, WA”(2004年8月13日)  
<https://www.energy.gov/nepa/articles/eis-0364-notice-intent-prepare-environmental-impact-statement>
- <sup>102</sup> アルゴンヌ国立研究所 “Reactors Designed by Argonne National Laboratory Integral Fast Reactor”(2026年3月18日閲覧)  
<https://www.ne.anl.gov/About/reactors/integral-fast-reactor.shtml>
- <sup>103</sup> DOE “Final Versatile Test Reactor Environmental Impact Statement Summary”(2022年5月)

- [https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-05/EIS-0542\\_Summary\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-05/EIS-0542_Summary_0.pdf)
- <sup>104</sup> DOE “Secretary Perry Launches Versatile Test Reactor Project to Modernize Nuclear Research and Development Infrastructure”(2019年2月28日)  
<https://www.energy.gov/articles/secretary-perry-launches-versatile-test-reactor-project-modernize-nuclear-research-and>
- <sup>105</sup> DOE “Versatile Test Reactor Record of Decision and Final Environmental Impact Statement”(2026年3月18日閲覧)  
<https://www.energy.gov/ne/versatile-test-reactor-record-decision-and-final-environmental-impact-statement>
- <sup>106</sup> 連邦議会 “DIVISION D- ENERGY AND WATER DEVELOPMENT AND RELATED AGENCIES APPROPRIATIONS ACT, 2022”  
<https://docs.house.gov/billsthisweek/20220307/BILLS-117RCP35-JES-DIVISION-D.pdf>
- <sup>107</sup> DOE “Department of Energy FY 2024 Congressional Budget Request”(2023年3月)  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-06/doe-fy-2024-budget-vol-4-v2.pdf>
- <sup>108</sup> テラパワー社 “The Plant”(2026年1月21日閲覧)  
<https://www.terrapower.com/natrium/>
- <sup>109</sup> テラパワー社 “TerraPower Begins Construction on Advanced Nuclear Project in Wyoming”(2024年6月10日)  
<https://www.terrapower.com/terrapower-begins-construction-in-wyoming>
- <sup>110</sup> OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Third Edition”(2025年)  
[https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_108326/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-third-edition?details=true](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_108326/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-third-edition?details=true)
- <sup>111</sup> OKLO 社 “Oklo Announces Fuel Recycling Facility as First Phase of up to \$1.68 Billion Advanced Fuel Center in Tennessee”(2025年9月4日)  
<https://oklo.com/newsroom/news-details/2025/Oklo-Announces-Fuel-Recycling-Facility-as-First-Phase-of-up-to-1-68-Billion-Advanced-Fuel-Center-in-Tennessee/default.aspx>
- <sup>112</sup> GVH 社 “Sodium-cooled fast reactors (SFR)”(2026年2月19日閲覧)  
<https://www.governova.com/nuclear/carbon-free-power/sodium-fast-reactors>
- <sup>113</sup> NWTRB “DEPARTMENT OF ENERGY-MANAGED SPENT NUCLEAR FUEL AT THE IDAHO NATIONAL LABORATORY”(2020年6月)  
<https://www.nwtrb.gov/docs/default-source/facts-sheets/doe-snf-fact-sheet--idaho-rev-1.pdf?sfvrsn=6>
- <sup>114</sup> DOE ARPA-E “TerraPower Chloride-Based Volatility for Waste Reduction and/or Reuse of Metallic-, Oxide- and Salt-Based Reactor Fuels”(2026年1月21日閲覧)  
<https://arpa-e.energy.gov/programs-and-initiatives/search-all-projects/chloride-based-volatility-waste-reduction-and-or-reuse-metallic-oxide-and-salt-based-reactor-fuels>
- <sup>115</sup> DOE ARPA-E “Oklo Enabling the Near Term Commercialization of an Electrorefining Facility to Close the Metal Fuel Cycle”(2026年1月21日閲覧)  
<https://arpa-e.energy.gov/programs-and-initiatives/search-all-projects/enabling-near-term-commercialization-electrorefining-facility-close-metal-fuel-cycle>
- <sup>116</sup> Clean Air Task Force “A Critical Mass: Natrium® Advanced Nuclear Reactor”

(2026年3月19日閲覧)

<https://cdn.catf.us/wp-content/uploads/2025/08/29102559/Power-of-Engagement-Natrium-Nuclear.pdf>

<sup>117</sup> TerraPower 社”TerraPower Begins Construction on State-Of-The-Art Kemmerer Training Center”(2025年8月18日)

<https://www.terrapower.com/terrapower-begins-construction-on-state-of-the-art-kemmerer-training-center>

## 3.3 カナダ

### 3.3.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクル政策の変遷

カナダには天然ウラン資源が豊富に賦存することから、カナダの原子力産業界はこれまで、使用済燃料を再処理する必要はないと考えてきた。しかしながら、カナダ原子力公社(AECL)は 1940 年代から 1960 年代にかけて、チョークリバー研究所において実験的に再処理を実施した。チョークリバー研究所では、再処理で発生した液体廃棄物が 3 本のタンクに貯蔵されている。最後に放射性溶液がタンクに移されたのは 1968 年のことである。1958 年から 1960 年にかけて、AECL は高レベル放射性溶液をガラス固化する実験を行った。このプログラムにより、重量約 2kg のガラスブロックが 50 体発生しており、現在はチョークリバー研究所のサイト内で貯蔵されている<sup>118</sup>。

なお、第 6 回放射性廃棄物等安全条約国別報告書のピアレビューで提示された質問に対する回答でカナダは、再処理を実施しないこと理由として以下の点を挙げている<sup>119</sup>。

- 現在の再処理技術は、特に濃縮されていない CANDU 炉の燃料について極めて費用がかかり、また放射性廃棄物管理にいかなる実質的な便益ももたらさない(すなわち、再処理を実施することで地層処分の必要性がなくなるわけではない)。
- 軽水炉の使用済燃料と比較して CANDU 炉の使用済燃料では核分裂性の成分が極めて小さいことから、CANDU 炉の使用済燃料に比べて軽水炉の使用済燃料の再処理の経済的インセンティブははるかに大きい。
- CANDU 炉の使用済燃料の再処理により、極めて酸性の強い液体廃棄物を含め、大量の化学的に複雑な廃棄物ストリームが発生する。

このように、カナダで現在運転中の CANDU 炉の使用済燃料は、再処理せず直接処分することになっている。

#### (2) フロントエンド

##### 1) ウラン採掘

2023 年 1 月時点でカナダには、確認資源<sup>a</sup>約 667,400 トン U と推定資源<sup>b</sup>約 184,800 トン U を合わせた既知資源量<sup>c</sup>として、約 852,200 トン U のウランが存在する。また 2023 年のウラン生産量は 10,986 トン U で、カザフスタンに次いで世界第 2 位の生産量であった<sup>120</sup>。

カナダでは、Cameco 社が国内でウラン採掘を行っている。また、フランスのオラノ社のカナダ法人も採掘を行っている。カナダのウラン鉱床はカナダのみならず、フランス及び日本が一部の権益を保有している。

<sup>a</sup> 確認資源：鉱床の規模、品位、形状が明らかなもの

<sup>b</sup> 推定資源：鉱床の規模、特性に関するデータが不十分なもの

<sup>c</sup> 既知資源量：確認資源と推定資源の合計であり、発見済みの資源量を示す

表 3.3-1 カナダのウラン鉱山

項目	概要
①シガー・レイク	
施設概要	品位世界第 2 位のウラン鉱床 Cameco 社が 54.547%、フランス Orano 社が 40.453%、日本 TEPCO Resources Inc.が 5%の権益を保有
技術	高圧ジェット掘削技術(High Pressure Jet Boring technique)
能力	8,200tU/y
稼働状況	2014 年に操業開始
稼働実績	2014 年の操業開始後、6.3 万 t のウランを産出。2022 年のウラン生産量は、8,170t(U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 換算)
②マッカーサー・リバー	
施設概要	世界最高位の品位のウラン鉱床 Cameco 社が 69.8%、フランス Orano 社が 30.2%の権益を保有
技術	地面凍結(ground freezing)法、Boxhole 掘削技術など
能力	約 11,000tU/y
稼働状況	1999 年に操業開始
稼働実績	ウラン市況を理由に 2018 年から操業停止されたが後に操業再開。2022 年のウラン生産量は 498t(U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 換算)
③マクリーン・レイク	
施設概要	フランス Orano 社のカナダ法人である Orano Canada 社が保有するウラン鉱床及び製錬施設 フランス Orano 社が 77.5%、Denison Mines Inc.が 22.5%の権益を保有
技術	酸によるリーチング
能力	9,240tU/y
稼働状況	1999 年に操業開始、2014 年以降のウラン生産はない
稼働実績	操業停止中
④ラビット・レイク	
施設概要	Cameco 社が 100%所有するウラン鉱床及び製錬施設
技術	酸によるリーチング
能力	4,615tU/y
稼働状況	1975 年に操業開始、2016 年第 2 四半期にメンテナンス状態に移行
稼働実績	1975 年の操業開始後、41 年間で約 90,000tU 以上のウランを産出

## 2) 転換

Cameco 社が転換設備を 1 か所所有している。

表 3.3-2 カナダの転換施設

ポート・ホープ	
施設概要	Cameco 社が保有する転換及び再転換及び燃料製造施設
技術	湿式プロセス
能力	12,500tU/y(UF <sub>6</sub> ) 2,800tU/y(UO <sub>2</sub> )
稼働状況	1970 年に操業開始
稼働実績	2023 年は UF <sub>6</sub> 、UO <sub>2</sub> 、燃料製造を合わせ計 13,300tU のウラン製品を製造

## 3) 濃縮

カナダの商用炉は天然ウランを濃縮せずに使用する CANDU 炉であり、カナダにおいて濃縮事業を実施している企業や組織はない。

#### 4) 燃料製造

Cameco 社及び BWXT NEC 社が燃料製造を行っている。

表 3.3-3 カナダの燃料加工施設

項目	概要
①ポート・ホープ	
施設概要	Cameco 社が保有する転換及び再転換及び燃料製造施設
技術	燃料集合体のほか、ペレットやピンを製造
能力	1,650tHM/y
稼働状況	1957 年操業開始
稼働実績	2023 年は UF <sub>6</sub> 、UO <sub>2</sub> 、燃料製造を合わせ計 13,300tU のウラン製品を製造
②N. Fuel PLLT. OP. - Toronto	
施設概要	米国企業 BWXT 社のカナダ法人である BWXT NEC 社が保有する燃料製造施設
技術	不明
能力	150kgU/月
稼働状況	1999 年に操業開始
稼働実績	不明

#### 5) 政策動向

カナダにおける核燃料サイクル政策は、引き続き再処理を実施しないオープンサイクルであり、変化はない。

##### (3) バックエンド

カナダではウラン資源が豊富に賦存していることもあり、使用済燃料を再処理して利用する核燃料サイクルは実施されていない。

##### 1) 再処理

カナダには天然ウラン資源が豊富に賦存することから、カナダの原子力産業界はこれまで、使用済燃料を再処理する必要はないと考えてきた。しかしながら、カナダ原子力公社(AECL)は 1940 年代から 1960 年代にかけて、チョークリバー研究所において実験的に再処理を実施した。

チョークリバー研究所では、再処理で発生した液体廃棄物が 3 本のタンクに貯蔵されている。最後に放射性溶液がタンクに移されたのは 1968 年のことである。1958 年から 1960 年にかけて、AECL は高レベル放射性溶液をガラス固化する実験を行った。このプログラムで重量約 2kg のガラスブロックが 50 体発生しており、現在はチョークリバー研究所のサイト内で貯蔵されている。

##### 2) 使用済燃料貯蔵

各発電所敷地内での保管に加え、ブルース原子力発電所で発生した使用済燃料はウェスタン廃棄物管理施設で管理されている。以下に、カナダで運転中の原子力発電所の使用済燃料を貯蔵する施設について整理する。

項目	概要
ポイント・ルプロー原子力発電所サイト	
施設概要	ポイント・ルプロー原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設
技術	乾式貯蔵
能力	3,078 t HM
稼働状況	稼働中
稼働実績	1991年に稼働を開始
ピッカリング廃棄物管理施設 1・2号建屋	
施設概要	ピッカリング原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設
技術	乾式貯蔵
能力	乾式貯蔵コンテナ(DCS)650体(燃料集合体 294,600体)
稼働状況	稼働中
稼働実績	1996年に稼働を開始
ウェスタン廃棄物管理施設	
施設概要	ブルース原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設
技術	乾式貯蔵
能力	乾式貯蔵コンテナ(DCS)2,000体(燃料集合体 768,600体)
稼働状況	稼働中
稼働実績	2003年に稼働を開始
ダーリントン使用済燃料貯蔵施設	
施設概要	ダーリントン原子力発電所の使用済燃料乾式貯蔵施設
技術	乾式貯蔵
能力	乾式貯蔵コンテナ(DCS)1,760体(燃料集合体 676,000体)
稼働状況	稼働中
稼働実績	2008年に稼働を開始

### 3) 放射性廃棄物管理・処分

カナダでは、運転中の CANDU 炉で発生した使用済燃料は、再処理せずに、高レベル放射性廃棄物として最終的に地層処分する方針としている。原子力発電所で発生した使用済燃料は、発電所で貯蔵されている。以下には、カナダで操業中の放射性廃棄物管理・処分施設について整理する。

項目	概要
廃棄物管理エリア B	
施設概要	チョークリバー研究所における放射性廃棄物の処分施設。なお、同研究所で発生した使用済燃料の貯蔵も実施
能力	処分容量は不明だが、使用済燃料は燃料集合体 9,334 体を貯蔵
稼働状況	稼働中
稼働実績	2024 年に稼働を開始
廃棄物管理エリア C	
施設概要	チョークリバー研究所における放射性廃棄物の処分施設
能力	処分容量は不明
稼働状況	稼働中
稼働実績	2024 年に稼働を開始
廃棄物管理エリア D	
施設概要	チョークリバー研究所における放射性廃棄物の貯蔵施設
能力	貯蔵容量は不明
稼働状況	稼働中
稼働実績	1976 年に稼働を開始

### 3.3.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

#### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

前述の通りカナダで現在運転中の CANDU 炉の使用済燃料は、再処理せず直接処分することになっている。一方で、カナダでは SMR の導入に向けた取組が進められており、2018 年 11 月には連邦政府や州政府、電気事業者らが協力して SMR の開発に向けたロードマップが策定された。また 2020 年 12 月には連邦政府が、SMR の開発や実用化に向けアクションプランを策定している。アクションプランでは、SMR について以下の 3 つの用途が想定されている。

- 送電網への併入を前提とした SMR の開発・実用化
- CANDU 炉の使用済燃料の再利用
- 遠隔地のディーゼル発電機を代替し熱や電力を供給

上記の 2 点目にあるようにカナダでは、ARC 社と Moltex 社により CANDU 炉の使用済燃料を再利用するための SMR として、SFR の開発が進められている。

また、SMR アクションプランでは、SMR の開発に関わる主要なステークホルダーの役割として、主に以下が挙げられている。

- 連邦政府：資金やリスクのシェア等を通じた開発の支援、SMR 燃料の供給安定性確保に向けた取組、連邦・州全体として脱炭素化を図る中での SMR の位置づけの検討、連邦レベルでの研究開発支援、国際協力
- 州政府：研究開発支援、州間協力の推進、州で実施されるプロジェクトへの出資、サプライチェーンの構築
- カナダ原子力安全委員会(CNSC)：核セキュリティ、規制の効率性の向上、国際協力

- 州の電気事業者：SMR 実証プロジェクトの実施、事業者間での協力の推進、州間協力の支援、地元住民や先住民の関与
- SMR ベンダー：SMR 技術の設計・開発と建設、CNSC との協力、燃料製造、サプライチェーンの構築、国際的パートナーシップへの参画、高等教育機関との協力、アウトリーチ活動

このようにカナダでは、政府が高速炉自体を国家プロジェクトとして目的化せず、SMR 開発プロジェクトの一部として、高速炉についても間接的に推進している。また、規制当局として、事業者の求めに応じてレビューを行っている。実際に高速炉開発の推進主体となるのは民間であり、電源、熱供給、燃料サイクルサービス等の事業化、特定技術での差別化等が高速炉開発推進の目的となっている。

## (2) 高速炉の安全性及び経済性に関する評価

ARC-100 は受動的安全性(passive safety)を採用しており、緊急時に外部からの動力や操作を必要とせず、自然に起こる物理的現象を利用することで、原子炉を停止及び冷却させる仕組みとなっている。なお、ARC-100 の安全理念及び目標は、第 4 世代国際フォーラムが推奨する安全アプローチに基づいている。このほか ARC-100 の技術文書では、安全上の特徴として以下が挙げられている<sup>121</sup>。

- ARC-100 のタンク型炉においては、一次冷却材、炉心、一次ポンプ、中間熱交換器等を原子炉容器内に配置する構成としている。
- 大量の冷却材ナトリウムを保有することにより、熱容量(熱慣性)が大きく、炉心加熱時に対応するための猶予時間を確保できる。
- ナトリウムプール内の自然循環により、炉心からの残留熱を除去する設計としており、炉心加熱時における長期の受動的安全が確保される。
- 金属燃料を用いた高速スペクトル原子炉に固有の安全特性により、一次及び二次の炉停止設備に加え、自然に核分裂を抑える自己制御性が達成される。
- 原子炉容器上部より下には配管貫通部を設けない構造により、配管の破損による冷却材喪失事故を防止できる。
- 原子炉容器を囲むガードベッセルにより、冷却材漏えい時でも原子炉内にナトリウムを確保できる構造となっている。
- ガードベッセルの外側と格納容器の間に空間を設けることで、熱伝導及び放射伝熱による残留熱を除去するための独立した手段として確保される。

これら ARC-100 の設計は、CNSC の許認可前ベンダー設計レビュー(VDR)によるレビューを受けている。VDR は、規制要件への適合性に関する概略評価を行う第 1 段階、後の許認可において障害となる事項がないかを確認する第 2 段階、第 2 段階のフォローアップである第 3 段階で実施される。ARC-100 の VDR の第 1 段階は 2017 年 9 月に開始されすでに完了しており、第 2 段階は 2022 年 2 月に開始され、2025 年 7 月に CNSC 完了している。CNSC は VDR の第 2 段階において、ARC-100 の設計について以下のように結論付けている<sup>122</sup>。

- 総じて、ARC は、原子炉施設設計における CNSC の規制要件の上位概念を理解し、正しく解釈している。

- 現時点では、許認可取得に対する根本的な障壁は特定されていない。一方で同設計は、CNSC が第 2 フェーズの範囲内でカナダの規制上の期待事項をすべて満たしていることを確認できるよう、一部の分野でさらなる進展を要する。
- 今後、ARC または他の提案者が VDR の継続や許認可申請審査を進める場合には、本レビューで提示された技術的な確認事項および指摘事項に対応するため、ARC に追加的な対応が求められる。

また CNSC は、将来のレビューにおいて追加のフォローアップが必要となる技術的な確認事項及び指摘事項として、以下の概要を示した。

- 提出された資料においては、設計におけるヒューマンファクター(人間の行動特性)の考慮に関する情報が極めて限定的であるため、具体的内容について詳細な説明が必要である。
- 設計評価に使用されているソフトウェアツールの妥当性(Validation)及び検証(Verification)が実証されなければならない。
- 悪意のある行為に対する設計の堅牢性を示す解析を実施する必要がある。
- セキュリティ機能は、脅威に対する有効性が確認できるよう設計及び解析される必要がある。
- 提案されている原子炉の制御及び停止手段の能力及び有効性について、さらなる実証が必要である。特に、固有の特性(全体としての負の反応度係数)への依存については、原子炉停止設計の根拠とするため、あらゆる条件及び状況について検証される必要がある。
- すべての安全解析に対し、単一故障基準が適用されていることを実証する必要がある。
- 直接炉心冷却系及び原子炉容器補助冷却システムの設計を最終決定し、これらのシステムに対する設計要件を特定する必要がある。
- 品質が保証された燃料設計システムの開発及び実証が必要である。

ARC-100 の設計は現在、予備エンジニアリングの段階にあり、一部の詳細はまだ最終化されておらず、実装の準備は整っていない。このため、CNSC の指摘事項及び技術的な詳細に関する要求の多くは、実装できる状態に向けて必要な作業に関する指摘となっている。将来の VDR または許認可申請に関する審査の際には、CNSC により上記の課題についてのフォローアップが行われることとなっている。

カナダエネルギー規制機関(CER)が 2025 年 8 月に公表した SMR に関する Market Snapshot において、SMR の利点と課題が解説されている。ここで、(ARC-100/SSR-W を含む)SMR 全般について、OECD 諸国で商用 SMR が未完成であるため、コストは不透明であること、SMR は小型ゆえに初期投資は小さくなり得る一方で、単位出力当たりのコストが相対的に高くなり得ることなどが示されている。

なお、カナダの SMR 計画において、高速炉タイプの SMR 導入の立地とされているポイント・ルプロー原子力発電所を運転するニューブランズウィック・パワー社は、SMR の情報発信をするウェブサイトにおいて、公衆向けのパンフレット「小型炉 大きな機会」を公表している。このパンフレットは、ニューブランズウィック州における SMR 導入が同州、またカナダ全体に及ぼす経済的なメリットについて説明している。同パンフレットによれば、ポイント・ルプロー原子力発電所で 2 つの実証炉(AMR-100 及び SSR-W)の導入計画を進めることにより、2020 年から 2035 年の 15 年間で合計 1.1 万の雇用、GDP10 億ドル、州政府の収入 1.2 億ドルの経済効果が見込まれている<sup>123</sup>。

### 3.3.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

カナダで過去に開発された高速炉は存在しない。

#### (2) 現在開発中の高速炉

カナダでは複数の用途を見据えた SMR の開発・実用化に向けた取組が進められており、そのうちの 1 つが CANDU 炉の使用済燃料の再利用である。以下に、この用途で利用するための技術開発を行っている ARC 社と Moltex 社の動向を整理する。

##### 1) ARC 社

###### a. 計画概要

ARC 社は、ARC-100 を開発する米国のクリーンエネルギー技術企業であり、ワシントン D.C. 及びカナダのニューブランズウィック州に拠点を有している。同社は、出力 100Mwe のナトリウム冷却炉 ARC-100 の開発を進めている。ARC-100 は、米国 DOE のアイダホ国立研究所 (INL) で運転された実験増殖炉 II (EBR-II) の運転経験を活用するものである。ARC 社はニューブランズウィック・パワー社と協力しており、ニューブランズウィック・パワーが 1 基の CANDU 炉を運転しているポイント・ルプロー原子力発電所サイトに 2030 年までに ARC-100 の実証炉を建設する計画である。

###### b. 目的

ARC 社は、使用済燃料のリサイクルについて、再処理方法が規制の承認を受け、公衆に受容され、経済的に実行可能になった際の「長期的な目標」と位置づけている。

また、同社は使用済燃料のリサイクルの実用化前の実証炉の運転のために、カナダの鉱山で採掘された天然ウランを国内で UF<sub>6</sub> に転換し、その後に濃縮して高速炉燃料の製造に用いる計画である。

###### c. 進捗

ARC-100 の設計は、CNSC の許認可前ベンダー設計レビュー (VDR) によるレビューを受けている。VDR は、規制要件への適合性に関する概略評価を行う第 1 段階、後の許認可において障害となる事項がないかを確認する第 2 段階、第 2 段階のフォローアップである第 3 段階で実施される。ARC-100 の VDR の第 1 段階は 2017 年 9 月に開始されすでに完了しており、第 2 段階は 2022 年 2 月に開始され、2025 年 7 月に完了している。

##### 2) Moltex 社

###### a. 計画

Moltex 社はニューブランズウィック州セントジョンに拠点を置き、ARC 社と同様に、同州のポイント・

ルプロー原子力発電所サイトにおけるプラント建設を計画している。同社が開発を進めているのは、使用済燃料を再利用する高速溶融塩炉の「安定塩炉-廃棄物バーナー」(SSR-W)、及び使用済燃料を再利用し燃料となる塩を製造する「廃棄物から安定塩」(WATSS)プロセスである。WATSS プロセスは、フィード物質として CANDU 炉の使用済燃料を利用する WATSS-C と、SSR-W の使用済燃料を利用する WATSS-S で構成される<sup>124</sup>。

## b. 目的

Moltex 社のウェブサイトでは、低い建設・運用コスト、既存炉からの廃棄物リサイクル、熱エネルギー貯蔵による安定供給、熱利用による暖房、輸送、産業における化石燃料使用量の低減が高速溶融塩炉の「安定塩炉-廃棄物バーナー」(SSR-W)の開発目的として挙げられている。

## c. 進捗

SSR-W の設計は、ARC-100 と同様に CNSC の VDR によるレビューを受けており、第 1 段階が 2021 年 5 月に完了している。

### (3) 高速炉用燃料

ARC 社は使用済燃料リサイクルの実用化前の実証炉の運転のために、カナダの鉱山で採掘された天然ウランを国内で UF6 に転換する計画である。UF6 の濃縮は段階的なアプローチで進めることとしており、具体的には天然ウランを最高で濃縮度 5%の低濃縮ウラン(LEU)にする段階と、濃縮度 9.95%の LEU+にする段階、さらに濃縮度 10%から 19.75%の HALEU にする段階に区分されている。なお、ARC-100 は濃縮度 10.9%の燃料集合体 30 本、12.4%の燃料集合体 33 本、15.5%の燃料集合体 36 本の、平均濃縮度 13.1%の 99 本の燃料集合体で構成された HALEU 燃料で運転することになっている。UF6 の HALEU を ARC-100 で利用するナトリウム結合燃料ピンに加工する前に、金属に再転換しジルコニウム合金として燃料スラグを製造する必要がある。また、燃料製造方法としていくつかのプロセスがあり、真空注入成型プロセスは EBR-II で使用する燃料の製造で実績がある<sup>125</sup>。

Moltex 社の SSR-W と WATSS を組み合わせた燃料サイクルコンセプトでは、まず WATSS-C で、CANDU 炉の使用済燃料から SSR-W に最初に装荷される燃料と、当面の運転期間に再装荷される燃料が製造される。何回かの燃料サイクルののち、SSR-W の使用済燃料はリサイクルのために WATSS-S プロセスに移され、SSR-W の使用済燃料から製造された燃料が再度 SSR-W で装荷される。Moltex 社は超ウラン元素を溶融塩に直接抽出し、燃料塩とする計画であり、燃料の燃焼と WATSS プロセスによるリサイクルは、フィード物質となる熱中性子炉の使用済燃料から発生する超ウラン核種が入手可能である等の条件が満たされれば、無限に繰り返すことができる。

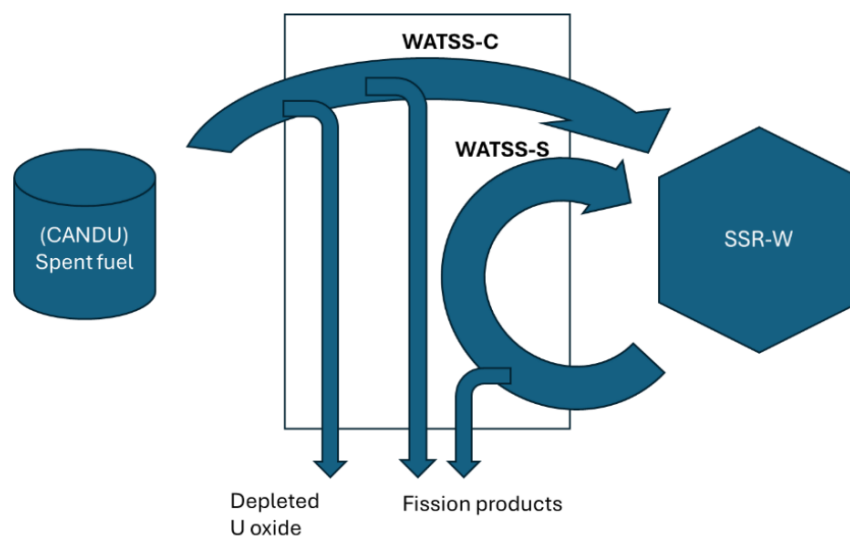


図 3.3-1 Moltex 社による燃料製造フロー

(出典)Moltex 社ウェブサイト

#### (4) 使用済燃料の処理

ARC 社は、再処理方法が規制当局の承認、公衆の受容性、及び経済的実行可能性を備えた段階で、使用済燃料を再利用することにより燃料サイクルを閉じることを長期的な目標に掲げている。ARC-100 の計画寿命 60 年間を通じて、3 回の燃料装荷から発生する使用済燃料集合体は約 300 体である。最初の 20 年を経過後に、燃料は冷却のため、炉心の外側にある炉内貯蔵へ移される。最短で約 6 か月経過後、燃料はサイト内の乾式貯蔵施設へ移送される。商業用実証炉については、ARC 社が地層処分場への直接処分に関する計画を策定することとなっている。ARC-100 の使用済燃料管理計画の初期ドラフトは現在レビュー中であり、核燃料廃棄物管理機関(NWMO)との協議が継続されている<sup>125</sup>。

Moltex 社については、(3)高速炉燃料で述べたとおり、使用済燃料を燃料とすることをアピールポイントとしており、同社が WATSS プロセスと呼ぶ再処理を前提としている。

### 3.3.4 高速炉導入に関する社会的な活動

#### (1) 情報発信及び理解促進活動

上述のとおり、カナダにおける高速炉の検討は、高速炉単体ではなく SMR の枠組みの一部として進められており、情報発信や理解促進活動も SMR、先進炉に内包するかたちで進められている。また、SMR 計画の当初から、立地地域が開発導入戦略において主導的な立場を採っている。

カナダ原子力安全委員会(CNSC)の規制文書のうち「REGDOC-3.2.1」では、CNSC が許認可取得者及び申請者に対して、情報公開に関する事項定めている。原子力事業者等が策定する情報公開プログラムは、以下を考慮することが求められている<sup>126</sup>。

- 規制対象となる施設および活動の種類
- 施設または活動がもたらす公衆衛生、安全、セキュリティ、および環境へのリスク
- 公衆の関心または懸念の程度

また、これら情報に容易にアクセスできるよう、以下の方法が検討される。

- 可能な場合はインターネットやソーシャルメディアなどの最新の電子的手段を用いて情報を伝達する。ただし、必要に応じて印刷物も使用する。
- ウェブサイト、ソーシャルネットワーキング、プレスリリース、ニュースレター、ポスター、その他の印刷物など、複数のコミュニケーション手段を用いて、公衆の情報理解を高める（許認可取得者及び申請者のウェブサイトに情報を掲載することが望ましい）。
- 情報は、専門用語を使わずに、平易で一般市民が理解できる方法で提示する
- 一般市民が、追加情報について口頭、電子的手段、または書面で連絡できるよう、許認可取得者及び申請者の連絡先に容易にアクセスできるようにする。

カナダのオンタリオ州、ニューブランズウィック州、サスカチュワン州、およびアルバータ州の 4 州は、SMR 展開に関する戦略計画を 2022 年 3 月 28 日に発表している<sup>d</sup>。この中で 4 州は、先住民と公衆の関与に関して以下の通り協力していくことを確認している。

4 州が締結している SMR 開発に関する覚書(MOU)に基づき各州政府は、原子力エネルギーと SMR の経済的及び環境的利益に関する公衆への情報提供を協力して実施することを約束している。カナダの SMR ロードマップとアクションプランの一環として 4 州は、先住民と公衆の関与が SMR 開発において果たしてきた、そして今後も果たし続ける重要な役割を強調している。4 州間の協力は、先住民のコミュニティが SMR プロジェクトに参加する機会を創出するためのコミットメントを高め、強化する。これらの機会には、雇用、技能開発、投資、サプライヤーの取決め、そしてプロジェクトの恩恵を共有するためのその他の手段が含まれる。

4 州政府は、SMR に関連する公衆との信頼関係を構築し、対話を行う。公衆関与のテーマとしては、原子力がこれまで果たしてきた、そして今後も果たしていく、費用対効果が高くクリーンなエネルギー源として、経済的及び社会的に大きな利益をもたらすという従来の役割について、理解をさらに深めることなどが挙げられる。サスカチュワン州とアルバータ州にとっては原子力発電が新しい分野であるため、知識の向上や情報及び意見交換に向けた公衆の関与は特に重要なものとなる。電力事業者は、SMR プロジェクトの推進に関する州の意思決定を可能にするため、SMR 技術開発者との詳細な計画策定作業を完了する予定である。この作業には、技術的な側面に加え、以下の事項が含まれる。

- SMR 技術開発者と連携し、目標とする導入スケジュールを満たすための詳細設計、計画、準備、許認可の完了すること
- 選択された SMR 技術のプロジェクト費用とスケジュールの精緻化
- 選択された技術がカナダのサプライヤーにもたらす経済的機会の確認

<sup>d</sup> オンタリオ州、ニューブランズウィック州、サスカチュワン州の 3 州は 2019 年 12 月に SMR 開発に関する協力覚書 (MOU) を締結している。これに基づき、それぞれの州営電力に委託の上、SMR 開発の実行可能性調査 (FS) が行われた。2021 年 4 月には FS 結果が公表されるとともに、新たにアルバータ州が協力覚書に参加した。

州政府はプロジェクトのリスクと利益を慎重に検討する。具体的には、以下の点が検討される。

- 電力システムへの影響
- 電気料金支払者への影響
- 排出量削減
- 先住民のパートナーシップの可能性
- 以下を通じた経済活動の強化
  - ▶ 選択された技術がカナダのサプライヤーに利益をもたらす可能性
  - ▶ イノベーション及び研究能力向上の可能性
  - ▶ グローバルな輸出の可能性
  - ▶ 近隣の州及び米国市場へのクリーン電力輸出の可能性

MOU を締結した各州は、SMR の継続的な開発を支援するために必要な財政、規制及び政策面での支援が確実に実施されるよう、連邦政府との SMR 開発に関する協力の機会を引き続き模索する。

この戦略計画は、SMR がカナダ及び世界中で果たし得る役割について交わされる会話を支援するものである。4 州の政府は、先住民のコミュニティ、公衆、研究機関及び学界、政府パートナー、原子力産業と協力して、カナダにおける SMR の将来を形作る情報交換と、視点の共有を進めていく意向であると、戦略計画の先住民と公衆の関与に関する節で述べている<sup>127</sup>。

## (2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動

連邦政府が 2020 年に公表した「SMR アクションプラン」では、以下の 3 つの SMR ストリームを定義している。発表当時の 3 つのストリームの定義を表 3.3-4 に示す<sup>128</sup>。カナダでは、3 つのストリームそれぞれで、まず既存の原子力サイトで SMR を建設していくことを想定している。

この中で、ストリーム 2 は 3 つのストリームの中でも技術的成熟度が低く先進性が高い、すなわち難易度が高い第 4 世代炉相当の SMR 高速炉、ARC-100 を想定している。カナダでは現在 17 基の原子力発電所が運転中だが、そのほとんどがオンタリオ州に集中しており、唯一ポイント・ルプローの 1 基が、ニューブランズウィック州に立地している。ARC-100 はそのニューブランズウィック州ポイント・ルプローへの立地が予定されている。

表 3.3-4 SMR アクションプランの 3 つのストリーム

項目	特徴	想定炉型	関係事業者	サイト	実用化めど
ストリーム 1	送電網併入を前提とした SMR 開発・実用化	BWRX-300 (GEH 社)	OPG 社、ブルーパワー社、SaskPower 社	オンタリオ州ダーリントン	2028 年
				サスカチュワン州	2032 年
ストリーム 2	CANDU 炉使用済燃料再利用(第 4 世代炉)	ARC-100 (ARC 社) 安定熔融塩炉 (Moltex 社)	ニューブランズウィック・パワー社	ニューブランズウィック州ポイント・ルプロー	2030 年代中期
ストリーム 3	遠隔地のディーゼル発電・熱供給の代替	eVinci(WH 社)、MMR (USNC)	OPG 社	CNL サイト	2026 年頃

(出典)SMR アクションプラン等より作成

ARC 社及び Moltex 社はいずれも、ニューブランズウィック州の州営企業であるニューブランズ

ウィック・パワー社が運転しているポイント・ルプロー原子力の敷地内で初号機を建設する計画となっている。ニューブランズウィック州は SMR 開発を推進しており、州政府による開発計画推進の一環として立地地域が選定された。

ARC-100 が立地予定のニューブランズウィック(NB)州では、ニューブランズウィック・パワー社が、SMR 導入にかかる特設ウェブサイト「Small modular reactors in New Brunswick」(<https://smrnb.ca/>)を設け、情報発信を行っている。同ウェブサイトでは、ARC-100やMoltex社の溶融塩炉の導入計画の状況の発信や、理解促進活動(後述)に関する情報提供を行うと共に、同州での開発導入を進めるメリットを以下のように説明している。

- 経済:NB 州で開発導入される SMR 技術がカナダ及び国際的に展開されるにあたり、サプライチェーン及び技術支援の拠点となる。経済的利益は州を越え、技術の発展につれカナダ全土に好影響が波及する。
- 廃棄物削減:SMR は運転時の放射性廃棄物の量の削減、および環境からの隔離期間の短縮に資する。NB 州で開発中の SMR 技術は、すでにある使用済燃料の量を減らし、クリーンエネルギーに変換することが可能
- 気候変動への取組:SMR は低炭素で送電網への段階的な接続・切断が容易な電源として、変動する再エネのギャップを埋めることが可能。ARC-100 は柔軟で汎用性が高い設計により数分単位で原子炉の出力を増減可能
- 手頃な価格とより高い柔軟性:SMR は小型で拡張可能であり、需要に応じて柔軟に供給を調整可能。州の経済成長による電力需要増加にも、短期間で増設し発電容量を追加できる。NB 州は住民の専門知識と、ポイント・ルプロー発電所という貴重な資産を背景に、こうした機会を最大限に活用可能

同ウェブサイトではさらに、一般向けの情報提供イベントその他の理解促進活動に関する情報も発信している。とりわけカナダの特徴として挙げられるのが、先住民ネーションとの関わりである。SMR ロードマップやアクションプラン等における方針に基づき、カナダではこうしたネーションに情報を提供して理解を求めることに留まらず、先住民ネーションがカナダ自然資源省(NRCan)の資金提供等を受け、SMR 計画の当事者として、検討に参画する取組が行われている。

NB 州における典型事例として、同州内のノース・ショア・ミクマク部族評議会(NSMTC)の参画が挙げられる。NSMTC はカナダにおいて、先住民の原子力参加をリードする存在として、カナダ原子力協会の表彰を受けるなど、活発な活動を見せている。NSMTC は 2023 年に、モルテックス・エナジー・カナダおよび ARC クリーン・テクノロジーと総額 300 万カナダドルの出資契約を締結した。この契約を通じ、同ネーションは第 4 世代炉に投資する初の先住民となったとしている<sup>129</sup>。また、NSMTC とウォラストゲイネーションが合同で専門家に委託し、2025 年に公表した「ニューブランズウィック州 SMR の先住民サプライチェーン概要とギャップ分析」も、特徴的な事例の一つとして挙げられる。この報告書は、同州における ARC-100 を含む SMR 開発に伴って、先住民企業やコミュニティが、サプライチェーンにどのように参画していけるかを調査したものである。この調査では、先住民ネーションにおける既存産業に基づくギャップ分析、今後の SMR 展開に必要な関係構築や教育訓練、先住民の経済的自立を促進するキャパシティビルディングといったテーマが扱われ、設計段階から廃炉までの各段階におけるビジネスチャンスの特定、及び参画の障壁となる市場の不確実性や、カナダの原子力品質規格である CSA-N

シリーズへの対応などの課題の分析を行った。同調査ではこうした分析に基づき、先住民ネーションが、単純な労働力提供に留まらず、投資や共同パートナーシップを通じ、原子力産業の主要な担い手となるビジョンを提案している<sup>130</sup>。

上述のとおり、カナダにおける高速炉の検討は、高速炉単体ではなく SMR の枠組みの一部として進められており、情報発信や理解促進活動も SMR、先進炉に内包する形で進められている。また、SMR 計画の当初から、立地地域が開発導入戦略において主導的な立場を採っている。

### **(3) 高速炉の事故と社会的影響**

カナダは高速炉の運転実績がないため、事故は発生していない。

## 参考文献

- <sup>118</sup> “CANADIAN NATIONAL REPORT for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management” (2020年10月)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/canada-7rm.pdf>
- <sup>119</sup> CNSC “Questions and Comments to Canada for the 6th Review Meeting”  
[https://publications.gc.ca/collections/collection\\_2018/ccsn-cnsc/CC172-23-1-2018-eng.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/ccsn-cnsc/CC172-23-1-2018-eng.pdf)
- <sup>120</sup> NEA, IAEA「Uranium 2024 Resources, Production and Demand」  
[https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-04/7683\\_uranium\\_2024\\_-\\_resources\\_production\\_and\\_demand\\_2025-04-22\\_14-29-2\\_928.pdf](https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2025-04/7683_uranium_2024_-_resources_production_and_demand_2025-04-22_14-29-2_928.pdf)
- <sup>121</sup> ARC Clean Technology「ARC-100 TECHNICAL SUMMARY」(2023)  
[https://www.arc-cleantech.com/uploads/ARC-100%20Technical%20Overview%20August%202023\\_FINAL.pdf](https://www.arc-cleantech.com/uploads/ARC-100%20Technical%20Overview%20August%202023_FINAL.pdf)
- <sup>122</sup> CNSC「Phase 2 Pre-licensing vendor design review: ARC Clean Technology Canada」  
<https://www.cnsc-ccsn.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/arc-nuclear-canada-executive-summary-phase-2/>
- <sup>123</sup> ニューブランズウィック・パワー社, “small reactors big opportunities” (2020年)  
<https://smrnb.ca/wp-content/uploads/2021/02/small-reactors.pdf>
- <sup>124</sup> Moltex Energy Canada Inc「WASTE BURNING PERFORMANCE OF THE MOLTEX SSR-W」  
<https://www.moltexenergy.com/waste-burning-performance-of-the-moltex-ssr-w/>
- <sup>125</sup> ARC Clean Technology「FUEL CYCLE FOR ARC-100 COMMERCIAL DEMONSTRATION AT THE POINT LEPREAU NUCLEAR SITE IN NEW BRUNSWICK」  
<https://www.arc-cleantech.com/uploads/Fuel%20Cycle%20for%20ARC-100%20Commercial%20Demonstration%20at%20the%20Point%20Lepreau%20Nuclear%20Site.pdf>
- <sup>126</sup> CNSC「REGDOC-3.2.1, Public Information and Disclosure」  
<https://www.cnsc-ccsn.gc.ca/eng/acts-and-regulations/regulatory-documents/published/html/regdoc3-2-1/>
- <sup>127</sup> Ontario「A strategic plan for the deployment of small modular reactors」  
<https://www.ontario.ca/page/strategic-plan-deployment-small-modular-reactors>
- <sup>128</sup> SMR アクションプラン進捗報告書(2023年)  
<https://smractionplan.ca/sites/smractionplan/files/2023-01/full-approved-progress-update-eng-access.pdf>
- <sup>129</sup> NSMTC, “NSMTC Receives National Recognition for Nuclear Leadership” (2025年)  
<https://nsmtc.ca/nsmtc-receives-national-recognition-for-nuclear-leadership/>
- <sup>130</sup> The North Shore Mi’kmaq Tribal Council (NSMTC), “New Brunswick Small Modular Reactor (SMR) Indigenous Supply Chain Overview and Gap Analysis” (2025年)  
<https://nsmtc.ca/wp-content/uploads/2025/05/New-Brunswick-Small-Modular-SMR-Indigenous-Supply-Chain-Overview-and-Gap-Analysis.pdf>



## 3.4 英国

### 3.4.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクル政策の変遷

##### 1) マグノックス炉燃料の再処理

英国の核燃料サイクル政策は軍事用核開発から開始しており、当初は軍事用プルトニウム製造を目的としていた<sup>131</sup>。そのため、特にプルトニウム製造に適した黒鉛減速ガス冷却炉<sup>a</sup>と再処理しやすい金属ウラン燃料が用いられており、1952年から1964年にかけてウィンズスケール第1工場(B204)において軍事用プルトニウム製造を目的とした再処理が実施されていた<sup>132</sup>。1954年には、核兵器に関する研究開発、原子力発電に関する研究開発、核物質製造を所掌する国営機関として英国原子力公社(UKAEA)が設立され、UKAEAが再処理の実施主体となった<sup>132</sup>。

次いで英国の原子力開発は、軍事利用と発電利用のデュアルパーパスへと移行し、PIPPA (pressurized pile producing power and plutonium)というコードネームの下で、マグノックス炉による原子力発電所計画が進められた<sup>133,134</sup>。この計画により、1956年にはコールドーホール原子力発電所(マグノックス炉)が商用炉として運転を開始し、1964年にはマグノックス炉から発生する使用済燃料を再処理するウィンズスケール第2工場(B205)が操業を開始した<sup>135</sup>。軍事から民生へと原子力開発の重点が移り、兵器用プルトニウム製造のニーズは低下したが、マグノックス炉の使用済燃料は全量、再処理された。理由は、燃料被覆管であるマグノックス合金(マグネシウムを主とし、少量のアルミニウム・ベリリウム等を添加した合金)が水と反応する性質を持つために、使用済燃料を水中で長期間安全に貯蔵することが困難であることによる<sup>135</sup>。B205は全マグノックス炉使用済燃料の再処理を終えたことから、2022年7月に操業を終了した<sup>136</sup>。なお、最後に建設されたマグノックス炉は1971年に運転を開始したウィルファであり、2015年に運転を終了している。

##### 2) 酸化物燃料の再処理

ウラン酸化物を燃料とする改良型ガス冷却炉(AGR)が1965年に建設を開始したことにより、酸化物燃料を再処理する必要性が生じた。そこで1964年に操業を終了していたB204を改良し、B205と組み合わせることで1969年から海外の軽水炉燃料を含む酸化物燃料の再処理を実施していたが、1973年の事故を契機にB204が閉鎖された<sup>135</sup>。1970年時点では再処理の目的として、プルトニウムの抽出と放射性廃棄物の安全な処分が挙げられていた<sup>132</sup>。

当初は軍事用プルトニウムの製造を目的としてUKAEAが実施していた再処理であったが、次第に発電炉向けの再処理事業が増えていったことから、UKAEAの商業部門が独立する形で英国核燃料公社(BNFL)が設立された。BNFLはウィンズスケールサイト(現セラフィールドサイト)における再処理事業をUKAEAから引き継ぎ、民生用再処理事業の実施主体となった。1974年には酸化物燃料再処理プラント(THORP)の新設を含むウィンズスケール拡張計画が発表され<sup>137</sup>、英国政府は1976年3月にBNFLが使用済燃料再処理役務を海外向けにも提供する方針を明確にしている。BNFLは同年

<sup>a</sup> 中性子経済に優れ、また、低燃焼度運転を行うことからPu-239の製造に適していた

6月に拡張計画の許認可を申請し、1978年にTHORPの建設が許可された。許認可審査の一環として実施された公聴会の報告書<sup>b</sup>では、英国内で発生する使用済燃料を再処理する是非について、12の観点から再処理すべきと結論付けている(表3.4-1)。

THORPは1994年に操業を開始したが、2004年に発生した漏洩事象により2005年に操業停止していた。その後も運営の不調が続き、2012年には安全性、コスト、技術や収益性の観点から運営継続是非を検討した結果、既存の国内外向け再処理契約が完了した時点閉鎖することが決定され、2018年11月に操業を終了した<sup>138,139</sup>。なお、2005年にはバックエンドを所掌する新たな政府機関として原子力廃止措置機関(NDA)が設立され、これに伴いBNFLが保有していたセラフィールドサイト等の所有権はNDAに移管されている。

表 3.4-1 ウィンズスケール公聴会で示された再処理を肯定するに至る考え方(概要)

番号	概要	番号	概要
1	使用済燃料は再処理されない限り蓄積し続け、最終的に何らかの方法で処分されるまで保管する必要がある	7	このような判断は実現性が低く、現在世代及び将来世代にとって最善の利益にならないように考えられる
2	原子力産業を維持する必要がある、また、火力発電所を削減するために原子力を拡大できる状態にしておく必要がある	8	再処理を実施する場合は、使用済燃料の量が比較的少ないうちに適切なペースで技術開発を進めつつ、知見を蓄積できるように、遅滞なく開始すべきである
3	原子力産業の維持には更なる原子炉建設と使用済燃料の増加を伴い、増加した使用済燃料は再処理されない限り処分されるまで保管する必要がある	9	再処理に伴う排出物のリスクは、現在の推定に基づくと非常に小さい可能性が高く、仮に現在の推定が誤っていたとしてもリスクはTHORPの稼働前から発生していた
4	使用済燃料には核分裂生成物と長寿命アクチノイドが含まれ、再処理が遅れるとプルトニウムの在庫量は増加し続ける	10	再処理の実施に伴う事故のリスクも存在するが、現時点では許容範囲内に収まる見通しである(長期間を経て突然大規模な再処理を実施する場合はリスクが高くなる)
5	プルトニウムを含む使用済燃料が増加し続ける中で長期保管するためには新たな貯蔵方法の開発が必要となり、費用と時間を要する	11	プルトニウムがウィンズスケールから搬出されるときは燃料の一部であり、テロリストにとって望ましい形態ではないため、テロによるリスクは顕著ではない
6	増加し続ける使用済燃料の貯蔵が合理的となるのは、再処理せずに最終処分するという判断に至る可能性が高い場合のみである	12	使用済燃料は最終的にウィンズスケールに運搬されるため輸送に伴うリスクは変わらず、また、ウィンズスケールから搬出される燃料形態は重大なリスクをもたらさない

(出典)Her Majesty's Stationery Office, "The Windscale Inquiry Report by the Hon Mr Justice Parker" (1978)を基に作成

### 3) 政府方針の転換

英国政府は公聴会報告書に基づく形でTHORPの建設を認可しており<sup>140</sup>、政府として再処理の実施を推進していたといえる。一方、1989年電力法による電気事業民営化を契機に政府方針は変化した。

1989年電力法により、従来の原子力事業者であった発電局(CEGB)及び南スコットランド電力局(SSEB)が保有する原子力発電所はNuclear Electric社及びScottish Nuclear社にそれぞれ譲渡された<sup>141</sup>。しかしながら、両社とも政府が株主であり民営化に至らなかったため、1995年にはBritish Energy社に統合され、同社は1996年に株式市場へ上場した。民営化が実現できるよう、

<sup>b</sup> Her Majesty's Stationery Office, "The Windscale Inquiry Report by the Hon Mr Justice Parker" (1978)

British Energy 社は古く経済性が悪いマグノックス炉を所有せず、AGR と軽水炉のみを所有していた<sup>141</sup>。なお、マグノックス炉は Magnox Electric 社が所有することとなったが、同社の株主は政府である。

このような電力市場自由化政策の下で英国政府が原子力発電事業の民営化を検討するにあたり、1995 年には使用済燃料所有者が再処理の実施を商業的観点で判断すべきという発想が出現した<sup>142</sup>。また、1996 年の閣僚答弁において、BNFL による AGR 燃料の再処理は発電事業者との契約に基づく商業的なものという見解が示され、原子力発電が民営化された場合、使用済燃料の再処理に関する財務的責任は使用済燃料所有者が全て負うとされた<sup>143</sup>。英国政府は国策として再処理を実施する方針を転換し、民間電力事業者に再処理の可否を委ねたといえる。これに対し、事業者は使用済燃料の再処理を望まない姿勢を示した。AGR 燃料供給能力を持つのが BNFL のみであったことを背景に、BNFL は数年にわたって、ブリティッシュエナジー社に対し、再処理込みの契約を保持していたが、ブリティッシュエナジー社は使用済燃料について「貯蔵のみ」の契約を希望していた<sup>144</sup>。

さらに、英国政府は 2008 年原子力白書<sup>9</sup>において、今後建設される原子力発電所は使用済燃料を再処理しないことを前提として廃棄物管理計画を立てるべきであるとの考えを示した。この中で英国政府は、再処理は MOX 燃料製造の観点から燃料の安定供給に貢献するものの、燃料コストは原子力発電全体のコストの中で比較的小さいものであり、新規原子力発電所にとってウランの資源量や将来価格が制約になるとは考えていないとした。また、高速増殖炉が短中期的に核燃料サイクルの一部として実現する可能性は低いとしている。一方、事業者から再処理の実施が提案された場合は、その時点で妥当性を検討する必要があり、対応を協議するとしている。

この方針は 2026 年 2 月時点で変化しておらず、最新の原子力政策文書である「Civil Nuclear: Roadmap to 2050」においても、再処理を含む使用済燃料の管理は所有者の責任であり、政府として商業規模再処理を推進する計画や財政支援を行う計画はないと明言している<sup>145</sup>。また、同文書では、セラフィールドサイトのリスク低減を優先している間、革新原子力技術による既存プルトニウム在庫の活用を支持しないことを明言し、革新炉ベンダーに対して政府方針を示している。ロシアによるウクライナ侵略以降、英国政府は燃料のロシア依存を低減させるための取組を進めており、エネルギー安全保障を重視する姿勢を明確にしているが、それでもなお政府として再処理を実施する考えはないことを強調しているといえる。

#### 4) プルトニウム利用に関する方針転換

英国政府は 2011 年までプルトニウムの長期管理に関する明確な政策を策定していなかった。2011 年 12 月には、プルトニウムの長期管理が将来世代に安全保障上のリスクと核セキュリティ上の懸念をもたらすことから、プルトニウムは管理し続けるのではなく地層処分することが望ましいとして、処分までの管理方針を策定した。ここでは、プルトニウムを MOX 燃料として再利用することが望ましいとする暫定方針 (preliminary policy view) を示すとともに、プルトニウム管理に関する代替案にも門戸を開く姿勢を示した<sup>146</sup>。

NDA はプルトニウム管理政策の策定を目指す政府を支援するために選択肢の検討を行ってきた。

<sup>9</sup> 政府の原子力政策案に対するコンサルテーション (公衆意見募集) を行い、そこで出された意見に対する政府の見解を示した上で、意見を踏まえた今後の原子力政策を提示したもの。なお、英国の白書 (White Paper) は年次刊行物ではなく必要に応じて作成される

2014年1月には検討結果として、MOX燃料として再利用する場合、軽水炉での再利用、CANDU炉での再利用、PRISM<sup>d</sup>での再利用を候補に挙げるとともに、現時点で完璧な解決策は存在しないため複数オプションでアプローチすることが最善であると指摘した<sup>147</sup>。2019年3月には、2014年に示された3つの再利用策に加え、再利用せずに安定化する選択肢に関する分析の進捗を公表した<sup>148</sup>。安定化手法ではセラミック化合物化とセメント固化封入が検討対象として挙げられた。

その後、2025年1月には原子力政策を所管するエネルギー安全保障ネットゼロ省(DESNZ)大臣がプルトニウムをMOX燃料として再利用せず、安定化して地層処分する方針を示した<sup>149</sup>。大臣声明では、2011年の管理方針と同様に、継続的かつ無期限なプルトニウム長期保管は将来世代に安全保障上のリスクと核セキュリティ上の懸念をもたらすと指摘するとともに、プルトニウムを手が届かない状態(Beyond reach)にして地層処分に適した形態とすることが政府目標であると示された。NDAの分析結果に基づき、プルトニウムを最も早期かつ確実な方法で手が届かない状態にする手段は安定化であるとし、今後はそのための技術選定を進めるとしている。同政府方針を受け、2020年代末頃を目途にNDAがプルトニウム処分インフラの主要建設プログラムを開始することが見込まれている。なお、本決定の根拠となるNDAの分析結果に関する国会質疑において、DESNZ大臣は商業上及び安全保障上の理由から公表する予定はないと回答している<sup>150</sup>。

## (2) フロントエンド

### 1) ウラン採掘

英国にはウラン鉱床が存在するが、経済性が低いいため、採掘は行われていない<sup>151</sup>。また、英国内にウラン採掘・精錬を行う企業は存在しない。

英国で唯一の原子力発電事業者であるEDF エナジー社は、ロシアによるクリミア併合を機に2015年からロシア産ウランの削減に努めており、2023年12月時点でAGR燃料に関してはロシア産ウランを使用していない<sup>152</sup>。また、閉鎖までの間にロシア産ウランを使用しないで済むように供給契約を締結している。建設中のヒンクリーポイントC(EPR)の燃料に関しても、ロシア産ウランを排除した濃縮ウラン供給契約を締結している。一方、サイズウェルB(PWR)の燃料に関してはロシア産の回収ウランも用いているが、国内施設が完成し次第、移管することを決定している。

### 2) 転換

英国ではウェスティングハウスUK社がスプリングフィールドサイトで転換施設を保有しているが、カナダのカメコ社との転換契約が2014年末で終了したため、2015年から操業を停止している<sup>153</sup>。同施設は2022年12月に英国政府から1,300万ポンドの助成を受け、2028年から天然ウランと回収ウランの転換役務を提供する計画としている<sup>154</sup>。2024年2月には、2004年エネルギー法に基づき、スプリングフィールドサイトの指定が変更され、新たな転換技術の開発が可能となった<sup>155</sup>。

---

<sup>d</sup> GE ベルノバ日立ニュークリアエナジー社が開発する高速炉

### 3) 濃縮

英国で濃縮を行う事業者は Urenco UK 社のみであり、関連施設は1つ存在する。なお、HALEU 燃料製造向けの濃縮役務に関して、Urenco UK 社は 2031 年までに年間最大 10 トン規模の生産が可能な施設を操業する計画としている<sup>156</sup>。英国政府は 2024 年 5 月に同社の計画に対して 1.96 億ポンドを支援することを発表している。

表 3.4-2 英国の濃縮施設

項目	概要
施設概要	カーペンハースト濃縮工場
技術	ガス遠心分離法
能力	4,500 tSWU/年
稼働状況	1972 年に稼働開始
稼働実績	Urenco 社全体で日本、米国、英国、フランス、中国、韓国など 21 か国に濃縮ウランを供給

### 4) 燃料製造

英国内で燃料製造を行う事業者はウェスティングハウス UK 社のみであり、関連施設は 1 つ存在する。なお、英国ではかつて国外向け MOX 燃料製造工場が存在したが、2011 年に閉鎖が決定し、2012 年に操業を終了した。

表 3.4-3 英国の燃料加工施設

項目	概要
施設概要	スプリングフィールド
技術	IDR 法(再転換)
能力	900 tU/年(再転換)、290 tU/年(AGR 用燃料製造)、200 tU/年(PWR 用燃料製造)
稼働状況	1993 年に稼働開始
稼働実績	AGR 用燃料は英国内に、PWR 用燃料は海外に供給

### 5) 政策動向

2026 年 2 月に英国政府は、SMR 等の先進原子力技術を民間主導で進めるために必要な環境整備を政府が行う際の枠組みとして「先進原子力フレームワーク」を発表した。同文書では、核燃料について、英国内の全原子力発電所が HALEU を使えるように保証するとしている<sup>157</sup>。また、同文書とあわせて「民生核燃料使用に対する声明」を発表した。同声明では、産業界に対して以下を求めており<sup>158</sup>、政府として高速炉の運転を認めない方針であるといえる。

- 濃縮度 20%未満のウラン燃料のみを用いること
- 全ての燃料、冷却材、炉心材料は地層処分との適合性を含め、ライフサイクル全体で効率よく管理されること
- 事業者は安全保障上信頼できる同盟国からの調達を優先し、制裁対象国を避け、多様性と信頼性を兼ね備えた燃料供給体制を構築すること

### (3) バックエンド

バックエンドに関しては、一部を除き政府機関である NDA が所掌し、NDA の子会社・傘下組織が

実施主体となっている。NDA は実施主体となる主要組織として、セラフィールド社、原子力修復サービス(NRS)、原子力廃棄物サービス(NWS)、原子力輸送ソリューション(NTS)の 4 つの組織を有している<sup>159</sup>。セラフィールド社は、閉鎖された再処理施設等が存在するセラフィールドサイトの管理・廃止措置及び同サイトにおける放射性廃棄物管理を所掌している<sup>160</sup>。NRS は、マグノックス炉及び AGR の廃止措置、閉鎖された研究施設や低レベル放射性廃棄物処分場が存在するドーンレイサイトの管理・廃止措置を所掌している<sup>161</sup>。NWS は、低レベル放射性廃棄物処分場の管理・運営及び地層処分場の選定・処分実施を所掌している<sup>162</sup>。NTS は、放射性廃棄物及び使用済燃料の輸送等、廃止措置に伴うロジスティックを所掌している<sup>163</sup>。このように英国におけるバックエンドは NDA グループが所掌しているが、EDF エナジー社が保有する PWR や EPR に関する廃止措置を実施する責任は同社が負っている<sup>164</sup>。なお、AGR に関しても使用済燃料の取り出しまでは EDF エナジー社が責任を負い、取り出し後に NRS に所有権を譲渡した上で、NRS が廃止措置を実施する<sup>165</sup>。

## 1) 再処理

英国では、過去に B205 及び THORP において再処理を実施していたが、それぞれ 2022 年と 2018 年に操業を終了している。英国政府は使用済燃料の取扱いは所有者が決定すべきとしており、政府として再処理を実施する方針は示していない。また、英国唯一の原子力発電事業者である EDF エナジー社は再処理を行う方針を示していない。

英国にはマグノックス炉で発生した使用済燃料、AGR で発生した使用済燃料、PWR で発生した使用済燃料の 3 種類の使用済燃料が存在する。このうち、商用マグノックス炉で発生した使用済燃料は全量が再処理された<sup>166</sup>。なお、レガシーサイトにおけるマグノックス燃料は取り出し作業中であり、これらは再処理されずに貯蔵される。AGR で発生した使用済燃料も以前は再処理されていたが<sup>167</sup>、THORP の操業終了以降は再処理されずに貯蔵されている。PWR で発生した使用済燃料は再処理されていない<sup>168</sup>。英国における再処理の実績を表 3.4-4 に示す<sup>139,169</sup>。

表 3.4-4 英国における再処理実績

施設名	処理能力	再処理対象	操業期間	再処理実績
B205	1,500tU	マグノックス炉燃料	1964 年～2022 年	54,920t
THORP	1,200tU <sup>注</sup>	AGR 燃料・海外軽水炉燃料	1994 年～2018 年	9,000t

注: 後に 600tU に削減

B205 及び THORP では、廃止措置の取組が進められている。B205 は 2025 年時点で、操業終了後の事後洗浄(Post-Operational Clean Out)段階にある。POCO は、施設内に残存する物質や廃棄物を取り除く作業であり、POCO を経た後、より広範な除染が行われ、その後、施設解体に進む。THORP においても再処理工程部分の POCO が進められているが、貯蔵プールは次項に示すように、引き続き使用済燃料の貯蔵に用いられるため、廃止措置の対象外である<sup>170</sup>。

## 2) 使用済燃料貯蔵

EDF エナジー社が運転する AGR で発生した使用済燃料は NDA が管理することとなっており、操業を終了した THORP の燃料貯蔵池で貯蔵されている<sup>171</sup>。THORP では AGR が運転を停止するま

で発生する全ての使用済燃料を貯蔵する計画となっており、貯蔵能力拡大のためのリラッキングも行われている。一方、EDFエナジー社が運転する PWR 及び建設中の EPR で発生する使用済燃料は同社が管理することとなっており、英国政府は関与しない。同社は発電所サイト内での乾式キャスクによる貯蔵を実施している<sup>172</sup>。

英国における 2022 年 4 月 1 日時点の使用済燃料の貯蔵状況を表 3.4-5 に示す<sup>173</sup>。マグノックス炉燃料は 2022 年 7 月に全量が再処理された。また、AGR や PWR は 2022 年以降に運転期間延長を決定・検討しているため、将来発生予想量は 2022 年 4 月 1 日時点の値よりも増加すると考えられる。

表 3.4-5 英国における使用済燃料の貯蔵状況(2022 年 4 月 1 日時点)

燃料種別	貯蔵施設	貯蔵量	将来発生予想量
マグノックス	セラフィールド	289tHM	-
AGR	セラフィールド	2,500tHM 以下	-
	炉内(装荷燃料)	1,520tHM 以下	390tHM
	発電所サイト	110tHM 以下	
PWR	炉内(装荷燃料)	90tHM 以下	290tHM
	発電所サイト	640tHM 以下	

(出典)NDA「2022 UK Radioactive Material Inventory」(2022 年)に基づき作成

プルトニウムは約 140t が存在し、セラフィールド社が同社サイトにおいて管理している。英国においてプルサーマルの実績は存在しない。

### 3) 放射性廃棄物管理・処分

英国で放射性廃棄物を取り扱う事業者は NDA 傘下の NRS と NWS である。NRS は、NDA の組織再編によりドーンレイサイト復旧会社の後継組織として、ドーンレイサイトを管理している。NWS は、NDA の組織再編により LLW Repository 社の後継組織として、LLWR サイトを管理している。

表 3.4-6 英国の放射性廃棄物処分施設

項目	概要
①Dounreay LLW facility <sup>174</sup>	
施設概要	ドーンレイサイトの廃止措置に伴って生じる低レベル放射性廃棄物と、海軍が保有するヴァルカンサイトで生じたりサイクルできない低レベル放射性廃棄物の処分を行う
技術	ピット処分、コンクリートポールト
能力	約 17.5 万 m <sup>3</sup> (2020 年 3 月末時点)
稼働状況	稼働中
②LLWR disposal site	
施設概要	英国内で発生する低レベル放射性廃棄物の処理・処分を行う
技術	トレンチ処分(1995 年に終了)、ポールト処分
能力	トレンチ約 80 万 m <sup>3</sup> (満杯) ポールト約 130 万 m <sup>3</sup> (2019 年 4 月末時点)
稼働状況	稼働中

セラフィールド社は、同社が管理するプルトニウムが地層処分されることが決定したため、プルトニウムを地層処分に適切な形態に処理する方法について研究開発を行うとしている<sup>160,160</sup>。また、セラフィールドサイトの廃止措置に必要な技術開発も行っている。

### 3.4.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

英国政府は天然資源に恵まれないことからウランの安定供給確保を重視し、1951年の段階で原子力開発計画の一部に高速炉開発を組み込んでいた<sup>175</sup>。1954年には高速炉開発サイトをスコットランド・ハイランド州のドーンレイにすることが決定した<sup>176</sup>。1959年にはドーンレイ高速炉(DFR)が運転を開始し、1977年まで稼働していた。また、1966年には新たな高速炉の建設が認められ、原型高速炉(PFR)が1974年に運転を開始し、1994年まで稼働していた。

一方、英国政府は1988年時点で今後30～40年は高速炉の商業導入が不要であると判断し、高速炉開発方針を撤回した<sup>177</sup>。これにより、高速炉計画への予算措置が1993年度で打ち切られることとなり、PFRは閉鎖に至った。この判断の背景として、1980年代に電力生産が過剰となったことが挙げられる<sup>175</sup>。

英国政府としては、PFRの運転を通じて高速炉の概念は商業規模で実証されているため、導入は電力業界が判断すべきという立場を取っている。一方、1990年代には北海ガス田から安価な天然ガスが供給されるようになったことから、電力業界による原子力に対する投資が抑制されるようになった。

PFR以降、英国で高速炉プロジェクトは実施されていない。なお、第4世代炉を対象とした先進炉支援政策<sup>e</sup>において高速炉も候補となったが、最終的に高温ガス炉を対象とすることになった<sup>178</sup>。

#### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

英国政府と国立原子力研究所(NNL)が共同で進めていた先進核燃料サイクルプログラム(AFCEP)において、2021年にNNLが公表したロードマップ<sup>f</sup>において将来的な核燃料サイクルの概念図が示されている<sup>179</sup>。ただし、この図はあくまで将来的な可能性を示したものであり、英国政府として目指す核燃料サイクル像ではない。

---

<sup>e</sup> Advanced Modular Reactor Research, Development and Demonstration Programme

<sup>f</sup> Fuelling Net Zero: Advanced Nuclear Fuel Cycle Roadmaps for a Clean Energy Future

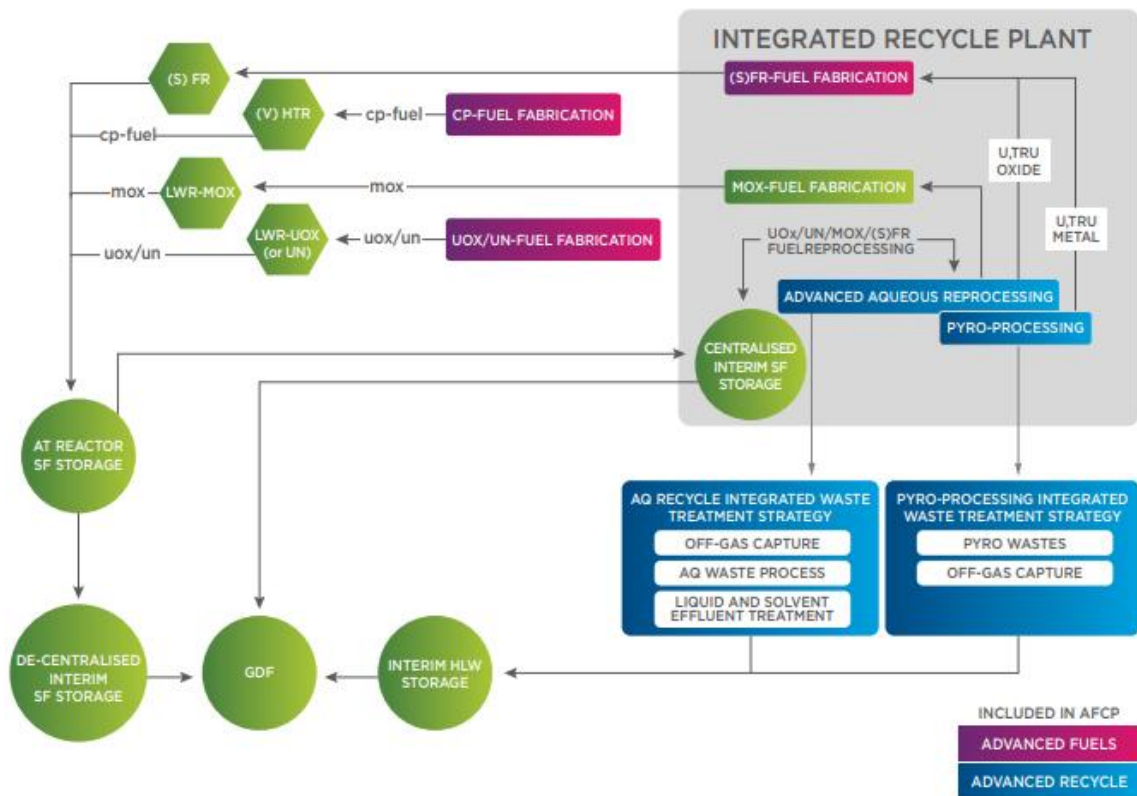


図 3.4-1 将来的な核燃料サイクルの概念図

(出典)NNL “Fuelling Net Zero: Advanced Nuclear Fuel Cycle Roadmaps for a Clean Energy Future” (2021年)

## (2) 高速炉の安全性及び経済性に関する評価

英国政府が第4世代炉を対象とした先進炉支援政策において、支援対象炉型を決定する際に実施された評価では、ナトリウム冷却高速炉の安全性及び経済性は中程度と評価されている。評価は独立した立場で政府に助言を行う原子カインノベーション研究室(NIRO)が実施した。なお、対象として選定された高温ガス炉はそれぞれ非常に高い、高いと評価されている。

	HTGR	SFR	LFR	MSR	SCWR	GFR
Timescales for delivery	Very High	Very High	Medium	Medium	Low	Low
Heat	Very High	Medium	Medium	High	Medium	High
Safety	Very High	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Security	Very High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
UK Value	High	High	Medium	Low	Low	Low
Economic Cost	High	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Deployability	High	High	High	High	Medium	High
Adaptability	High	High	High	Very High	Medium	High
Waste & Environment	Medium	High	High	High	High	Very High
International	Very High	High	Medium	Medium	Low	Low

図 3.4-2 NIRO による第 4 世代炉の評価

(出典)NIRO, Advanced Modular Reactors Technical Assessment(2021 年 7 月)

表 3.4-7 NIRO によるナトリウム冷却高速炉及び高温ガス炉の評価の比較

	ナトリウム冷却高速炉	高温ガス炉
安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>豊富な運転実績があり、設計によっては現代の設計にも応用可能</li> <li>大気圧で運転されるため、加圧に伴う故障リスクが軽減される</li> <li>ナトリウムは空気や水と発熱反応を起こす</li> <li>高速中性子による材料劣化が予想される</li> <li>冷却材内のボイドが正の反応度を持つ</li> <li>負の反応度を投入する手段としてホウ素注入が利用できないため、多様な停止システムの実装が課題となる(制御棒のみに基づく停止システムの多様性を実証することは困難)</li> <li>ナトリウムの特性により、運転中検査、修理、使用済燃料管理は困難且つ危険を伴う</li> <li>プール型 SFR における作業員の被ばく線量は PWR の 10 分の 1 である</li> <li>再処理、廃棄物処理、廃止措置に課題がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主張を裏付けるために更なる努力が必要であるものの、既に高い安全性が実証されている</li> <li>あらゆる条件下で核分裂生成物の放出を回避するような受動的安全性を達成できる</li> <li>高温運転と材料経年劣化に関する更なる研究が必要</li> <li>黒鉛減速材の熱容量と負の温度係数は受動的安全性を高める</li> <li>放射線防護等の観点から黒鉛粉じん管理が必要となる</li> <li>ヘリウム冷却材は特定条件で腐食性を示すため、その挙動に関する研究が必要</li> </ul>
経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>二次ナトリウム系が必要となるため資本コストが増大</li> <li>再処理に伴う追加コストが発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究開発費用は技術成熟度と比べて比較的低い</li> <li>再処理が不要であるためインフラコストが比較的低い</li> <li>比較的输出密度が低いため、発電容量当たりのコストが上昇する可能性がある</li> <li>廃棄物処理に関連するコストは複雑であるが、エネルギーコストのごくわずかとなる</li> </ul>

(出典)NIRO, Advanced Modular Reactors Technical Assessment(2021 年 7 月)を基に作成

### 3.4.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

##### 1) ドーンレイ高速炉(DFR)

###### a. 設置経緯・目的

英国政府が主導する高速炉開発研究のサイトとして 1954 年にスコットランド・ハイランド州のドーンレイサイトが選定された。UKAEA が実施主体となり、1955 年に建設が開始され、実験炉であるものの 1962 年に送電網に併入された。高速炉に関する様々なデータを取得するための基礎実験に利用された。

###### b. 諸元

DFR の諸元などの情報は以下のとおりである<sup>180</sup>。

表 3.4-8 DFR の諸元などの情報

炉型	高速炉(実験炉)
燃料	ウラン・モリブデン合金
冷却材	ナトリウム・カリウム合金
グロス電気出力	15MWe
熱出力	60MWt
建設開始日	1955年3月1日
初臨界日	1959年11月14日
初回グリッド併入日	1962年10月1日
商業運転開始日	1962年10月2日
恒久停止日	1977年3月1日
所有者	UKAEA(現在はNDA)
運転者	UKAEA(現在はNDA)

出所)IAEA PRIS(2026年2月24日閲覧)、ATOMICA「ドーンレイ炉」より作成

###### c. 運転実績

IAEA PRISによれば、DFR は 1972 年から 1977 年にかけて 0.54TWh を発電した。

###### d. 事故情報

DFR が事故を起こしたという情報は確認できなかった。

##### 2) 原型高速炉(PFR)

###### a. 設置経緯・目的

DFR の実験的成果を受け、より大型で実用的な高速炉の研究開発を進める段階となったことから、1966 年に実用化を見据えた原型炉として PFR の建設を政府が承認した。DFR と PFR はいずれも

ドーンレイサイト内にある。PFR では DFR と異なり、MOX 燃料と金属ナトリウムを用いていた。また、使用済燃料の再処理も実施され、クローズドサイクルの実証も目的として運用された<sup>175</sup>。

## b. 諸元

PFR の諸元などの情報は以下のとおりである<sup>181</sup>。

表 3.4-9 DFR の諸元などの情報

炉型	高速炉(実験炉)
燃料	MOX 燃料
冷却材	金属ナトリウム
グロス電気出力	250MWe
熱出力	600MWt
建設開始日	1966年1月1日
初臨界日	1974年3月1日
初回グリッド併入日	1975年1月10日
商業運転開始日	1976年7月1日
恒久停止日	1994年3月31日
所有者	UKAEA(現在は NDA)
運転者	UKAEA(現在は NDA)

出所)IAEA PRIS(2026年2月24日閲覧)、ATOMICA「イギリスの高速増殖炉研究開発」より作成

## c. 運転実績

IAEA PRIS によれば、PFR は 1978 年から 1991 年にかけて 7.14TWh を発電した。

## d. 事故情報

PFR は環境に影響を及ぼすような事故は起こしていないが、1987 年にナトリウム漏えいとそれに伴う原子炉緊急停止が発生した。正常に自動安全停止システムが作動し、原子炉は安全に停止した<sup>182</sup>。

### (2) 現在開発中の高速炉

2026 年 2 月時点で、IAEA の先進炉情報システム (ARIS) に登録された英国企業による高速炉は存在しない。なお、かつて newcleo 社が鉛冷却高速炉の開発を進めていたが、同社は本社をフランスに移転している。

### (3) 高速炉用燃料

英国はかつて高速炉を運転しており、NNL が高速炉燃料製造ラインを保有していた。AFCP の一環として 2021 年に公表されたロードマップでは NNL が保有していた施設を活用して MOX 燃料の製造を目指すとしているが、2026 年 2 月時点では高速炉計画がないため、高速炉用燃料製造に関する研究開発も進められていない模様である。

### (4) 使用済燃料の処理

高速炉に係る使用済燃料処理に関しては、3.4.3 (1)2)に示したように、1994 年に閉鎖された PFR

の使用済燃料の再処理が実施され、クローズドサイクルの実証が試みられた。PFR の使用済燃料と増殖用燃料集合体 18t 以上が再処理され、回収されたプルトニウムは、セラフィールドにおいて、新燃料の製造に使用された<sup>175</sup>。しかし現在、英国内では高速炉の建設を目指す事業者がいないため、高速炉使用済燃料の再処理に関する研究開発も進められていない。

### 3.4.4 高速炉導入に関する社会的な活動

#### (1) 情報発信及び理解促進活動

英国には運転中の高速炉及び導入を予定している高速炉は存在しないが、過去に運転していた DFR 及び PFR の廃止措置情報や歴史に関する情報発信、理解促進活動等が行われている。両基の廃止措置を担う NDA の子会社 NRS は、ウェブサイト上や動画配信サイト YouTube を通じて、高速炉の廃止措置の進捗状況を紹介する動画(例:高速炉(PFR)からナトリウム金属冷却材の「ヒールプール」の除去など)を公開するなど、情報発信を行っている<sup>183</sup>。同国初の高速炉である DFR の制御室は、科学遺産として、スコットランド国立博物館とロンドンの科学博物館が共同所有する形で寄贈され、両館で交互に展示されている<sup>184</sup>。

また英国では、原子力立地地域における地域参画の受け皿として、各地域に「ステーキホルダーグループ」が設置されている。廃止措置サイトにおいてはサイトステーキホルダーグループ(SSG)と呼ばれる。SSG は地域の住民、自治体議員、地域関係団体等で構成され、年 4 回以上定例の会合を開催し、事業者や規制当局などから情報提供を受け、意見交換などを行うほか、原子力産業からの地域活動に対する資金的支援の受け皿となっている<sup>185</sup>。ドーンレイではドーンレイ・ステーキホルダーグループが活動している。NSR の資金援助を受けて、同地域では科学教育(STEM)支援のほか、「ドーンレイ伝承グループ(Dounreay Reminiscence Group(DRG))」として、元従業員や家族、地域住民が高速炉を含むドーンレイの歴史や経験に関する語り部活動などを行っていることが確認できる<sup>186</sup>。

英国政府は、原子力分野や核燃料サイクルに限らず、重要な政府方針を決定する前にコンサルテーションを実施し、政府方針案に対する意見募集を行っている。NDA が 5 年ごとに策定するグループ全体の廃止措置方針戦略も全国を対象としたコンサルテーションの対象であり、3 カ月間の意見募集が行われ、提示された意見に対する政府回答・見解が公開されている。コンサルテーションを経て 2026 年 3 月に公表された NDA の現在の廃止措置戦略では、ドーンレイサイトの廃止措置終了後の最終的な姿(エンドステート)に向けて、ステーキホルダーグループを中心とした地域と協議を重ねるプロセスをとることが示されている<sup>170</sup>。

#### (2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動

英国政府は高速炉開発拠点として、人口密度が低い、海に近い、経済振興が必要という条件を設定しており、ドーンレイはいずれも満たしていた。また、ドーンレイが位置するケイブス地方は伝統産業の衰退、若年層の流出、雇用機会の不足といった課題を抱えていたため、地元議会や自治体は政府主導の高速炉開発を地域再生の機会と捉え、積極的に受け入れを支持した。

なお、核燃料サイクルの拠点となるセラフィールドサイトは、核兵器開発拠点として国家安全保障上決定された。

### (3) 高速炉の事故と社会的影響

PFRにおける事故は環境に影響を及ぼさなかったため、直接的な社会的影響を指摘する文献は確認されていない。

## 参考文献

- <sup>131</sup> 英国議会 “Atomic Energy Authority Bill HL, Volume 309: debated on Tuesday 14 April 1970”(1970年4月14日)  
<https://hansard.parliament.uk/Lords/1970-04-14/debates/3e1ce2e1-6d24-4b29-b9d1-88ccb3501c4d/AtomicEnergyAuthorityBillHlhighlight>
- <sup>132</sup> Sellafield Ltd “The First-Generation Reprocessing Plant”(2025年10月14日)  
[https://www.gov.uk/government/case-studies/the-first-generation-reprocessing-plant?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gov.uk/government/case-studies/the-first-generation-reprocessing-plant?utm_source=chatgpt.com)
- <sup>133</sup> WNA “Nuclear Development in the United Kingdom”(2025年6月)  
<https://world-nuclear.org/information-library/appendices/nuclear-development-in-the-united-kingdom>
- <sup>134</sup> Professor Sir Roger Williams, “UK Civil Nuclear Energy: What Lessons?” British Academy British Academy Review Issue 13 (2009年)  
<https://www.thebritishacademy.ac.uk/documents/772/04-nuclear.pdf>
- <sup>135</sup> ATOMICA「イギリスの再処理施設」(2007年12月)  
[https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat\\_detail\\_04-07-03-09.html](https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-07-03-09.html)
- <sup>136</sup> NDA “Operations to end at Sellafield’s Magnox Reprocessing Plant”(2022年5月17日)  
<https://www.gov.uk/government/news/operations-to-end-at-sellafields-magnox-reprocessing-plant>
- <sup>137</sup> 英国政府印刷局 “The Windscale Inquiry Report by the Hon Mr Justice Parker”(1978年)  
<https://fissilematerials.org/library/uk78.pdf>
- <sup>138</sup> NDA “New era at Sellafield as Thorp reprocessing ends”(2018年11月14日)  
<https://www.gov.uk/government/news/new-era-at-sellafield-as-thorp-reprocessing-ends>
- <sup>139</sup> セラフィールド社 “What is Thorp?”(2024年9月25日)  
<https://www.gov.uk/government/case-studies/what-is-thorp>
- <sup>140</sup> 英国議会 “Windscale Inquiry”(1978年5月8日)  
<https://api.parliament.uk/historic-hansard/written-answers/1978/may/08/windscale-inquiry>
- <sup>141</sup> 英国議会 “Nuclear Privatisation Research Paper 96/3”(1996年1月15日)  
<https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/RP96-3/RP96-3.pdf>
- <sup>142</sup> 英国通商産業省、スコットランド庁 “The Prospects for Nuclear Power in the UK”(1995年)
- <sup>143</sup> 英国議会 “Nuclear Fuel (Reprocessing)”(1996年4月3日)  
<https://hansard.parliament.uk/Commons/1996-04-03/debates/b42afaf1-483e-4cf9-bb58-082d5b3e8fdd/NuclearFuel%28Reprocessing%29>
- <sup>144</sup> 英国議会 “Further supplementary memorandum submitted by British Energy”(2000年4月7日)  
<https://publications.parliament.uk/pa/cm199900/cmselect/cmtrdind/307/0032107.htm>
- <sup>145</sup> 英国政府, “Civil Nuclear: Roadmap to 2050”(2024年1月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65c0e7cac43191000d1a457d/6.8610\\_DESNZ\\_Civil\\_Nuclear\\_Roadmap\\_report\\_Final\\_Web.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65c0e7cac43191000d1a457d/6.8610_DESNZ_Civil_Nuclear_Roadmap_report_Final_Web.pdf)
- <sup>146</sup> 英国政府 “Management of the UK’s Plutonium Stocks”(2011年12月1日)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/42773/3694-govt-resp-mgmt-of-uk-plutonium-stocks.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/42773/3694-govt-resp-mgmt-of-uk-plutonium-stocks.pdf)

- <sup>147</sup> NDA “Progress on approaches to the management of separated plutonium” (2014年1月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7f1793ed915d74e622855c/Progress\\_on\\_approaches\\_to\\_the\\_management\\_of\\_separated\\_plutonium\\_position\\_paper\\_January\\_2014.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7f1793ed915d74e622855c/Progress_on_approaches_to_the_management_of_separated_plutonium_position_paper_January_2014.pdf)
- <sup>148</sup> NDA “PROGRESS ON PLUTONIUM CONSOLIDATION, STORAGE AND DISPOSITION”(2019年3月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5c9e3e0140f0b625e1cbd851/Progress\\_on\\_Plutonium.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5c9e3e0140f0b625e1cbd851/Progress_on_Plutonium.pdf)
- <sup>149</sup> 英国議会 “Plutonium Disposition Strategy”(2025年1月24日)  
<https://questions-statements.parliament.uk/written-statements/detail/2025-01-24/hcws388>
- <sup>150</sup> 英国議会 “Plutonium Question for Department for Energy Security and Net Zero”(2025年2月6日)  
<https://questions-statements.parliament.uk/written-questions/detail/2025-02-06/29470/>
- <sup>151</sup> NDA “Understanding activities that produce radioactive wastes in the UK”  
<https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2014/01/Fact-sheet-uranium-mining-and-milling.pdf>
- <sup>152</sup> EDF エナジー社 “Supplementary written evidence submitted by EDF Energy (POW0105)”(2023年12月)  
<https://committees.parliament.uk/writtenevidence/127979/pdf/>
- <sup>153</sup> Cameco “Cameco ends toll-conversion agreement with Springfields Fuels Ltd.” (2014年3月31日)  
[https://www.cameco.com/sites/default/files/2024-03/14\\_03\\_31\\_SFL.pdf](https://www.cameco.com/sites/default/files/2024-03/14_03_31_SFL.pdf)
- <sup>154</sup> ウェスティングハウス UK 社 “Westinghouse Receives UK Government Grant to Explore Uranium Conversion Services”(2022年12月13日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-beis-award>
- <sup>155</sup> 英国議会 “Directions to the Nuclear Decommissioning Authority in respect of the Springfields Nuclear Site”(2024年2月7日)  
<https://questions-statements.parliament.uk/written-statements/detail/2024-02-07/hcws248>
- <sup>156</sup> DESNZ “UK first in Europe to invest in next generation of nuclear fuel”(2024年5月8日)  
<https://www.gov.uk/government/news/uk-first-in-europe-to-invest-in-next-generation-of-nuclear-fuel>
- <sup>157</sup> DESNZ “Advanced Nuclear Framework”(2026年2月)  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/698483397da3dc19896c7ddc/advanced-nuclear-framework.pdf>
- <sup>158</sup> DESNZ “Statement on civil nuclear fuel use”(2026年2月4日)  
<https://www.gov.uk/government/publications/civil-nuclear-fuel-use-statement/statement-on-civil-nuclear-fuel-use>
- <sup>159</sup> NDA ウェブサイト “About us”(2025年2月7日閲覧)  
<https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-decommissioning-authority/about>
- <sup>160</sup> セラフィールド社ウェブサイト “About us”(2025年2月7日閲覧)  
<https://www.gov.uk/government/organisations/sellafield-ltd/about>
- <sup>161</sup> NRS ウェブサイト、About us(2025年2月7日閲覧)  
<https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-restoration->

- [services/about](#)
- <sup>162</sup> NWS ウェブサイト “About us”(2025 年 2 月 7 日閲覧)  
<https://www.gov.uk/government/organisations/nuclear-waste-services/about>
- <sup>163</sup> NTS ウェブサイト “Who we are”(2025 年 2 月 7 日閲覧)  
<https://nucleartransportsolutions.com/about-us/who-we-are/>
- <sup>164</sup> 英国政府プレスリリース “Decommissioning agreement reached on advanced gas cooled reactor (AGR) nuclear power stations”(2021 年 6 月 23 日)  
<https://www.gov.uk/government/news/decommissioning-agreement-reached-on-advanced-gas-cool-reactor-agr-nuclear-power-stations>
- <sup>165</sup> EDF エナジー社ウェブサイト “Nuclear decommissioning”  
<https://www.edfenergy.com/about/nuclear/decommissioning>
- <sup>166</sup> NDA “Annual Report and Accounts 2023/24”(2024 年 10 月)  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6703df05080bdf716392ef1c/AR-AC-2023-24-final-for-web.pdf>
- <sup>167</sup> NDA “Understanding activities that produce radioactive wastes in the UK” (2015 年)  
<https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2014/01/Understanding-activities-that-produce-radioactive-wastes-in-the-UK.pdf>
- <sup>168</sup> ONR-NGO groups – Written evidence (RSK0096)(2021 年 5 月 20 日)  
<https://committees.parliament.uk/writtenevidence/24899/pdf/>
- <sup>169</sup> NDA プレスリリース “Job done: Sellafield plant safely completes its mission” (2022 年 7 月 19 日)  
<https://www.gov.uk/government/news/job-done-sellafield-plant-safely-completes-its-mission>
- <sup>170</sup> NDA “The NDA group Strategy Effective from March 2026” (2026 年 3 月)  
<https://www.gov.uk/government/publications/the-nda-group-strategy-effective-from-march-2026/the-nda-group-strategy-effective-from-march-2026>
- <sup>171</sup> NDA “Managing nuclear materials and spent fuels”(2019 年 9 月 30 日最終更新)  
<https://www.gov.uk/government/collections/managing-nuclear-materials-and-spent-fuels>
- <sup>172</sup> EDF エナジー社ウェブサイト “Managing Spent Fuel at Hinkley Point C”(2025 年 2 月 8 日閲覧)  
<https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c/supporting-the-environment/managing-spent-fuel-hinkley-point-c>
- <sup>173</sup> NDA “2022 UK Radioactive Material Inventory”(2022 年)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/63e24c2e8fa8f50e805a3e66/2022\\_Materials\\_Report\\_-\\_010223.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/63e24c2e8fa8f50e805a3e66/2022_Materials_Report_-_010223.pdf)
- <sup>174</sup> BEIS “2022 UK Radioactive Waste Inventory”  
<https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2023/02/2022-Waste-Report-010223.pdf>
- <sup>175</sup> UKAEA, “The UK and the Fast Breeder Reactor (仮訳)”(1997 年 5 月 8 日)  
[https://www.aec.go.jp/kaigi/senmon/koso/siry04/2\\_sankou.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/senmon/koso/siry04/2_sankou.pdf)
- <sup>176</sup> ドーンレイ社 “Dounreay 2023”(2023 年 4 月 3 日)  
<https://www.gov.uk/government/publications/dounreay-2023/dounreay-2023>
- <sup>177</sup> 英国議会 “Fast Reactor Programme”(1988 年 7 月 21 日)  
<https://api.parliament.uk/historic-hansard/commons/1988/jul/21/fast-reactor-programme>
- <sup>178</sup> NIRO “Advanced Modular Reactors Technical Assessment”(2021 年 7 月)

- <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/610158a5e90e0703ad63350d/niro-217-r-01-issue-1-technical-assessment-of-amrs.pdf>
- <sup>179</sup> NNL “Fuelling Net Zero: Advanced Nuclear Fuel Cycle Roadmaps for a Clean Energy Future” (2021 年 6 月)  
<https://afcp.nnl.co.uk/wp-content/uploads/sites/3/2021/06/AFCP-Advanced-Nuclear-Roadmaps.pdf>
- <sup>180</sup> IAEA, PRIS “Dounreay DFR”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=242>
- <sup>181</sup> IAEA, PRIS “Dounreay DFR”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=242>
- <sup>182</sup> A. CRUICKSHANK, A.M. JUDD “PROBLEMS EXPERIENCED DURING OPERATION OF THE PROTOTYPE FAST REACTOR, DOUNREAY, 1974-1994”  
<https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20114860>
- <sup>183</sup> NRS DounreayTV “Removal of a ‘heel pool’ of sodium metal coolant from the Dounreay Prototype Fast Reactor (PFR)”  
<https://www.youtube.com/watch?v=DyDXs9HJwcQ>
- <sup>184</sup> 英国政府プレスリリース “Museums to share historic control room” (2015 年 8 月)  
<https://www.gov.uk/government/news/museums-to-share-historic-control-room>
- <sup>185</sup> NDA “NDA\_Guidance\_for\_Site\_Stakeholder\_Groups”  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64f1a10a9ee0f2000db7bd61/ND\\_A\\_Guidance\\_for\\_Site\\_Stakeholder\\_Groups\\_-\\_2021.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64f1a10a9ee0f2000db7bd61/ND_A_Guidance_for_Site_Stakeholder_Groups_-_2021.pdf)
- <sup>186</sup> ドーンレイサイトステークホルダーグループ “DOUNREAY SOCIO ECONOMIC UPDATE” (2026 年 1 月)  
[https://www.dounreaystakeholdergroup.org/wp-content/uploads/2026/01/DSG\\_SESG2026P042-Dounreay-socio-ec-update-January-2026-.pdf](https://www.dounreaystakeholdergroup.org/wp-content/uploads/2026/01/DSG_SESG2026P042-Dounreay-socio-ec-update-January-2026-.pdf)

## 3.5 ロシア

### 3.5.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクル政策の変遷

2026年現在、ロシアはウラン採掘等のフロントエンドから再処理、使用済燃料貯蔵、処分といったバックエンドまでを一貫してほぼ国内で完結できるクローズドサイクルの確立を目指すとともに、国外に対しても原子炉や燃料の供給に加えて、バックエンドサービスも含む包括的なパッケージを提供する戦略を採っている。

同国では旧ソビエト連邦(ソ連)時代に、世界初の民生用原子力発電所であるオブニンスク原子力発電所(AM-1、黒鉛炉)を運開させた実績を有する<sup>187</sup>。ソ連では原子力開発初期より、核物質及び燃料再生産の燃料サイクルを志向していた。高速炉開発は軍事利用(原爆材料としてのプルトニウム生産)と発電利用のデュアルパーパスで開始された。1949年にレイプンスキー博士がソビエト政府に、高速炉構想を示した際のサイクル構想は、軍事用のプルトニウム確保及び将来的な原子力大規模拡大を想定し、ウラン資源を枯渇させないよう、消費以上のプルトニウムを生産する増殖を重視する増殖サイクル方針であった(増殖比 1.2-1.4 目標)。しかし、高速炉開発が実験フェーズから実用炉(実証炉)へとスケールアップするフェーズで、デュアルパーパスにおける軍事と民生の比重は変化し、プルトニウム増殖比の向上を追求する方針から、エネルギー生産を主目的とする方針に移行していった(3.5.3 (1)1参照)<sup>188,189</sup>。

ソ連崩壊後のロシアでは、2000年に始まったプーチン政権下で、原子力・核燃料サイクル体制が再編され、国内での新設に加え、旧共産圏に留まらず原子力振興国・地域を対象とする国外展開も強化された。2001年には国外からの使用済燃料の引き取りを可能にする法律が成立し、ロシアが国外の使用済燃料を引き取り、再処理や処分を事業として行い収益を得ることが可能となった<sup>190</sup>。2004年にはソ連時代の原子力事業を引き継いでいた MINATOM が、行政機関「連邦原子力庁」としての ROSATOM に改組された。その後、プーチン大統領は 2007 年 12 月 1 日の大統領令で、ROSATOM を連邦原子力庁から、法人としての「ROSATOM 国営原子力会社」へと変更し、軍民の原子力・核燃料サイクルに係る行政と事業を一体で担う組織へと改編した<sup>191</sup>。

2000年代以降のプーチン政権下のもと、ロシアではクローズドサイクルの実現を目指し、高速炉を将来のエネルギー問題解決の鍵と位置づけ、再処理によって有益な資源を再利用し、放射性廃棄物の量と毒性を最小化する方針で研究開発が進められた。同国では 5~10 年の短中期で重点的に取り組む各種技術分野での取り組み等を、「連邦目標プログラム(FTP)」として定めており、「原子力及び放射線安全に関する FTP(2008-2015 年)」のもとでは、使用済燃料や放射性廃棄物管理、核燃料のクローズドサイクル技術開発の強化に関する目標が示され、その一環として、2011年に「Proryv(ブレイクスルー)」プロジェクトが開始された。同プロジェクトのもとでは、軽水炉である VVER と高速炉の両方でマルチリサイクルを行いクローズドサイクルを実現する「二成分システム」の構築が目指されている(3.5.2 (1)参照)。高速炉に関してはプルトニウム増殖、核燃料再生を前面に打ち出していたソ連時代の構想から、蓄積された使用済燃料やプルトニウム、さらにはマイナーアクチノイドを高速炉で燃焼させ消費する形へとシフトしている。ソビエト時代に構想された BN-600 や BN-800、またロシアで開発さ

れている BN-1200 はいずれも技術的には高速増殖炉だが、運転中の BN-600 及び BN-800 は現在、概ね増殖比 1.0 未満で運用されている。建設中の鉛高速冷却炉 BREST-OD-300 でも、プルトニウム増殖は追求せず、消費と生産が平衡する増殖比で運転し<sup>192</sup>、同サイト内に設置される燃料工場と再処理工場と合わせて、オンサイトで(ほぼ)クローズドサイクルを実現することが目指されている。

ロシア(ROSATOM)は自国内で再処理、MOX 利用を行うことに加え、国外に対しても、ロシアが供給した燃料を国外で建設した VVER 等で使用し、使用済燃料をロシアで引き取って再処理し、ロシア国内で MOX 燃料などとして使用するサービスパッケージ(持続可能な核燃料サイクル)を提供している(3.5.2 (1)参照)。

ストックホルム国際平和研究所のレポートによれば、ロシアは使用済燃料の引き取りを実施する唯一のサプライヤーであり、このサービスにより新興国が核燃料サイクル施設を自前で持たなくてよくなること、また特にイランのような国に対しても、使用済燃料およびこれに含まれるプルトニウムをロシアが引き取ることで、核不拡散上のリスク回避を図っているとしている<sup>193</sup>。

### 1) ROSATOM グループ構成

ロシアでは国営原子力会社 ROSATOM が原子力行政及び軍民の原子力事業全体を担っている。このうち民生原子力部門は「アトムエネルゴプロム」のもとに統括されている。ROSATOM 民生原子力部門の主要構成を図 3.5-1 に示す。



図 3.5-1 ROSATOM 民生原子力部門の構成

(出典)ROSATOM ウェブサイトなどより作成

## (2) フロントエンド

ロシアはウラン採掘、転換、濃縮、再転換、燃料加工までのフロントエンド全体を国内で実施している。ウラン鉱石に関しては国外からの調達もあるが、その他は自国生産で自国需要に対応可能である。

2022 年のウクライナ侵略以後、米国におけるロシア産ウラン輸入禁止の法律成立、また欧米での濃縮能力拡大など脱ロシアと呼ばれるさまざまな動きがあるが、ROSATOM 長官は 2024 年にタス通信のインタビューに対し、国内で原子力拡大計画が進んでいること、また世界におけるロスアトム製のウラン製品の需要は絶えず増加していること、中国をはじめとする友好国で高まる需要をどのように満たすかを検討することがより重要としている<sup>194</sup>。すなわちロシア側として、欧米原子力部門の一部で見られる脱ロシアの動きの影響は、深刻ではないとの姿勢を示している。

### 1) ウラン採掘

ROSATOM グループ傘下のアトムエネルギープロム子会社、ARMZ 社がウラン採掘・精錬を実施している。ウラン採掘・精錬施設についてはプリアルグンスク、ダルル、ヒアグダにある施設が操業中である。また、プリアルグンスクではさらなる鉱脈の開発、エルコン、ルーンナエでも施設建設が計画されている。採掘部門会社 ARMZ 社が保有する鉱山等を図 3.5-2 に示す(金など、ウラン以外の鉱物を含む)<sup>195</sup>。



図 3.5-2 ARMZ 社の鉱山資産(操業中・計画中)

(出典)ROSATOM "PERFORMANCE OF THE MINING DIVISION OF ROSATOM" (2024 年)

### 2) 転換

ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う TVEL が、セベルスク(閉鎖都市)に所在するシベリア化学コンビナート(SCC)の転換プラントを操業している。同プラントはロシア国内で現在稼働する唯一の転換プラントである。回収ウランの UF<sub>6</sub> への転換を商業規模で実施している点も特徴として挙げられる。

表 3.5-1 ロシアの転換プラント<sup>196,197</sup>

項目	概要
施設名称	シベリア化学コンビナート(SCC)転換プラント
施設概要	セベルスク(閉鎖都市 <sup>a</sup> )に所在。転換から燃料集合体まで、一連の機能を持つ。転換においては現在、国内唯一の施設ウラン転換施設。回収ウランを、燃料に利用可能な UF <sub>6</sub> に転換する能力も持つ。
技術	湿式プロセス
能力	12,500tU (2022 年推計)
稼働状況	1953 年に稼働開始
稼働実績	12,000t(2022 年推計)

(出典)ROSATOM SCK, “Siberian Chemical Plant”(2026 年 2 月 5 日閲覧)、ROSATOM SCK, “Siberian Chemical Plant”(2026 年 2 月 5 日閲覧)より作成

### 3) 濃縮

ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う TVEL が、ロシア国内 4 か所のプラントでウラン濃縮を実施している。TVEL 生産製品の海外販売、輸送は TENEX によって行われている。現在ロシア国内で稼働している 4 つの濃縮施設を以下に整理する。

表 3.5-2 ロシアの濃縮プラント<sup>198</sup>

項目	概要
①ウラル電気化学プラント(UEIP)濃縮プラント	
施設概要	ノボウラルスク(閉鎖都市)に所在。濃縮ウランの製造に加え、燃料加工施設も持つ。現在、30%までの高濃縮ウランに対応する唯一のプラント。
技術	遠心分離法
能力	10,000 tSWU/年
稼働状況	1949 年にガス拡散法によるプラント設置、1988 年までに遠心分離法に切り替え。2026 年現在第 5 世代から第 9 世代の遠心分離機が稼働中 <sup>199</sup>
稼働実績	不明
②電気化学プラント(PA ECP)濃縮プラント	
施設概要	ゼレノゴルスクに所在(閉鎖都市)。濃縮ウランの製造のほか、劣化ウランの処理も実施
技術	遠心分離法
能力	8,700 tSWU/年
稼働状況	1964 年に操業開始
稼働実績	生産量実績は不明
③シベリア化学コンビナート(SCC)濃縮プラント	
施設概要	セベルスクに所在。ウラン濃縮(回収ウランの濃縮も実施)、燃料製造、使用済燃料再処理、燃料の開発に加え、高速炉 BREST-300 の立地サイトでもある
技術	遠心分離法
能力	4,000 tSWU/年
稼働状況	1953 年に操業開始
稼働実績	生産量実績は不明
④電解化学コンビナート濃縮プラント	
施設概要	アンガルスクに所在。IAEA 管理下で低濃縮ウランを備蓄する国際ウラン濃縮センター(IUEC)が敷地内にある。2010 年まで、Urenco と AREVA の濃縮施設の劣化ウランを引き受け再濃縮していた。
技術	遠心分離法
能力	2,600 tSWU/年
稼働状況	1954 年に操業開始、1992 年までにガス拡散法から遠心分離法への移行完了
稼働実績	生産量実績は不明

(出典)WNA “Russia’s Nuclear Fuel Cycle”(2026 年 2 月 5 日閲覧)、UEIP “История УЭХК”(2026 年 2 月 5 日閲覧)より作成

<sup>a</sup> 法令で指定され、人の出入りなどが監視・制限される都市。ZATO と称される。(3.5.4 節参照)

#### 4) 再転換

劣化六フッ化ウラン(DUF<sub>6</sub>)の再転換は、TVEL により、ゼレノゴルスク(閉鎖都市)に所在する電気化学プラントで実施されている。

表 3.5-3 ロシアの再転換プラント<sup>200</sup>

項目	概要
施設名称	電気化学プラント(PA ECP)再転換プラント
施設概要	ゼレノゴルスクに所在。濃縮施設と同じサイト内にある。劣化ウランの再転換を実施
技術	不明
能力	10,000tDUF <sub>6</sub> /年
稼働状況	2009 年に操業開始
稼働実績	11,780tDUF <sub>6</sub> (2024 年)

(出典)電気化学プラント “Environmental safety report 2024”より作成

#### 5) 燃料加工(MOX 含む)

ウラン燃料、MOX 燃料ともに TVEL 傘下の施設で生産されている。このほか、ROSATOM 直轄のマヤーク生産合同など研究炉向けの MOX 燃料を製造するパイロット施設も存在する。MOX 燃料は主として高速炉用であり、VVER 向けの再生燃料としては、VVER 燃料の再処理で回収するウランとプルトニウムを分離しない形の混合物質のまま、17%以下の低濃縮ウランと混ぜて製造する REMIX 燃料の試験製造が行われている。以下、ロシア国内で商用規模のウラン燃料、MOX 燃料製造を行っている施設について整理する。

表 3.5-4 ロシアの燃料加工プラント<sup>201</sup>

項目	概要
①機械建設工場(Machine Building Plant)-JSC MSZ ウラン燃料加工プラント	
施設概要	エレクトロスタリに所在。 VVER、RBMK、P・BWR、FBR 向けウラン燃料部品、燃料集合体製造
技術	-
能力	VVER、P・BWR 燃料:1,100 t U/年 RBMK 燃料:460t U/年 高速炉燃料:50t U/年 ※中国への輸出実績あり <sup>202</sup>
稼働状況	1965 年に操業開始
稼働実績	-
②ノボシビルスク化学コンセントレート工場 NCCP(Pellets)ペレット製造プラント	
施設概要	ノボシビルスクに所在。軽水炉向けウランペレットの製造
技術	-
能力	1,200 t U/年
稼働状況	1979 年に操業開始
稼働実績	-
③鈹業化学コンビナート (MCC)MOX 燃料加工プラント	
施設概要	ジェレズノゴルスク(閉鎖都市)に所在。高速炉 BN800 用 MOX 燃料製造
技術	-
能力	400 体/年
稼働状況	2015 年に操業開始
稼働実績	-
④鈹業化学コンビナート (MCC)REMIX 燃料ペレット製造プラント	
施設概要	ジェレズノゴルスク(閉鎖都市)に所在。MOX に替わる VVER 用再処理燃料として 開発中の REMIX 燃料ペレットを製造
技術	REMIX(回収プルトウランを分離せず使用)
能力	不明
稼働状況	開始年不明
稼働実績	2021 年に燃料集合体 6 体分の REMIX ペレットを製造
⑤シベリア化学コンビナート(SCC)REMIX 燃料加工プラント・ BREST-300 用ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料製造・再製造プラント	
施設概要	MOX に替わる VVER 用再処理燃料として開発中の REMIX 燃料集合体を製造 また現在 SCC 内で建設中の高速炉 BREST-300 用の MNUP 燃料を製造
技術	REMIX(回収プルトウランを分離せず使用) MNUP 燃料については不明
能力	REMIX:不明 MNUP 燃料:不明。従事人数は 250 名
稼働状況	REMIX:開始年不明 MNUP 燃料:2024 年に試運転
稼働実績	2021 年に REMIX 燃料集合体 6 体を製造

(出典)IAEA NFCIS “List of Nuclear Fuel Cycle Facilities” (2026 年 2 月 5 日閲覧)ほかより作成

### (3) バックエンド

ロシアでは使用済燃料の再処理を前提としている。マヤークにある再処理プラント RT-1 は、軽水炉や高速炉を含めた幅広い種類の使用済燃料の再処理実績を持つ。MCC では第 2 プラントとなる RT-2 に向けた準備が進められている。現状において再処理がなされているのは発生する使用済燃料の一部であり、その多くはサイト内外で貯蔵されている。近年は、各原子力発電所から、RT-2 が計画されている MCC にある集中中間貯蔵施設への使用済燃料の搬出が進められている。

最終処分に関して、ロシアは使用済燃料の再処理を前提としており、再処理により発生するガラス固化体などの高レベル放射性廃棄物を、地層処分する計画である。地層処分場候補地は、鉍業化学コンビナート(MCC)近隣のエニセイスキーサイト(2016年に選定)で、現在、地下研究施設が建設されている。

使用済燃料の全体像を図 3.5-3 に示す<sup>203</sup>。

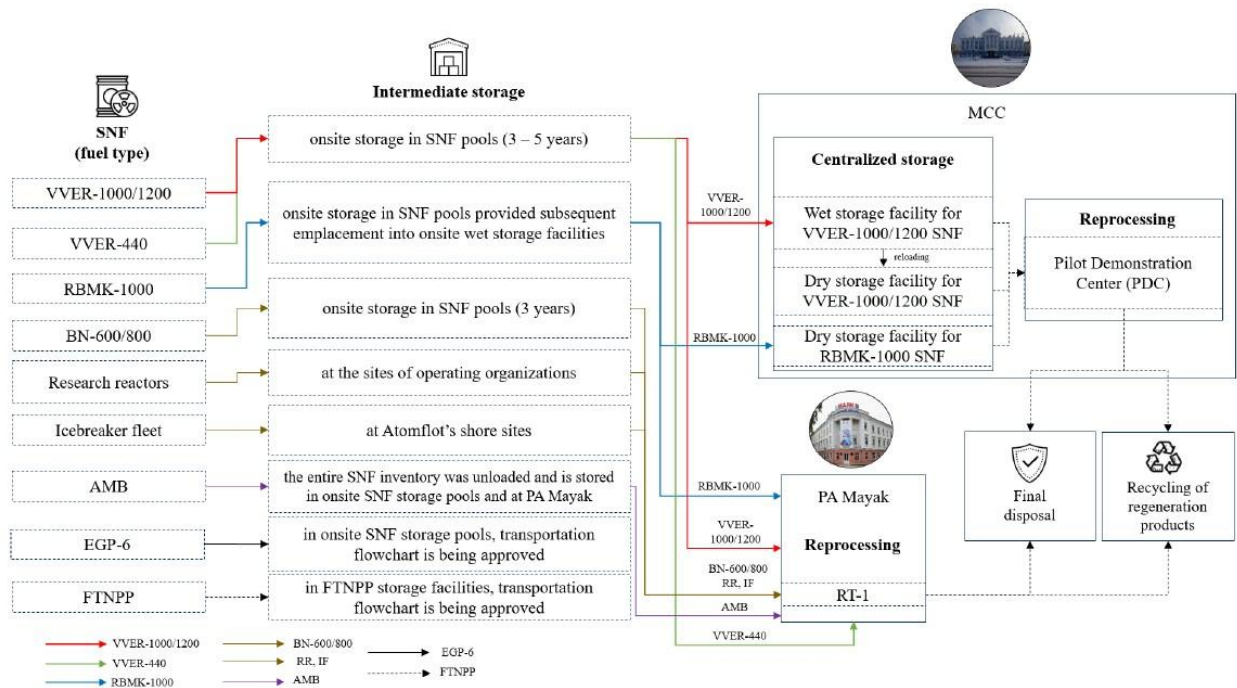


図 3.5-3 ロシアにおける使用済燃料管理の状況

(出典)IAEA NFCIS “List of Nuclear Fuel Cycle Facilities” (2026年2月5日閲覧)ほかより作成

## 1) 再処理

ROSATOM2024 年報によれば、2024 年に再処理された使用済燃料は 134.5 トンで、同年内にロシア国内で発生した使用済燃料の 22.9%に相当する<sup>204</sup>。使用済燃料のうち実際に再処理されているものは一部であり、多くは発電所プラント内や中間貯蔵施設で保管(次項参照)されている状況であるが、ロシアでは軽水炉だけでなく、高速炉使用済燃料の再処理も実施している点が特徴として挙げられる。再処理で回収したウランやプルトニウムは、高速炉向けの MOX 燃料や、軽水炉向けの REMIX 燃料に再利用される。マヤークにある RT-1(VVER-400 や RBMK 炉、高速炉 BN-600、BN-800、砕氷船などの使用済燃料再処理を実施)に加え、2025 年 7 月にはジェレズノゴルスク鉱業化学コンビナート(MCC)の実証センター(PDC)で第 2 再処理プラント RT-2 に向けた実証モジュールの第 2 段階が稼働した<sup>205</sup>。MCC では今後 PDC のモジュールをフルスケールに拡張し、VVER-1000 といった大型軽水炉の使用済燃料再処理を行う RT-2 として運用する予定である<sup>206</sup>。

表 3.5-5 ロシアの再処理プラント<sup>201,207</sup>

項目	概要
①マヤーク生産合同 RT-1	
施設概要	ROSATOM の直轄管理(TVEL ではない)。VVER440、VVER1000、及び高速炉 BN600、BN800 の使用済燃料を再処理。プルトニウムを高速炉用 MOX 燃料に供給するほか、回収ウランを RBMK 炉の燃料用に供給。
技術	PUREX 法
能力	400tU/年
稼働状況	1977 年から稼働
稼働実績 <sup>203</sup>	2020-2023 年で 525.8t。再処理した使用済燃料の炉型別内訳は以下の通り VVER-440:201.7t/VVER-1000:203.1t/BN-600(高速炉):80.9t/BN-800(高速炉):10.2t/RBMK-1000:12.2t/研究炉燃料:13.1t/原子力砕氷船燃料:4.6t ROSATOM 報告によれば 2024 年の再処理量は 134.5t。ほとんどが RT-1 の実績と考えられる。
②鉱業化学コンビナート(MCC)RT-2 ※建設中	
施設概要	VVER1000 の使用済燃料を再処理。将来的には VVER1200、HEU、高速炉、外国設計燃料等、幅広い使用済燃料の再処理に対応する意向
技術	PUREX3+法
能力	800tU/年
稼働状況	建設中(2035 年操業開始予定)。2016 年に実証モジュール第 1 段階(4tU/年) 2025 年に実証モジュール第 2 段階(220tU/年)が稼働 <sup>203</sup>
稼働実績	-
③シベリア化学コンビナート(SCC)BREST-300 用ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料再処理プラント	
施設概要	現在 SCC 内で建設中の高速炉 BREST-300 用の MNUP 燃料の再処理を実施。同サイトは、高速炉 BREST-300 を中心に燃料供給から処分まで全燃料サイクルをカバーする施設(PDEC)として構想されている。同炉のサイクルをサイト内で完結させる方針
技術	不明
能力	不明
稼働状況	計画中(2026 年建設開始、2031 年操業開始予定)
稼働実績	計画中

(出典)IAEA NFCIS “List of Nuclear Fuel Cycle Facilities” (2026 年 2 月 5 日閲覧)ほかより作成

## 2) 使用済燃料貯蔵

ロシアは軽水炉、高速炉の両方の使用済燃料の再処理を実施しているが、前項に示したとおり、再処理されるのは発生する使用済燃料の一部であり、他は原子力施設のサイト内あるいは集中中間貯蔵施設で保管されている。

2024 年 1 月 1 日時点におけるロシア国内の使用済燃料の累積在庫量は、29,100 トン以上である。なお、ロシアはウクライナへの侵攻に伴いザポリージャ原子力発電所を占拠しており、2025 年に IAEA に提出された放射性廃棄物合同条約のロシア国別報告書には、同発電所における貯蔵状況も含まれている(表 3.5-6)。

表 3.5-6 原子力発電所サイト内における使用済燃料貯蔵状況<sup>203</sup>

発電所名	設備	燃料種別	設計容量(集合体数)	貯蔵量(集合体数)	充填率(%)
コラ	冷却プール1	VVER-440	2,646	683	26
ノボボロネジ	冷却プール1	VVER-440	677	121	18
	冷却プール2	VVER-1000	256	91	36
	冷却プール3	VVER-1200	1,512	458	30
	乾式貯蔵施設	VVER-1000	589	118	20
バラコボ	冷却プール1	VVER-1000	2,185	1,129	52
ロストフ	冷却プール1	VVER-1000	2,313	1,036	45
カリニン	冷却プール1	VVER-1000	2,106	1,072	51
クルスク	冷却プール1	RBMK-1000	12,496	3,259	26
	乾式貯蔵施設	RBMK-1000	35,040	23,645	67
レニングラード	冷却プール1	RBMK-1000	8,196	3,318	40
	冷却プール2	VVER-1200	1,464	265	18
	乾式貯蔵施設	RBMK-1000	37,254	23,287	63
スモレンスク	冷却プール1	RBMK-1000	6,928	2,742	40
	乾式貯蔵施設	RBMK-1000	35,120	24,486	70
ベロヤルスク	冷却プール1	BN-600	3,150	394	13
	冷却プール2	BN-800	3,000	1,145	38
	冷却プール3	AMB	-	122	50
ビリビノ	冷却プール1	EPG-6	8,930	7,630	85
ザポリージャ	冷却プール1	VVER-1000	601	393	65
	冷却プール2	VVER-1000	601	331	55
	冷却プール3	VVER-1000	601	423	70
	冷却プール4	VVER-1000	601	359	59
	冷却プール5	VVER-1000	601	370	61
	冷却プール6	VVER-1000	613	372	60
	暫定乾式貯蔵施設	VVER-1000	コンクリコンテナ 380体	コンテナ173体 (燃料4,146体)	-

(出典)放射性廃棄物合同条約第7回ロシア国別報告書より作成

このほか、MCC の敷地内に、使用済燃料集中中間貯蔵施設が設置されている。同施設における2024年1月1日時点の貯蔵状況を表 3.5-7 に示す<sup>203</sup>。

表 3.5-7 集中中間貯蔵施設における使用済燃料貯蔵状況<sup>203</sup>

施設名	設備	設計容量(t)	充填率(%)	稼働開始年	終了予定年
鉍業化学コンビナート(MCC)	湿式(VVER-1000)	8,600	86	1985	2045
	乾式(VVER-1000)	10,456	17	2016	2066
	乾式(RBMK-1000)3A号建屋	9,687	88	2012	2062
	乾式(RBMK-1000)3号建屋	10,786	0	2016	2066

(出典)放射性廃棄物合同条約第7回ロシア国別報告書より作成

ROSATOM は近年、個別原子力サイトから MCC の集中中間貯蔵施設への使用済燃料の移送を強化している。ROSATOM の 2024 年年報によれば、同年内に発生した使用済燃料の総量は 1,054.21 トンであった。これに対し、同年内に新たに集中中間貯蔵施設に搬入された使用済燃料は 770 トン、再処理された量は 134.5 トンであった(表 3.5-8)<sup>204</sup>。

表 3.5-8 ロシア国内における使用済燃料の集中貯蔵施設への搬出量・再処理量

設備	2022 年	2023 年	2024 年
貯蔵施設への搬出(t)	838.2	836.0	770.3
再処理量(t)	133.0	164.2	134.5

(出典)ROSATOM, "Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2024"より作成

### 3) 放射性廃棄物管理・処分

最終処分に関して、ロシアは使用済燃料の再処理を前提としており、再処理により発生するガラス固化体などの高レベル放射性廃棄物を、地層処分する計画である。地層処分場候補地は、鉱業化学コンビナート(MCC)近隣のエニセイスキーサイト(2016 年に選定)で、現在、地下研究施設が建設されている。同サイトはニジネカンスキー岩体と呼ばれるエリアの始生代の片麻岩を母岩とし、処分深度は地下 450~525mとされている。この深度における処分区域は最大 16 万m<sup>3</sup>とされている。処分施設は 2 本の換気用立坑及び技術用立坑(深さ 500m、直径 6~6.55m)及び水平坑道(総延長 1,500m以上)で構成されている。処分対象の廃棄物は長寿命廃棄物含む高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)及び中レベル放射性廃棄物である。

エニセイスキーサイトの選定は段階的に進められた。まずソ連時代の 1980 年代から 1990 年代初頭にかけて、全土を対象とする検討が行われ、ノバヤゼムリャ列島の永久凍土、コラ半島、南ウラル(マヤーク近辺)などが候補に挙げられた。その後、使用済燃料再処理プラント RT-2 の候補地とされたクラスノヤルスク地方の MCC 近隣に存在するニジネカンスキー岩体周辺に絞られた。

ソ連崩壊後、2000 年までの間に、ニジネカンスキー岩体の地域内で絞り込みが行われた。同地域の中で当初 18 の候補エリアが挙げられ、ここから地質学的、社会経済的基準を用いて評価し、以下の 2 エリアまで絞り込まれた。

- ヴェルフネイタツキー地区:2 つの区画からなる。花崗岩で構成される
- エニセイ地区:片麻岩で構成

その後 2007 年まで両地区の比較が行われた。両地区とも地質学的には規制要件を満たしており適格と評価された。ヴェルフネイタツキーの花崗岩層の方が均質性が高かったが、エニセイ地区の片麻岩も処分深度にあたる区域においては堅固かつ透水性が低いことが確認された。エニセイ地区は MCC 等の原子力施設から 5km以内と至近(ヴェルフネイタツキーは 20km以上)であり、インフラ活用や輸送のコストやリスク低減の面で決定的に有利と判断された。こうした評価を元に、2008 年に立地意思決定が承認され、エニセイ地区が地下研究所及び処分場の候補サイトとして承認された。その後地下 700mまでの深層ボーリングをはじめとする詳細調査を経て、2016 年に同サイトが、放射性廃棄物の地層処分に適していると、正式に結論づけられサイトが確定した<sup>208</sup>。

### 3.5.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

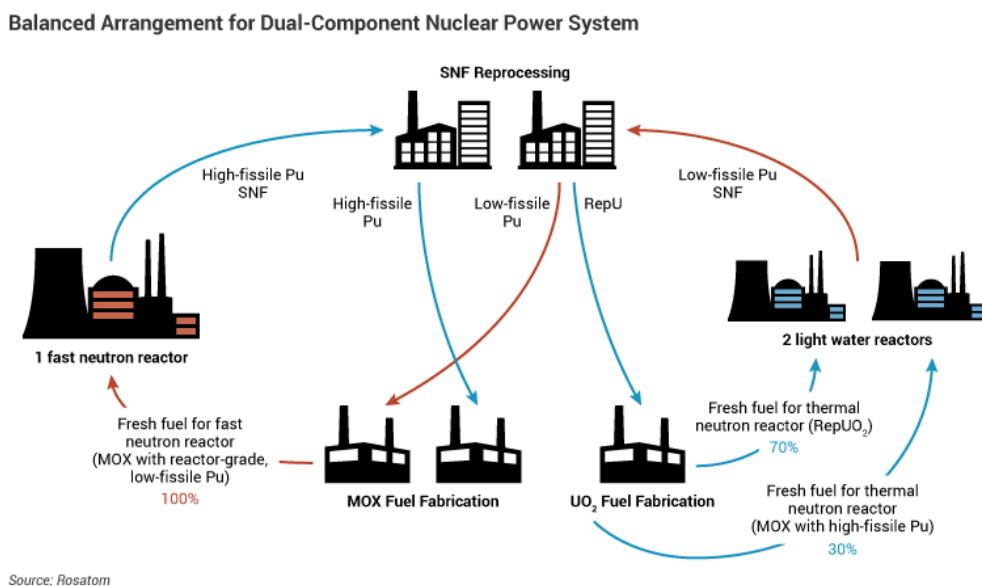
#### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

ロシアでは軍民の原子力行政、原子力産業を ROSATOM グループのもとに集約しており、核燃料サイクル全体が国家方針のもと、国家事業として推進されている。

ロシアは、原子力開発の長期戦略として、熱中性子炉(ロシアでは VVER を指すため、以下 VVER とする)と高速炉の二つの要素を組み合わせ、クローズド核燃料サイクルを実現する「二成分システム」への移行を目指し、プロジェクト「ブレイクスルー」を進めている<sup>204</sup>。加えて ROSATOM は、国外顧客に対しても、ROSTATOM が国外で建設した原子力発電所等からの使用済燃料等を引き取り、ロシアの二成分システムのクローズドサイクルに組み込んで処理する「持続可能な核燃料サイクル (Sustainable Nuclear Fuel Cycle)」をサービスパッケージとして提供している<sup>209</sup>。

当初の二成分システムは、高速炉使用済燃料から回収した核分裂性プルトニウムの割合が高いプルトニウム(Pu-239 等の「高核分裂性プルトニウム」)を VVER に供給し、VVER 使用済燃料から回収した核分裂性プルトニウムの割合が低いプルトニウム(Pu-240 等の「低核分裂性プルトニウム」)を高速炉に供給してリサイクルし、クローズドサイクルを実現するサイクルを中心に考えられていた。

このサイクルにおける主要なプルトニウム源は、VVER 使用済燃料再処理である(使用済ウラン燃料由来か使用済 MOX 燃料由来か関わらず、回収されるプルトニウムのうち約 1/3 は「低核分裂性プルトニウム」)。この低核分裂性プルトニウムを劣化ウランと混合し、増殖比 1.2 以上の高速炉用 MOX 燃料を製造する。この燃料を高速炉で使用することで、「高核分裂性プルトニウム」を含む使用済燃料が発生する。この高速炉使用済燃料を再処理して回収される高核分裂性プルトニウムは、VVER 用の MOX 燃料に使用される。この燃料サイクルでは VVER の燃料として、上述の VVER 用 MOX 燃料と高濃縮再処理ウラン燃料(U235 の濃縮度 17%:HALEU に相当)を 3 対 7 の割合で使用することが想定されている。また、燃料需給量の観点からは、高速炉 1 基と VVER 2 基の運転でバランスするという想定である(図 3.5-4)<sup>210</sup>。



Source: Rosatom

図 3.5-4 ロシアの二成分システム(2017 年時点)

(出典)世界原子力協会(WNA) ”Mixed Oxide (MOX) Fuel(ROSATOM 提供図)”(2017 年)

2026年においてもVVERと高速炉それぞれでMOX燃料を利用していく上掲シナリオが放棄されたとの情報は確認されていない。ただし近年ROSATOMは、VVERと高速炉でクローズドサイクルを実現する「二成分」方針に変更はないものの、VVERにおけるウラン-プルトニウム燃料利用方法として、MOX燃料よりも、VVER燃料の再処理で回収するウランとプルトニウムを分離しない形の混合物質のまま、17%以下の低濃縮ウラン(HALEU)と混ぜて製造する「REMIX燃料」の開発と投入を積極的に進めている状況にある<sup>211</sup>。

ROSATOM(傘下のTENEX社)が海外顧客向けに提供している「持続可能な核燃料サイクル」パッケージ(図3.5-5)の説明資料においても、上記の方向性が反映されている。国外向けサービスでは、国外の原子炉(軽水炉)で発生した使用済燃料や短寿命HLWをロシアが引き取って再処理、処理を行い、回収したウランやプルトニウムを顧客国等の軽水炉や、ロシア国内の高速炉燃料としてリサイクルする全体像が示されている。国内においてはこの軽水炉の部分が、国内のVVERに置き換えられることになる。

ROSATOMは図中のウラン-プルトニウム燃料(U-Pu Fuel)サービスについて、同図と同じ資料中で以下のように説明している。

- 軽水炉用ウラン燃料としての利用を想定した、再処理ウランの精製と濃縮
- 再処理ウラン及びプルトニウムを軽水炉用のREMIX燃料材料に利用
- 使用済燃料から抽出したプルトニウムを高速炉用MOX燃料及びウラン・プルトニウム混合窒化物燃料に利用

上記からは、再処理ウランや再処理プルトニウムからVVER等の軽水炉用MOX燃料を製造するオプションが、明示されていないことが確認される。

なお、高速炉に関しては、BN-600やBN-800、BN-1200に投入される通常の高速炉用MOX燃料に加えて、ロシアで建設中の次世代鉛冷却高速炉BREST-OD-300用の燃料となるウラン・プルトニウム混合窒化物燃料に言及されている。BREST-OD-300はシベリア化学コンビナート内に建設され、燃料製造施設、再処理施設を併設し、単一サイト内で自立した燃料サイクルの構築を目指す。なお、プーチン大統領は2025年9月に、「2030年までに、トムスク(シベリア化学コンビナートが立地する州)において世界で初めて産業規模でのクローズドサイクルを稼働させ、原子力を実質的に再生可能なものに変える」と発言している<sup>212</sup>。

また、使用済燃料再処理や短寿命HLWの処理の過程でマイナーアクチノイドを回収し、高速炉で燃焼させることがサイクルの要素として明示されている。これに関しては2024年7月にアメリカとネプツニウムを混合したMOX燃料のBN-800への初装荷が実施されており<sup>213</sup>、ROSATOMは同炉において、年間最大24kgのアメリカン燃焼が可能としている<sup>209</sup>。

つまりロシアでは現在、以下の構成による「二成分」システムの構築が進められていると整理される。

- VVER(軽水炉、熱中性子炉)における再処理ウラン燃料とREMIX燃料によるウラン-プルトニウムリサイクル
- 高速炉における高速炉用MOX燃料またはウラン・プルトニウム混合窒化物燃料によるリサイクルと、MOX燃料への混合によるマイナーアクチノイド燃焼

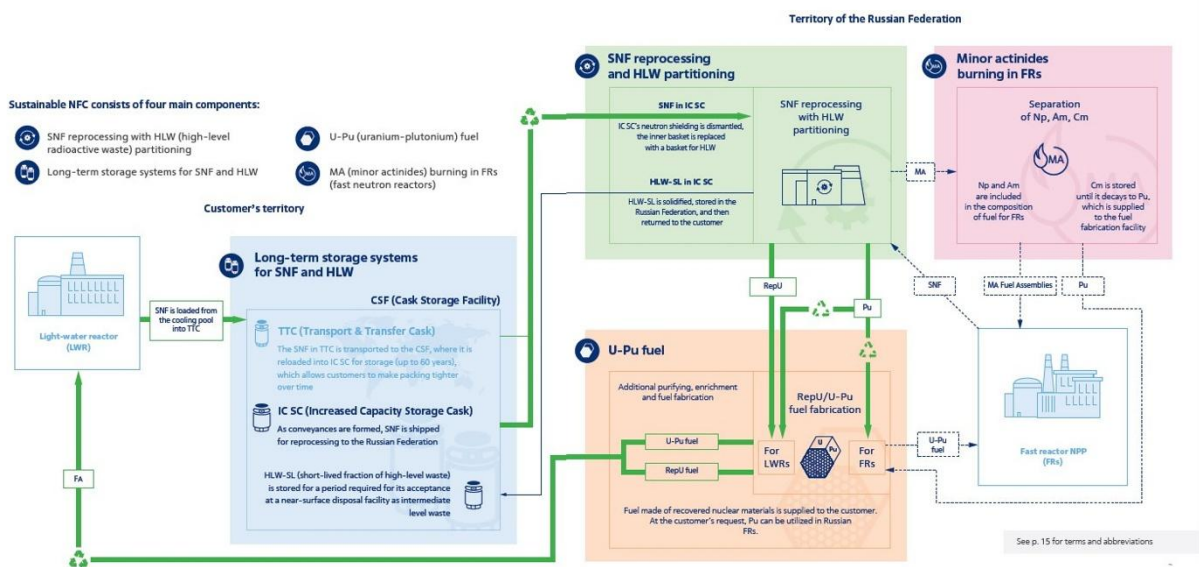


図 3.5-5 ロシアの持続可能な核燃料サイクル(2021 年)

(出典)TENEX ”SUSTAINABLE NUCLEAR FUEL CYCLE”(2021 年)

## (2) 高速炉の安全性及び経済性に関する評価

ロシアの高速炉の安全性及び経済性に関する評価として、2021 年に発行された IAEA-TECDOC 「高速炉 BN-1200 をベースとする原子力エネルギーシステムに関する限定的スコープにおける持続可能性調査」が挙げられる。本評価はロシアにおける BN-1200 計画の政府決定や規制判断に用いられるものではないが、革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト (INPRO) が開発したエネルギーシステムの持続可能性評価手法を構成する評価領域(経済性、インフラ、廃棄物管理、核拡散抵抗性、環境、安全性など)のうち、経済性と原子炉安全性の二つの領域にスコープを絞り、利用可能なデータや情報を用いた限定的な範囲で評価を行ったケーススタディである。ロシア連邦物理エネルギー研究所 (IPPE) 及び原子炉設計を担うアフリカントフ機械設計工作局(いずれも ROSATOM 傘下)が、IAEA 支援のもと、評価を行った。この評価における IAEA 側の目的としては、ナトリウム冷却高速炉といった革新的な炉に対する INPRO メソッドロジーの適用可能性を確認し、メソッドロジーの改善点を洗い出すことが挙げられている。炉の開発者側の目的としては、開発初期段階でこの評価を行うことにより、設計上の課題を特定し、将来における持続可能性を達成する上での研究開発ニーズや技術的、制度的改善点を洗い出すこと挙げられている。以下、同文書をもとに経済性評価と安全性評価の概要をそれぞれ整理する<sup>214</sup>。

### 1) 経済性に関する評価

#### a. メソッドロジー<sup>214</sup>

本評価では BN-1200 の経済性について、INPRO の持続可能性評価における階層構造に基づいて以下の枠組みで評価が行われた。

表 3.5-9 BN-1200 経済性分析におけるメソッドロジー

項目	概要
基本原則	原子力エネルギーシステムで生産されるエネルギーや関連製品、サービスが、現実的な価格 (Affordable)かつ利用可能(Available)であること
ベンチマーク	参照炉:BN-800(運転中の最新のナトリウム冷却高速炉) 代替電源:VVER-TOI(最新型軽水炉)
評価方法	以下の4つのユーザー要件(UR)について、評価基準(CR)に基づき、BN-1200 が上掲の基本原則に適合するかを評価。 UR1:エネルギーコスト UR2:資金調達可能性 UR3:投資リスク UR4:柔軟性
計算ツール	IAEAのNEST(Nuclear Energy System Assessment Economics Support Tool)使用

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021年)より作成

## b. 前提条件<sup>214</sup>

- 建設コスト:BN-1200の建設費(オーバーナイトコスト)は、スケールメリットと設計最適化により、BN-800より低く、VVER-TOIと同等レベル(複数基目NOAKで約3200USD/kWe)まで削減と評価
- 燃料サイクル:評価対象炉であるBN-1200は高速炉用MOX燃料によるクローズドサイクル、比較対象のVVER-TOIは濃縮ウラン燃料によるワンスルーサイクルを前提とする。天然ウラン価格の上昇率など価格変動を考慮する
- 建設期間:6年と仮定
- 割引率:ベースケースとして5%を設定

## c. 評価結果の概要<sup>214</sup>

### ① UR1(エネルギーコスト)

UR1では評価対象炉が供給するエネルギーのコストは、関連する全費用やクレジットを考慮した上で、同一時期、同一地域で利用可能な代替電源オプションのコストと比較して競争力を持つこと、とされている。

- 評価基準 CR1.1 コスト競争力
  - 参照炉である高速炉BN-800と評価対象炉である高速炉BN-1200、およびBN-1200と競合しうる1200MW級の新型軽水炉であるVVER-TOIの均等化単位エネルギーコスト(LUEC<sup>b</sup>)を天然ウラン価格水準別に比較したものが図3.5-6である。BN-800とBN-1200はMOX燃料等によるクローズドサイクルを想定しているため、天然ウラン価格の変動の影響は非常に小さい。
  - BN-1200のLUECは約0.046USD/kWhと見込まれている。これは現在運転中のBN-800の約0.059USD/kWhより低い。軽水炉であるVVER-TOIとの比較では、天然ウラン

<sup>b</sup> Levelized Unit Energy Cost. 均等化発電原価(LCOE)と計算式は同じで実質同義。INPRO評価ではエネルギー1単位(1kWh)あたりのコストを指している。

価格上昇率による。ウラン価格が基準価格として設定された 100USD/kg に対し上昇率が 2% 以上になると、BN-1200 がコスト競争力上優位となる可能性がある。



図 3.5-6 異なるウラン価格における BN-800、BN-1200、VVER-TOI の LUEC 比較

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors” (2021 年)より作成

② UR2:資金調達可能性

UR2 では評価対象炉の設計、建設、試運転に必要な総投資額(建設期間中の利息を含む)は、必要な投資資金を調達可能な水準であるべきとされている。

• 評価基準 CR2.1 投資の魅力

➤この評価基準では、BN-1200 と VVER-TOI の内部収益率(IRR)、投資利益率(ROI)、正味現在価値(NPV)を算出し比較した(表 3.5-10)。なお、この評価では原子力発電によるベースロード電力の販売価格を 0.0528USD/kWhとしている。前項で示したとおり、BN-1200 の LUEC は約 0.046USD/kWh でありコストが売電価格を下回るため、利益が見込まれる。IRR や ROI が割引率(5%)を上回り、投資対象として魅力ありと評価された。VVER-TOI との比較では、天然ウラン価格上昇率が年 2%を超えると、BN-1200 の投資指標は VVER-TOI と同等あるいはそれ以上になる。

表 3.5-10 BN-1200 と VVER-TOI の指標比較

Functions	BN-1200	VVER-TOI at different natural uranium price escalation rates					
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
IRR, %/100	0.06	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.04
ROI, %/100	0.07	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05
NPV, USD/kW(e)	1020	1530	1370	1060	750	120	-810
Total investment, 10 <sup>6</sup> USD	4676	4641	4641	4641	4641	4641	4641

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors” (2021 年)より作成

• 評価基準 CR2.2 投資限度

▶表 3.5-10 で示されているとおり、総投資額における BN-1200 と VVER-TOI の総投資額の差は 1%未満である。ロシアでは 36 基の商用炉が稼働中、さらに複数の炉が国内で建設、計画中である。また国外でも 30 基以上の商用炉建設計画があり、それらのいくつかで ROSATOM は自社資金を投資する予定である。これらに必要な総投資は ROSATOM の資金調達能力に整合している(ROSATOM の資金調達能力の範囲内である)。

### ③ UR3:投資リスク

UR3 では評価対象炉の投資リスクは、投資家にとって許容可能な水準であるべきとしている。

#### • 評価基準 CR3.1 設計の成熟度

▶評価時点において BN-1200 建設の決定は行われておらず、認可状況に関する情報は評価者に提供されていなかったため未評価。

#### • 評価基準 CR3.2 建設スケジュール

▶本評価では BN-1200 の建設期間を 6 年と仮定。先行する実証炉 BN-600 及び BN-800 は 10 年以上を要したが、BN-1200 は理論上、初号機でなく N 番目の同型炉(NOAK)であれば、48 カ月で建設可能とされている。BN-1200 では設計の改善などにより先行 2 炉型より合理的に短い工期が期待できるが、本評価段階では建設期間の推定精度を評価することはできない。

#### • 評価基準 CR3.3 経済性に係る入力値の不確実性

▶最も感度の高いパラメータは割引率であり、これは主に投資条件および投資資金に関連する金利に依存する。国営である ROSATOM における投資条件は、自由市場および民間投資家の条件とは異なる。BN-1200 建設の場合、割引率の変化は、仮に生じても小幅にとどまると考えられる。BN-1200 におけるエネルギーの基本コスト構造は軽水炉と類似している(図 3.5 5)。また、BN-1200 の初期資本コストおよび運転・保守コストの感応度は軽水炉と極めて近い。燃料サイクルサービスコストの感応度は比較的 low、これらのコストが潜在的に増加した場合の影響は合理的に低いと予想される。よって BN-1200 における選定されたパラメータの変化に対する感度は、投資家にとって許容範囲内と見なされる。

#### • 評価基準 CR3.4 政治環境

▶ロシア連邦政府による原子力オプションへの長期的なコミットメント及びナトリウム冷却高速炉計画への支援については、投資回収を可能とするのに十分なコミットメントとみなされる。

### ④ UR4:柔軟性

UR4 では評価対象の革新的原子力システムが、異なる市場の要件に適合できるものであるべきとしている。

#### • 評価基準 CR4.1 柔軟性

▶BN-1200 はクローズドサイクルを念頭に MOX 燃料あるいは窒化物燃料を使用する設計となっている。ロシア国内運転の場合、あるいは再処理や燃料製造といった燃料サイクル施設が同一国内に存在し、再処理からの回収核物質を使用する場合、本炉は異なる種類の燃料で稼働可能であり、運転者にとって追加的な利点と柔軟性がもたらされる。しかし、クローズドサイクルサービスの国外提供(輸出入)を伴うシナリオでは、潜在的な拡散抵抗性に関する問題について

て、追加検討が必要となる可能性がある。この点は(経済性と安全性に特化した)本評価研究の範囲外である。BN-1200 の出力定格はロシア連邦電力系統に適合するよう選定されており、小規模系統との互換性については必要に応じて個別に検討が必要である。非ベースロード運転における BN-1200 の設計特性に関する情報は評価者に提供されていないため、本基準に基づく評価は未完了である。

## 2) 原子炉安全に関する評価

### a. メソドロジー<sup>214</sup>

本評価では BN-1200 の原子炉安全性について、INPRO の持続可能性評価における階層構造に基づいて以下の枠組みで評価が行われた。

表 3.5-11 BN-1200 原子炉安全性分析におけるメソッドロジー

項目	概要
基本原則	計画中の原子力施設の安全性が、参照炉より優れており、事故頻度と事故影響が大幅に低減されていること。また、事故時の放射性物質放出が防止あるいは緩和され、公衆避難の必要が発生しないこと。
ベンチマーク	参照炉:BN-800(運転中の最新のナトリウム冷却高速炉)
評価方法	以下の7つのユーザー要件(UR)について、合計28の評価基準(CR)と21の評価パラメータ(EP)を用いて、BN-1200の設計がBN-800と比較して改善されているかを評価 UR1:通常運転時の堅牢性 UR2:運転事象の検知と抑制 UR3:設計基準事故(DBA) UR4:シビアアクシデント UR5:深層防護の独立性、受動的安全系の独立性 UR6:安全に係る人的要因 UR7:先進設計に必要な研究開発

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021年)より作成

## b. 評価結果の概要<sup>214</sup>

### ① UR1:通常運転時の堅牢性

UR1 では運転状態及びコンポーネント等の故障に関して、参照炉より堅牢であることが求められる。本評価ではBN-1200の設計がBN-800より優れているといえるかが指標とされた。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-12 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR1)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR1.1 通常運転系の設計	優れている	炉心出力密度を低減し燃料温度マージンを拡大(BN-800の250℃→650℃) 一次系の完全統合型設計で配管長を短縮、継手の削減、ガードベッセルの不要化などを実現 窒化物燃料、新型材料の採用 など
CR1.2 原子炉性能	優れている/ 一部未完了	監視強化により制御信頼線が向上 設計寿命60年に対応 人的介入影響などについてはデータが不足
CR1.3 検査・試験・保全	評価未完了	簡素化により検査性は向上すると見込まれるが、具体的な検査・保全に関するデータが不足
CR1.4 故障、逸脱	評価未完了	簡素化により故障頻度は下がると予想されるが、具体的な頻度データが不足
CR1.5 職業被ばく	優れている	BN-600やBN-800実績より低い線量が予測され、規制値を下回る

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021年)より作成

### ② UR2:運転事象の検知と抑制

UR2 では評価対象炉における正常運転状態からの逸脱の検知、抑制能力が参照炉と比べて向上していることが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-13 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR2)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR2.1 計装制御系(I&C) 及び固有特性	優れている/ 一部未完了	診断システム導入や炉内監視強化により能力が向上
CR2.2 運転時異常(AOO)後 の猶予時間	評価未完了	猶予時間の具体的なデータが提示されていない
CR2.3 慣性	優れている	ナトリウムプール型設計による大きな熱容量を有し、全電源喪失時でも冷却材沸騰まで約 2 日の猶予がある

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021 年)より作成

③ UR3:設計基準事故(DBA)

UR3 では評価対象炉における重大事故発生頻度が低減され、事故発生時には設計上の安全機能が原子炉を制御状態に回復させたのちに安全停止状態に移行させ、放射性物質の閉じ込めを確保できること、人的介入が最小限度に抑えられることが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-14 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR3)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR3.1 DBA の頻度	優れている/ 一部未完了	診断システム導入や炉内監視強化により能力が向上
CR3.2 DBA 時の猶予時間	評価未完了	猶予時間の具体的なデータが提示されていない
CR3.3 工学的安全設備	評価未完了	温度作動制御棒など受動的システムを導入しているものの、信頼性データが不足している
CR3.4 バリア	優れている	ガードベッセルの堅牢性を原子炉容器と同等に強化 炉内コアキャッチャーを設置
CR3.5 未臨界余裕	評価未完了	データ不足

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021 年)より作成

④ UR4:シビアアクシデント

UR4 ではシビアアクシデント時において、格納容器、遮蔽構造への放射線物質の偶発的放出の頻度が低減される。万一放出時においても影響が緩和され、環境中への放出の発生が阻止あるいは頻度が低減される。環境放出のソースタームは、参照炉のソースターム範囲内に十分に収まり、一般住民の避難が不要な程度に極めて低いものであることが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-15 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR4)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR4.1 炉心損傷頻度	優れている	炉心損傷頻度(CDF)が $5 \times 10^{-7}$ /炉年 となり、BN-800 ( $2 \times 10^{-6}$ ) より大幅に改善
CR4.2 格納容器の堅牢性	優れている	原子炉上部に気密室を設置、放射性物質の漏洩を抑制する設計を採用
CR4.3 アクシデントマネジメント	評価未完了	手順書や訓練計画は策定中
CR4.4 環境への放出頻度	評価未完了	データ不足
CR4.5 環境放出のソースターム	優れている	最悪事故シナリオでも敷地境界における線量が初年度 16 ミリシーベルト未満評価。住民避難の基準を下回っている

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors” (2021 年)より作成

⑤ UR5:深層防護の独立性、受動的安全系の独立性

UR5では参照炉と比べて、評価対象炉の深層防護の各層の相互独立がより向上していることを実証すること、また評価対象炉は卓越した安全性及び信頼性を確保する目的で、適切に設計において本質的な安全特性及び/または受動系重視を設計に組み込むことで、危険の除去及び最小化の追究において参照炉を上回ることが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-16 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR5)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR5.1 深層防護各層の独立性	評価未完了	気密室追加など独立性の向上はみられるが、詳細な解析データが不足
CR5.2 ハザード最小化	優れている	二次系配管の短縮とガードケーシングによりナトリウム火災リスクを低減。窒化物燃料採用によるドップラー効果の強化やナトリウムボイド効果の抑制
CR5.3 受動的安全系	評価未完了	受動的崩壊熱除去系の信頼性はBN-800の10倍以上とされるが、詳細データ不足

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors” (2021 年)より作成

⑥ UR6:安全に係る人的要因

UR6では評価対象炉の安全な運転が、プラント設計・運転における人的要因の考慮、及び関連する全組織における強固な安全文化の確立、維持によって支えられていることが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-17 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR6)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR6.1 ヒューマンファクター	評価未完了	設計、運転への人的要因の体系的な考慮に関する検証データが不足
CR6.2 安全文化	良好	IAEAの運転安全評価チーム(OSART)ミッション等で、高い安全文化の維持が確認されている

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors” (2021 年)より作成

⑦ UR7:革新炉設計に必要な研究開発

UR7では評価対象炉の革新的設計の開発に際して、プラント特性の知見や設計・安全評価に用いられる解析手法の能力を、その信頼性において稼働中のプラントと同等以上にまで高めるような関連研究

開発を行うことが求められる。各評価基準(CR)に対する評価結果の概要は以下の通りである。

表 3.5-18 BN-1200 原子炉安全性分析の評価結果概要(UR7)

評価基準	BN-800 に対する優位	理由
CR7.1 安全基盤と課題	評価未完了	安全基盤は定義されているが、課題対応プロセスの文書化が不十分
CR7.2 研究開発	評価未完了	広範な研究開発が行われているが、データの不確実性評価などが未完了
CR7.3 安全基盤と課題	良好	SOCRAT-BN 等の新世代のコードが開発、検証されている
CR7.4 新規性(パイロットプラント)	達成	BN-600、BN-800 がパイロットプラントとして十分に役割を果たしている
CR7.5 安全性評価	評価未完了	規制当局による最終承認や不確実性解析の情報が不足

(出典)IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021年)より作成

### 3) 評価の総括

上掲の BN-1200 を対象とした INPRO 手法による経済性評価、安全性評価ケーススタディの結果の要点を以下のようにまとめている<sup>214</sup>。

- ロシアで開発中の高速炉のうち、ナトリウム冷却高速炉は最も成熟した技術であり、プロトタイプでの実証やクローズドサイクルの実証も進んでいる。高速炉は将来の資源有効利用や廃棄物低減に資する
- 経済性評価に関して、商業用高速炉 BN-1200 の導入可能性評価のため、軽水炉との経済指標の比較を行った。ただし今回の分析には窒化物燃料の経済効果や、BN-1200 以外でのプルトニウム生産の影響などが含まれておらず、評価精度向上にはさらなるデータが必要
- 安全性に関して、冷却材の相転移が無いなど高速炉特有の性質が安全バリアに及ぼす影響を理解する上で、INPRO の評価手法が有用であることが確認された。ナトリウム冷却高速炉の安全評価手法確立に貢献すると期待される
- 現時点のデータでは、ロシアの高速炉計画は概ね持続可能な路線にあると考えられる。しかし、評価項目全 60 項目のうち 27 項目においてデータ不足のため評価が未完了であることから、持続可能性に関する最終的な結論を出すには、今後欠落データの補完と評価範囲の拡大が必要である

### 3.5.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

##### 1) BN-600 以前の炉

本項では商用発電に向けた実証用高速炉である BN-600(後述)以前の旧ソ連高速炉開発について、特に現在のカザフスタンに建設され高速炉実証、淡水化に用いられた BN-350 に至る経緯を整理する。

旧ソビエトではプルトニウム生産を主眼とした初期の実験施設・実験炉から実用レベルの原子力施設へのスケールアップの過程で、一定のプルトニウム増殖を維持しつつも、高速炉の主目的が軍用プルトニウム生産から、エネルギー利用にシフトしていった。

1949年にレイプンスキー博士はソ連の原子力プロジェクト責任者らに、「高速中性子炉を用いて核分裂性物質を成功裏に再生産できる可能性が非常に高い」とし、再生産炉(増殖炉)の構築が非常に重要であるとし、現在のIPPEにあたる、コードネーム「ラボV」またはその他の場所に純粋なPu239を用いた低出力の実験用高速中性子炉を建設することを提案した。同ラボに1953年に設置された最初の実験装置ではプルトニウム増殖につながる有意なデータを取得できなかったが、その後、発電を主目的の一つとする原型炉BN-350までに、以下の実験炉が開発された。

表 3.5-19 旧ソ連の高速炉実験炉・原型炉

炉型	運開年	出力(熱/電気)	燃料/冷却材	特徴、役割など
BR-1	1955	100Wt	金属プルトニウム /なし	実験炉。プルトニウム増殖実現可能性実証
BR-2	1956	100kWt	金属プルトニウム /水銀	実験炉。冷却材試験。水銀の欠点が確認され、ナトリウム冷却に転換へ
BR-5	1959	5MWt	酸化ウラン等/ ナトリウム	実験炉。初のナトリウム炉。ナトリウム冷却技術の確立
BOR-60	1969	60MWt	酸化ウラン等/ ナトリウム	BBN-350に向けた燃料や機器の性能試験を行う工学実証炉として、BN-350と平行して建設
BN-350	1973	1,000MWt/ 150-350Mwe	濃縮ウラン/ ナトリウム	原型炉。現在のカザフスタンのカスピ沿岸に建設。発電と海水淡水化を実施。ループ型。

(出典)ロシア連邦物理エネルギー研究所(IPPE)紀要 2025年第2号所収, "TOWARDS THE HISTORY OF THE CREATION OF THE BN-350, THE WORLD'S FIRST PILOT-INDUSTRIAL FAST NEUTRON POWER REACTOR: A CHRONICLE OF THE PREHISTORY OF LAUNCH"(2025年)より作成

上掲のとおり、旧ソ連では1960年までにナトリウム冷却高速炉の方針が選択され、段階的に原子炉がスケールアップされていった。最初の実用レベルの高速原型炉となるBN-350は当初、より出力が小さいBN-250として構想されたが、開発過程でBN-350へとスケールアップした。

BN-350設計当初、計算上のプルトニウム増殖比が1.1程度であったことに対し、ソビエト政府は増殖率が低すぎるとしていた。しかしその後1962年の建設決定までの間に、当時の中型機械工業省大臣が「非常に非規範的な言葉遣い」<sup>°</sup>で「省はBN-350のプルトニウムなしでもやっていける」旨の発言をしたことなどを契機に、高速炉開発の主目的が軍用のプルトニウム増殖からエネルギー生産へと転換していったと記録されている。BN-350はカスピ海沿岸のアクタウ(現在のカザフスタンにあたる)に立地し、発電に加え淡水化に用いられることになった<sup>215</sup>。

## 2) BN-600

### a. 設置経緯・目的

前述のBN-350までの実績を踏まえて、レイプンスキー博士は1962年11月に、350MWであったこれらの原子炉の出力倍増を提案し、BN-600原子炉の構想が具体化した。また、過去の実験炉が

<sup>°</sup> 本項の情報出所として用いているIPPE発行の紀要原文における記載。乱暴な言葉遣いを指す。

プルトニウム生産という軍事目的、BN-350 が発電に加えて海水の淡水化を用途としていたのに対し、BN-600 はもっぱら発電を目的とする炉として開発された<sup>216</sup>。背景には当時のソ連の重工業拠点における深刻な電力不足がある<sup>217</sup>。BN-600 はベロヤルスク 3 号機として 1968 年に建設が開始され、1978 年に試運転が開始され、1980 年に初臨界、1981 年に商業運転を開始した。立地の経緯については 3.5.4 (2) 参照。

## b. 諸元

BN-600 の諸元は以下の通りである。BN-800 が高速炉用 MOX 燃料を用いているのに対し、BN-600 は BN-600 は主に 20% の濃縮ウラン燃料を使用している。<sup>218</sup>

表 3.5-20 BN-600 の諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	1,470/600
出口温度(°C)	500
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	濃縮ウラン酸化物

(出典) Ilia Pakhomov(IPPE) “BN-600 AND BN-800 OPERATING EXPERIENCE”(2019 年)より作成

## c. 運転実績

BN-600 はベロヤルスク 3 号機として運転中である。1980 年 4 月に送電網に併入し、1981 年 11 月に商業運転を開始した。2024 年までに供給した電力は合計 163.67TWh、運開以来の設備利用率は平均で 76% となっている<sup>219</sup>。前項に示した通り、BN-600 は濃縮ウラン燃料を主としているが、BN-600 は新燃料のテストベッドとしても用いられており、その範疇では MOX 燃料の装荷実績もある<sup>218</sup>。

BN-600 は 2010 年に当初設計寿命の 30 年に到達したが、改修の上で、安全規制当局より 2020 年まで運転延長認可を受けた。さらに 2020 年 4 月に 5 年間の延長(2025 年まで)、さらに 2024 年 3 月には 15 年の延長(2040 年まで)の認可発給を受けている。同機は後継の商用規模高速炉 BN-1200 でリプレースされる予定である<sup>220</sup>。

## d. 事故情報

ベロヤルスクにおける BN-600 運転経験に関する 2018 年までの実績として、ナトリウム漏洩事象 27 件、蒸気発生器漏洩事象 12 件が報告されている。ナトリウム漏洩トラブルは 1994 年が 2018 年時点における発生の最後であった。27 件中 21 件は 10 リットル以下の軽微な漏洩であったが、残る 6 件は 30 リットルから最大 1,000 リットルの漏洩を伴った。また、うち 14 件でナトリウム火災が発生した。非放射性ナトリウム火災の消火には粉末消火剤が使用された。1 件では放射性ナトリウムの漏洩が発生したが、放射能放出量は 10.7 Ci で、INES スケール外(INES0 相当)の軽微な事象であったとされ、住民や環境への放射能影響はなかったとされている<sup>218</sup>。

### 3) BN-800

#### a. 諸元

BN-800 の諸元は以下の通りである<sup>218</sup>。

表 3.5-21 BN-800 の諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	2,100/880
出口温度(°C)	547
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	濃縮ウラン酸化物及び MOX 燃料

(出典) Ilia Pakhomov(IPPE) “BN-600 AND BN-800 OPERATING EXPERIENCE”(2019 年)より作成

#### b. 運転実績

BN-800 はベロヤルスク 4 号機として運転中である。2015 年 12 月に送電網に併入し、2016 年 10 月に商業運転を開始した。2024 年までに供給した電力は合計 41.76TWh、運開以来の設備利用率は平均で 66.9%となっている<sup>221</sup>。

BN-800 は 2022 年に炉心へのフル MOX 装荷を達成した。また、2024 年にはマイナーアクチノイド添加 MOX 燃料 3 体を初装荷、燃焼実験が行われている<sup>213</sup>。

#### c. 事故情報

2015 年の運転開始以降、重大なナトリウム漏洩事故や火災事故などは確認されていない。

BN-600 と比較し、溶接箇所の削減や不活性ガス雰囲気など漏洩や火災の対策が強化されている<sup>218</sup>。

### (2) 現在開発中の高速炉

#### 1) BN-1200

##### a. 開発目的

BN-800 までの経験を踏まえ、VVER と高速炉を組み合わせた二成分システムを確立する本格的な大型商用炉として開発。パッシブ崩壊熱除去系ほか第4世代炉としての安全性を備えるほか、プルトニウムのマルチリサイクルに加え、MA 添加した MOX 燃料(BN-800 で試験中)を用いて消滅処理し、最終処分される放射性廃棄物の減少を図ることも目的。高速炉建設コストの低減なども目指す<sup>222</sup>。

##### b. 導入目標

2024 年 12 月 30 日に政府承認された「2042 年までの電力施設配置大綱」では、ベロヤルスク原子力発電所 5 号機として 2036 年までに導入することが目指されている<sup>223</sup>。

### c. 諸元

BN-1200 の諸元は以下の通りである<sup>224</sup>。

表 3.5-22 BN-1200 の諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	2,800MWt/1,200MWe
出口温度(°C)	550
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体ナトリウム
燃料	MOX 燃料 (MA 添加 MOX、金属燃料の 適用可能性も検討)

(出典)IAEA-ARIS などより作成

### d. 現在の進捗

BN-1200 は 2010 年から途中見直しを経て、2022 年までに設計を完了している。BN-1200 の構想は 2007 年に開始され、2012 年以降に「ブレイクスルー」プロジェクトに組み込まれ、国家事業として推進された<sup>214</sup>。その後 2014 年頃には ROSATOM が、BN-800 の経験を反映する意向などから、BN-1200 の建設開始を 2020 年以降とする方針を示し<sup>225</sup>、この間に設計の改良が行われ、コスト低減などを旨とする構造の合理化のほか、MA 燃焼の機能などが組み込まれ<sup>226</sup>、2022 年には、ROSATOM トップがペロヤルスク 5 号機として BN-1200 を建設する方針であることを公表した<sup>227</sup>。

2025 年 4 月には ROSATOM が、安全規制当局である環境・技術・原子力監督庁(ロステフナドゾル)から、設置許可を取得した<sup>228</sup>。2024 年時点の情報では、2026 年に建設許可を申請し、2027 年 6 月に建設を開始する予定とされている<sup>229</sup>。完工は 2034 年から 2035 年が見込まれている<sup>230</sup>。

### e. 将来展望

- 立地
  - BN-600 及び BN-800 が立地するペロヤルスクに建設する計画で、公聴会などの手続きが進行中。また BN-1200 と特定されていないが、政府方針ではウラル・シベリア地域への 1255MW 級高速炉の展開が示されている。立地の候補については 3.5.4 項参照。
- 燃料の調達について
  - BN-1200 用の MOX 燃料はジェレズノゴルスクにある MCC 内の MOX 燃料製造工場 (MFF) で製造される予定である。(BN-800 燃料の製造ラインに隣接設置)<sup>231</sup>。  
さらに後述の BREST-OD-300 の主力燃料として開発されているウラン・プルトニウム混合窒化物燃料(MNUP)の導入も検討されており、MNUP については BREST-OD-300 が立地するシベリア化学コンビナート内の燃料製造施設からの調達が見込まれる。

## 2) BREST-OD-300

### a. 開発目的

革新的な固有安全性を備えた高速炉として、閉鎖型核燃料サイクルを有する将来の原子力発電における基本商業炉施設のためのパイロット・実証プロトタイプとして開発された<sup>232</sup>。ブレイクスループロジェクトの一環で、次世代鉛冷却高速炉実証炉として開発。劣化ウランと再処理プルトニウムを材料とする MNUP 燃料を用いる<sup>233</sup>。

### b. 導入目標

プーチン大統領は 2025 年 9 月に、「2030 年までに、トムスク(シベリア化学コンビナートが立地する州)において世界で初めて産業規模でのクローズドサイクルを稼働させ、原子力を実質的に再生可能なものに変える」と発言している<sup>234</sup>。

### c. 諸元

BREST-OD-300 の諸元を以下に示す<sup>235</sup>。

表 3.5-23 BREST-OD-300 の諸元

熱出力/電気出力 (MWt/MWe)	700MWt/300MWe
出口温度(°C)	535
中性子スペクトラム	高速中性子
冷却剤	液体鉛
燃料	混合ウラン・プルトニウム窒化物 燃料

(出典)IAEA-ARIS より作成

### d. 現在の進捗

2021 年にシベリア化学コンビナート内のパイロット実証エネルギー複合施設(PDEC)の一部として建設が開始された<sup>236</sup>。ROSATOMによると圧力容器の組み立てが進んでおり、2025 年 12 月 30 日までに圧力容器の組み立ての 70%が完了しているとされている<sup>237</sup>。

### e. 将来展望

- 立地
  - BREST-OD-300 はシベリア化学コンビナート内のパイロット実証エネルギー複合施設(PDEC)の一部として、燃料及び再処理工場とともに建設される。
- 燃料の調達について
  - BREST-OD-300 はシベリア化学コンビナートに、燃料及び再処理工場とともに建設される。2024 年には、ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料製造施設に対し、安全規制当局ロステフナドゾルが操業許可を発給し、12 月には試運転が開始された<sup>238</sup>。(燃料開発は次項参照)。

### (3) 高速炉用燃料

#### 1) 高速炉用 MOX 燃料の開発

ロシアでは BN-800 において高速炉 MOX 燃料を運用中である。BN-800 用 MOX 燃料の仕様は以下の通りである<sup>218</sup>。

表 3.5-24 BN-800 用 MOX 燃料の仕様

燃料形態	MOX 焼結ペレット
プルトニウム含有率	20.5%
最大燃焼度目標	9.9%h.a.
平均燃焼度	66MWd/kg

(出典)BN-600 and BN-800 Operating Experience - Generation IV International Forum (2018 年)より作成

同燃料の開発においては、BN-600 で照射試験が行われた。BN-600 での運転経験や試験で得られた知見をもとに、燃焼度を上げるための被覆管材料の改良(オーステナイト鋼 EI-847 から冷間加工オーステナイト鋼 ChS-68cw、さらにフェライト-マルテンサイト鋼 EP-450 へ)が行われている<sup>218</sup>。

なお、ロシアは 2023 年に中国の高速炉 CFR600 の初装荷燃料(MOX)を輸出した実績を持つ<sup>239</sup>。

さらに、プルトニウム燃焼の次の段階として、ロシアは高速炉でのマイナーアクチノイド(MA)燃焼による長寿命放射性廃棄物の減少を目指しており、その一環として、MA 添加 MOX の開発と BN-800 への試験装荷が行われている。同燃料は TVEL 及び MCC が開発しており、2024 年 7 月にアメリカシウムとネプツニウムを混合した MOX 燃料の BN-800 への初装荷が実施された<sup>213</sup>。ROSATOM は同炉において、年間最大 24kg のアメリカシウム燃焼が可能としている<sup>209</sup>。

#### 2) ウラン・プルトニウム混合窒化物燃料(MNUP)の開発

MNUP は、ウラン濃縮で発生する劣化ウランと再処理で回収したプルトニウムから製造され、ウラン(劣化ウラン)とプルトニウムの窒化物を均質に混合したものである。プルトニウムの混合率は 13%程度<sup>240</sup>である。ウランについてはほとんどがウラン 238 であり、ウラン 235 の含有量は約 0.1%(通常の軽水炉燃料では~5%)である<sup>241</sup>。

MNUP は鉛高速冷却炉 BREST-OD-300 の主燃料として想定されているほか、ナトリウム冷却高速炉 BN-1200 の燃料オプション(主燃料は MOX)にも想定されており、高速炉によるクローズドサイクルの新たな要素として期待されている。MNUP の主要諸元を以下に示す。

表 3.5-25 MNUP の諸元

項目	仕様	補足
プルトニウム含有率	13~20%	
目標燃焼度	平均 12%h.a.以上(>100GWd/t)	酸化物燃料の倍を目指す。試験では最大 7.5%h.a.達成
冷却期間	1 年	酸化物燃料(4-7 年)より短く、高発熱下での再処理プロセスが必要
熱的・物理的特性	高密度、高熱伝導率。融点に対し動作温度が著しく低い。蓄積エネルギーが低い	酸化物燃料と比較して緊急時の安全性が高く、熱的な制限が少ない
被覆管材料	オーステナイト鋼/フェライト-マルテンサイト鋼	BN-600 での照射試験で使用
再処理要件	核分裂性物質回収率>99% アクチノイド損失 $\leq$ 0.1%	クローズドサイクル成立のための必須要件

(出典)Dr Andrei Shadrin (JSC "Proryv") et.al., "Fabrication and reprocessing of mixed uranium-plutonium nitride fuel for reactor BREST" より作成

酸化物燃料と比較して高密度、高熱伝導率、また動作温度が融点に対し低いことなどから、安全性と効率性の面で有利であるとされている。

開発の状況としては、窒素雰囲気グローブボックス内で燃料を製造する自動化技術が開発され、産業規模での生産に向けて、2018 年にはシベリア化学コンビナート(SCC)に MNUP 製造ライン設備の納入が行われている。試験用燃料として BN-600 向けに 21 体、BOR-60 用に 11 体の製造が行われた。照射試験としては 2020 年までに BN-600 において 18 体の MNUP 燃料集合体が装荷され照射された。1 本のピンでガス漏れが発生したが、他は健全な状態で試験が行われたとされている<sup>242</sup>。

#### (4) 使用済高速炉用燃料の処理

3.5.2 (1) 高速炉サイクルのシナリオで示したとおり、ロシアでは高速炉使用済燃料の再処理、リサイクルを含んだクローズドサイクルを目指している。マヤーク再処理工場 RT-1 において、高速炉使用済燃料の再処理を実施中である。従来の BN-600 に加え、2021 年からは BN-800 の使用済燃料の再処理も開始された。RT-1 での再処理実績については 3.5.1 (3)1) で整理している。

研究開発フェーズのものとしては「ブレイクスルー」計画の一環として、セベルスクのシベリア化学コンビナートで BREST-OD-300 を核とし、サイト内ではほぼクローズドサイクルを実現できる(燃料製造、原子炉、再処理)パイロット実証エネルギー複合体(PDEK)の構想が進められている<sup>243</sup>。

BREST-OD-300 の燃料である MNUP の再処理については、窒化物燃料の特性に応じた独自技術が採用されており、PDEK での再処理プラントモジュールの建設は 2026 年にも開始され 2030 年ごろ完成予定である。

MNUP によるサイクルでは、窒化物燃料の特性に応じた独自技術 PH プロセスと呼ばれる再処理プロセスが採用される。これは乾式(Pyro)プロセスと湿式(Hydro)プロセスのハイブリッド技術であり、高温・高プルトニウム含有の使用済 MNUP の処理が可能であるとしている。

MNUP 燃料サイクルでは高速炉の経済性と効率性を成立させるため、1 年という短い冷却期間で再処理をする必要があり、高発熱・高線量状態での再処理(PUREX 法とは異なる処理)が必要となる。このために開発されたのが上掲の PH プロセスである。また、高燃焼度で使用されるため、核分裂生成物

が大量に生成され、複雑な化学的処理が必要となる。また、MOX 燃料と比べてもプルトニウム含有率が高いため、再処理ラインにおいても厳格な臨界管理が必要となる。さらに窒化物燃料特有の課題として、窒素の照射により放射性炭素 C-14 が発生するという課題もある。これについては、再処理過程で排ガスから C-14 を 98%以上回収し、セメント固化する特殊工程を設置するとしている<sup>242</sup>。

### 3.5.4 高速炉導入に関する社会的な活動

#### (1) 情報発信及び理解促進活動

ROSATOM は傘下の非営利組織として、原子力産業が立地する 19 都市に「原子力産業情報センター(ICAIE)」を設置しており、これらが ICAIE ネットワークを形成している。同ネットワークの活動目的は、原子力産業の原則や原子力の発展の展望について、国民に情報提供を行うこととされている。ICAIEウェブサイト(myatom.ru)には、原子力辞典や発電所のバーチャルツアー、立ち入りが制限される閉鎖都市 ZATO(後述)のバーチャルツアーなどの教材を含む「アトムテカ」コーナーが設置され、一般向けの情報発信や教育素材などを提供している。原子力辞典には、高速炉に関する解説などが含まれている。また、各地の拠点が開催するイベントにも、高速炉に関わるものが見受けられる。たとえば 2025 年 12 月には、エカテリブルクとザレチヌイにおいて、原子力産業 80 周年及びベロヤルスク原子力発電所 5 号機としての BN-1200 建設開始を記念する科学啓発フェスティバル「アトムヴィジ」が開催された。同イベントでは、ROSATOM の原子力発電所建設部門担当者が登壇したほか、ザレチヌイでは家族イベントが開催され、映画の上映などの文化イベントやワークショップが行われた。また、このイベントでは BN-1200 の建設に絡めて、若者への原子力産業への就業支援、職業指導にも言及がなされているが、具体的な実施内容等は不明である<sup>244,245</sup>。

またロシアでは、多くの原子力立地地域が秘密都市として開発されその後閉鎖都市(ZATO、後述)として、いわゆる原子力城下町(アトムグレード)として存続してきた背景がある。これらの都市は、教育、医療、レジャー施設やインフラを備えた標準設計に基づき建設され、国内から専門家が集められて街が形成された。ソビエト崩壊後は ROSATOM が、事業展開地域の発展を目的として、地域当局や地方自治体、社会団体と連携し、様々なプロジェクトを行っている。こうした取組には、原子力立地自治体のデジタル化を進めるスマートシティプロジェクト(後述)や、立地自治体に設置される原子力業界への就職に向けた「原子力クラス」のほか、参加の非営利組織を通じた立地自治体の社会福祉向上プロジェクトなどが含まれる<sup>246</sup>。

#### 1) ROSATOM による原子力立地都市における市行政デジタル化取組

ROSATOM は原子力立地自治体のデジタル化・スマート化の取組を展開しており、高速炉 BN-600 や BN-800 が立地するザレチヌイをはじめ、シベリア化学コンビナートが立地するセベルスク、マヤークが立地するオジョルスクでも、自治体発案、ROSATOM 共同運営という形で、ROSATOM(おそらく傘下の IT 子会社)が市民向けのデジタルプラットフォーム(例：<https://zarechny.rosatom.city/>)を開発、運営している。これらのウェブサイトでは、行政サービスの案内や自治体イベントカレンダー、公共交通機関のリアルタイム情報提供や、断水、気象情報といった緊急情報の提供が行われている。加えて、例えば道路の陥没など市民からの改善要求の受付とこれに対する処理の進捗状況の公開など、まちづくりへの市民参加プラットフォームとして役割が与えられて

いる。なお、利用には個人のユーザー登録が必要である<sup>247</sup>。

## (2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動

ロシアにおける高速炉及び関連する核燃料サイクル施設の立地はいずれも、旧ソビエト時代に端を発する。このうち、高速炉 BN-600、BN-800 がベロヤルスク原子力発電所 3 号機、4 号機として立地し、BN-1200 の建設も計画されているスヴェルドロフスク州ザレチヌイ市が、旧ソビエト時代から原子力の国際的なショーケースとして、当該地域への外部者の立ち入りが可能な開放都市であったのに対し、これ以外の建設中の鉛冷却高速炉 BREST-OD-300 やウラン濃縮、転換、再処理等の燃料サイクル関連施設の立地地域は、旧ソビエト時代の秘密都市に由来し、1992 年の「閉鎖的行政・地域形成に関する法律(ZATO 法)」により<sup>248</sup>、現在も閉鎖行政地域(ZATO)に指定され、人の出入りが管理監視されている<sup>249</sup>。

ザレチヌイは、1954 年に同時のソ連電力省が火力発電所を建設することを決定し、共産主義青年同盟(コムソモール)による「突撃建設」による原野の開拓が行われたことに端を発している。1957 年にはノボボロネジ原子力発電所と並ぶソ連最初期の商業規模発電所として、ベロヤルスク原子力発電所(AMB 型黒鉛炉)の建設が決定され、同発電所建設に係る人員により、電力インフラや定住用住宅、保育所などの居住インフラが整備されていった。ベロヤルスク 1 号機は 1964 年、同 2 号機は 1969 年に商業運転を運開した。このように、ザレチヌイは原子力発電所と共にゼロから開発された原子力のための都市である<sup>250</sup>。

同地が原子力発電所サイトとして選定された背景には、同地域が重工業拠点のスヴェルドロフスク(現在のエカテリンブルク)における電力不足に対応するにあたり、近郊に電源供給地が必要であったことがある。ザレチヌイは「川向こう」を意味し、ピシュマ川の当時未開発だった岸辺に設置された。ピシュマ川には原子力発電所の冷却水確保を目的としてダムが築かれた。

その後の高速炉立地に関して、ソビエト時代に同地への建設が決定した BN-600 について、ROSATOM が公開する「電子図書館」では、同地でベロヤルスク 1 号機、2 号機の運転経験があり、経験豊富な人員がいたことが挙げられている<sup>251</sup>。BN-800 の立地に関しては、1980 年にソビエト政府がベロヤルスク及び南ウラルへの立地を決定した。1986 年のチョルノービリ原子力発電所事故後、すでに建設が始まっていた両サイトでの BN-800 建設は凍結され、ベロヤルスクでの建設は 2006 年に再開したが、南ウラルでの計画は破棄された<sup>252</sup>。

ベロヤルスクへの BN-800 の立地は先行する高速炉である BN-600 の運転経験を有することが理由に挙げられると考えられる。もう一つの南ウラル原子力サイトは、チェリャビンスク州オジョルスク市管区内にある。オジョルスクは、マヤークなどの核燃料サイクル施設が立地する管区でもあり、行政単位としては ZATO 内のプロジェクトに相当する。同地への BN-800 の立地計画は、ZATO 域内であることによる原子力産業地域としての管理の容易性や、使用済燃料再処理施設マヤークの近隣に高速炉を建設することによる燃料サイクル上の合理性などが考慮されたものと考えられる。

ソビエト崩壊後の 2010 年の連邦ターゲットプログラムで公的な予算配賦が行われた BN-1200 計画に関しては、現在のロシアの法律に基づき、設置許可に向けた環境影響評価が行われ、関連書類を公表すると共に、市民を対象とした公聴会が開催されている。2023 年 11 月にザレチヌイ市で開催された公聴会には 5,395 人が参加したとされている<sup>253</sup>。

2024 年 12 月 30 日に政府承認された「2042 年までの電力施設配置大綱」には、原子力発電所の

配置方針が地域別に示されている。高速炉に関連しては、「クローズド核燃料サイクル技術の獲得と、高速中性子炉発電ユニットの導入」を方針として示している。この政府文書において、高速炉の建設想定地は、ウラル・シベリア地域に集中している。ここから、ウラル・シベリア地域において高速炉及び関連する核燃料サイクル産業のクラスターを形成する意向が伺える。候補地と基数等は以下の通りである。

- ベロヤルスク原子力発電所(スヴェルドロフスク州ザレチヌイ):BN-1200 1基(2036年までに)。※BN-600、BN-800が立地
- セベルスク原子力発電所(トムスク州セベルスク):実証炉 BREST-OD-300に加え1,255MW級高速炉2基  
※シベリア化学コンビナートが立地。ZATO 対象地域
- レフチンスカヤ原子力発電所(スヴェルドロフスク州レフチンスキ):1,255MW級高速炉2基  
※現在石炭火力発電所が立地
- 南ウラル原子力発電所(チェリャビンスク州オジョルスク):1,255MW級高速炉2基  
※マヤーク近隣。ZATO 対象地域
- シベリア原子力発電所(イルクーツク州 場所は未定):1,255MW級高速炉2基

ベロヤルスクではすでにBN-1200建設の手続きが進行しているが、その他のサイトについては建設決定がなされたわけではなく、炉型についても「1,255MW級」と特定しない表記がなされている。上記からは、過去にBN-800の建設が中止された南ウラルが、再び商用レベル高速炉の立地候補に挙がっていることが確認できる。ロシア政府はこれらの立地に係る立地自治体への対応に関連して、同文書において、建設開始前に法的に義務づけられた公聴会を実施するとしている。<sup>254</sup>

すでに原子力施設が立地している地域における理解促進活動については前項に整理したが、原子力施設の立地経験がない地域における新規の高速炉建設に向けた理解活動等については、情報が得られていない。既存立地地域同様、地域の社会基盤の整備や教育、雇用等の地域振興とセットでのパッケージが示されるのではないかと推測される。

### (3) 高速炉の事故と社会的影響

ロシアで運転中の高速炉のうち、特に1980年に運開したBN-600に関しては、3.5.3で示したとおり、ナトリウム漏洩事象等が複数報告されている。いずれも、住民や環境への放射能影響はなかったとされている<sup>255</sup>。

一方、これらの事象がどの程度、当時のソビエトあるいはロシアにおいて、社会に認識され、社会に影響を及ぼしたかは不明である。BN-800に関しては、前項で示した通り、1986年のチョルノービリ原子力発電所事故の影響やその後のソビエト崩壊に伴い南ウラルで計画中止、ベロヤルスクで2006年まで建設が中断されたが<sup>256</sup>、これはチョルノービリ原子力発電所事故を受けた原子力安全基準の強化や資金難などに主に起因するものであり<sup>257</sup>、先行する高速炉BN-600における事象が直接的に社会に影響を与えたものではないと考えられる。

## 参考文献

- <sup>187</sup> ROSATOM "Short history of the russian nuclear industry" (2026年2月18日閲覧)  
<https://rosatom.ru/en/press-centre/short-history-of-the-russian-nuclear-industry/>
- <sup>188</sup> ロシア連邦物理エネルギー研究所(IPPE)紀要 2025年第2号所収," TOWARDS THE HISTORY OF THE CREATION OF THE BN-350, THE WORLD'S FIRST PILOT-INDUSTRIAL FAST NEUTRON POWER REACTOR: A CHRONICLE OF THE PREHISTORY OF LAUNCH"  
<https://vant.ippe.ru/images/pdf/2025/issue2025-2-5-16.pdf>
- <sup>189</sup> 国際核分裂性物質パネル(IPFM),"Fast Breeder Reactor Programs: History and Status"(2010)  
<https://fissilematerials.org/library/rr08.pdf>
- <sup>190</sup> Arms Control Association "Putin Approves Spent-Fuel Import Legislation" (2026年2月12日閲覧)  
<https://www.armscontrol.org/act/2001-09/putin-approves-spent-fuel-import-legislation>
- <sup>191</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト" Главные вехи Источник" (2026年2月12日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/atomic-age/milestones/>
- <sup>192</sup> ロシア連邦物理エネルギー研究所(IPPE) "БРЕСТ-ОД-300"(2026年1月21日閲覧)  
<https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/120-brest-300-nuclear-reactor>
- <sup>193</sup> スtockホルム国際平和研究所, EU Non-Proliferation and Disarmament Papers No. 61 "RUSSIA'S NUCLEAR ENERGY EXPORTS: STATUS, PROSPECTS AND IMPLICATIONS"(2019年2月)  
[https://www.sipri.org/sites/default/files/2019-02/eunpdc\\_no\\_61\\_final.pdf](https://www.sipri.org/sites/default/files/2019-02/eunpdc_no_61_final.pdf)
- <sup>194</sup> タス通信" Лихачев заявил, что законозапрете импорта российского урана в США проблемне вызовет"(2024年5月16日)  
<https://tass.ru/ekonomika/20813285>
- <sup>195</sup> ROSATOM "PERFORMANCE OF THE MINIG DIVISION OF ROSATOM"(2024年)  
[https://report.rosatom.ru/go\\_eng/2024/armz\\_2024\\_eng.pdf](https://report.rosatom.ru/go_eng/2024/armz_2024_eng.pdf)
- <sup>196</sup> ROSATOM SCK, "Siberian Chemical Plant"(2026年2月5日閲覧)  
<https://shk.tvel.ru/en/>
- <sup>197</sup> WNA "Conversion and Deconversion" (2026年2月5日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/conversion-and-deconversion>
- <sup>198</sup> WNA "Russia's Nuclear Fuel Cycle"(2026年2月5日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>199</sup> UEIP "История УЭХК"(2026年2月5日閲覧)  
<https://www.ueip.ru/AboutCompany/Pages/history.aspx>
- <sup>200</sup> 電気化学プラント "Environmental safety report 2024"  
<https://ecp.tvel.ru/upload/iblock/b0c/ecorep-24-eng.pdf>
- <sup>201</sup> IAEA NFCIS "List of Nuclear Fuel Cycle Facilities" (2026年2月5日閲覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facilities>

- <sup>202</sup> ROSATOM “PERFORMANCE OF THE FUEL DIVISION 2023”  
[https://www.report.rosatom.ru/go\\_eng/2023/tvel\\_2023\\_eng.pdf](https://www.report.rosatom.ru/go_eng/2023/tvel_2023_eng.pdf)
- <sup>203</sup> 放射性廃棄物合同条約第7回ロシア国別報告書(2024年)  
<https://www.en.gosnadzor.gov.ru/framework/nuclear/safety-guides/7%20National%20Report%20RU1.pdf>
- <sup>204</sup> ROSATOM “Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2024”  
[https://report.rosatom.ru/go\\_eng/go\\_rosatom\\_eng\\_2024/rosatom\\_2024\\_eng.pdf](https://report.rosatom.ru/go_eng/go_rosatom_eng_2024/rosatom_2024_eng.pdf)
- <sup>205</sup> ROSATOM Atommedeia, “В Железногорске состоялся запуск второй очереди Опытного-демонстрационного центра по переработке облученного ядерного топлива”(2025年7月25日)  
<https://atommedia.online/press-releases/v-zheleznogorske-sostoyalsya-zapusk-vtoroy-ocheredi-opytno-demonstratsionnogo-tsentra-po-pererabotke/>
- <sup>206</sup> ROSATOM, ニュースレター「イノベーションサービスダイジェスト」(2024年1月)  
[https://rkm.rosatom.ru/innov/pir-ipr/vestnik-dntpp/%D0%94%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D1%81%D1%82\\_%D1%8F%D0%BD%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8C%202024.pdf](https://rkm.rosatom.ru/innov/pir-ipr/vestnik-dntpp/%D0%94%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D1%81%D1%82_%D1%8F%D0%BD%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8C%202024.pdf)
- <sup>207</sup> Атомная энергия 2.0 “СХК в 2026 году начнет строительство модуля переработки ОЯТ опытно-демонстрационного энергокомплекса БРЕСТ-ОД-300”(2024年6月13日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2024/06/13/146663>
- <sup>208</sup> ロシア科学アカデミー原子力安全問題研究所(IBRAE), “RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL AT THE YENISEI SITE IN THE KRASNOYARSK TERRITORY: THE HISTORY OF SITE SELECTION AND THE CURRENT STATE OF RESEARCH”(2024年)  
<https://en.ibrae.ac.ru/pubtext/268/>
- <sup>209</sup> TENEX, “SUSTAINABLE NUCLEAR FUEL CYCLE”(2021年)  
<https://tenex.ru/upload/medialibrary/Sustainable%20Nuclear%20Fuel%20Cycle%20book.pdf>
- <sup>210</sup> WNA “Russia’s Nuclear Fuel Cycle”(情報は2017年時点。2026年1月14日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>211</sup> ROSATOM, “Fuel Evolution”(2025年1月)  
<https://rosatomnewsletter.com/ru/2025/01/28/fuel-evolution/>
- <sup>212</sup> ロシア大統領府プレスリリース, “Global Atomic Forum”(2025年9月25日)  
<http://www.en.kremlin.ru/events/president/news/78069>
- <sup>213</sup> ROSATOM Atommedeia, “Rosatom starts afterburning of minor actinides in a fast reactor”(2024年7月10日)  
<https://atommedia.online/en/press-releases/v-rosatome-nachalas-opytno-promyshl/>
- <sup>214</sup> IAEA, “IAEA-TECDOC-1959 Limited Scope Sustainability Assessment of Planned Nuclear Energy Systems Based on BN-1200 Fast Reactors”(2021年)  
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1959web.pdf>
- <sup>215</sup> ロシア連邦物理エネルギー研究所(IPPE)紀要2025年第2号所収, “TOWARDS THE HISTORY OF THE CREATION OF THE BN-350, THE WORLD’S FIRST PILOT-INDUSTRIAL FAST NEUTRON POWER REACTOR: A CHRONICLE OF THE PREHISTORY OF LAUNCH”

- <https://vant.ippe.ru/images/pdf/2025/issue2025-2-5-16.pdf>
- <sup>216</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト”БН-600”(2026年1月16日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/bn-600/>
- <sup>217</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト”Белоярская АЭС им. И. В. Курчатова”(2026年1月15日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/beloyarskaya-aes>
- <sup>218</sup> BN-600 and BN-800 Operating Experience - Generation IV International Forum (2018年)  
[https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series24/gifiv\\_webinar\\_pakhomov\\_19\\_dec\\_2018\\_final.pdf](https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series24/gifiv_webinar_pakhomov_19_dec_2018_final.pdf)
- <sup>219</sup> IAEA-PRIS, “BELOYARSK-3”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=484>
- <sup>220</sup> Rosatom Newsletter, “BN-600: 45 Years of Fast Reactor Excellence”(2025年4月28日)  
<https://rosatomnewsletter.com/2025/04/28/bn-600-45-years-of-fast-reactor-excellence/>
- <sup>221</sup> IAEA-PRIS, “BELOYARSK-4”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=451>
- <sup>222</sup> ロシア連邦物理エネルギー研究所(IPPE),”Реактор БН-1200М”(2026年1月21日閲覧)  
<https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/122-bn1200-reactor>
- <sup>223</sup> ロシア連邦政府「2042年までの電力施設配置大綱」(2024年12月30日承認)  
<http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf>
- <sup>224</sup> IAEA-ARIS,”BN-1200”  
<https://aris.iaea.org/DsrDetails/43/>
- <sup>225</sup> Atomic Energy Russia, “Реактор на быстрых нейтронах БН-1200 для АЭС начнут строить не раньше 2020 года”(2014年10月17日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2014/10/17/52315>
- <sup>226</sup> Atomic Energy Russia, “Реактор на быстрых нейтронах БН-1200 для АЭС начнут строить не раньше 2020 года”(2019年7月30日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2019/07/30/96552>
- <sup>227</sup> Atomic Energy Russia, “Генеральный директор Росатома подтвердил решение о строительстве БН-1200 на Белоярской АЭС”(2022年11月3日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2022/11/03/129986>
- <sup>228</sup> ROSATOM Atommedia, “Beloyarsk NPP has received a license of Rostekhnadzor for installation of Unit 5 reactor plant with the capacity of 1200 MW”(2025年4月28日)  
<https://atommedia.online/en/press-releases/beloyarskaya-aes-poluchila-litsenziyu-rostekhnadzora-na-razmeshchenie-yadernoy-ustanovki-pyatogo-ene/>
- <sup>229</sup> JSC ASE “В 2025 году Белоярская АЭС получит на согласование проектную документацию по БН-1200М”(2024年7月31日)  
<https://ase-ec.ru/for-journalists/news/2024/jul/v-2025-godu-beloyarskaya->

- aes-poluchit-na-soglasovanie-proektnuyu-dokumentatsiyu-po-bn-1200m-/  
<sup>230</sup> NEI magazine “Beloyarsk NPP prepares for construction of BN-1200”(2023 年 1 月 3 日)  
<https://www.neimagazine.com/news/beloyarsk-npp-prepares-for-construction-of-bn-1200-10486479/>
- <sup>231</sup> ROSATOM Atommedeia, “«Росатом» наращивает производство топлива реакторов IV поколения”(2025 年 9 月 15 日)  
[https://atommedia.online/press-releases/rosatom-narashchivaet-proizvodstvo-topliva-reaktorov-iv-pokoleniya-/](https://atommedia.online/press-releases/rosatom-narashchivaet-proizvodstvo-topliva-reaktorov-iv-pokoleniya/)
- <sup>232</sup> IAEA, “BREST-OD-300 Reactor Facility: Development Stages And Justification”(2017 年) <https://inis.iaea.org/records/xk67h-n9k44>
- <sup>233</sup> ROSATOM, “Машиностроители «Росатома» изготовили основное оборудование для инновационной реакторной установки БРЕСТ-ОД-300”(2025 年 7 月 31 日)  
<https://www.proryv2020.ru/mashinostroiteli-rosatoma-izgotovili-osnovnoe-oborudovanie-dlja-innovacionnoj-reaktornoj-ustanovki-brest-od-300/>
- <sup>234</sup> ロシア大統領府プレスリリース, “Global Atomic Forum”(2025 年 9 月 25 日)  
<http://www.en.kremlin.ru/events/president/news/78069>
- <sup>235</sup> IAEA-ARIS, “BREST-OD-300”  
<https://aris.iaea.org/DsrDetails/45/>
- <sup>236</sup> IAEA-PRIS, “BREST-OS-300”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=1106>
- <sup>237</sup> ROSATOM「ブレイクスルー」プロジェクトニュース, “Выполнен монтаж последней оболочки периферийной полости инновационного реактора на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300”(2025 年 12 月 30 日)  
<https://www.proryv2020.ru/novosti/>
- <sup>238</sup> ROSATOM ニュース, “«Росатом» ввел в опытно-промышленную эксплуатацию завод по производству ядерного топлива для инновационного реактора БРЕСТ-ОД-300”(2024 年 12 月 25 日)  
<https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-vvel-v-opytno-promyshlennuyu-ekspluatatsiyu-zavod-po-proizvodstvu-yadernogo-topliva-dlya-inn/>
- <sup>239</sup> ROSATOM “PERFORMANCE OF THE FUEL DIVISION 2023”  
[https://www.report.rosatom.ru/go\\_eng/2023/tvel\\_2023\\_eng.pdf](https://www.report.rosatom.ru/go_eng/2023/tvel_2023_eng.pdf)
- <sup>240</sup> A.V. Lopatkin (NIKIET) et.al., “Lead-cooled fast reactor BREST-OD-300: reactor plant, fuel cycle, safety”, IAEA FR17 Conference  
[https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df10/day-3/04.Lemekhov\\_Russia.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df10/day-3/04.Lemekhov_Russia.pdf)
- <sup>241</sup> ROSATOM “Russian regulator issues the license of operation of the fuel fabrication facility for BREST-OD-300 reactor”(2024 年 4 月 12 日)  
<https://atommedia.online/en/2024/04/12/rosatom-poluchil-licenziju-rostehnadz/>
- <sup>242</sup> Dr Andrei Shadrin (JSC “Proryv”) et.al., “Fabrication and reprocessing of mixed uranium-plutonium nitride fuel for reactor BREST”  
<https://conferences.iaea.org/event/218/contributions/18781/attachments/11851/17589/ID063-3-03-Shadrin.pdf>

- <sup>243</sup> ROSATOM “Russian regulator issues the license of operation of the fuel fabrication facility for BREST-OD-300 reactor” (2024 年 4 月 12 日)  
<https://atommedia.online/en/2024/04/12/rosatom-poluchil-licenziju-rostehnadz/>
- <sup>244</sup> 原子力産業情報センター(ICAE)ウェブサイト(2026 年 2 月 6 日閲覧)  
<https://myatom.ru/%d0%be%d0%b1-%d0%b8%d1%86%d0%b0%d1%8d/>
- <sup>245</sup> ICAE エカテリブルク拠点ウェブサイト(2026 年 2 月 6 日閲覧)  
<https://myatom.ru/%d1%80%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%82%d0%be%d0%bc-%d0%b2%d0%bf%d0%b5%d1%80%d0%b2%d1%8b%d0%b5-%d0%bf%d1%80%d0%be%d0%b2%d0%b5%d0%bb-%d0%bd%d0%b0%d1%83%d1%87%d0%bd%d0%be-%d0%bf%d0%be%d0%b7%d0%bd/>
- <sup>246</sup> ROSATOM, “Взаимодействие с регионами”(2026 年 2 月 6 日閲覧)  
<https://rosatom.ru/sustainability/regions-interaction/>
- <sup>247</sup> スマート・ザレチヌイウェブサイト, “Умный Заречный”(2026 年 1 月 15 日閲覧)  
<https://zarechny.rosatom.city/>
- <sup>248</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト “Главные вехи 15 июля 1992”(2026 年 1 月 16 日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/atomic-age/milestones/1992-07-15/>
- <sup>249</sup> Постановление Правительства РФ от 05.07.2001 N 508 “Об утверждении перечня закрытых административно-территориальных образований и расположенных на их территориях населенных пунктов”(法令番号: 2001 年 7 月 5 日付 第 508 号)  
<https://rulaws.ru/goverment/Postanovlenie-Pravitelstva-RF-ot-05.07.2001-N-508/>
- <sup>250</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト “Белоярская АЭС им. И. В. Курчатова”(2026 年 1 月 15 日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-power-plants/beloyarskaya-aes>
- <sup>251</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト “БН-600”(2026 年 1 月 16 日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/bn-600/>
- <sup>252</sup> ROSATOM グループビブリオアトムウェブサイト “БН-800”(2026 年 1 月 16 日閲覧)  
<https://www.biblioatom.ru/core-systems/nuclear-reactors/bn-800/>
- <sup>253</sup> Atomic Energy 2.0, “Участники общественных слушаний в Заречном поддержали размещение пятого энергоблока БН-1200М”(2023 年 11 月 13 日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2023/11/13/140484>
- <sup>254</sup> ロシア連邦政府「2042 年までの電力施設配置大綱」(2024 年 12 月 30 日承認)  
<http://static.government.ru/media/files/Rwf9Akjf5FwAnustDEL2m7PEvZ26i7k3.pdf>
- <sup>255</sup> BN-600 and BN-800 Operating Experience - Generation IV International Forum (2018 年)  
[https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series24/gifiv webinar pakhomov 19 dec 2018 final.pdf](https://gif.jaea.go.jp/webinar/Series24/gifiv%20webinar%20pakhomov%2019%20dec%202018%20final.pdf)
- <sup>256</sup> 世界原子力協会(WNA), “Nuclear Power in Russia”(2026 年 1 月 15 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power>
- <sup>257</sup> Krivitski, I. Y. “BN-800 - history and perspective (p. [7 p.]” YDRNS

Information Technology Services, Ltd. (2001 年)  
<https://inis.iaea.org/records/09wzt-9c909>

## 3.6 中国

### 3.6.1 核燃料サイクルの現況

#### (1) 核燃料サイクル政策の変遷

中国は、1980年代から一貫して、熱中性子炉、高速炉、核融合炉と開発を進める政策を堅持している<sup>258</sup>。これは、1983年に「原子力発展技術政策論証会議」で提示された戦略に基づくものである<sup>259</sup>。そのうえで、自国の技術によるクローズサイクルの確立に向けた取組を進めている。より具体的には、使用済燃料は再処理してウランやプルトニウムを回収して利用し、資源を最大限に利用して、また高レベル放射性廃棄物の発生量を減少させることとしている。クローズサイクルを採用する理由の一つとして、原子力発電の規模を考慮した際のウラン資源の供給不足がある<sup>260</sup>。

フロントエンドにおいては、ウラン資源は国産・輸入ウランの双方を活用しつつ、転換や濃縮、燃料製造はほぼ中国国内で実施する体制が整備されている。一方でバックエンドでは、パイロットスケール再処理試験プラントで再処理が実施されており、フランスとの協力による商業規模の施設建設も構想されているが、実現には至っていない。また、ベルギーとの協力による MOX 燃料製造施設の建設に向けた取組も進められているが、商業規模での施設の建設には至っていない。このため、現状では使用済燃料は発電所サイトまたはオフサイトの貯蔵施設で貯蔵されている<sup>261</sup>。高速炉は、ロシアとの協力の下で開発が進められており、すでに実験炉は運転を開始しており、実証炉の建設も進められている<sup>262</sup>。

#### (2) フロントエンド

##### 1) ウラン採掘

OECD/NEAとIAEAが共同で作成している「ウラン2024:資源、生産及び需要」(通称「レッドブック」)によると、2023年初時点で、中国の特定されたウラン資源の賦存量は40万5,700トンウランであった。また、2021年と2022年の中国のウラン生産量は、1,540トンウランと1,550トンウランであった。中国は2023年に1,600トンウランを生産すると見込まれている。持続的なウラン価格低迷による生産コスト課題への対応として、中国のウラン企業は2019年から2022年にかけて国内産業構造の再編を完了した。第一に、ウラン資源が枯渇した、あるいは生産コストが高い複数の従来型採掘ウラン生産拠点が閉鎖または採掘停止となった。次に、中国北部における砂岩ウラン鉱床のISL採掘は継続され、新疆と内モンゴルにおけるISL生産能力のさらなる拡大が行われた。ISL採掘によるウラン生産は中国北部で主流を占め、中国南部では地下採掘がこれを補完した。再編後もウラン生産の総能力は安定を維持している。中国で以前操業していた4つの地下ウラン採掘センターのうち、韶関採掘センターは操業中だが、藍田採掘センターは閉鎖され、崇義・青龍・福州の各採掘センターは保守管理状態にある。伊寧・通遼のISL採掘センターは能力が拡大され、二連盆地には新たなISL採掘センターが建設された<sup>263</sup>。

国外でのウラン採掘に関して、中国核工業集团公司(CNNC)と中国広核集団(CGN)は、主にナミビア、カザフスタン、ニジェールで複数のプロジェクトに関与してきた。2014年、CNNCはパラディン・エナジーからランガー・ハインリッヒ・ウラン鉱山(ナミビア)の25%の株式を取得したが、同鉱山は生産

コストの高騰により 2018 年 9 月から保守・維持状態にある。2022 年 8 月、パラディン社取締役会はランガー・ハイブリット鉱山の 2024 年操業再開と 2025 年生産開始を承認した。2018 年 11 月 26 日、CNNC はリオ・ティント社と株式購入契約を締結し、ナミビアのロッシングウラン鉱山の 68.62%の株式を取得した。リオ・ティントから CNNC へのプロジェクト引渡しは 2019 年 7 月に完了した。ロッシング鉱山の 2021 年及び 2022 年のウラン生産量はそれぞれ 2,444 トンウランと 2,255 トンウランであった。ナミビアの CGN フサブウラン鉱山は 2021 年と 2022 年にそれぞれ 3,310 トンウランと 3,357 トンウランを生産した。CNNC がニジェールで進めるアゼリック・ウランプロジェクトは 2014 年末以降、保守・維持状態にある。カザフスタンにおける CGN とカザンプロムが保有するセミズバイ鉱山及びイルコル鉱山は、2021 年と 2022 年にそれぞれ 962 トンウランと 957 トンウランを生産した。2021 年 7 月、CGN は合弁企業オルタリク社の 49%株式を取得した。同社は中央ミンクドゥク鉱山を所有・運営し、建設中のザルパク鉱山も保有している。中央ミンクドゥク鉱山は 2021 年に 1,579 トンウラン、2022 年に 1,639 トンウランを生産した<sup>263</sup>。

## 2) 転換

中国では、原子力発電事業やフロントエンド、バックエンド事業を手掛ける CNNC グループが国内で転換施設を操業している。

表 3.6-1 中国の転換プラント<sup>262,264</sup>

項目	概要
①衡陽ウランプラント	
施設概要	湖南省衡陽市に立地。世界原子力協会によれば、建設許可は 2014 年 10 月に発行され、2018 年に稼働が予定されていた。IAEA によれば、操業中とのステータスになっている。
技術	不明
能力	3000 t U/年
稼働状況	不明
稼働実績	不明
②蘭州核燃料コンプレックス(LNFC)	
施設概要	甘粛省蘭州市に立地。世界原子力協会によれば、5,000 t HM/年のプラントが約 80%の稼働率で稼働しているとの情報がある一方で、閉鎖されている可能性もある。
技術	湿式
能力	3,000 t HM/年
稼働状況	1980 年に稼働開始
稼働実績	不明

(出典)WNA 「China's Nuclear Fuel Cycle」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、IAEA 「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026 年 2 月 19 日閲覧)より作成

## 3) 濃縮

中国では、転換と同様に、CNNC グループが国内で濃縮施設を操業している。

表 3.6-2 中国の濃縮プラント<sup>262,264</sup>

項目	概要
①漢中ウラン濃縮プラント	
施設概要	陝西省漢中市にあるロシア製の濃縮プラント。ロシアの MINATOM(現在の ROSATOM) 及び TENEX と、CNNC グループの中国原子能工業の協定により建設。
技術	ガス遠心分離法
能力	1,000 MTSWU/年
稼働状況	1997 年に稼働開始
稼働実績	不明
②蘭州核燃料コンプレックス(LNFC)甘肅濃縮	
施設概要	甘肅省蘭州市に立地。もとは核兵器製造用施設で、旧ソ連の拡散技術を使用して 1980～1997 年に稼働。2001 年に 500,000 SWU/yr の能力のロシア製遠心分離プラントが稼働開始して、この施設を置き換え。その後、中国の技術を利用して拡張が進められる。
技術	ガス遠心分離法
能力	500 t HM/年
稼働状況	2005 年に稼働開始
稼働実績	不明

(出典)WNA「China's Nuclear Fuel Cycle」(2026年2月19日閲覧)、IAEA「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026年2月19日閲覧)より作成

#### 4) 燃料製造

中国では、転換・濃縮と同様に、CNNC グループが国内で燃料加工施設を操業している。中国では複数の炉型の原子炉が運転されているが、いずれも中国国内で燃料製造が可能になっている。

表 3.6-3 中国の燃料加工プラント<sup>262,264</sup>

項目	概要
①CANDU 核燃料プラント	
施設概要	CNNC が内モンゴル自治区の包頭市に建設した 2 基目の民生用燃料加工プラントであり、1956 年に設置された軍事用プラントをベースにしている。
技術	—
能力	200 t HM/年
稼働状況	2003 年に稼働開始
稼働実績	不明
②HTR 核燃料プラント	
施設概要	本プラントも内モンゴル自治区の包頭市にあり、中国で運転している高温ガス炉(北京の高温ガス実験炉、及び石島湾の高温ガス実証炉)の燃料を製造していると考えられる。
技術	—
能力	300,000 個/年
稼働状況	2016 年に稼働開始
稼働実績	不明
③建中核燃料	
施設概要	四川省宜賓市にあり、PWR と VVER の核燃料を製造している。
技術	—
能力	800 t U/年
稼働状況	1998 年に稼働開始
稼働実績	不明
④PWR 核燃料プラント	
施設概要	本プラントも内モンゴル自治区の包頭市にあり、AP1000 や AP1000 の技術をベースに中国が開発した CAP 用の燃料を製造している模様である。
技術	—
能力	600 t U/年
稼働状況	2012 年に稼働開始
稼働実績	不明

(出典)WNA「China's Nuclear Fuel Cycle」(2026 年 2 月 19 日閲覧)、IAEA「Nuclear fuel Cycle Facilities Database」(2026 年 2 月 19 日閲覧)より作成

### (3) バックエンド

中国では、自国技術を利用した再処理プラントの建設と、フランスとの協力による再処理プラント建設の 2 つの計画がある。WNA によれば、甘肅省金塔の甘肅省金塔にある甘肅酒泉核技術産業パーク(図 3.6-1 を参照)で年間 200 トンの使用済燃料処理能力を持つ実証燃料再処理プラントが建設中であるとのことである。フランスとの協力においては、Orano 社との協力により、大型商用再処理施設を建設することとしている。施設の規模は、年間の処理量が 800t とされ、また、投資額は 150 億ユーロと見積もられている。中国側で再処理事業の実施主体となる中国核工業集团公司(CNNC)と、Orano 社の前身の AREVA 社は再処理プラント建設契約締結に向けて 2013 年 4 月に基本合意書を締結し、2014 年 3 月には中国における再処理プラント建設プロジェクトの遂行に関する協定を締結するなどしてきた<sup>262</sup>。2018 年 6 月には Orano 社が、CNNC の子会社である中核龍安科技公司との間で、中国における再処理工場建設に向けた準備作業を開始することで合意したと発表した<sup>265</sup>。また 2019 年 11 月には、仏マクロン大統領の中国公式訪問に際して、中国における再処理プラント建設に関する協力覚書(MOU)が締結されている<sup>266</sup>。しかしながら、2026 年 1 月時点で CNNC と Orano 社は建設契約締結には至っていない。

なお、上述のとおり甘肅酒泉核技術産業パークでは実証燃料再処理プラントが建設中とのことである。図 3.6-1 は、甘肅酒泉核技術産業パークで極低放射性廃棄物管理プロジェクトを進めている甘肅東方新環境治理有限公司が取りまとめた環境影響報告書に掲載されている、同パークの整備計画である。この環境影響報告書によれば、図の左上(北西)にある核燃料サイクルバックエンド核心区域に、使用済燃料再処理施設、MOX 燃料部品製造産業<sup>a</sup>、廃棄物処理・製造産業及び多用途モジュール炉などが整備される計画である<sup>267</sup>。

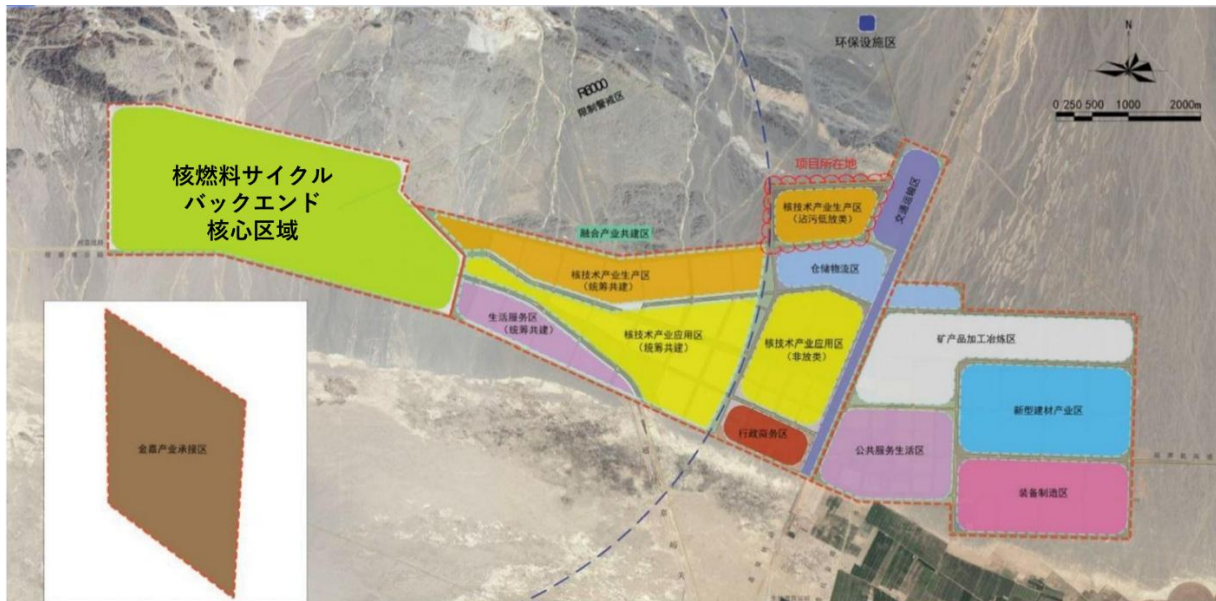


図 3.6-1 甘肅酒泉核技術産業パークの整備計画

(出典)甘肅東方新環境治理有限公司「極低放射性廃棄物管理プロジェクト環境影響報告書」(2020年4月)より引用

中国のバックエンドの状況について、中国の証券会社である開源証券は、2024年6月に投資家向けのレポートをまとめている。図 3.6-2 は、開源証券が中国国家统计局などの情報よりまとめた、中国における使用済燃料の発生量などのデータである。同証券は、「2025年に我が国でオフサイトでの貯蔵が必要になる使用済燃料は5,591トンになる」との見通しを示している。また、現在中国では使用済燃料の再処理容量は不足しており、その引き上げが待たれる、としている。なお本レポートは、2022年時点で中国の使用済燃料の再処理容量は年間50トンであり、建設中の容量が年間400トン分で、そのうち200トン分は2025年に操業開始予定、また残りの200トン分は2022年に建設が開始されたとしている。さらに同証券は、2021年から2035年の期間における使用済燃料再処理のための設備投資は、年平均で139億人民元(約3,058億円、1人民元=22円で換算、以下も同様)になるとの見通しを示している<sup>268</sup>。

<sup>a</sup> 「MOX 燃料部品製造産業」は原語に忠実に訳出しており、MOX 燃料製造施設が建設されるか否かはこの表現のみからは明確でないが、その可能性が高いと考えられる。

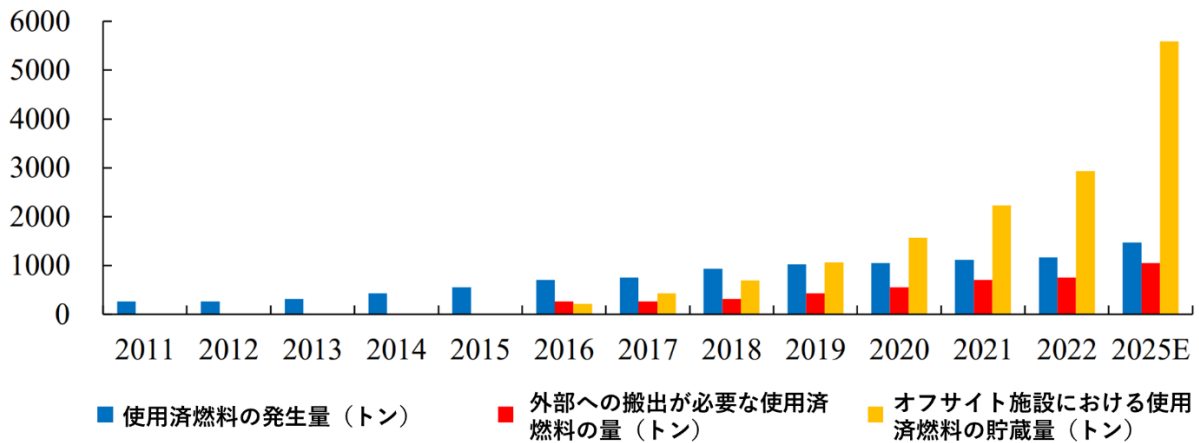


図 3.6-2 中国における使用済燃料の発生量など

(出典)開源証券「原子力発電設備の景気は上向き、第4世代原子力発電と使用済燃料が新たな成長をけん引」(2024年6月7日)より引用

### 3.6.2 核燃料サイクル政策における高速炉の位置付け

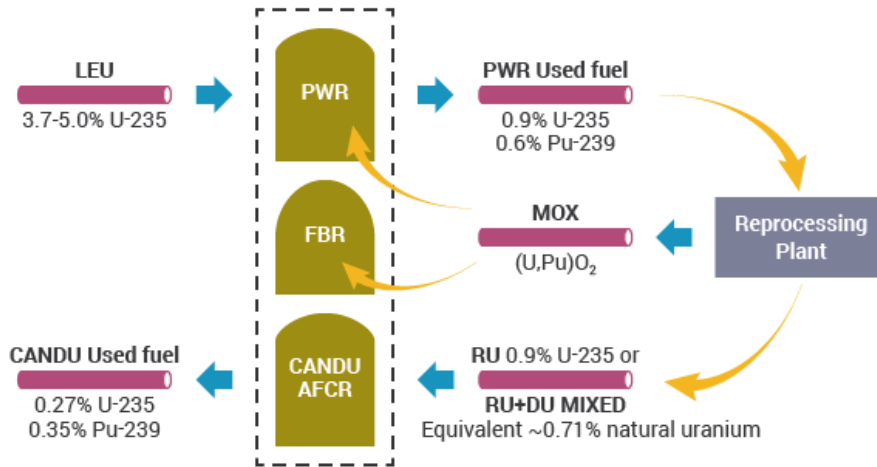
#### (1) 高速炉サイクルのシナリオ

中国では再処理は、先進的な湿式のプロセスを採用してウランとプルトニウムを分離しないことで核不拡散抵抗性を高めることとなっており、また使用済燃料中のマイナーアクチノイドの分離も検討されている<sup>269</sup>。

中国では、回収ウラン・プルトニウムも活用して資源利用の最大化を図るとされている。ただし、2017年に公表された放射性廃棄物等安全条約締約国会議の報告書によると、経済性や技術的な観点から、一部の燃料について直接処分の可能性は排除しないものの、直接処分対象となる使用済燃料はまだ決定されていない<sup>270</sup>。

図 3.6-3 は、世界原子力協会のウェブサイトに掲載されている中国の核燃料サイクルのビジョンである。図に示されているように、中国では軽水炉の使用済燃料を再処理施設で処理してウラン 235 の濃度を 0.9%まで高めた燃料、又は回収ウランと劣化ウランを混合し、天然ウランと同程度のウラン 235 の濃度とした燃料を CANDU 炉に装荷し、燃料することで濃度 0.27%のウラン 235 と 0.35%のプルトニウム 239 を回収する構想である(世界原子力協会のウェブサイトには、回収したウラン及びプルトニウムの用途に関する記述はない)。なお、中国では秦山第三原子力発電所で2基のCANDU炉が運転されている<sup>262</sup>。

China Nuclear Fuel Cycle Vision



Source: World Nuclear Association

図 3.6-3 中国の核燃料サイクルのビジョン

(出典)世界原子力協会 “China’s Nuclear Fuel Cycle”より引用

## (2) 高速炉の安全性及び経済性に関する評価

以下、ハーバード大学の Yun Zhou が 2011 年 3 月に公表したワーキングペーパー「China’s Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies」における検討を整理する。

本ペーパーで Zhou は、中国では 1980 年代にクローズサイクル政策が確立されたことに言及している。その主な理由は、Zhou が参照している中国の関係者の論文によれば、ウラン資源の供給が不十分であることである。ただし、Zhou は「今後数十年間、中国は燃料需要を満足するために国内生産及び輸入によって十分なウランを確保できると考えられる」との見通しを示している。

クローズサイクル政策について、Zhou によれば、ウランの供給不足が見込まれ、またウラン探査活動も限定的であったことから、中国では商用軽水炉の使用済燃料を再処理してウラン及びプルトニウムを抽出し、それを使用して高速炉燃料を製造する意向を有していた。1986 年には、我が国の内閣に相当する国務院が甘粛省にある CNNC グループの中核四〇四有限公司の施設における年間再処理容量 50 トンのパイロットスケール再処理試験プラント建設を承認した。なお、この試験プラントについて 3.6.3 (4)で記載している。このプラントには、商用炉の燃料 500 トン、研究炉の燃料 50 トンの合計 550 トンの容量を持つ使用済燃料の中間貯蔵施設も併設されている。

Zhou が 2011 年公表の本ペーパーでまとめている中国における高速炉開発の動向は、以下のとおりである。中国は、21 世紀中ごろまでには国際的に高速中性子炉が商用炉の炉型として支配的なものになるだろうとの見通しを有していた。その実現のために、まず出力 20MWe(65MWt)の実験高速炉 CEFR の建設プロジェクトが実施された。これは、ロシアの BN-600 の高速炉技術に依拠して開発され、MOX 燃料が装荷されるものである。続いて、2 基の実証高速炉の開発が進められる。そのために中国は、2009 年 10 月に BN-800 高速中性子炉の開発に関してロシアと協力協定を締結している。また、高速中性子炉の商用化に先立って、中国は 2020 年までに商用再処理プラントと MOX 燃料製造施設の建設を計画していた。本ペーパーでは、当時年間製造容量 0.5 トンのパイロット規模の MOX 燃料製造施設が建設中であるとされている。なお、CEFR 及び実証高速炉の開発・運転状況は本報告

書の 3.6.3 (1)及び 3.6.3 (2)で整理している。

同ペーパーでは、経済性の評価において、高速炉の商用化が見込まれている 2035 年までの期間について以下の 3 シナリオが検討されている<sup>271</sup>。

- 再処理を実施しない:このシナリオでは、原子力発電所サイトで貯蔵できない使用済燃料はすべてオフサイトの乾式又は湿式貯蔵施設に搬出
- ニーズベースで再処理を実施:2011 年に年間 50 トンの再処理を開始し、その後は高速炉開発プログラムの必要に応じて、かつ不必要なプルトニウム在庫を回避して徐々に再処理容量を追加。分離したプルトニウムは高速炉に装荷する MOX 燃料の製造に使用
- 能力ベースで再処理を実施:2025 年には年間 800 トンの再処理容量を実現。分離したプルトニウムは、核不拡散抵抗性を備えた方法で保管するか、又は軽水炉に装荷する MOX 燃料のために使用

Zhou によれば、中国の専門家は使用済燃料の再処理及びプルトニウムの再利用は、ワンスルーサイクルよりも費用がかかることを認識している。しかし、彼らはウラン価格が上昇し資源が減少すれば、再処理と再利用が限りあるウラン資源から最大のエネルギーを産出し、中国のエネルギー開発を持続可能なものとする唯一の方法であると考えている。

下表は、核燃料サイクルの工程ごとのコスト見積である。なおこの見積もりは、米国アイダホ国立研究所のデータを基にしたものである<sup>271</sup>。

表 3.6-4 核燃料サイクルの工程ごとのコスト見積

**Table 7. Costs for different items in nuclear fuel cycle (2008 U.S. \$)**

Items	Unit	Value
Conversion processes	\$/kg Natural U	10
Enrichment	\$/kgU Natural U	105
UO <sub>2</sub> fuel Fabrication	\$/kg LEU	240
Reprocessing (including waste handling)	\$/HM	2160
MOX fabrication	\$/HM	1950
Dry Storage of Spent Fuel	\$/HM	120

(出典)Yun Zhou "China's Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies" (2011)

下表は、3 つのシナリオにおいて算出されたコストである<sup>271</sup>。

表 3.6-5 使用済燃料管理のシナリオごとのコスト

**Table 9. Cumulative costs for three spent fuel management scenarios (2008 U.S. \$M)**

	With a 0% discount rate	With a 5 %discount rate
Scenario 1 (no reprocessing/dry storage)	319.1	130.1
Scenario 2 (reprocessing as needed)	13025.8	5595.2
Scenario 3 (reprocessing at the maximum capacity) (the MOX fuel for LWRs case)	21391.7	9088.2

(出典) Yun Zhou "China's Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies" (2011)

下表は、3つのシナリオにおける2035年までに見込まれる使用済燃料の使用量の削減量、プルトニウムの発生量、及び累計未使用プルトニウムの量である。Zhouはこの推計を提示したうえで、分離されたプルトニウムは取り扱いや輸送がそれほど困難でないのと比較して、照射済燃料は極めて危険性が大きく輸送も困難であることを指摘している。

表 3.6-6 2035年までに見込まれる使用済燃料の使用量の削減量、プルトニウムの発生量、及び累計未使用プルトニウムの量

Scenarios	Spent fuel reduced (tons)	Plutonium produced (tons)	Cumulative unused Plutonium (tons)
Scenario 1	0	0	0
Scenario 2	5900	58.9*	14.4
Scenario 3 (the MOX fuel for LWRs case)	9500	94.9*	35.0**
Scenario 3 (the plutonium stockpile case)	9500	94.9*	50.4***

\*For simplicity, it is assumed the 1 percent Pu in spent fuel

\*\* It is assumed China will manufacture MOX fuel for both R&D FRs and LWRs

\*\*\*It is assumed China will only manufacture MOX fuel for R&D FRs

(出典) Yun Zhou "China's Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies" (2011)

以上のシナリオを提示したうえで、Zhouは、中国の商用高速炉開発プログラムが計画通りに進む見通しは小さいと指摘している。そのうえで、成否のポイントとして実証炉のエンジニアリング・建設作業が期待通りに進捗するか、ロシアとの BN-800 調達契約の進捗、及び中国の実験用高速炉のパフォーマンスを挙げている<sup>271</sup>。

### 3.6.3 高速炉に関する研究開発

#### (1) 過去に開発された高速炉

本項では、中国で過去に開発された高速炉について整理する。表 3.6-7 は、対象とした高速炉の概要をまとめたものである。

表 3.6-7 中国の高速炉

炉型	運開年	出力	燃料/冷却材	特徴、役割など
CEFR	2011	65MWt	運転当初 UO <sub>2</sub> 燃料/Na	実験炉。高速炉の設計・建設技術の確立、ナトリウムを用いたシステムや設備の運転・保守の経験の蓄積
CFR600	建設中	1882MWt/ 682MWe	運転当初 UO <sub>2</sub> 燃料、のちに MOX との情報あり/Na	実証炉。より大型の炉の開発につなげるとともに、発電も実施

出所)IAEA PRIS、中国原子能科学研究院「中国実験高速炉」、WNA “China’s Nuclear Fuel Cycle”に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツにて作成

## 1) 中国実験高速炉(CEFR)

中国では、北京市近郊において CNNC グループの中国原子能科学研究院が、熱出力 65MWt の中国実験高速炉(CEFR)を運転している。CEFR は、2010 年 7 月に初臨界に達し、2011 年 7 月に送電網に接続された。2014 年 12 月に、はじめてフル出力による 72 時間運転を実現している。CEFR により、中国は高速炉の設計・建設技術を確立する一方で、ナトリウムを用いたシステムや設備の運転・保守の経験を蓄積している。また、高速炉燃料・材料の照射試験、実験的発電・運転の経験、高速中性子炉の安全特性の検証、高レベルの高速炉技術人員の育成を行っている<sup>272</sup>。

CEFR の開発の経緯は以下のとおりである。先述のとおり、中国の原子力開発戦略は、熱中性子炉、高速炉、核融合炉という三段階の基本方針に基づき、1990 年代初頭までに PWR による原子力発電所の開発が開始され、また高速炉の工学技術開発が進展した。高速炉研究開発は二段階に分けられ、基礎研究(1968～1987年)と応用基礎研究(1988～1993年)を経て、国家ハイテク計画の枠組み内で予備基本設計及び基本設計の準備により約 60MWt の実験用高速炉を目標とする CEFR プロジェクトが開始された<sup>273</sup>。

CEFR の主な目的は、高速炉の設計、部品製造、建設、運転前試験、運転・保守における経験の蓄積である。さらに、CEFR は先進燃料・材料の照射試験用高速中性子施設として、先進的主要部品開発のための実高速炉環境を提供する試験台として、設計・解析用コンピュータコード及びその他の設計ソフトウェアを検証する完成した実物モデルまたはプロトタイプとして機能するものである。CEFR に採用された設計理念は、将来開発される商業化高速炉との類似性を追求するものである。特に主要な技術選択、温度パラメータ、燃料パラメータは、商業用高速炉と類似するよう選定されている。さらに、ナトリウム冷却高速炉の固有の安全特性を活用し、事故を可能な限り軽減するため受動的安全対策を実施している。CEFR はナトリウム冷却の 65MWt 実験用高速炉であり、PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>燃料を使用するが、初回装荷は UO<sub>2</sub>とし、燃料被覆管及び炉心構造材には Cr-Ni オーステナイト系ステンレス鋼を採用している。プール型原子炉容器は底部から支持され、一次系と二次系それぞれに 2 基の主ポンプと 2 ループを備える。水蒸気による三次系も 2 ループ構成だが、過熱蒸気はタービンに接続された単一配管に統合されている<sup>273</sup>。

## (2) 現在開発中の高速炉

### 1) CFR600

CEFR の経験に基づき、福建省霞浦では、CNNC により電気出力 600MWe の中国実証高速炉 (CDFR)である CFR600 の建設プロジェクトが進められている。CFR600 の 1 号機は 2017 年 12 月 29 日、2 号機は 2020 年 12 月 27 日に建設が開始された。中国原子能科学研究院は、CFR600 に続いて、高速炉 CFR1000 を建設し、商業運転を 2030 年に開始する意向である<sup>274,275</sup>。

### (3) 高速炉用燃料

CFR600 の 1 号機で使用される燃料はロシア製の高濃縮ウラン燃料となり、2 号機は中国製の MOX 燃料とされる計画である<sup>262</sup>。

### (4) 使用済燃料の処理

1986 年に我が国の内閣に相当する国務院は、年間処理能力 50 トンのパイロット再処理プラントの建設を承認した<sup>271</sup>。2006 年に甘粛省の蘭州核燃料複合施設において、ピュレックスプロセスを用いたパイロット再処理プラントの建設が開始された。2010 年にホット試験が完了し、2013 年から 2015 年にかけて約 50 トンの使用済燃料の再処理が実施され、現在年間約 36 トンの処理能力を持つとのことである<sup>271</sup>。このパイロット再処理プラントの目的は以下の 3 点とされている<sup>276</sup>。

- 再処理のプロセス、設備及び計測の実証
- 商用再処理プラントのための設計、建設、試運転及び操業経験の蓄積
- 実験用 FBR で使用される MOX 燃料のためのプルトニウムの供給

なお、中国のプルトニウム需給バランスについて詳細は不明である。2017 年 9 月 18 日付で中国の IAEA 常駐代表が IAEA に提出した文書によると、2016 年 12 月 31 日時点で中国には、再処理プラントにおける製品在庫中の未照射分離プルトニウムが 40.9kg あり、これ以外の未照射プルトニウムの存在は報告されていない<sup>277</sup>。パイロットプラントの処理容量や運転状況等に基づき、中国の民生用プルトニウム在庫量は 2019 年までに少なくとも 500kg に達したのではないかとの推測が、ハーバード大学核管理プロジェクトの研究者より提示されている<sup>278</sup>。需要面について、中国では商業レベルの MOX 燃料の製造・使用は行われておらず、北京郊外で運転中の CEFR の燃料にプルトニウムは含まれていない模様であり、またプルサーマル実施の計画も示されていない。MOX 燃料を装荷する予定の福建省霞浦の高速実証炉はまだ建設中であるため<sup>279</sup>、商用原子力発電のためのプルトニウム需要は現時点ではないものと考えられる。

また、中国のプルトニウム保有量に関して笹川平和財団の小林祐喜は 2025 年 10 月に「中国のプルトニウム保有量を読み解く」と題した記事を公表している。この中で小林は、衛星画像や各種のデータを参照しながら、中国のプルトニウム保有の現状把握を試みたうえで、「向こう 2 年間で中国におけるプルトニウム保有量がどのように変化するかが、中国の核弾頭数増強のペースやその上限を判断するうえで、重要な指標になるだろう」との見方を示している<sup>280</sup>。

### 3.6.4 高速炉導入に関する社会的な活動

#### (1) 情報発信及び理解促進活動

直接高速炉に関連する動きではないが、以下に燃料サイクル施設のサイト選定における動向について整理する。

##### 1) 広東省・江門市鶴山市における核燃料加工施設のサイト選定における動向

以下、原子力安全規制機関である国家核安全局が属している環境保護部(現在の生態環境部)の核・放射線安全センターの編著による「核燃料サイクル」により、広東省・江門市鶴山市<sup>b</sup>における核燃料加工施設のサイト選定における動向について整理する。

CNNCは、2013年に鶴山市において中国南東の沿岸部で1カ所目<sup>c</sup>となる核燃料加工施設の建設に向けた動きを進めていた。その過程でCNNCが「CNNCの龍湾工業パークプロジェクトにおける社会安定性リスク評価の公示」を公表すると、これが公衆の間で強い反対を巻き起こし、反対の声は江門の民衆のみならず、珠江デルタや香港及びマカオにも広がった。これは、公示期間から十分な時間をおかずプロジェクトが進められたことで安全性に対する懸念が高まったためである。これに対して政府側も迅速に、10以上のメディアに対して状況を説明し、さらにSNSを利用した公衆の質問への回答や、原子力発電及び核燃料加工施設の安全性に関する知識の発信、著名な専門家を招いての安全知識の普及などを行ったが、こうした取組は奏功せず、7月に市長がプロジェクトの実施申請を行わないことを発表した。なお、本プロジェクトの予算規模は370億人民元(約8,140億円)であった。

核・放射線安全センターは、本件に関して以下の点を指摘している<sup>281</sup>。

- 核燃料に関する科学知識の普及が不十分であった。
- 重点を鶴山市にのみ置き周辺都市を軽視していた。
- インターネット上の影響について十分な考慮が欠けていた。
- 市民が核と放射線安全に関する知識を十分に理解しておらず、そのため核燃料加工施設に対して「一方的な否定」の態度を示し、核の問題に関わる事柄に対して極端な恐怖心と偏った態度を抱いていた。

##### 2) 江蘇省・連雲港市における核燃料サイクル施設のサイト選定における動向

江蘇省の連雲港市政府は2016年8月10日、同市で実施されていた燃料サイクル施設のサイト選定を暫定的に中断すると発表した。サイト選定は複数の地域を対象として進められている最中であるが、連雲港市におけるサイト選定は住民の関心を集めており、一部の住民は非合法の集会や示威活動によって反対を表明していた<sup>282</sup>。

この燃料サイクル施設の建設計画は、中国核工業集团公司(CNNC)が当時の仏AREVA社と協力して進めていたものである。具体的には、2007年11月にCNNCは、再処理プラントの建設にかかる

<sup>b</sup> 江門市と鶴山市はともに行政区画としては「市」であるが、前者は広東省に属する地級市であり、後者は江門市に属する県級市である。

<sup>c</sup> この施設は1カ所目になるとの想定であったが、本施設を含め中国沿海部では現状核燃料サイクル施設は建設されていない。

フィージビリティ調査を実施することで AREVA 社と合意し、2015 年 6 月に両者は、再処理プラントの建設について技術的協議の完了と商業的協議のスケジュール特定を目的とした協力覚書(MOU)を締結していた<sup>262</sup>。

CNNC は、燃料サイクルプロジェクトにおけるサイト選定やフランス側との協議のために、2011 年に全額出資の子会社・中核瑞能科技有限公司(CNFR)を設立した。CNFR によると、サイト選定の対象となっているのは、江蘇省の他、山東、浙江、福建、広東及び甘肅の各省であった。このうち、甘肅省を除く 5 省は全て沿海部に位置し、原子力発電所が立地している。また、内陸部の甘肅省には再処理施設のパイロットプラント等の燃料サイクル施設が立地している<sup>283</sup>。

## **(2) 立地地域の選定プロセス及び立地自治体に対する理解促進活動**

(1)を参照

## **(3) 高速炉の事故と社会的影響**

中国の高速炉における事故の情報は確認できていない。

## 参考文献

- 258 「原子力安全条約第 6 回締約国会議 中華人民共和国報告書」(2013 年 8 月)  
<https://nnsa.mee.gov.cn/english/resources/national/201805/P020180524592077508293.pdf>
- 259 CNNC 「中国エネルギー報:原子力発電の「三段階戦略」は持続的な発展力を有している」  
(2023 年 12 月 5 日)  
<https://www.caea.gov.cn/n6760340/n6760355/c10427001/content.html>
- 260 Yun Zhou “China’s Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies”(2011 年 3 月)  
[https://www.files.ethz.ch/isn/127378/china\\_spent\\_fuel\\_management\\_and\\_reprocessing\\_draftfeb\\_2011.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/127378/china_spent_fuel_management_and_reprocessing_draftfeb_2011.pdf)
- 261 「放射性廃棄物等安全条約第 7 回締約国会議 中華人民共和国報告書」(2020 年 9 月)  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/china-7rm\\_english.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/china-7rm_english.pdf)
- 262 WNA “China’s Nuclear Fuel Cycle”(2026 年 1 月 21 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle>
- 263 OECD/NEA,IAEA “Uranium 2024: Resources, Production and Demand”(2025 年)  
[https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_103179/uranium-2024-resources-production-and-demand?details=true](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_103179/uranium-2024-resources-production-and-demand?details=true)
- 264 IAEA “Nuclear fuel Cycle Facilities Database”(2026 年 2 月 19 日閲覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facilities>
- 265 Orano 社「Orano と CNNC が中国の使用済燃料再処理及びリサイクル工場の準備作業を開始」(2018 年 6 月 26 日)  
<https://www.euro-energie.com/orano-et-cnnc-lancement-les-travaux-preparatoires-de-l-usine-chinoise-de-traitement-et-recyclage-des-combustibles-uses-n-6834>
- 266 フランス大統領府「仏中関係の行動計画」(2019 年 11 月 6 日)  
<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2019/11/06/plan-daction-pour-les-relations-franco-chinoises>
- 267 甘肅東方新環境治理有限公司「極低放射性廃棄物管理プロジェクト環境影響報告書」(2020 年 4 月)  
[https://www.mee.gov.cn/ywdt/gsgg/gongshi/wqgs\\_1/202004/W020200430325426588935.pdf](https://www.mee.gov.cn/ywdt/gsgg/gongshi/wqgs_1/202004/W020200430325426588935.pdf)
- 268 開源証券「原子力発電設備の景気は上向き、第 4 世代原子力発電と使用済燃料が新たな成長をけん引」(2024 年 6 月 7 日)  
[https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3\\_AP202406071635896554\\_1.pdf](https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202406071635896554_1.pdf)
- 269 IAEA “IAEA-TECDOC-1639 Assessment of Nuclear Energy Systems Based on a Closed Nuclear Fuel Cycle with Fast Reactors A report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)”(2010 年 1 月)  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1639\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1639_web.pdf)
- 270 「放射性廃棄物等安全条約第 6 回締約国会議 中華人民共和国報告書」(2017 年 7 月)  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/national\\_report\\_of\\_china\\_for\\_the\\_6th\\_review\\_meeting\\_-\\_english.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_china_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf)
- 271 Yun Zhou 「China’s Spent Nuclear Fuel Management: Current Practices and Future Strategies」(2011 年 3 月)  
[https://www.files.ethz.ch/isn/127378/china\\_spent\\_fuel\\_management\\_and\\_reprocessing\\_draftfeb\\_2011.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/127378/china_spent_fuel_management_and_reprocessing_draftfeb_2011.pdf)

- 272 中国原子能科学研究院「中国実験高速炉」(2026年1月21日閲覧)  
<http://www.ciae.ac.cn/zh401/kynl22/kypt18/zgsykd/index.html>
- 273 IAEA “Status of Fast Reactor Research and Technology Development” (2013)  
<https://www.iaea.org/publications/8667/status-of-fast-reactor-research-and-technology-development>
- 274 IAEA “Power Reactor Information System” (2024年11月28日閲覧)  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN>
- 275 世界原子力協会 “Nuclear Power in China” (2024年11月28日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power>
- 276 G. DENG “OVERVIEW OF SPENT FUEL MANAGEMENT IN CHINA” (2010年)  
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1661CD/Session12.pdf>
- 277 IAEA 常駐中国代表団 “Annual Figures for Holdings of Civil Unirradiated Plutonium” (2017年9月18日)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1998/infcirc549a7-16.pdf>
- 278 張会「中国のプルトニウムリサイクル計画-現状と問題」(2021年12月)  
[https://www.belfercenter.org/sites/default/files/pantheon\\_files/files/publication/ChinaPuRecycling\\_Dec2021JP-hzhang.pdf](https://www.belfercenter.org/sites/default/files/pantheon_files/files/publication/ChinaPuRecycling_Dec2021JP-hzhang.pdf)
- 279 世界原子力協会 “TVEL to supply fuel for China’s fast-neutron reactor” (2019年1月10日)  
<https://world-nuclear-news.org/Articles/TVEL-to-supply-fuel-for-Chinas-fast-neutron-react>
- 280 小林祐喜(笹川平和財団)「中国のプルトニウム保有量を読み解く」(2025年10月24日)  
<https://www.spf.org/spf-china-observer/eisei/eisei-detail015.html#wrapper>
- 281 環境保護部核・放射線安全センター「核燃料サイクル」(2015年12月)  
<https://nnsa.mee.gov.cn/ztlz/haqshmhsh/hyfsaqkp/cbw/202406/P020250425524778437563.pdf>
- 282 連雲港市政府「連雲港市政府の非合法集会・デモ行進活動の厳禁に関する通告」(2016年8月9日)
- 283 CNFR「中仏の協力による核燃料サイクルプロジェクトの最近の状況に関する説明」(2016年8月6日)

## 4. 国際機関等の調査

### 4.1 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)

#### 4.1.1 GIFの概要

第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF<sup>a</sup>)は、第4世代原子力システム<sup>b</sup>の研究開発を協力及び推進するために2001年7月に発足した国際協力の枠組みである<sup>284</sup>。GIFでは以下の6つの炉型を開発対象としており、高速炉が3種類、高速炉としての設計も可能な炉型が2種類含まれている。

図 4.1-1 GIFで検討されている第4世代原子力システム

	中性子スペクトル	冷却材	出口温度	燃料サイクル	電気出力
超高温ガス炉(VHTR)	熱中性子	ヘリウム	900-1000℃	オープン	250-300MW
ナトリウム冷却高速炉(SFR)	高速中性子	ナトリウム	500-550℃	クローズド	50-1500MW
超臨界圧水冷却炉(SCWR)	熱中性子/ 高速中性子	水	510-625℃	オープン/ クローズド	300-1500MW
ガス冷却高速炉(GFR)	高速中性子	ヘリウム	850℃	クローズド	1200MW
鉛冷却高速炉(LFR)	高速中性子	鉛	480-570℃	クローズド	20-1200MW
熔融塩炉(MSR)	熱中性子/ 高速中性子	フッ化物塩/ 塩化物塩	700-800℃	オープン/ クローズド	1000MW

(出典)GIF「第4世代原子力システム国際フォーラムについて」を基に作成

GIFの枠組み協定は10年毎に更新されており、現在の枠組み協定(2025年協定<sup>c</sup>)は2025年3月1日から2035年2月28日まで有効である。日本、米国、フランス、英国、スイス、韓国が協定を批准しており、カナダが批准途中となっている<sup>285</sup>。その他、オーストラリア、ユーラトム、中国、南アフリカが批准対象となっている。なお、ロシアは2015年協定を批准していたが、2025年協定への批准対象には含まれていない。また、ブラジル及びアルゼンチンは2001年にGIF憲章に署名していたが、枠組み協定は批准しておらず、非活動的な国として扱われている<sup>286</sup>。

枠組み協定締約国は、適切なレベルでGIF共同プロジェクトへの積極的な参加を維持することが期待されており、1つ以上の炉型に関する開発に関わることに同意している。共同研究開発を進める主体として、GIFは炉型ごとにシステム運営委員会(SSC)を設置している。非加盟国もGIFのプロジェクトに参画できるが、SSCに参画することはできない。SSCはシステム協定によって管理されており、参画するためには知的財産権等を規定するシステム協定に署名する必要がある、実施機関のみが署名可能である。超高温ガス炉(VHTR)、ナトリウム冷却高速炉(SFR)、超臨界圧水冷却炉(SCWR)、ガス冷却高速炉(GFR)の4炉型に関してはシステム協定が締結されてSSCが設置されている。一方、鉛冷却高速炉(LFR)及び熔融塩炉(MSR)に関しては、システム協定は締結されておらず、参画国が研究開発協力を深化させることを決定した場合にシステム協定が整備されるまでの間の協力を可能とする

<sup>a</sup> Generation IV International Forum

<sup>b</sup> 現行の軽水炉を第2世代、改良型軽水炉を第3世代とし、第3世代に続く次世代の革新的原子力システムを第4世代炉と呼ぶ

<sup>c</sup> The 2025 GIF Framework Agreement

覚書が締結されている。2025年協定の対象国における各炉型への参画状況を以下に示す。

表 4.1-1 GIF の枠組み協定対象国における各炉型への参画状況

	枠組み協定	システム協定(SSC 設置済み)				覚書(暫定 SSC)	
		VHTR	SFR	SCWR	GFR	LFR	MSR
オーストラリア	未	未					未
カナダ	途中	未		未			未
ユーラトム	未	未	未	未	未	未	未
フランス	批准済	署名済	署名済		署名済		署名済
日本	批准済	署名済	署名済	署名済	署名済	署名済	
韓国	批准済	未	未			未	未
中国	未	未	未	未		未	
南アフリカ	未						
スイス	批准済	署名済					署名済
英国	批准済	署名済	署名済				
米国	批准済	未	未			未	未

注: 「未」は過去に署名しており継続が見込まれるものの、未署名な状態を示す  
 (出典)GIF” PARTIES TO THE GIF FRAMEWORK AGREEMENT AND SYSTEM ARRANGEMENTS”  
 を基に作成

また、SSC の計画及び監督の下で実施される研究開発活動はプロジェクト協定を通じて実施され、  
 関心を持つ機関がプロジェクト管理委員会(PMB)を立ち上げて協定に署名している。

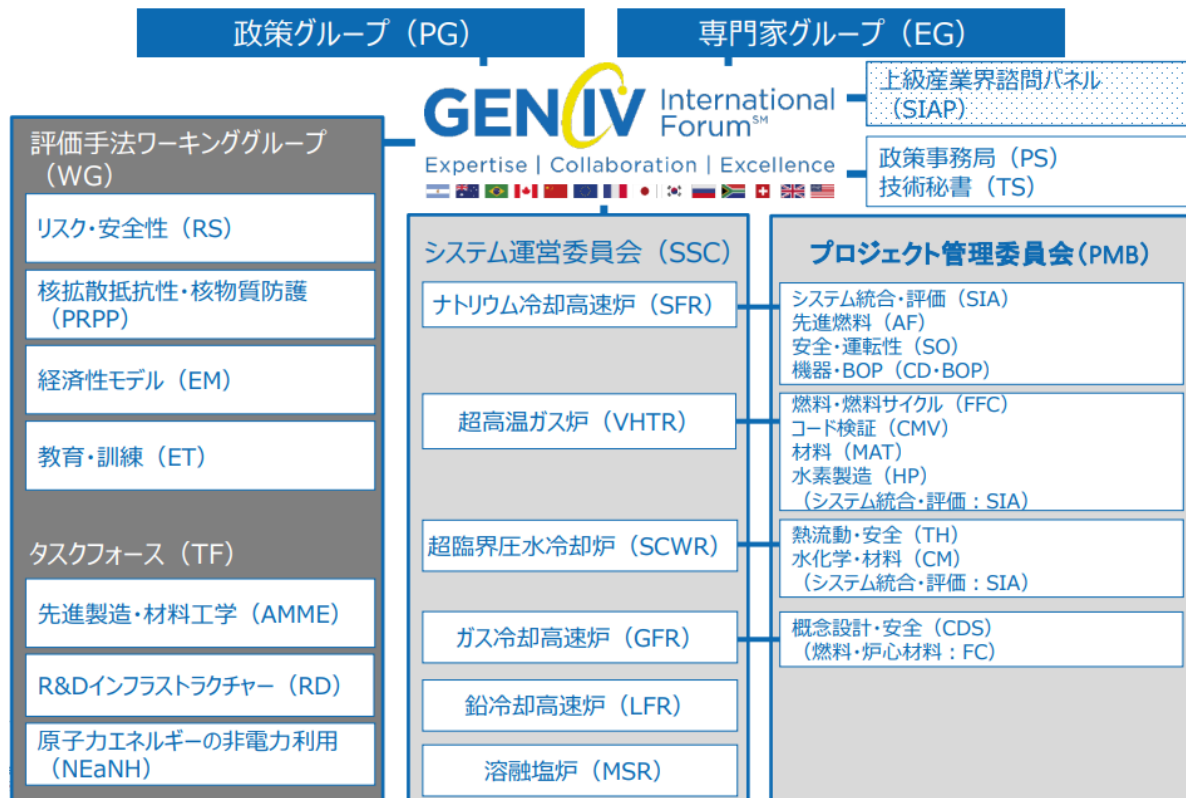


図 4.1-2 GIF の組織構成

(出典)上出英樹(GIF 議長)「第 4 世代原子力システム国際フォーラム(GIF)の活動と今後の方向性」(2021 年)

## 4.1.2 GIFにおける活動

本項では、GIFにおける高速炉(SFR、GFR、LFR)の研究開発について取りまとめる。2025年の枠組み協定改定を受けて、各SSC等の協定や覚書署名状況に変更が生じており、LFRのように、2025年10月時点で署名国がゼロの状態のものもある。

### 1) SFR

2025年10月時点でSFRのシステム協定に署名している機関は、CEA(フランス)、JAEA(日本)、NNL(英国)である<sup>287</sup>。SSCの下には、システム統合・評価、先進燃料、運転・安全性、機器・プラントバランスの4つのPMBが設置され、研究開発が進められている。2025年6月に公開されたGIF2024年年報では、SFRに関する研究開発動向として以下が示されている<sup>286</sup>。

- システム統合・評価プロジェクト
  - CEAがASTRID-600の設計に対するGIF安全設計基準及び安全設計ガイドラインの適用を引き続き検討し、推奨事項の提供と潜在的なギャップの特定を目指している
  - JAEAがプール型JSFRにGIF安全設計基準及び安全設計ガイドラインを適用し、特定のSFR設計に対するガイドライン適用方法に関する提言をまとめるとともに、潜在的なギャップを明らかにしている
  - 韓国原子力研究機関(KAERI)が超ウラン元素系金属燃料炉心の物理パラメータに関する不確かさの評価を進めている
  - ROSATOMが熱中性子炉と高速炉を組み合わせた2コンポーネントエネルギーシステムのシナリオ研究を進めている
  - 米国アルゴンヌ国立研究所とスイスのパウル・シェラー研究所が、金属合金燃料のSFR設計オプションに関する統合システム設計・評価を行うユーラトムESFR-SIMPLEプロジェクトに共同参画している
- 先進燃料
  - 中国原子能科学研究所(CIAE)が金属燃料被覆管材料として酸化物分散強化鋼管の開発を進めている
  - CEAが高プルトニウム富化度(60~70%)を考慮したMOX燃料製造のための冶金化学量論の最適化を進めている
  - JAEAが将来的な実証炉の初期段階における被覆管材料として採用される見通しのPNC316鋼の照射後特性データベースを拡充するために常陽で照射された被覆管及びラップ管の調査を進めている
  - KAERIが3種類のメッキ方式がバリア特性に及ぼす影響を継続的に調査している
  - DOEが燃料被覆管科学的相互作用(FCCI)が金属燃料設計の寿命制限要因となることに関する調査を進めている
- 運転・安全性
  - CIAEが熔融塩熱エネルギー貯蔵システムを有するプール型SFRの設計概念に基づき、0.5GWhの熱貯蔵機能を有するループ型SFRの実現可能性を検討している

- ▶ CEAが第4世代原子炉向け重大事故炉内実験及びASTRIDプロジェクト試験の準備を進めている
- ▶ ユーラトムがESFR-SMART 炉における崩壊熱除去システムの性能を評価するとともに、ESFRの原子炉停止用吸収棒グループの評価用数値モデルの検証を進めている
- ▶ JAEAが次世代ループ型SFRの上部支持型原子炉容器設計における極限高温化での構造解析を実施している
- ▶ KAERIが共有実験増殖炉(EBR-II)の過渡試験結果のベンチマーク解析を実施
- 機器・プラントバランス
  - ▶ フランスがナトリウム水反応(SWR)の影響を研究している
  - ▶ JAEAがゴム支承を用いた3次元免震システムを開発している
  - ▶ KAERIがナトリウム下視認用プレート型超音波導波センサーを開発している

## 2) GFR

2025年10月時点でGFRのシステム協定に署名している機関はCEA(フランス)、JAEA(日本)である<sup>288</sup>。SSCの下には、概念設計・安全と燃料・炉心材料の2つのPMBが設置され、研究開発が進められている。2025年6月に公開されたGIF2024年年表では、GFRに関する研究開発動向として以下が示されている<sup>286</sup>。

- 概念設計・安全
  - ▶ EU(スロバキア、チェコ、ハンガリー、ポーランド、フランス)によるV4G4卓越センターが調整役となり、主要実証機としてALLEGRO炉の設計を進めている<sup>289</sup>
- 燃料・炉心材料
  - ▶ CEA、京都大学、JRCがメンバーとしてALLEGRO炉の設計に基づく初期炉心(MOX燃料と濃縮ウラン燃料)及び先進セラミック燃料に関する試験を支援している
  - ▶ KAERIがナトリウム下視認用プレート型超音波導波センサーを開発している

## 3) LFR

LFRはシステム協定には至っておらず、暫定SSCに関する覚書が締結されている。2025年10月時点で、覚書に署名している国及び機関は、ゼロとなっている。暫定SSCのため、PMBは設置されていない。GIFではLFRを通常の発電所サイトと遠隔地サイトの両方のニーズを満たす可能性を秘めた技術と位置付けており、持続可能性(クローズドサイクルの実現性)、核拡散抵抗性、物理的防護の各項目について最高と評価されている。GIFでは、600MWeの大規模システム、300MWeの中規模システム、10~100MWeの小型可搬システムの3種類が検討されている。

### 4.1.3 参加国の狙い

本項では、GIFの枠組み協定対象国のうち、国別調査を行わなかったオーストラリア、韓国、南アフリカ、スイス、ユーラトムについてGIFに参加する狙いについて取りまとめる。

## (1) オーストラリア

オーストラリア核科学技術機構(ANSTO)を実施機関として2017年からGIFに参画している<sup>290</sup>。オーストラリアは過去にVHTRのシステム協定及びMSRの覚書に署名しており、2025年協定の下でも継続することが見込まれている。

オーストラリアは国内で原子力発電を実施していないが、1952年にオーストラリア原子力委員会(AAEC)を設立し、1987年以降はANSTOとして国立原子力研究所を保有している。ANSTOは研究炉、加速器、シンクロトロンを保有し、核物質研究や核燃料サイクル研究を実施している。

ANSTOはGIFへの初期貢献の大部分は材料科学、構造健全性評価、先進製造分野になると考えており、特にVHTR材料のプロジェクト協定への参画を通じた貢献がなされ则认为している。これらの分野におけるANSTOの研究能力は、SFR、LFR、SCWR、GFRの支援も可能としている。また、MSRへの関与が拡大するにつれて、覚書からシステム協定への移行も支援する予定としている。

ANSTOのパターソンCEO(2017年当時)は、原子力発電開発計画がなくてもオーストラリアは次世代原子炉の研究に役立つ専門的知見を十分持っており、原子力の平和利用に重点的に取り組む国際グループに貢献できるとしている。また、原子力研究に関するオーストラリアの知見を共有することで原子力安全と核拡散抵抗性を更に改善することが国際的な場におけるオーストラリアの役割だと述べている。さらに、オーストラリアとしてもGIFを通じて諸外国と情報共有するための新しい機会や方向性を模索しようと考えている<sup>291</sup>。

MSRは高速炉としての設計も可能であるが、現時点ではシステム協定ではなく覚書の段階であり、他の炉型と比べてGIF内での活動も進んでいない。したがって、現時点のオーストラリアは高速炉に対する研究開発に強く関与しているわけではないと考えられる。

## (2) 韓国

韓国は科学技術情報部、原子力研究院、原子力国際協力財団を実施機関として、GIF設立当初から参画している。韓国は過去にVHTR及びSFRのシステム協定並びにLFR及びMSRの覚書に署名しており、2025年協定の下でも継続することが見込まれている。

韓国は自国内での原子力発電に限らず、アラブ首長国連邦におけるバラカ原子力発電所での建設や、チェコにおけるドコバニ原子力発電所新設計画など輸出にも国として力を入れている。一方、韓国のGIF参画(GIF憲章署名)は2001年(設立時)であり、これらの積極的な原子力政策が実施される前である。2005年に開始された枠組み協定の仕組みに対して韓国は2006年12月に署名しており、その際に説明として、安全性と経済性に優れた第3世代炉であっても、2030年以降までに競争力と国民受容性を十分に確保することは困難であると考えられるとし、第4世代炉は2030年以降の長期的な観点から原子力の未来を担うものと期待されていると紹介している<sup>292</sup>。これらのことから、韓国は国際競争力の確保と国内での原子力受容性向上の観点から、GIFに参画することで安全性と経済性に優れた第4世代炉技術を確立することを目指していたと考えられる。

## (3) 南アフリカ

南アフリカはエネルギー省を実施機関としてGIF設立当初から参画しているが、いずれのシステム協定及び覚書にも署名していない。

南アフリカでは、クバーク原子力発電所の1号機が1984年に、2号機が1985年に運転を開始しており(両機ともにPWR)、現在も運転を継続している<sup>293</sup>。また、2025年10月に政府が承認した「統合リソース計画」(IRP)では、2036年までに原子力発電の設備容量を1,200MWe追加し、2039年までにはそれまでの追加分との合計で5,200MWe設備容量を増やすよう求めている<sup>294</sup>。

南アフリカでは、1993年から2010年にかけて、クバーク原子力発電所の所有と運転を行っている国営のESKOMを中心として、高温ガス冷却炉であるペブルベッドモジュール炉(PBMR)の開発が進められた。しかしながら、2010年に政府は、PBMRの買い手を獲得できなかったこと、それまでに約92億ラント(1ラント9.49円換算で約873億円、以下同様)の資金を投じていたがさらに300億ラント(約2,847億円)以上の資金が必要な見込みであること、開発がスケジュールどおりに進んでいないことなどを理由に開発の中止を公表した。しかしながら2025年11月に電力・エネルギー省は、PBMR開発を再開する方針を示している<sup>295</sup>。

南アフリカのGIF参画の狙いについて、2017年10月にケープタウンで開催されたGIFの政策グループ会合で当時のエネルギー大臣は、第4世代炉による経済性の向上に対する期待感を表明している。また、同国がPBMR開発を進めたことに言及し、今後も開発を進めたいとの意向を示している<sup>296</sup>。

#### (4) スイス

スイスはポール・シェラー研究所(PSI)を実施機関として、2002年にGIFに参画し、2005年に枠組み協定に署名した。この協定のもと、スイスはGFRとVHTRのシステム協定に署名していたが、GFRについては、最初の枠組み協定から10年が経過したタイミングで、GFRのSSCメンバーとしての活動を終了し、代わりにMSRの覚書に署名している<sup>288,297</sup>。2025年協定の下でも署名状況は同様である。その理由についてスイスの実施機関であるPSIあるいはスイス政府、国会、またはGIFの2015年当時の年報等において、明確に説明した資料は確認できていない。GFRの開発が比較的停滞気味であるのに対し、MSRについてはGIF設立当初からリストアップされていたものの、2010年代にSMRやマイナーアクチノイドの消滅などへの寄与への注目が高まったことを受けて、2015年に初めてシステム協定に向けた覚書が締結された。スイスはこうした流れを受けて、GIFにおけるコミットメントの重点を変更したのではないかと考えられる。

#### (5) ユーラトム

ユーラトムは共同研究センター(JRC)を実施機関として、2003年にGIFに参画した。過去に6種類の炉型全てのシステム協定及び覚書に署名しており、2025年協定の下でも継続することが見込まれている。ユーラトムはEU全体の原子力研究協力を国際基準で統合すること、GIFにおける技術開発に対するEU技術資源の参画と共有を促進すること、EU加盟国の研究機関及び産業界がGIFを通じて共同研究に参加しやすくなる実務的枠組みを確立することを目的としてGIFに参画している。

## 参考文献

- 284 GIF「第4世代原子力システム国際フォーラムについて」  
<https://gif.jaea.go.jp/about/>
- 285 GIF “History and Achievements of GIF”  
<https://www.gen-4.org/about-gif/history-and-achievements-gif>
- 286 GIF “Annual report 2024”(2025年6月発行、2026年2月24日最終更新)  
<https://www.gen-4.org/resources/annual-reports/2024-gif-annual-report>
- 287 GIF “Activities and Membership of the Sodium Fast Reactors GIF System Steering Committee”  
<https://www.gen-4.org/gif-activities/system-steering-committees/sodium-fast-reactors-gif-system-steering-committee>
- 288 GIF “Activities and Membership of the Gas Fast Reactors GIF System Steering Committee”  
<https://www.gen-4.org/gif-activities/system-steering-committees/gas-cooled-fast-reactors-gif-system-steering-committee>
- 289 Dr. Ladislav Bělovský “The ALLEGRO Experimental Gas-Cooled Fast Reactor Project”(2019年3月20日)  
<https://www.gen-4.org/sites/default/files/2024-09/GenIV%20Template-%20Dr.%20Ladislav%20Belovsky%20Final%203-20-19.pdf>
- 290 Lyndon Edwards(ANSTO) “Australia’s Participation in Gen IV International Forum (GIF)”(2017年10月6日)  
<https://apo.ansto.gov.au/server/api/core/bitstreams/09763cde-530e-47b2-8019-4bc95564750b/content>
- 291 電気事業連合会「[豪州] 豪州、第4世代原子力システム開発の国際フォーラムに正式参加」(2017年10月3日)  
[https://www.fepc.or.jp/pr/kaigai/kaigai\\_topics/1256758\\_4115.html](https://www.fepc.or.jp/pr/kaigai/kaigai_topics/1256758_4115.html)
- 292 韓国政府「エネルギー及び資源開発」(2006年12月1日)  
<https://www.archives.go.kr/next/newsearch/listSubjectDescription.do?id=003443&sitePage=1-2-3>
- 293 IAEA, PRIS “South Africa”  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=ZA>
- 294 WNA “Nuclear Power in South Africa”(2026年2月6日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-africa>
- 295 南アフリカ政府 “Minister Kgosisentsho Ramokgopa to unpack key developments in SA’s Nuclear Energy Program, 16 Nov”(2025年11月14日)  
<https://www.gov.za/news/media-advisories/media-briefings/minister-kgosisentsho-ramokgopa-unpack-key-developments-sas>
- 296 南アフリカ政府 “Minister David Mahlobo: Policy Group meeting of Generation IV International Forum”(2017年10月19日)  
<https://www.gov.za/news/speeches/minister-david-mahlobo-policy-group-meeting-generation-iv-international-forum-19-oct>
- 297 GIF “Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems”(2014年)  
<https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2014-03/gif-tru2014.pdf>



## 4.2 革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト(INPRO)

INPRO は IAEA による会員制プロジェクトであり、持続可能な開発を促進する原子炉、核燃料サイクル、制度的アプローチの革新に関する長期計画と協力を対象としている。2000 年に 21 世紀末まで原子力エネルギーが世界のエネルギー需要の充足に貢献し続けられるよう支援するために設立された。

INPRO では「世界的なシナリオ」「イノベーション」「持続可能性評価と戦略」「対話と普及活動」を活動領域とし、専門家や政策立案者が原子力エネルギーの持続可能な計画、開発、導入といった課題について議論、協力するための場を提供している。また、持続可能な原子力エネルギーを構築するための選択肢に関するツールやサービスを開発、提供することで、各国の戦略的長期計画策定を支援している。これらの活動の一環として INPRO は共同プロジェクトを支援しており、革新炉及び核燃料サイクルから発生する可能性がある廃棄物の研究、核燃料サイクル後段での協力強化による原子力持続可能性への貢献可能性の検討などが行われている<sup>298</sup>。

したがって、INPRO では高速炉や核燃料サイクルを直接研究するのではなく、革新炉や核燃料サイクルが原子力発電の持続可能性に寄与する可能性の評価手法などを提供している<sup>299</sup>。例えば、2021 年にはロシアの高速炉「BN-1200」に基づいて限定的な持続可能性評価を行っている。同評価結果は 3.5.2 (2)に示している。2026 年時点で INPRO では以下の共同プロジェクトが実施されている<sup>299</sup>。

- 教育プログラムを通じた持続可能な原子力エネルギーのための戦略的計画策定能力の開発
- エネルギーシステムモデリングフレームワークツールの開発
- 核融合施設の将来的な導入に関する法的・制度的課題
- 原子力水素システム
- SMR の持続可能な導入シナリオに関するパイロット研究
- 原子力エネルギーシステムにおける燃料のマルチサイクルを支援する革新的原子力施設の可能性に関するパイロット研究
- 核燃料サイクルのバックエンドに対する協調的アプローチ
- 工場燃料装荷型SMRの導入に関するケーススタディ

参考文献

<sup>298</sup> IAEA “International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)”

<https://www.iaea.org/services/key-programmes/international-project-on-innovative-nuclear-reactors-and-fuel-cycles-inpro>

<sup>299</sup> IAEA “INPRO Collaboration Platform”

<https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/Pages/cps.aspx>



## 4.3 欧州委員会(EC)

欧州では欧州原子力共同体(EURATOM)条約のもと、欧州委員会(EC)がEURATOMの執行機関として役割を担っている。

EURATOMの研究プログラムであるEURATOM研究・訓練プログラムに対しては、EUの2021年-2027年多年度予算枠組(MFF)において2027年までの7年間で総額約20億ユーロ(当初5年で約14億ユーロ、延長2年で約2億ユーロ。高速炉以外も含む全体総額)が配賦されている。

EURATOMにおける原子力研究への関与は、EC直轄の研究機関と位置づけられる共同研究センター(JRC)での研究(直接アクション)と、ECからの予算提供により公募で実施される競争的資金による研究(間接アクション)に区別される<sup>300</sup>。以下、直接アクション、間接アクションそれぞれにおける高速炉に関連する主要な取組を整理する。

### (1) 直接アクション

欧州では1957年のEURATOM条約において、JRCの設立を定め、欧州各地へのJRCの設置あるいは研究所のJRCへの転換が進められた<sup>301</sup>。2016年に欧州委員会が行ったJRC組織改革により、JRCは個別研究所単位の運営から、拠点+横断ディレクター制に移行した<sup>302</sup>。

直接アクションの枠組みにおける高速炉関連研究は、JRCカールスルーエ(ドイツ)及びJRCペッテン(オランダ)の2つのJRCで行われている<sup>303</sup>。

またこれらのJRCでは、JRCとしての研究に加え、保有する研究インフラを研究機能や設備を、公募により加盟国等のユーザーに開放する「オープンアクセス」を提供している。2026年2月現在、有効なオープンアクセス募集は公表されていないが、後述のJRCペッテンのマイクロ特性試験ラボ(MCL)について2024年に行われたオープンアクセスの募集要項などから、提案主導者あるいは主導機関が、EU加盟国に属していること、あるいはEUの研究補助枠組みであるホライズン・ヨーロッパの連携する国に属していることが条件であること、また設備操作はJRC職員が行うこと、オープンアクセスに関連して開発されたデータやドキュメント等に係る知的財産権について、JRCと権利者が均等に所有権を持つことなどが示されている<sup>304</sup>。

### 1) JRCカールスルーエ

ドイツに所在するJRCカールスルーエは、ECの原子力安全・セキュリティ研究の主要ハブと位置づけられており、約250名のスタッフが在籍する<sup>305</sup>。同JRCは1960年に当時の西ドイツ政府とEuratomが超ウラン元素研究所として設置を決定し、1964年に活動を開始した<sup>301</sup>。2016年のJRC改革に伴い、JRCカールスルーエに改組された。

同JRCに置かれている「燃料・材料研究施設」は、特にアクチノイド化学、燃料サイクル・材料挙動の実験研究を中心に行う拠点であり、高速炉を含む燃料サイクルに係る核化学、安全評価等を主軸としている。特に同研究所では、欧州内の大学では安全上の理由から超ウラン元素の取り扱いがほぼ不可能である中、プルトニウムやアクチノイド含有材料を扱うことができる実験設備を備えている。

同研究所では酸化物燃料だけでなく、第4世代炉向けの各種先進燃料を対象に、特性評価や照射試験等を行っている<sup>306</sup>。

- アクチノイド(プルトニウム、マイナーアクチノイド含む)含有材料の合成、特性評価、及び極低温から超高温(4,000K)までの熱力学・熱物理特性研究など
- 従来からの酸化物燃料に加え、第4世代炉向けの新しい燃料種類である各種非酸化物燃料材料(炭化物(カーバイド)、窒化物、熔融塩)の安全性特性評価
- 放射性廃棄物の毒性を低減させるための核変換ターゲットの研究

## 2) JRC ペッテン

オランダに所在する JRC ペッテンは、持続可能なエネルギー、原子力安全、モビリティ、気候に関する研究を行っており、原子力、非原子力合わせて約 230 名のスタッフが在籍している<sup>307</sup>。オランダでは 1961 年にオランダ政府が運転を開始したペッテンの研究炉 HFR が、1962 年に欧州共同体に移管された<sup>301</sup>。その後 2016 年の JRC 改革に伴い、JRC ペッテンに改組された。

原子力関連については同 JRC の環境・機械材料評価研究施設で行われている。同施設内の以下のラボで、高速炉に係る研究が行われている。

- 液体鉛研究ラボ(Liquid Lead Laboratory:LILLA)<sup>308</sup>  
鉛冷却に特化したラボ。鉛冷却高速炉など次世代原子力システムに使用される機器の安全性と信頼性確保を目的として、新材料の特性評価及び試験方法の開発、規格化を進めている。  
▶ 液体鉛環境下における材料試験:液体金属脆化や、環境助長割れなどの破壊現象の研究や、腐食メカニズムの研究。溶存酸素濃度が制御された環境下で約 350kg の高純度鉛を使用し最大 650°C までの試験が可能
- マイクロ特性試験ラボ(Micro-Characterization Laboratory:MCL)<sup>309</sup>  
MCL では、マイクロメートルサイズの試験片を用いた微細構造と微細力学に係る実験的研究を通じて、高速炉含む先進原子力システムの長期運転に向けた安全設計の支援等を行う。
- 構造材料性能評価ラボ(Structural Materials Performance Assessment Laboratories:SMPA)<sup>310</sup>  
引張、疲労、破壊、クリープ疲労、低ひずみ速度引っ張り(SSRT)、クリープ疲労割れ成長等の汎用試験機やスモールパンチ試験(SPT)装置等を備え、規格化前段階にある既存炉・次世代炉の材料の機械的特性評価、寿命評価や認定を行う  
▶ 新材料の設計寿命等の寿命予測のためのモデル開発・検証に必要なデータの取得  
▶ 欧州の規格基準や試験手順、計測機器開発にも貢献

## (2) 間接アクション

間接アクションとして、EURATOM のもとに産学官連携の原子力技術基盤として 2007 年に「持続可能原子力技術プラットフォーム(SNETP)」が設置され、SNETP 内部の「欧州持続可能原子力産業イニシアチブ(ESNII)」が、クローズドサイクル型の第4世代原子炉技術(ナトリウム冷却、鉛冷却、鉛ビスマス冷却、ガス冷却)の開発方針に関して、公募プロジェクトの採択や管理などの旗振り役を担っている<sup>311</sup>。

以下、2026 年現在、EURATOM 研究訓練計画の枠組みで実施中の高速炉関連プロジェクトを表 4.3-1 に示す(一部、2025 年までに終了したものを含む)。各プロジェクト内容については後述する。

表 4.3-1 EURATOM で実施中の高速炉関連プロジェクト

プロジェクト名	炉型など	概要	開始-終了予定時期
ORIENT NM	-	次世代炉材料研究のロードマップ作成	2020/10~2023/3(完了)
CONNECT-NM	-	上記の後継。次世代炉材料研究の共同出資パートナーシッププロジェクト	2024/10~2029/9
MIMOSA	熔融塩炉	熔融塩炉における軽水炉使用済燃料再利用戦略の策定	2022/5~2026/5
FREDMAN	窒化物燃料	窒化物燃料の製造技術開発及び濃縮窒素を含む燃料リサイクル技術の実証	2022/9~2026/8
ANSELMUS	鉛冷却炉	重液体金属システムの重要なサブシステムの実験的検証や数値モデルの改良、および社会的影響の評価	2022/9~2026/8
ESFR-SIMPLE	ナトリウム冷却炉	欧州のナトリウム冷却高速炉に、SMRの概念等を取り入れ、安全性や経済性を向上	2022/10~2026/9
TREASURE	ガス冷却炉	実証炉 ALLEGRO の開発推進に向け燃料サイクルや安全性の最適化、実験的検証を実施	2024/5~2028/9
ENDURANCE	熔融塩炉	熔融塩炉の産学官知識ハブの構築	2024/10~2028/9
LESTO	鉛冷却炉	中小規模の鉛冷却高速炉技術の市場投入加速に向け安全性や効率性を実証・検証	2024/11~2028/10

(出典)CORDIS - EU research results より作成

## 1) ORIENT NM <sup>312</sup>(2023年に完了)

ORIENT NM は Organisation of the European Research Community on Nuclear Materials の略である。同プロジェクトは 2023 年に完了した。それ自体研究開発プロジェクトではなく、ESNII の枠組みで次世代炉特有の高温・高照射環境等に耐える材料研究に関する、欧州パートナーシップ(CEP)設立への準備として、(これまで欧州各所で分散して行われてきた研究開発を包括する)欧州共通の戦略的ロードマップ整備を行うプロジェクトである。2026 年時点で、本プロジェクトで策定したロードマップを遂行する枠組みとして、CONNECT-NM プロジェクトが実施中である。

### • 主要実施内容

- 2040 年までの欧州核材料戦略研究アジェンダ(SRA)作成
  - ◇ 各国の計画及び産業ニーズと整合したものとする
  - ◇ サプライチェーンの誓約、標準化に係る問題、インフラの可用性を考慮する
- 以下を踏まえた CEP のガバナンスと法的構造の構築
  - ◇ 意思決定プロセス
  - ◇ 知的財産権の取り扱い
  - ◇ イノベーションの促進
  - ◇ 品質保証、SRA 更新、知識・データ管理に関する実施計画
- 国際機関、規格組織や技術安全組織、研究コミュニティ、研究インフラ管理者、産業などステークホルダーとの連携手順策定

上記実施のため、欧州委員会の仲介を得て、2 つの主要ワークショップを通じてステークホルダーとの対話を進める。

- パートナー

- ▶ 欧州各国の 15 の原子力研究機関
- 期間
  - ▶ 2020 年 10 月～2023 年 3 月
- 予算
  - ▶ 1,756,380 ユーロ (うち EU 資金:1,099 588.75 ユーロ)<sup>313</sup>
- プロジェクトコーディネーター
  - ▶ スペイン・エネルギー環境技術研究センター(CIEMAT)
- 主要成果
 

2023 年に終了した本プロジェクトでは、2040 年に向けた今後の欧州の原子力材料研究コミュニティにおけるビジョンと戦略的指針をまとめた「ビジョンペーパー」をはじめとする、約 41 件の報告書やドキュメントが発出された。ビジョンペーパーには、原子力における材料科学のパラダイムシフトを見据えた今後 10 年のゴールなどが盛り込まれている<sup>314</sup>。

  - ▶ 材料科学のパラダイムシフト:「観察と認定(Observe and Qualify)」から「設計と制御(Design and Control)」への移行
 

材料を製造して長期間試験を行い観察する現行方式では、特に運転経験のない次世代炉材料開発において時間がかかりすぎる。今後は高度なデジタル技術・モデルを用いて必要な性質を持つ材料をあらかじめ計算・切開し、製造プロセスを制御する方式に移行。開発時間の劇的な短縮と市場投入の早期化を図る
  - ▶ 今後 10 年間の 5 つのグランドゴール:
    - ◇ 原子力材料テストベッドの構築
 

非破壊検査、破壊検査、微細構造解析などあらゆる材料試験手法において欧州全体で標準化された手順を適用するための統合ネットワークシステムの構築
    - ◇ 原子力材料加速プラットフォームの構築
 

高度な特性評価、モデリング、そしてロボティクスや AI などのデジタル技術を組み合わせ、自律的に解析を行う実験システムを構築、材料の発見と開発を加速化する
    - ◇ 高度な予測手法の開発
 

物理モデルとデータ駆動型の AI ベースの解析を組み合わせ、学術的な正しさだけでなく速さと効率性など産業のニーズに応えられる予測手法を確立する
    - ◇ 材料および機器の健全性モニタリングの向上
 

高度なモニタリング技術と診断ツールを連携させ、原子炉のコンポーネント(部品)の状態をデジタル上でリアルタイムに再現(デジタルツイン化)し、機器の寿命管理を最適化する
    - ◇ 欧州原子力材料 FAIR データベースの構築
 

データが「見つけられる(Findable)」「アクセスできる(Accessible)」「相互運用できる(Interoperable)」「再利用できる(Reusable)」という FAIR 原則に基づいたプラットフォームを構築する各国の研究データを統一規格で蓄積し、欧州全体で資産として活用する。

## 2) CONNECT-NM <sup>315</sup>

CONNECT-NM は Coordination of the European Research Community on Nuclear

Materials for Energy Innovation の略である。CONNECT-NM は最新デジタル技術と材料科学を融合させ、全世代原子炉の材料におけるイノベーションを加速させることを目的とした、EU の共同出資パートナーシッププロジェクトである。本プロジェクトは ORIENT NM プロジェクト(後述)で策定された 2040 年までの原子力材料開発ロードマップに策定された計画の遂行フェーズにあたる。

- 期間
  - 2024 年 10 月 1 日～2029 年 9 月 30 日
- 予算
  - 363 万ユーロ(うち 199 万ユーロが EURATOM 研究研修計画より提供)
- 主導組織
  - スペイン・エネルギー環境技術研究センター(CIEMAT)
- 参加国: スペイン、フランス、ハンガリー、ベルギー、ドイツ、チェコ、イタリア、クロアチア、スロベニア、ウクライナ、ポーランド、オランダ、ルーマニア、スウェーデン、フィンランド(パートナーとして英国、トルコ、スイスも参加)
- 主な実施内容
  - 教育・訓練、インフラへのアクセス、産業界や規制当局との連携などを一元管理する
  - ORIENT-NM で特定した 5 つのゴール(下掲)に沿って選定されたプロジェクトを調整、指揮する
  - 材料開発の加速: 自律的な実験プラットフォーム(MAPs)の開発
  - 迅速な認証(Qualification): 試験や標準化のための「テストベッド」の整備
  - スマート監視: 稼働中の材料の健全性を監視する技術の開発
  - 欧州SFR の設計を見直し、原子炉の小型化・モジュール化・標準化といった「SMR の特長」を取り入れ、コスト競争力と運用の柔軟性を向上
  - 予測手法の高度化: 材料挙動を予測する高度なモデリング手法の確立
  - 知識の体系化: 核材料データの管理システム構築

### 3) MIMOSA <sup>316</sup>

MIMOSA は Multi-recycling strategies of LWR SNF focusing on MOlten SAlt technology の略である。MIMOSA では軽水炉使用済燃料を溶融塩炉でマルチリサイクルする戦略の策定を目的とする。

- 期間
  - 2022 年 5 月 20 日～2026 年 5 月 31 日
- 予算
  - 689 万ユーロ(うち 575 万ユーロが EURATOM 研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - フランス・Orano社
- 参加国: フランス、チェコ、オランダ、ベルギー
- 主な実施内容

- ▶ 塩化物溶融塩炉による新たなマルチサイクル戦略開発：軽水炉のみによるサイクルではプルトニウムの質の低下、マイナーアクチノイド蓄積など限界があるため、これを解決する目的で、塩化物溶融塩炉を組み合わせ、コストとリスクが最適化されたサイクル戦略を策定する
- ▶ フランスの再処理工場活用：新設プラントでなく、EU内、特にフランスに既存の再処理工場活用を前提とした現実的戦略を構築
- ▶ 塩化物溶融塩炉の技術実証：塩化物溶融塩炉の実用化を加速させるため、プルトニウムやマイナーアクチノイドの変換能力など、技術的な実現性と性能に関する実証を実施

#### 4) FREDMANS <sup>317</sup>

FREDMANS は Fuel Recycle and Experimentally Demonstrated Manufacturing of Advanced Nuclear Solutions for Safety の略である。FREDMANS では、原子力の安全性と経済性を向上させるため、従来の酸化燃料に代わる窒化物燃料の製造技術開発と、高価な濃縮窒素(N-15)を含む完全な燃料リサイクル技術の実証を行う。

- 期間
  - ▶ 2022年9月1日～2026年8月31日
- 予算
  - ▶ 290万ユーロ(うち250万ユーロがEURATOM研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - ▶ スウェーデン・チャルマース工科大学
- 参加国：スウェーデン、チェコ、ルーマニア、ベルギー、イタリア、ドイツ、オランダ、フランス(パートナーとしてスイス、米国も参加)
- 主な実施内容
  - ▶ 窒化物燃料の実用性証明：従来の酸化燃料よりも熱伝導率や密度が優れた窒化物燃料が、産業利用において安全かつ経済的な選択肢であることを実証
  - ▶ N-15を含むリサイクル技術の開発：核分裂性物質に加え、窒化物燃料製造に不可欠で高価な「同位体濃縮された窒素 15(N-15)」も回収して再利用する技術を確立し、資源浪費とコストを削減
  - ▶ 人材育成：先進的な燃料製造、リサイクル性、廃棄物管理、産業応用に関するワークパッケージに加え、将来のシステムを支える人材の教育・訓練を実施

#### 5) ANSELMUS <sup>318</sup>

ANSELMUS は Advanced Nuclear Safety Evaluation of Liquid Metal Using Systems の略である。ANSELMUS では、鉛冷却高速炉(LFR)などの重液体金属システムの安全性評価を確立するため、重要なサブシステムの実験的検証や数値モデルの改良、および社会的影響の評価を行う。

- 期間
  - ▶ 2022年9月1日～2026年8月31日
- 予算

- ▶ 450 万ユーロ(うち 346 万ユーロが EURATOM 研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - ▶ ベルギー・原子力研究センター(SCK CEN)
- 参加国:ベルギー、イタリア、オランダ、ドイツ、ルーマニア、リトアニア、スペイン(パートナーとしてスイスも参加)
- 主な実施内容
  - ▶ 検証ニーズの特定: 欧州で開発中の ALFRED や MYRRHA の設計に基づき、検証が必要な現象を特定、ランク付け表(PIRT)を作成。安全評価の基礎とする
  - ▶ 重要機器の実験検証:安全に関連する重要なサブシステムを実験的に検証
  - ▶ モデル改良とモニタリング技術:燃料集合体の数値モデルを実験とシミュレーションを通じて改良するとともに、高温容器の検査など炉の安全監視技術を開発
  - ▶ 社会影響評価:経済性や倫理的側面を含め、将来のエネルギーミックスへの LFR 統合の社会的インパクトを評価

## 6) ESFR-SIMPLE <sup>319</sup>

ESFR-SIMPLE は European Sodium Fast Reactor - Safety by Innovative Monitoring, Power Level flexibility and Experimental research の略である。ESFR-SIMPLE では欧州のナトリウム冷却高速炉(SFR)に、SMRの概念等を取り入れ、安全性や経済性を向上させることを目指す。

- 期間
  - ▶ 2022 年 10 月 1 日～2026 年 9 月 30 日
- 予算
  - ▶ 650 万ユーロ(うち 304 万ユーロが EURATOM 研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - ▶ フランス・原子力・代替エネルギー庁(CEA)
- 参加国:フランス、イタリア、ドイツ、ラトビア、ベルギー、スロバキア(パートナーとしてスイス、米国、英国も参加)
- 主な実施内容
  - ▶ 欧州SFR の設計を見直し、原子炉の小型化・モジュール化・標準化といった「SMR の特長」を取り入れ、コスト競争力と運用の柔軟性を向上
  - ▶ 金属燃料やコンパクトな二次系等の代替技術の影響を評価するとともに、AI を活用した高度な監視・故障検知手法を開発
  - ▶ コアキャッチャーや熱電ポンプ、伸縮継手など革新的なコンポーネント認証のための実験データの取得

## 7) TREASURE <sup>320</sup>

TREASURE は Towards reliable and safe GFR の略である。TREASURE ではガス冷却高速炉(GFR)の実証炉「ALLEGRO」の開発を推進するため、燃料サイクルや安全性の最適化、および

大規模な実験的検証を行う。

- 期間
  - 2024年5月13日～2028年9月30日
- 予算
  - 414万ユーロ(うち399万ユーロがEURATOM研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - スロバキア・原子力エネルギー研究所(VUJE)
- 参加国:スロバキア、チェコ、ハンガリー、ポーランド、フランス、ドイツ、ウクライナ(パートナーとして英国も参加)
- 主な実施内容
  - ガス冷却実証炉ALLEGROの開発チームと他のGFR、高温ガス炉の専門家を結びつけ、独自のノウハウを注入
  - 大規模な実験的検証を行い、ALLEGROの安全概念(特に崩壊熱除去)を実証
  - 燃料設計やリサイクル性を改善するとともに、水素製造や産業熱利用など、発電以外の用途も含めた運用の柔軟性を高める
  - 学生や若手専門家をGFR開発に呼び込む

## 8) ENDURANCE <sup>321</sup>

ENDURANCEはEU kNowleDge hUb foR enAbling MolteN Salt ReaCtor safety development and dEploymentの略である。ENDURANCEでは溶融塩炉の欧州での産業展開と安全な運用を支援するため、産学官を結集した「知識ハブ」を構築し、重要技術要素の成熟度を高めることを目指す。

- 期間
  - 2024年10月1日～2028年9月30日
- 予算
  - 516万ユーロ(うち399万ユーロがEURATOM研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - イタリア・ミラノ工科大学
- 参加国:イタリア、フランス、チェコ、ドイツ、オランダ、ベルギー(パートナーとしてスイス、デンマーク、米国も参加)
- 主な実施内容
  - 知識ハブの構築:技術的課題の解決や規制枠組みの議論を促進する産官学プラットフォームを構築する
  - 5つの重要技術要素の推進
    - ◇ 燃料塩、構造材料化学
    - ◇ 安全性関連現象の実験的実証
    - ◇ 安全評価と許認可のためのモデル準備
    - ◇ 燃料サイクルの持続可能性と保障措置への適合

◇ 将来のエネルギーシナリオにおける適応性実証

▶ ロードマップ策定：成果を分析し、欧州における MSR 開発の技術・科学ロードマップを策定する

## 9) LESTO <sup>322</sup>

LESTO は LEad fast reactor Safety design and TOols の略である。LESTO では、競争力のある中小規模の鉛冷却高速炉(LFR)技術の市場投入を加速させるため、欧州の主要な実験施設を活用してその安全性や効率性を実証・検証する。

- 期間
  - ▶ 2024 年 11 月 1 日～2028 年 10 月 30 日
- 予算
  - ▶ 473 万ユーロ(うち 399 万ユーロが EURATOM 研究訓練計画より提供)
- 主導組織
  - ▶ イタリア・国立新技術・エネルギー・持続可能経済開発庁(ENEA)
- 参加国：イタリア、スペイン、スウェーデン、ベルギー、ドイツ、ルーマニア(パートナーとして英国、イス、米国も参加)
- 主な実施内容
  - ▶ 市場投入の短縮と投資促進：中小規模(SMR)LFR の技術開発を進め、市場投入までの期間を短縮することで、初期リスクを低減し投資を呼び込む
  - ▶ 安全基準適合性の実証：受動的安全システムに焦点を当て、LFR が現代の安全基準を満たして設計・建設・運用可能であることを実証するための支援を行う
  - ▶ 大規模実験とデータベース構築：ATHENA(ルーマニア)や CIRCE(イタリア)などの欧州の主要施設を使用し、コード検証や安全性評価のための包括的な実験データベースを構築

## 参考文献

- <sup>300</sup> Council Regulation (Euratom) 2025/1304 of 23 June 2025 establishing the Research and Training Programme of the European Atomic Energy Community for the period 2026-2027 complementing Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation and repealing Regulation (Euratom) 2021/765  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32025R1304>
- <sup>301</sup> JRC” Highlights of the JRC 50 years in science”(2007年)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/3a3af7a5-8e3c-471c-95be-3a52332cf699\\_en?filename=jrc\\_50\\_years\\_brochure\\_en.pdf](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/3a3af7a5-8e3c-471c-95be-3a52332cf699_en?filename=jrc_50_years_brochure_en.pdf)
- <sup>302</sup> JRC STRATEGY 2030(2016年)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/5133b4f7-68cb-4ebf-b628-7c40ee4153ea\\_en?filename=JRC%20Strategy%202030.pdf](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/document/download/5133b4f7-68cb-4ebf-b628-7c40ee4153ea_en?filename=JRC%20Strategy%202030.pdf)
- <sup>303</sup> JRC ラボ一覽(2026年1月21日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories\\_en?page=0](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories_en?page=0)
- <sup>304</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)公募一覽”MCL, Micro-Characterisation Laboratory (EMMA)”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/calls-proposals/mcl-micro-characterisation-laboratory-emma-2024-1-rd-emma-mcl\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/calls-proposals/mcl-micro-characterisation-laboratory-emma-2024-1-rd-emma-mcl_en)
- <sup>305</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”The JRC in Karlsruhe (Germany)”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/about-us/jrc-sites-across-europe/jrc-karlsruhe-germany\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/about-us/jrc-sites-across-europe/jrc-karlsruhe-germany_en)
- <sup>306</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”Fuels and Materials Research”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/fuels-and-materials-research\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/fuels-and-materials-research_en)
- <sup>307</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”The JRC in Petten (Netherlands)”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/about-us/jrc-sites-across-europe/jrc-petten-netherlands\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/about-us/jrc-sites-across-europe/jrc-petten-netherlands_en)
- <sup>308</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”Liquid Lead Laboratory”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/liquid-lead-laboratory\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/liquid-lead-laboratory_en)
- <sup>309</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”Micro-Characterization Laboratory”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/micro-characterization-laboratory\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/micro-characterization-laboratory_en)
- <sup>310</sup> 欧州委員会共同研究センター(JRC)”Structural Materials Performance Assessment Laboratories”(2026年2月4日閲覧)  
[https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/structural-materials-performance-assessment-laboratories\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-z/structural-materials-performance-assessment-laboratories_en)
- <sup>311</sup> 持続可能原子力技術プラットフォーム(SNETP)「欧州持続可能原子力産業イニシアチブ(ESNII)」ウェブサイト(2026年1月21日閲覧)  
<https://snetp.eu/esnii/>
- <sup>312</sup> SNETP プロジェクトポートフォリオ,”ORIENT NM”(2026年1月21日閲覧)  
<https://snetp.eu/portfolio-items/orient-nm-2/>
- <sup>313</sup> CORDIS – EU research results,”Organsation of the European Research

- Community on Nuclear Materials”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/899997/results>
- <sup>314</sup> CORDIS - EU research results, ”Organsation of the European Research Community on Nuclear Materials Vision Paper final version”(2026年2月4日閲覧)  
<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5f283c121&appId=PPGMS>
- <sup>315</sup> CORDIS - EU research results, ”Coordination of the European Research Community on Nuclear Materials for Energy Innovation”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101165375>
- <sup>316</sup> CORDIS - EU research results, ”Multi-recycling strategies of LWR SNF focusing on MOLten SALt technology”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101061142>
- <sup>317</sup> CORDIS - EU research results, ”Fuel Recycle and Experimentally Demonstrated Manufacturing of Advanced Nuclear Solutions for Safety”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101060800>
- <sup>318</sup> CORDIS - EU research results, ”Advanced Nuclear Safety Evaluation of Liquid Metal Using Systems”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101061185>
- <sup>319</sup> CORDIS - EU research results, ”European Sodium Fast Reactor - Safety by Innovative Monitoring, Power Level flexibility and Experimental research”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101059543>
- <sup>320</sup> CORDIS - EU research results, ”Towards reliable and safe GFR”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101164616>
- <sup>321</sup> CORDIS - EU research results, ”EU kNowleDge hUb foR enAbling MolteN Salt ReaCtor safety development and dEployment”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101165896>
- <sup>322</sup> CORDIS - EU research results, ”LEad fast reactor Safety design and TOols”(2026年2月4日閲覧)  
<https://cordis.europa.eu/project/id/101166337>

## 5. 各国の比較・分析

---

### 5.1 核燃料サイクル政策

国別調査を行ったフランス、米国、カナダ、英国、ロシア、中国の核燃料サイクル政策及び現況を表5.1-1に示す。核燃料サイクル政策に関しては以下に分類される。

- クローズドサイクルを堅持している国
  - フランス、ロシア、中国
- オープンサイクルを堅持している国
  - カナダ
- クローズドサイクルからオープンサイクルに転換した国
  - 米国、英国

政府としてクローズドサイクルを推進(再処理を実施し、燃料をリサイクル)している理由は以下に分類される。

- 資源の有効活用(ウラン資源の枯渇や価格高騰への懸念、燃料安定供給のため)
  - フランス、ロシア、中国
    - ※米国及び英国もかつては資源有効活用の観点からクローズドサイクルを推進
- 放射性廃棄物の減容化
  - フランス、ロシア、中国
- 放射性廃棄物の有害度低減
  - フランス、ロシア

政府としてクローズドサイクルを採用しない(再処理を実施せずオープンサイクルを採用している)理由は以下に分類される。

- 経済的成立性
  - 米国、カナダ
- 廃棄物管理に対するメリットの低さ(地層処分の必要性が無くなるわけではない点)
  - 米国、カナダ
- その他
  - 核不拡散上の懸念(米国)
  - 再処理に伴って生じる廃棄物への懸念(カナダ)
  - 再処理に対する原子力事業者の需要がない(英国)

表 5.1-1 核燃料サイクル政策及び現況の比較

	フランス	米国	カナダ	英国	ロシア	中国
国のサイクル方針	クローズド	クローズド→オープン	オープン	クローズド→オープン	クローズド	クローズド
政策の変遷	特になし	核不拡散を理由に再処理を中止	特になし	経済性を理由に再処理を中止 必要性の減少を理由に高速炉開発を中止	特になし	特になし
政策の変化見込み	特になし	政府として参考情報を収集中	特になし	民間企業の要望があれば検討	特になし	特になし
プルトニウム利用方針	MOX 燃料 (当面は軽水炉)	研究支援	特になし (国内在庫微小)	政府として不支持	MOX 燃料 (高速炉)	MOX 燃料 (高速炉)
ウラン採鉱	○ (海外権益)	○ (国内)	○ (国内)	×	○ (国内)	○ (国内)
転換	○	○	○	△ (操業停止、再実施方針)	○	○
濃縮	○	○ (HALEU 一部可)	×	○	○ (HALEU 可)	○
燃料製造	○	○	○	○	○	○
再処理	○ (国営企業)	×	×	×	○ (国営企業)	○ (国営企業)
高速炉(実験炉)運転	○	○	×	○	○ (商業運転実施)	○
高速炉開発	○ (政府研究機関、 民間企業)	○ (民間企業)	○ (民間企業)	×	○ (国営企業)	○ (国営企業)
高速炉開発の位置付け	政府方針 (法律に依拠)	民間企業の取組 (過去は政府方針)	民間企業の取組	開発予定なし (過去は政府方針)	政府方針	政府方針

## 5.2 高速炉開発に対する政府方針

高速炉開発に対する政府方針は以下に分類される。

- 当初から高速炉サイクルを前提に進めている
  - ▶ フランス、ロシア、中国
    - ※フランスは 21 世紀後半まで高速炉を導入するメリットがないことから一旦開発方針を見直すこととしているが、結果的に中止には至らなかった
- 当初は高速炉サイクルを目指していたが途中で転換した
  - ▶ 米国(再処理が終了した上に、ウラン需要への懸念がなくなったため開発終了)
  - ▶ 英国(ウラン需要への懸念がなくなったため開発終了した上に、その後再処理も終了)
- 当初からオープンサイクルを前提に進めている
  - ▶ カナダ

1950 年代から高速炉開発に着手していたフランス、米国、英国、ロシアはいずれも軍用プルトニウムの製造を目的の一つとし、政府が開発を推進していた。一方、中国が高速炉開発を国家計画として推進したのは 1980 年代であり、軍用プルトニウムの製造は目的としていない。フランス、米国、英国、ロシアのいずれの国も高速炉の役割は軍用プルトニウム製造から資源の有効活用に転換している。したがって、いずれの国も政府として高速炉開発を推進する理由は、資源の有効活用から始まっている。

1980 年代にはウラン資源の価格が低迷していたこと、ウラン供給に対する懸念が低くなっていたことにより、資源の有効活用を重視する必要性が低下し、米国と英国は高速炉開発方針の見直しを行った。その結果、米国では再処理を行わない政府方針と相まって、英国は電力自由化の政府方針と相まって、高速炉開発が撤回された。一方、フランス及びロシアでは高レベル放射性廃棄物の減容化に対する寄与も踏まえ、高速炉開発が維持された。ただし、フランスでは高速炉開発方針自体は維持しているものの、高速炉導入の必要性が後ろ倒しになったことを踏まえて ASTRID 計画を中止している。

図 5.2-1 に各国における高速炉開発に対する政府方針と開発状況を示す。高速実証炉を運転した実績を有するのはフランスとロシアであるが、フランスでは PWR による MOX 燃料利用が広く行われているのに対し、ロシアでは MOX 燃料をあくまで高速炉用として位置づけている。そのため、フランスでは軽水炉による MOX 燃料利用によってクローズドサイクルのメリットを部分的に享受できるが、ロシアでは高速炉の開発こそが重要であるとしていた。この差異は、ウラン供給に対する懸念が低下したことを受けて、フランスは高速炉の必要時期が後ろ倒しになったと判断して ASTRID 計画を中止したのに対し、ロシアは増殖以外の目的を重視して高速炉開発を継続したことにも表れているといえる。したがって、フランスとロシアのいずれにおいても、政府の計画通りに開発が進展しているといえる。

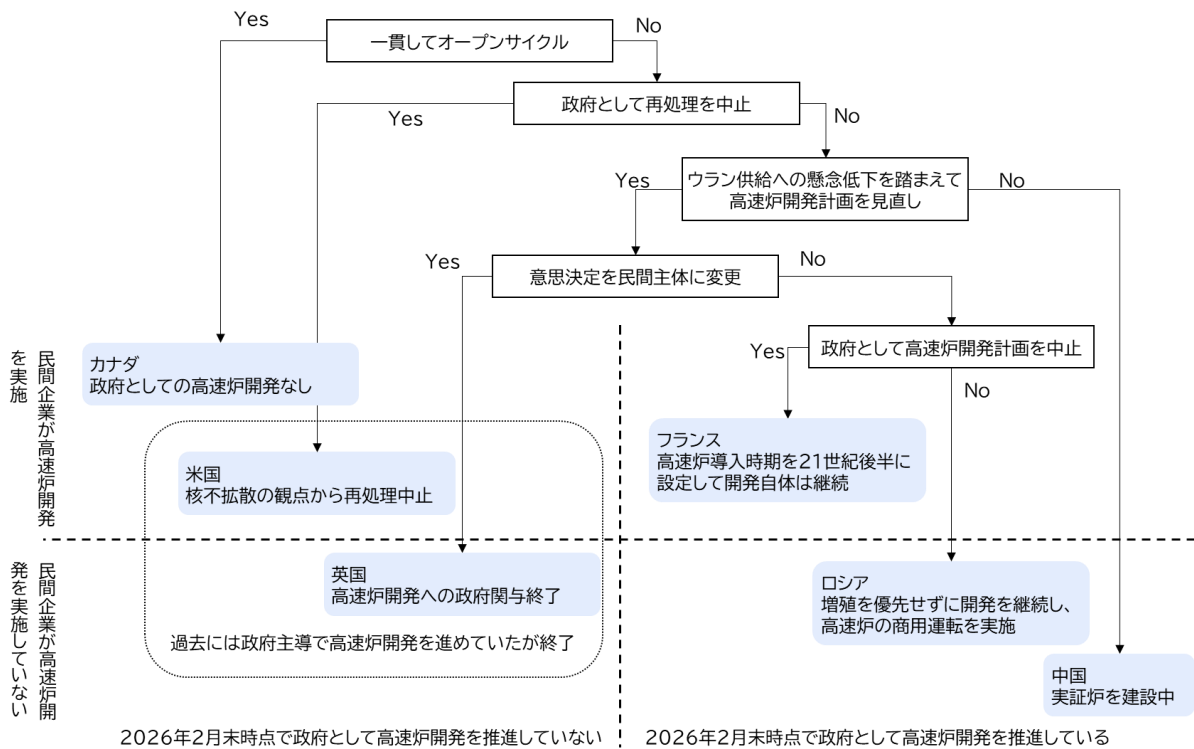


図 5.2-1 各国における高速炉開発に対する政府方針と開発状況

### 5.3 高速炉開発に関する社会的受容性に関する取組

高速炉を商用運転しているロシアでは、高速炉開発を目的とした都市をつくりあげており、既存住民等に対する社会的受容性という観点に乏しいといえる。また、フランス、米国、英国における研究炉は、核燃料サイクル開発施設として 1950 年代から立地していた地域で開発が進められてきたため、現代の社会的受容性という観点では必ずしも参考になるとはいえない。ただし、フランスでは高速炉開発に限らず原子力施設立地地域に対する情報公開の取組を法制化しており、原子力一般に対する社会的受容性を向上させるための活動が実施されている。

これらに対し、民間企業が高速炉開発を主導している米国及びカナダの近年の事例では、州政府が開発を支持するとともに、地元経済への貢献が強調されている。米国 TerraPower 社の Natrium が建設されるワイオミング州は炭鉱で栄えた地域であり、同社は Natrium の建設が州の産業転換に貢献するとともに雇用を生み出すことをアピールしている。カナダでは州経済への貢献がアピールされるだけでなく、先住民ネーションが建設計画に出資するなど地域住民が積極的に建設計画へ参画している。

## 6. まとめ

---

核燃料サイクル及び高速炉は基本的に、資源の有効活用、高レベル放射性廃棄物の減容化及び有害度低減という 3 点に基づいて推進されている。これらは原子力利用の長期的な課題を解決し得るものであり、多くの国では政府による原子力政策の一環として取り組まれてきた。また、2026 年 2 月末時点で運転実績がある高速炉の殆どが政府機関によって開発及び運転されたものであり、政府としてクローズドサイクルを採用しているフランス、ロシア、中国ではいずれも政府機関による高速炉開発が継続的に行われている。特に、世界で最も高速炉開発が進んでいるロシアは、1950 年代から一貫して政府が国策として強力に高速炉開発を推進してきた。したがって、原子力利用の長期的な課題を解決する観点から、長期的に開発を進める必要がある高速炉を実装するためには、一定程度の政府の関与が必要になると考えられる。

一方、近年はフランス、米国、カナダのように民間企業が開発主体となる事例が存在する。英国のように電力自由化に伴い民間企業に核燃料サイクルの方針を委ねた結果、経済性を理由として再処理を終了するに至った事例もあるため、民間主導の高速炉開発は採算性や市場ニーズによって影響を受けると考えられる。民間主導による高速炉開発は実施中であるため成否は分からないが、米国の軽水炉 SMR プロジェクトが経済的理由により中止されたことを踏まえると、民間主導による開発の長所と短所による影響を見定める必要があるといえる。

将来的に高速炉を商業規模で導入する場合、立地地域の選定が問題となる。2026 年 2 月末時点で建設済み又は建設地が決定している高速炉は、TerraPower 社の Sodium を除き、全て政府機関が保有する敷地内に立地している。また、これらの敷地は数十年前に選定され、長年原子力研究等に使用されてきた。したがって、高速炉を商用規模で多数導入する際の立地地域選定は、過去の実験炉等の導入とは状況が大きく異なる。近年は複数の国で地層処分場の立地地域選定が進捗しているため、このような非原子炉原子力施設における立地地域選定プロセスなどを参考にする必要があるだろう。

諸外国における高速炉の導入及び核燃料サイクル政策の理解促進等の実態調査 成果報告書

---

2026年2月

エム・アール・アイ リサーチアソシエーツ株式会社

社会解析ソリューション部

公共政策第二部

---