

資源エネルギー庁 電力・ガス事業部  
原子力立地・核燃料サイクル産業課 御中

令和6年度原子力の利用状況等に関する調査  
(国内外における原子力・核燃料サイクル関連動向等調査)  
報告書

---

**MRI** エム・アール・アイリサーチアソシエイツ

2025年2月

技術・安全事業部



# 目次

---

1. はじめに .....	1
1.1 事業目的.....	1
1.2 実施内容 .....	1
2. 調査の視点 .....	2
3. 各国調査結果 .....	3
3.1 米国.....	3
3.1.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	3
3.1.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	4
3.1.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績 ...	12
3.1.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況.....	16
3.1.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	18
3.1.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向 .....	33
3.2 英国 .....	49
3.2.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	49
3.2.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	51
3.2.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績 .	52
3.2.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	54
3.2.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	55
3.2.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	61
3.3 フランス.....	67
3.3.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	67
3.3.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	74
3.3.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績 .	77
3.3.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	80
3.3.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	82
3.3.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	93
3.4 ロシア .....	98
3.4.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	98
3.4.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシア・親ロシア動向 .....	100
3.4.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	106

3.4.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	111
3.4.5	原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	112
3.4.6	原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	128
3.5	中国 .....	144
3.5.1	原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	144
3.5.2	サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	145
3.5.3	使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	146
3.5.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	149
3.5.5	原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	151
3.5.6	原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	167
3.6	インド.....	174
3.6.1	原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	174
3.6.2	サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	176
3.6.3	使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	176
3.6.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	178
3.6.5	原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	179
3.6.6	原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	187
3.7	韓国 .....	195
3.7.1	原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	195
3.7.2	サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	196
3.7.3	使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	198
3.7.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	200
3.7.5	原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	200
3.7.6	原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	205
3.8	カナダ.....	212
3.8.1	原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	212
3.8.2	サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	213
3.8.3	使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	213
3.8.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	214
3.8.5	原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	216
3.8.6	原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	226
3.9	オランダ.....	231
3.9.1	原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要 .....	231
3.9.2	サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	232
3.9.3	使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	233
3.9.4	他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	238

3.9.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	238
3.9.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	242
3.10 日本 .....	248
3.10.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要.....	248
3.10.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き .....	250
3.10.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	251
3.10.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況 .....	253
3.10.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等) .....	253
3.10.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向.....	261
4. 燃料サイクルサプライチェーン総括 .....	266
4.1 ウラン採掘.....	266
4.2 転換 .....	267
4.3 濃縮 .....	269
4.4 燃料加工.....	270
4.5 再処理.....	271
5. 我が国と諸外国の比較・分析 .....	274

# 1. はじめに

---

## 1.1 事業目的

2023年2月に策定された「GX実現に向けた基本方針」において、CO<sub>2</sub>を排出せず、出力が安定的であり自律性が高いという特徴を有する原子力は、安定供給とカーボンニュートラルの実現の両立に向け、エネルギー基本計画に定められている2030年度電源構成に占める原子力比率20～22%の確実な達成に向けて、いかなる事情より安全性を優先し、原子力規制委員会による安全審査に合格し、かつ、地元の理解を得た原子炉の再稼働を進めることとしている。また、核燃料サイクル<sup>a</sup>については、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の推進が我が国の基本的方針であり、今後これまでの経緯等も十分に考慮し、引き続き関係自治体や国際社会の理解を得つつ、再処理やプルサーマル等を推進することとしている。

一方で、エネルギー安全保障やカーボンニュートラルなどの文脈において、原子力・核燃料サイクルをめぐる環境・位置づけは大きく変化している。引き続き原子力・核燃料サイクル政策を進めるにあたっては、国内のみならず、海外の原子力・核燃料サイクルをめぐる現状と各国の方針も体系的に理解することが重要である。

このような状況を踏まえ、本事業は、エネルギー安全保障やカーボンニュートラルなどの側面に着目しつつ、国内外における原子力・核燃料サイクルの状況と政策方針について調査・分析することにより、今後の我が国の原子力・核燃料サイクル政策の企画・立案に資することを目的として実施した。

## 1.2 実施内容

日本を含む各国における原子力・核燃料サイクルの現状・現在の基本方針・将来の動向を把握した。また、把握した情報に基づき、諸外国と我が国との類似・相違点の整理や関連性、影響などの分析を実施した。

### 【主な調査項目】

- 原子力・核燃料サイクル、燃料サプライチェーンの政策の概要
- 原子力・核燃料サイクル関連施設/諸外国における主要な事業主体の概要等
- 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向
- 我が国との比較、影響分析

### 【調査対象国】

米国、英国、仏国、ロシア、中国、インド、韓国、カナダ、オランダ、日本

---

<sup>a</sup> 日本においては再処理を行うクローズドサイクルを指して「核燃料サイクル」と呼ぶことが多いが、本報告書ではオープンサイクルも含め、ウラン採掘から最終処分までの一連の工程を「核燃料サイクル」と呼ぶ

## 2. 調査の視点

本調査では、国内外における原子力・核燃料サイクルの状況と政策方針について、以下の視点に基づいて調査・分析した。

実施内容	調査の視点
原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策	対象各国の資源賦存状況や原子力開発の経緯など、各国独自の背景を踏まえつつ、各国の政策の基本方針や推移、現下の世界情勢、国内情勢経緯背景、基本多岐な戦略を整理した。
サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き	2022年のロシアによるウクライナ侵攻を受け、エネルギー安全保障への危機感が高まっているが、原子力では、濃縮、転換、回収ウランの処理など燃料サイクルの重要な部分でロシアが高いシェアを占める。西側諸国における脱ロシアに向けた対策に注目するとともに、インドや中国、その他グローバルサウスなど、欧米と一定の距離を置き、ロシアとの関係を維持する国の動向にも注目し整理した。
使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績	特に使用済燃料再処理方針の有無を出発点として、その処理・処分方針（ワンススルーかクローズドサイクルかなど）に注目すると共に、特に国内外で再処理を行う国、また国内でウラン濃縮を行う国については、回収ウランやプルトニウム、劣化ウランの利用・貯蔵等の方針と実情に注目し、情報を整理した。
他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況	国内に資源や役務提供能力を持つ国であっても、量的不足や供給元の多様性確保を目的として、他国からの調達を行うことがある。各国の持つ能力を踏まえつつ、他国からの資源・役務調達の状況や傾向に注目して情報を整理した。
原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体（企業情報等）	各国が国内に保有する燃料サプライチェーン関連施設とその事業主体について、能力や取り扱う製品、事業方針等に注目して整理した。
原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向	現行炉をベースとした燃料等研究開発の状況に加え、小型モジュール炉（SMR）、高速炉ほか先進炉とその燃料関連の開発状況、また各国の放射性廃棄物管理・処分方針に基づく研究開発状況について、各国の特色を踏まえたトピックスを整理した。

## 3. 各国調査結果

---

### 3.1 米国

#### 3.1.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

##### (1) 政策の経緯と今後の方針

米国の原子力利用は、第 2 次世界大戦中の核開発を継承して国に限定されていたが、1950 年代に Atoms for Peace 政策及び 1954 年原子力法の制定により、原子力技術・事業の民間への移転が進んだ。原子力産業が民間事業として確立していく中で、再処理についても民間参入が奨励され、複数の建設プロジェクトが立ち上がった。再処理への民間参入の背景には、当時は将来のウラン不足が予測され、再処理も商業化可能との見通しがあった。なお、核燃料サイクルの中で、機微な技術である濃縮はその後も国有／国営が続いた<sup>1,2,3</sup>。

1960 年代後半～1970 年代前半には、ウェストバレー再処理施設が操業を開始し、他にもバーンウェル等複数の再処理施設の建設が進められたが、1969 年国家環境政策法 (NEPA) 制定等環境規制が厳しくなる中で、再処理施設でも包括的な環境影響評価 (EIS) が必要とされ、進行中だった許認可審査にも大きな影響を与えた。許認可審査にあたる原子力委員会 (AEC、当時) は、再処理で発生するプルトニウムの利用に係る「混合酸化物 (MOX) 燃料に関する一般環境影響評価 (GESMO<sup>a</sup>)」の策定に取りかかったが、訴訟も含めて難航し、バーンウェル等の許認可審査は遅延した。

そして、インドが核実験を行う中で、米国で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 年には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、GESMO を補完するサイクル政策評価等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。さらに 1977 年 4 月には、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た。カーター声明によって民間再処理が直接的に禁止されたわけではなく、また 1981 年には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、中止された。

こうして米国における商業再処理が断念された理由としては核不拡散の問題が挙げられるが、その背景には、ウラン資源は潤沢にあり、使用済燃料の直接処分も技術的に可能とされ、再処理／再利用が無くとも原子力発電が可能との認識が広がったこと等がある。

1982 年には放射性廃棄物政策法 (NWA) が制定され、再処理を除外はしないが、使用済燃料の直接処분을前提としたバックエンドサイクルの枠組みが基本となった。使用済燃料は、連邦政府 (具体的にはエネルギー省 (DOE)) が引き取って処分する責任体制が確立されたことで、再処理事業を行うには処分に向けて受容可能な廃棄体及びコストについて DOE と交渉が必要となる等の課題も生じることとなった。

NWA の下での使用済燃料／高レベル放射性廃棄物 (HLW) の地層処分場の開発については、処

---

<sup>a</sup> “Generic Environmental Impact Statement on the Use of Recycled Plutonium in Mixed Oxide Fuel in Light Water Cooled Reactors”と題する一般的環境影響評価。

分場候補地として調査が続けられたネバダ州ユッカマウンテンにおける処分場計画は遅延したが、ブッシュ政権下で 2001 年にはサイト選定決議、2008 年には許認可申請書提出に至り、許認可手続が開始された。しかし、2009 年に誕生したオバマ政権がユッカマウンテン計画中止を決定し、廃棄物問題等を検討するブルーリボン委員会(BRC)で代替策が勧告される等したが、必要な法改正は実現せず使用済燃料管理政策は膠着状態が続いている<sup>4</sup>。

NWPA は、1987 年の改定でネバダ州ユッカマウンテンを唯一の処分場候補地と指定しており、BRC 提案にもあった同意に基づくサイト選定プロセスの確立等ユッカマウンテン計画の代替方策を進めるには NWPA 改定が必須となるが、実現していない。また、同じく BRC が勧告した集中中間貯蔵施設の早急な実現についても、NWPA では特定条件下で 1995 年まで実施された監視付回収可能貯蔵(MRS)施設の開発以外では集中中間貯蔵施設の建設は処分場プログラムの進展に応じてのみ認めることとしており、連邦政府による中間貯蔵施設の建設は NWPA 改定なしには進められない。オバマ政権下でユッカマウンテン許認可手続を停止した NRC 決定は違法とされ、許認可審査は再開されたが、連邦議会による予算配賦が行われないため、許認可手続も膠着状態で停止している。共和党が多数党となっていた 2017～2019 年の連邦議会では、ユッカマウンテン計画の再開等を規定した NWPA 修正法案が検討され、下院で可決されるに至ったが、最終的に両院合意の法案は可決されず、膠着状態に戻っている。処分場開発が膠着化する中で、使用済燃料の集中中間貯蔵施設建設を支持する気運が高まっているが、処分場プログラムが停止したまま連邦政府による中間貯蔵施設の建設を進めるには NWPA 改定が必須のため、現在はその準備的活動に留まっている<sup>5,6</sup>。

## (2) 官民の役割分担

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、民生用原子力発電に係るフロントエンド分野は民間事業者によって担われてきた。また、濃縮事業についても 1998 年に USEC が民営化され、民間事業に移行した。米国ではフロントエンド産業について特に保護する体制はなく、後述するように国外依存が進み、特に近年はウラン採掘を中心として米国フロントエンド産業は衰退傾向にあった<sup>7</sup>。

バックエンドについては、1982 年放射性廃棄物政策法(NWPA)により使用済燃料の引取り・処分は連邦政府が行う体制となっている。使用済燃料の再処理は禁止されていないが、バーンウェル再処理施設が 1980 年代に廃止されて以降、経済性等の理由により再処理事業の取組はない。民間の原子力発電で発生した使用済燃料はサイト内等で乾式貯蔵されているが、本来は NWPA の規定に基づく契約により DOE が使用済燃料の引取義務を負っている。1998 年までに開始とされていた処分に向けての使用済燃料引取が行われないため、事業者からの訴訟により中間貯蔵費用相当の賠償金が連邦政府から支払われている<sup>6</sup>。DOE による処分場開発が遅れる中で集中中間貯蔵施設を建設する動きが官民で見られるが、政府による貯蔵開始には NWPA 改正が必須と考えられ、不透明性が高い<sup>4,5</sup>。

### 3.1.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

#### (1) 脱ロシアに向けた動き

米国は、ウラン資源の調達と濃縮役務を中心に、フロントエンドの分野でロシアへの依存が高い状態

が続いている。図 3.1-1 は、2009 年以降の米国のウラン資源調達と濃縮役務調達における自国調達とロシアからの調達の割合の推移をまとめたものである<sup>8</sup>。2009 年から 2023 年の期間、ロシアは米国のウラン資源調達では 10%強～20%強、濃縮役務調達は振れ幅が比較的大きいものの最低でも 15%強、最も高い年では 40%を超えており、主要な輸入元であるといえる。

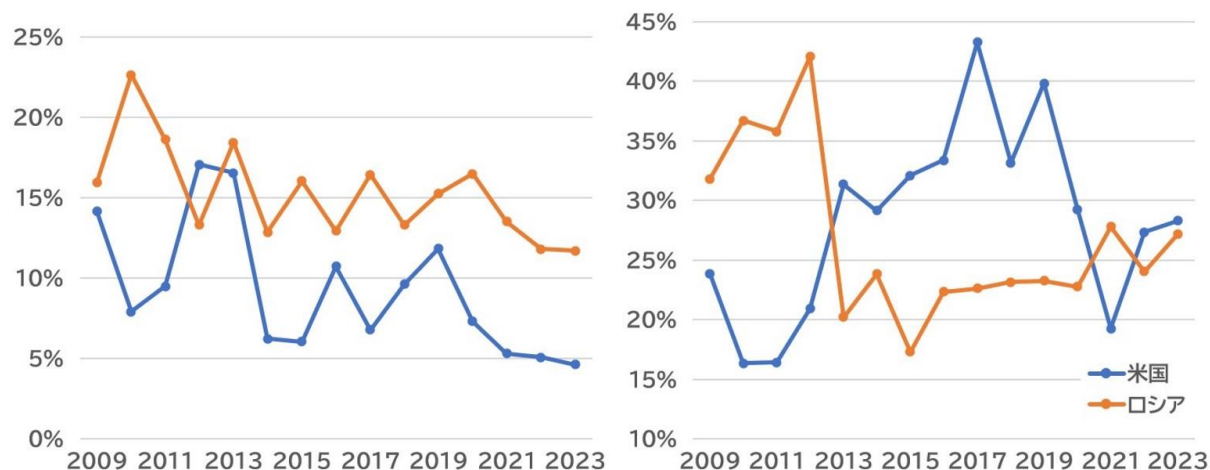


図 3.1-1 米国のウラン資源調達(左)と濃縮役務調達(右)における自国調達とロシアからの調達の割合の推移

出所)DOE エネルギー情報局 “Uranium Marketing Annual Report”(2024 年 6 月 6 日等)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

フロントエンドにおけるロシア依存は、特に 2022 年 2 月のロシアのウクライナ侵攻後に、問題として認識されるに至っている。本節では、2024 年 5 月に成立した「ロシア産ウラン輸入禁止法」を中心として、主としてロシアのウクライナ侵攻後における米国の核燃料サプライチェーンでの脱ロシアに向けた動きを整理する。またそれに先立ち、同法の審議過程で議会委員会により公表された報告書により、脱ロシアに向けた動きの背景をまとめる。

### 1) ロシアによるウクライナ侵攻以前の動き

ロシアと西側諸国の対立は、2014 年のロシアによるクリミア併合等の事態を契機として強まってきたが、以下、2017 年の第 1 期トランプ政権発足後以降の動きを中心に整理する。

2017 年 1 月の政権発足後、同年 6 月 29 日にトランプ大統領は原子力部門の再興と拡大するためのイニシアティブを公表し、原子力を再活性化するための新たな方法を見出すために米国の原子力政策のレビューを進めるよう指示した<sup>9</sup>。

2018 年 1 月には、米国のウラン採掘会社であるエナジーフューエル社と Ur-エナジー社が共同で、商務省に対して、1962 年貿易拡大法第 232 条に基づく救済の申立を行った。この規定は、輸入によって危機に瀕している重要な国家安全保障産業を保護するために制定されたものであり、商務長官に対して任意の品目の輸入が米国の国家安全保障に対して及ぼす影響を評価するための調査を実施する権限を付与している。同法を根拠として 2 社は、大統領及び商務長官に対して、米国のウラン鉱業の長期的な存続可能性を回復するための措置を講じるよう要求している。2 社は、申立の根拠として以下の

点などを挙げている<sup>10</sup>。

- ロシア、カザフスタン、ウズベキスタンの国有企業や国から補助金を受けている企業からのウランの輸入は、現在、米国の需要の 40% 近くを満たしているが、米国の国内生産は 5% 未満である。
- 今後数年間で、ロシアや中国から核燃料が輸入されるレベルが増加すると予想されており、これらの国は米国のウラン生産と直接競合することになる。
- 2017 年、米国のウラン生産量は、主に国から補助金を受けている企業から輸入されたウランと核燃料により、歴史的な低水準近くまで落ち込んでおり、2018 年の国内生産はさらに減少する可能性が高い。
- 健全なウラン鉱業は、米国の重要なエネルギーインフラと不可欠な防衛ニーズの主要要素である原子力発電所に燃料を供給するため、米国の国家安全保障にとって不可欠である。
- エナジーフューエル社及び Ur-エナジー社は、2017 年に米国の全ウランの半分以上を供給している米国の主要なウラン生産者である。

2 社の申立を受け、2019 年 4 月に商務省はウラン輸入が米国の国家安全保障に及ぼす影響に関する報告書をホワイトハウスに提出した。この報告書は、機密扱いのため公表されていない。大統領は、90 日以内に報告書で商務省が提示した勧告に基づいて行動することになっていた<sup>11</sup>。

これらの動きを受けて、2019 年 7 月 12 日に大統領は核燃料ワーキンググループを設置して検討を進め、同ワーキンググループの報告書が 2020 年 4 月に公表された。報告書では、以下の 18 点の勧告が提示されている<sup>12</sup>。

- ウラン在庫を確立するために連邦政府が直接ウランを購入する。
- DOE のウランのバーター取引 (DOE のウランを売却して得た対価を核兵器製造サイトのクリーンアップコストに充てる取引) を終了させ、DOE の余剰ウラン在庫管理政策を再検討する。
- 電力市場であらゆるエネルギー源に公平な条件を整備し、連邦エネルギー規制委員会 (FERC) に卸エネルギー市場における競争を改善するための行動を促す。
- ウラン採取 (extraction) の規制を効率化し土地へのアクセスを改革する。
- 商務省によるロシア制限協定 (RSA、ロシアからのウラン輸入に制限を設定する協定) 延長の取り組みを支持し、将来の米国市場におけるウランのダンピングから保護する。
- 国家安全保障の目的で NRC がロシア又は中国で製造された核燃料の輸入を拒否できるようにする。
- 事故耐性燃料や高純度低濃縮ウラン (HALEU) の研究開発のために資金拠出し、HALEU 濃縮実証プログラムを完遂し、ウラン採鉱及び原位置回復のための先進的な水処理技術に資金拠出する。
- 国家研究革新センター (NRIC) 及び多目的試験炉のプロジェクトを支援する。
- 革新炉技術の研究開発に資金拠出し、実証を支援する。
- 連邦施設に電力供給するための SMR 及びマイクロ炉の使用を実証する。
- 原子力分野の輸出の調整と実施を統括する上級行政職員を配置する。
- 国防産業基盤と同様の原子力産業基盤構造を構築する。
- 事故耐性燃料を含め、外国製の原子炉で使用されている燃料の代替として米国製燃料を販売できるようにするための研究開発に資金拠出する。

- 輸出手続きや米国との原子力協定(123 協定)締結の手続きの効率性を向上させ、米国の民生原子力技術、材料及び燃料の輸出のための新たな市場を開拓する。
- 輸出促進のために年次開催される Select-USA Investment Summit に民生原子力を加える。
- 規制に関する技術交流や、既存の NRC のライセンスを受けた米国の原子力技術の外国における許認可取得加速を目的とする外国における原子力規制枠組みの開発支援を含む、民間原子力国際協力プログラムを拡大する。
- 外国による資金拠出と競争するために、米国の輸出信用機関が民生原子力産業に対して資金提供できるようにする。
- 米国のベンダーが研究炉の供給市場に再進出するのを促進する。

## 2) DOE による戦略的ウラン備蓄の取組

上述のとおり、核燃料ワーキンググループは、ウラン在庫を確立するために連邦政府が直接ウランを購入することを勧告した。これを受け 2020 年に連邦議会は、ウラン備蓄構築のために 7,500 万ドルの予算を DOE に配賦した。2022 年 3 月に DOE の国家核安全保障庁(NNSA)は、国内で生産された  $U_3O_8$  を 100 万ポンド(約 454t)までウラン生産者から購入する手続きを開始した。2022 年 12 月、NNSA と エナジー・フューエルズ社、及びストラタ・エナジー社の子会社であるペニンシュラ・エナジー社の 2 社との間で 2 件の契約が締結された。本契約により、エナジー・フューエルズ社は価格にして 1,850 万ドル分の  $U_3O_8$  を連邦政府のウラン備蓄用に売却することとなった。同社は、イリノイ州メトロポリスにあるメトロポリス・ワークス転換施設のウラン在庫を売却することとしている。なお、この売却において物理的な物質の移動は発生しない。また、ペニンシュラ・エナジー社は 30 万ポンドの  $U_3O_8$  を販売する契約となっている。エナジー・フューエルズ社が現在操業している 3 つの鉱山での生産は、2024 年半ばから後半にはフル稼働になる見込みとのことである。またストラタ・エナジー社は、2024 年 8 月にワイオミング州の原位置回収事業の生産を再開すると発表している<sup>13,14</sup>。

以上は、ウラン採掘・精錬事業者に関連する動きであるが、2022 年 12 月には、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であるメトロポリス・ワークス(MTW)で生産された  $UF_6$  の独占販売権を有するコンバーダイン(Converdyn)社が、DOE から 1,400 億ドルのウラン転換役務の発注を受けている<sup>15</sup>。

なお、上記の DOE による戦略的ウラン備蓄に関係する企業について、3.1.5 (1)及び 3.1.5 (2)においても整理している。

## 3) 連邦議会下院エネルギー・商務委員会による検討<sup>16</sup>

2021 年 1 月のバイデン政権の発足以降も、核燃料サイクル分野における連邦政府の支援は継続しており、同年 5 月に公表された 2022 会計年度の予算要求で DOE は、HALEU の実用化支援プログラムの立ち上げなどを打ち出している<sup>17</sup>。

以下、「ロシア産ウラン輸入禁止法」審議の中で連邦議会下院エネルギー・商務委員会が 2023 年 12 月に公表した報告書に基づき、ロシアのウクライナ侵攻後におけるロシア産のウランや濃縮役務の禁止に向けた米国の検討動向を整理する。

下院エネルギー・商務委員会の報告書によれば、ロシアのウクライナ侵攻後、米国では核燃料を含め、ロシア産燃料への依存によるエネルギーセキュリティ上の脅威が認識されるようになった。同報告書によれば、国内需要を上回る供給能力と垂直統合され競争のない国有システムにより、ロシアは特にウランの転換と濃縮において、国際的な核燃料のサプライチェーンで影響力のある地位を確保している。世界における濃縮のキャパシティでロシアが占める割合は約 46%、転換では約 20%となっている。また、このように転換のキャパシティでロシアが占める割合は約 20%であるが、世界で実施される転換の役務の約 40%をロシアが担っている。また、英国及び欧州連合(EU)の濃縮キャパシティも EU の域内需要を上回っており、転換及び濃縮役務の大部分を米国市場に対して供給している。一方で米国は、世界最大の核燃料市場であるにもかかわらず、濃縮に関して自国のキャパシティで賄えるのは需要の 30%にすぎない。報告書が引用している米国国際貿易委員会(ITC)の調査によれば、ロシアが国として所有する濃縮キャパシティと大規模な濃縮ウランの在庫により、ロシアはこの 30 年以上にわたって米国や同盟国の供給者をはるかに下回る価格で濃縮ウラン製品を輸出しており、米国のサプライチェーンに損害を与えてきた。

このようにロシアは長期にわたって、大量かつ安価な供給が可能な能力を維持しており、また今後もこうした状況を継続するものと考えられることから、米国はロシア産のウラン燃料に対する輸入制限を設定してきた。しかしこうした制限を設けても、米国は濃縮ウランの 20%以上をロシアの国有原子力発電企業の ROSATOM 及びその子会社テネックス社から輸入し続けている。

他方で、様々な理由のために、米国国内の核燃料サプライチェーンはこの 10 年間ぜい弱化してきた。2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故後日本とドイツで原子炉の運転が停止されたことや、米国内でもこの 10 年間原子炉の運転停止が生じたことで、国際的な核燃料需要は停滞し、またウラン製品の市場価格の低迷で、米国内のウラン採掘、転換及び濃縮事業は弱体化した。これにより米国の国内核燃料インフラは弱体化し、供給途絶に対してぜい弱になって安価なロシア産燃料に対する依存が強まった。

ロシアのウクライナ侵攻後には、ロシアからの供給へのアクセスが途絶するのではないかと懸念が強まった。燃料交換のリードタイムが長いこと、現在電気事業者及び米国政府が有する在庫の存在、及びロシアからの供給の回避に向けた西側諸国の取組が供給リスクを緩和しているが、ぜい弱性を解消し、先進炉を含め増加する需要を満足するために、2020 年代の終わりまでに米国及び西側諸国の生産者がキャパシティを増強する必要があることが認識された。

こうした認識の下、議会報告書は米国の核燃料サプライチェーン再興は国家及びエネルギーセキュリティにとって不可欠であるとしている。その上で、再興のためには、ウクライナ戦争後にロシアが再度米国市場に参入してくることも想定しつつ、長期にわたりロシアの安価な燃料が米国市場に供給されるのを終わらせる必要があるとしている。それに加えて報告書は、新たなキャパシティの追加には時間を要するため、キャパシティが実際に必要になるより前の十分に早いタイミングで投資決定が行われる必要があると指摘している。

高純度低濃縮ウラン(HALEU)について議会報告書は、生産能力構築のために連邦政府が役割を果たす必要があると指摘している。米国内に HALEU の製造インフラがなく、将来の市場における需要が不確定である。このため、下院エネルギー・商務委員会は、DOE が民間部門との協力の下で HALEU 燃料のキャパシティ構築を支援するためのプログラムを立ち上げることを認める法案を策定し、これは 2020 年エネルギー法で「先進燃料入手可能性プログラム」として制度化されている。一方で在

来型の低濃縮ウランに関する連邦による支援の役割について、報告書は詳細な検討が必要であると述べている。報告書は、低濃縮ウランに関してはすでに成熟した市場と確認可能な需要があるため、納税者による支援は不要であるとの見方を示している。

#### 4) 「ロシア産ウラン輸入禁止法」の概要

「ロシア産ウラン輸入禁止法」は、2024年5月13日にバイデン大統領(当時)の署名を経て成立した。同法は、ロシアからのウランの輸入を制限するものである。特に同法は、ロシアで生産された、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の米国に対する輸入を禁じるものである。また、同法は輸入制限を回避する目的で交換などを通じて入手した低濃縮ウランの輸入も禁止している。なお、本法の発効日は成立の90日後の2024年8月11日である<sup>18</sup>。

ただし、DOE は以下の場合、本法に定められた量<sup>b</sup>の範囲内で禁止措置の適用を除外することが可能である。

- 原子炉の運転や米国の原子力関連企業の運営の継続を維持するための低濃縮ウランを調達する代替可能な供給源がない場合
- ウランの輸入が国益にかなう場合

ただし、いかなる禁止の適用除外も2028年1月1日までに中止することが定められている。また、本法によるロシア産ウランの輸入禁止は2040年12月31日に終了することとされている<sup>19</sup>。

#### 5) アドバンス法における核燃料の取引に対する制限

「ロシア産ウラン輸入禁止法」に続いて、2024年7月9日に「クリーンエネルギーのための多用途先進原子力導入促進(ADVANCE、Accelerating Deployment of Versatile, Advanced Nuclear for Clean Energy)法」<sup>c</sup>が成立した。「ロシア産ウラン輸入禁止法」は低濃縮ウランの輸入に関するものであったが、アドバンス法第102条は、「国家安全保障目的のための特定の国内許認可の拒否」として、核燃料の取引に制限を課すものである。具体的には、商業用原子炉のために米国外で製造された燃料集合体であり、製造がロシア又は中国によって所有又は管理されている事業者によって行われた場合と、ロシア又は中国の法律によって組織されている、あるいはロシア又は中国の法的管轄に属する事業者によって行われた場合は、NRCの承認がない限り、所有が認められない。また、NRCが承認を与える条件として、米国の物理的・経済的安全保障に影響を及ぼすなど、米国の国家安全保障を脅かすことがないことが規定されている<sup>20</sup>。

#### 6) 中国からの輸入関税の引き上げ

以上、米国のロシア産ウランの輸入を禁止する措置を中心に整理したが、2024年9月18日に米国通商代表部(USTR)は、中国からの輸入における関税の変更を公告した。この中で、ウランを含む重要な鉱物の中国からの輸入に課される関税を、7.5%から25%に引き上げることを公表した。新しい関税

<sup>b</sup> 「ロシア産ウラン輸入禁止法」が定める禁止措置の適用除外が可能な量は、2024年476,536kg、2025年470,376kg、2026年464,183kg、2027年459,083kgである。

<sup>c</sup> ADVANCE法は、「合衆国消防局及び消防士支援補助金プログラムに対する予算配賦を承認し、原子力の便益を増進し、その他の目的のために定める法律」の一部として成立している。

率は、2024年9月27日以降に消費される商品又は消費のために倉庫から出荷される商品に適用される<sup>21</sup>。なお、DOEのエネルギー情報局(EIA)は、個社の情報を保護するために中国からのウランの輸入量は公表していないが、世界原子力協会によれば量は少ないとのことである<sup>22</sup>。

## 7) ROSATOM 幹部に対する制裁

2025年1月10日に米務省は、「ロシアのエネルギー部門を弱体化させるための制裁」を発動した。これは、ウクライナ戦争の戦費調達的主力となっているロシアのエネルギー部門を主要な標的とした制裁であり、約80の個人と組織を対象にしている。この制裁対象には、ROSATOMの理事や上級職員が含まれ、具体的にはリハチョフ CEO や上級職員が新たに制裁対象に加えられた。本制裁により、米国内にある制裁対象者の資産凍結などが実施される。なお、米務省が ROSATOM を対象として含む制裁を行ったのは今回が11回目となる<sup>23,24</sup>。

### (2) 「ロシア産ウラン輸入禁止法」の制定を受けた動き

「ロシア産ウラン輸入禁止法」により原則として、ロシアで生産された低濃縮ウランの米国への輸入が禁じられたが、その適用除外の手続き等が整備され、また適用除外を申請する動きも進んでいる。その他、米国産核燃料製造能力の強化に向けた取組は進められており、これらについて以下に整理する。

#### 1) DOE によるロシア産ウラン輸入禁止措置の適用除外の詳細に関する規定

2024年5月の「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立後、DOEは輸入業者等が禁止措置の適用除外を求める場合の条件や手続きに関する詳細を公表した。DOEは、適用除外を受ける条件のうち「代替可能な供給源がない」と認められる条件として、適用除外を受けてロシアから輸入されるウランが国内原子炉の近い将来における燃料交換に用いられ、それがなければ燃料の調達可能性に関する不確実性に起因して、原子炉の運転が削減されるリスクがあることや、代替供給源からの燃料の調達に努めたが調達ができなかったことなどを挙げている。また、「国益にかなう」と認められる条件としては、申請者が米国の原子力サプライチェーンにおいて不可欠であり、適用除外を受けなければ事業を継続できないことを実証していることなどが挙げられている<sup>25</sup>。

#### 2) 適用除外の申請と承認

ウラン濃縮等の事業を行っているセントラス・エナジー社は、ロシア産ウランの輸入のために、2024年5月27日に1回目の輸入禁止適用除外申請をDOEに提出した。これは、2024年8月11日から2027年内の米国内企業向け取引を対象としたものであったが、このうち2024年と2025年を対象とした適用除外をDOEは承認したものの、2026年と2027年分に関しては承認が得られていない。また、同社はロシア産低濃縮ウランを輸入し、処理して海外顧客向けに再輸出するための輸入について適用除外申請を2024年6月7日に提出し、DOEの決定を待っているとのことである<sup>26,27</sup>。

#### 3) 米国のウラン輸入制限等に対するロシア側の動き

セントラス・エナジー社の事例のように、米国の事業者からロシア産ウラン輸入禁止の適用除外を求める申請が行われる一方で、ロシア側では米国へのウラン輸出の中止や削減に向けた動きがみられて

いる。2024年5月の報道によれば、テネックス社は「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立後、同社の米国顧客である電気事業者のコンステレーションエナジー社、デュークエナジー社やドミニオンエナジー社等に対して、「不可抗力」が発生したとの通知を発出したとのことである。これは、同法の成立に対応した動きと考えられている<sup>28</sup>。また同年9月の政府関係者との会議でロシアのプーチン大統領は、ウランを含む原料物質の輸出制限について検討するべきであると発言している<sup>29</sup>。

その後ロシア政府は、2024年11月14日に関係する政令を改正し、一時的に米国に対する濃縮ウランの輸出に制限を課す措置を行った。本件に関するロシア政府の公表によると、この動きは米国のロシア産ウラン製品の輸入禁止に対応したものであり、また上記のプーチン大統領の検討指示を受けたものである。なお、米国に対する濃縮ウランの禁輸は、連邦技術輸出管理局が許可した場合は適用されない<sup>30</sup>。なお、米国のウラン輸入制限等に対するロシア側の動きについて、3.4.2「サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシア・親ロシア動向」で整理している。

#### 4) 米国産核燃料製造能力の強化に向けた取組

(1)1)で整理したとおり、ロシアのウクライナ侵攻以前から、米国では国家安全保障の観点で国産ウランの採掘拡大やウラン濃縮能力の強化の必要性が認識されており、2024年5月の「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立の前から、米国では核燃料製造能力の強化に向けた取組が進められてきた。2024年度の歳出法で連邦議会は、濃縮ウラン及びHALEU製造のための国内における濃縮能力拡大のために27.2億ドルを配賦している。また、2024年11月にホワイトハウスが公表した政策文書「安全かつ責任ある米国原子力の拡大：展開のターゲットと行動のためのフレームワーク」においても核燃料サイクルは取り上げられており、サプライチェーンの発展のために実施すべき行動として以下が挙げられている<sup>31</sup>。

- 国内におけるウラン転換・濃縮能力の拡大
- 国際的な核燃料サイクルサプライチェーンのためのパートナーシップ
- 核燃料サイクルサプライチェーンのための資金確保の促進
- 先住民との協議とエンゲージメント
- 遺棄されたウラン鉱山の浄化に向けたロードマップの策定

本節では、「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立後の動きを中心として、既設炉のための核燃料製造関連とHALEU関連に分けて整理する。

##### a. 既設炉の核燃料製造能力の強化に向けた取組

以下に、最近の米国における既設炉の核燃料製造能力の強化に向けた取組として、低濃縮ウランの濃縮施設の新増設等に関連する動きを取り上げる。

- DOEは2024年6月、米国製低濃縮ウランの調達に向けて提案依頼(RFP)を公表、同年12月には供給業者として6社を選定<sup>32,33</sup>
- フランスに本拠を置くOrano社は2024年9月4日、OranoUSA社によるテネシー州オークリッジでの遠心分離法によるウラン濃縮施設について、同州が建設地を優先サイトとして認定したことを公表<sup>34</sup>
- Urenco社は2024年10月10日、ニューメキシコ州ユースで、ウラン濃縮の設備容量拡大

に向け遠心分離機の設置を完了したことを公表<sup>35</sup>

- セントラス・エナジー社は 2024 年 11 月 20 日、テネシー州オークリッジで、ウラン濃縮の設備容量拡大に向け今後 18 カ月で 6,000 万ドルを投資することを公表<sup>36</sup>

## b. HALEU の製造能力の構築に向けた取組

上述した議会下院エネルギー・商務委員会の報告書にあるように、米国には商業レベルでの HALEU 製造能力がないため、「ロシア産ウラン輸入禁止法」成立の前から製造能力の構築に向けた取組が進められてきた。セントラス・エナジー社はすでに HALEU の製造を行っている(3.1.5 (3)参照)。同社は 2023 年 11 月、DOE との契約に基づき、DOE に対して HALEU を納品したことを公表している<sup>37</sup>。

DOE は 2024 年 1 月に、HALEU 製造のための濃縮役務を行う事業者を選定するための提案依頼書(RFP)を発行した<sup>38</sup>。その後、同年 10 月に DOE は、HALEU 製造のための濃縮役務提供者として以下の 4 社を選定したことを公表した。

- ルイジアナ・エナジー・サービス社:Urenco USA 社のニューメキシコ州ユニスの遠心分離濃縮プラントを操業
- Orano フェデラルサービス社:上述したセントラス・エナジー社の子会社
- アメリカンセントリフュージオペレーティング社:Orano フェデラルサービス社と同様に、セントラス・エナジー社の子会社
- ゼネラルマター社:2024 年初期にカリフォルニア州で登記され、CEO はスペース X 社において勤めていたスコットノーラン氏

これらの 4 社には、インフレ抑制法(IRA)により確保された資金が提供される。各社と DOE の契約は最低でも 10 年間であり、1 社は最低でも 2 百万ドルの契約を締結している。連邦議会が制定する歳出法により予算配賦を受けた場合、これらの 4 社が提供する役務に対して最大で 27 億ドルが支払われることになっている<sup>39,40</sup>。

HALEU の再転換について、2024 年 10 月に DOE は、BWXT 社、セントラス・エナジー社、フラマトム社、GE ベルノバ社、Orano 社及びウェスティングハウス(WH)社の 6 社と契約を締結したことを公表した。選定された 6 社は、HALEU の再転換の入札に参加することができる。受注した企業と DOE の契約は最低でも 10 年間であり、契約 1 件につき契約額は最低でも 2 百万ドルとなる。また、連邦議会が制定する歳出法により予算配賦を受けた場合、再転換役務のために最大で 8 億ドルが支払われることになっている<sup>41</sup>。

### 3.1.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

3.1.1 (1)で示したように、米国では当初、使用済燃料は再処理を行うことが前提とされていたが、核

拡散リスクへの懸念等から 1970 年代後半に方針が変更され、使用済燃料の直接処分を想定した NWPA が 1982 年に制定され、地層処分場の開発が進められた。1987 年には NWPA が改定され、サイト候補地の中からネバダ州ユッカマウンテンが唯一のサイト候補地に指定された。当初予定から大幅に遅れて 2008 年にユッカマウンテンにおける処分場建設・操業の許認可申請書が提出され、許認可審査が進められたが、オバマ政権がユッカマウンテン計画中止を決定したこと等を受け、停止状態にある。オバマ政権では、ユッカマウンテン計画に代わる代替方策が、BRC の設置を含めて検討されたが、連邦議会での法改正は実現せず膠着状態が続いている<sup>5,6</sup>。

米国では、連邦政府(DOE)が使用済燃料の引取・処分の責任を持つが、処分場開発の遅れから引取は実現しておらず、各発電所のサイト内等で乾式貯蔵(ISFSI)が行われている。ISFSI での貯蔵は、すでに廃止措置済みの発電所サイトでも継続しており、集中中間貯蔵施設の実現が重要課題となっている。DOE による中間貯蔵施設開発の取組とともに、民間での中間貯蔵施設の開発が進み一部 NRC 許認可も発給済みであるが、民間貯蔵施設も連邦政府による貯蔵を想定していること等から建設予定は具体化していない。

## 2) 処理・処分の実績

上述のとおり、米国では民間再処理事業が進められたものの、1977 年 4 月にカーター大統領の核不拡散声明により事業の無期限延期等が打ち出された。本節では、一部実施された民間再処理事業の概要をまとめる。

Atoms for Peace 政策の策定を受け、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<sup>d</sup>、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。1963 年春に AEC は、施設を操業するニュークリアフューエルサービス(NFS)社に対して、建設許可を発給し、1965 年 5 月に同社は施設における燃料の引き取りと貯蔵の許可を受けた。ウェストバレー再処理施設に対する最初の使用済燃料の輸送は 1965 年 6 月のマサチューセッツ州ヤンキー・ロープラントからのものであり、連邦政府及び商用原子力発電で発生した使用済燃料の NFS 社による引き取りは 1973 年まで実施された。車両と鉄道による輸送の合計回数は 756 回であった<sup>42</sup>。

AEC は NFS 社に対して、商用原子力発電で発生した使用済燃料の再処理に集中するよう勧めたものの、商用原子力発電からの燃料の供給が十分でなかったため、最低限の量の連邦政府が発生させた使用済燃料の供給を保証した。これは、NFS 社が再処理を実施した 1966 年から 1972 年の期間は、燃料の供給が十分になるほど商用原子力発電が実施されていなかったためである。その結果、ウェストバレー再処理施設に供給される使用済燃料の約 60%、プルトニウムの 33%は AEC が所有する原子炉由来であった。また、そのほとんどは N 炉(ワシントン州リッチランド近郊のハンフォードサイトにあるプルトニウム生産炉)由来であった<sup>39</sup>。

1972 年に、NFS 社は再処理容量の増強と新たな規制要件への対応のために、全ての再処理業務を停止した。しかしながら、規制要件を満足するための施設の回収において困難に遭遇し、4 年間にわた

<sup>d</sup> イリノイ州モリスのゼネラル・エレクトリック社の Midwest Fuel Recovery Plant と、サウスカロライナ州バーンウェルの Allied General Nuclear Services(AGNS)社のプラント

り連邦政府及び州政府当局と協議したものの合意に至らなかったことから、同社は再処理の中止、及び施設で発生した約 60 万ガロンの高レベル放射性廃液と残渣の管理と長期貯蔵を施設サイトの所有者であるニューヨーク州エネルギー研究開発局(NYSERDA)に移管する意向を表明した。なおこの移管は、契約上の義務に従ったものである<sup>39</sup>。

その後、連邦法であるウェストバレー実証プロジェクト法(WVDPA)が制定された。WVDPA は AEC の後継組織である DOE に対して、ウェストバレー再処理施設で発生した高レベル放射性廃棄物をホウケイ酸ガラスで固化し、地層処分に適した形態にするよう命じた。また、WVDPA は DOE に対して、ウェストバレーで使用されたタンク及び施設の除染と廃止措置、及び低レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物の処分も命じている<sup>39</sup>。

ウェストバレー再処理施設で発生したプルトニウムの取り扱いの経緯を図 3.1-2 に整理した。プルトニウムの所有権の詳細は不明だが、物質の授受に伴い所有権も移転したものと考えられる。回収したプルトニウムの大部分は政府機関が引き取っている。一部は事業者等の管理下にあったが、その後の詳細は不明である<sup>39</sup>。

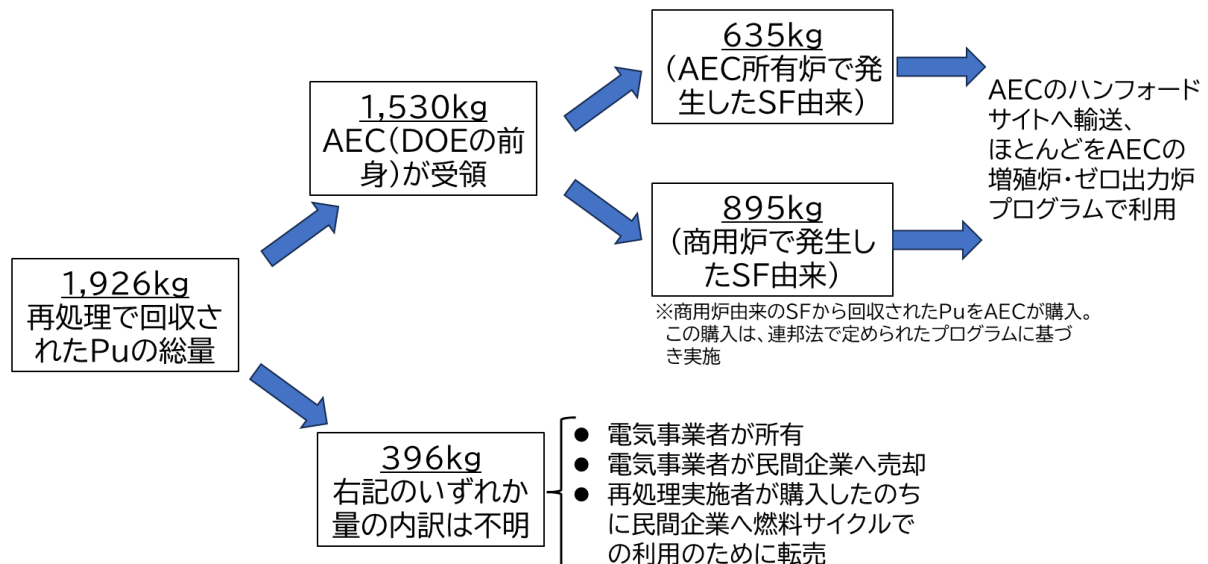


図 3.1-2 ウェストバレー実証プロジェクトにおけるプルトニウムのフロー

出所)DOE 国防プログラム局 "Plutonium & Uranium Recovery from Spent Fuel Reprocessing by Nuclear Fuel Services at West Valley, New York from 1966 tp 1972"(1999年11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

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

回収ウラン、プルトニウムに関して、米国において、民生部門では、使用済燃料の再処理は1970年代を最後に以後は実施されておらず、回収ウラン及びプルトニウムも発生しない。

米国において劣化ウランは、1954年原子力法の規定では「原料物質」(source material)にあたり、保有者がそれを不要と判断するまでは資源として扱われ、不要と判断された時点で低レベル放射性廃

棄物となる。米国では濃縮事業が 1998 年まで国営だったため劣化ウランは DOE が最大の保有者となっている。DOE は、保有する劣化ウランを再転換するプロジェクトを開始しており、劣化ウランの処分や利用は行っていないが、2016 年にはグローバル・レーザー・エンリッチメント(GLE)社と劣化ウランの売買契約を締結しており、GLE 社が 40 年間の期間で約 300 千 t の劣化ウランを再濃縮し、天然ウランとして販売する予定となっている。なお、GLE 社は 2030 年までに濃縮施設を建設する条件となっており、実際の売買は未だ実現していない<sup>43,44</sup>。

最終的に不要と判断された劣化ウランは低レベル放射性廃棄物として処分されるが、米国では民間濃縮施設で発生した劣化ウランについても、事業者が要求した場合には DOE が処分のために引き取ることが USEC 民営化法で規定されている。劣化ウランが処分可能な民間低レベル放射性廃棄物処分場としては、エナジーソリューションズ社のユタ州 Clive 処分場、ウェスト・コントロール・スペシャリスト(WCS)社のテキサス州 WCS 処分場がある。なお、劣化ウランを大量に保有する DOE は、劣化ウランを廃棄物と決定した場合には、これらの民間処分場、またはネバダ州の DOE サイト(ネバダ国家安全保障サイト、NNSS)で処分を行うことを決定しているが、短期的には民間処分場を利用する方針を発表している<sup>40,45</sup>。

また米国では、インターナショナル・アイソトープ(INIS)<sup>e</sup>社が、民生原子力分野では初となる劣化ウランの再転換施設を建設・運転する許認可を 2009 年に申請し、2012 年には NRC から許認可が発給されたが、施設の建設には至っていない。INIS の再転換施設は、Urenco USA 濃縮施設に近いニューメキシコ州ホップスが建設予定地とされ、Urenco USA と劣化ウラン供給契約を締結していたが、Urenco USA 濃縮施設の拡張計画が先送りとなったことから、INIS 再転換施設の建設も見送られている。INIS 再転換施設の許認可では最大で約 3,400MT/年の UF<sub>6</sub> が処理可能とされ、その後の第 2 フェーズでは最大 9,800MT/年の処理能力に拡張される計画であった。INIS 再転換施設は、フッ素抽出設備を有し、AHF(無水フッ化水素)、SiF<sub>4</sub> 及び BF<sub>3</sub> が製品として生産され、発生する酸化劣化ウラン(DUO<sub>2</sub>)は基本的に LLW として処分が想定されている<sup>15,41,46</sup>。なお、2024 年 2 月に INIS 社は、劣化ウランの再転換に係る資産を 1,250 万ドルでアメリカンフューエル社に売却することを公表している<sup>47,48</sup>。

## 2) 実績

Urenco USA 濃縮施設の 2015 年時点の環境アセスメント(EA)に拠れば、Urenco USA 社の拡張前施設での劣化ウラン発生量は 7,800MT/年(627 シリンダ)とされている。Urenco USA 社は、劣化ウランは廃棄物ではなく再処理の価値が残る副生成物と見なしているが、濃縮施設の寿命を超えて保管することはなく、未処理の劣化ウランは最終的に転換施設に送られ、酸化ウランまたはウラン金属に転換される予定である。DOE のパデューカ及びパイクトンの転換施設は 1,600km 以上離れており、Urenco USA 施設の環境アセスメントでは、INIS での転換が想定されていた。前述のとおり、INIS の転換施設は NRC 許可は得たものの、建設されていない<sup>41,44,49</sup>。

なお、1970 年代半ば以降には再処理は行われていないため、回収ウラン・プルトニウムは発生していない。

---

<sup>e</sup> 正確には INIS 子会社の International Isotopes Fluoride Products 社が許認可保有者。

### 3.1.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

DOE の EIA は、米国の事業者のウラン市場における活動状況を毎年取りまとめ、「ウラン市場年次報告書」として公表している。本節では、2023 年版のウラン市場年次報告書に基づき、米国のウラン資源、転換、濃縮の調達状況について整理する。

#### (1) ウラン資源

表 3.1-1 は、2019 年から 2023 年の期間に、米国の民生用原子力発電炉の所有者及び運転者が国内外から調達したウランの量を  $U_3O_8$  換算でまとめたものである<sup>50</sup>。なお、表において”W”の表記は、当該データが非公表とされていることを表す。また、四捨五入のため合計値が個々の数値の合計と一致しない場合がある<sup>f</sup>。

表 3.1-1 米国の民生用原子力発電炉の所有者及び運転者が国内外から調達したウランの量(単位： $U_3O_8$ 換算、千 t)

国名	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
オーストラリア	8,504	5,597	6,712	3,620	10,605
ブラジル	0	0	0	0	0
ブルガリア	0	0	0	0	0
カナダ	10,172	10,976	6,908	11,100	13,162
中国	0	141	0	0	W
チェコ	0	0	0	0	0
ドイツ	W	0	0	0	0
ハンガリー	0	0	0	0	0
カザフスタン	8,760	10,828	16,557	10,019	10,622
マラウイ	0	239	60	W	W
ナミビア	2,450	2,517	3,214	W	1,546
ニジェール	998	2,050	1,773	W	1,418
ポルトガル	0	0	0	0	0
ロシア	7,365	8,064	6,314	4,781	6,042
南アフリカ	0	0	1	W	W
ウクライナ	0	0	0	0	0
英国	0	666	0	0	0
ウズベキスタン	4,365	3,940	2,499	4,438	4,887
不明	W	100	225	-	-
国外からの調達の の小計	W	45,367	44,263	38,467	49,239

<sup>f</sup> 「ウラン市場年次報告書」では、個別企業の情報が特定されることを防止するために、一部の情報は非公表とされている。

米国	W	3,567	2,474	2,052	2,386
総計	48,328	48,934	46,736	40,519	51,625

出所)DOE エネルギー情報局 “2023 Uranium Marketing Annual Report”(2024年6月6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

## (2) 転換

「ウラン市場年次報告書」で、米国の転換役務の調達先に関する情報は公表されていない。しかしながら、3.1.5 (2)でまとめているとおり、米国で現在転換を実施している施設は長期間操業が停止され2023年に操業を再開しているため、ほぼ全ての転換役務は米国外で実施されているものと考えられる。

## (3) 濃縮

表 3.1-2 は、2019年から2023年の期間に、米国の民生用原子力発電炉の所有者及び運転者が国内外から調達した濃縮役務を分離作業量(SWU)を単位としてまとめたものである<sup>50</sup>。なお、表において“W”の表記は、当該データが非公表とされていることを表す。

表 3.1-2 2019年から2023年の期間に、米国の民生用原子力発電炉の所有者及び運転者が国内外から調達した濃縮役務(単位:千 SWU)

国名	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
中国	W	W	W	W	W
フランス	W	W	W	W	1,839
ドイツ	1,238	1,175	1,825	1,763	855
オランダ	1,367	1,885	1,583	1,303	1,217
ロシア	3,087	3,220	3,953	3,409	4,141
英国	1,262	1,218	2,366	1,593	1,021
欧州(国名非公開)	W	W	W	W	W
その他(国名非公開)	W	W	W	W	W
国外からの調達の合計	7,992	10,012	11,481	10,301	10,926
米国	5,289	4,132	2,736	3,876	4,313
総計	13,281	14,144	14,217	14,176	15,240

出所)DOE エネルギー情報局 “2023 Uranium Marketing Annual Report”(2024年6月6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

### 3.1.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

施設	
施設名称	White Mesa 製錬所
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ユタ州所在の米国で唯一稼働中の伝統的(conventional)ウラン製錬施設</li> <li>● La Sal, Pinyon Plain 鉱山等近隣の鉱山からのウラン粗鉱を製錬</li> <li>● 複数ラインにより様々な金属の処理が可能で、バナジウムやレアアース等の製錬も行っている</li> </ul>
技術	伝統的製錬法
能力	800 万ポンド(約 3,600t)／年以上
稼働状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操業中だが、2019 年以降はバナジウムやレアアース生産に傾注し、ウラン回収はゼロ～少量の生産に留まっている。(エナジー・フューエルズ社ウェブサイトで、White Mesa のウラン生産量は 2019 年までしか公表されていない)</li> </ul>
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1980 年にエナジー・フューエルズ・ニュークリア<sup>g</sup>社が建設した伝統的精錬所で、1980～2019 年の生産量は 17,000t と報告されている。</li> <li>● エナジー・フューエルズ社が 2012 年に Denison Mines 社から取得して以降は 600t 弱～400t レベルの生産量だったが、2015 年以降は市場環境悪化から生産は抑制されている。</li> <li>● 2021 年も出荷される量のウラン生産は行われず、レアアース生産の取組が中心となった。</li> </ul>
役務取引取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 市場低迷のため 2020～2021 年はウラン販売停止方針を採ったが、2022 年のウクライナ侵攻後は積極的に長期契約の交渉に入っている。</li> <li>● 2022 年 12 月には NNSA のウラン備蓄向け販売を 18.5 百万ドル<sup>h</sup>受注しており、MTW 転換施設で保有の在庫から供給される予</li> </ul>

<sup>g</sup> 米国の代表的なウラン生産事業者だったが、現エナジー・フューエルズ社と名称は似ているものの無関係の別会社。

<sup>h</sup> Uranium Energy 社が発表した受注単価(59.5 ドル／ポンド)から計算すると、約 300 千ポンド

		<p>定(3.1.2 (1)2)参照)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ウラン市場低迷期には、ウランのスポット購入により生産を抑制する対応も</li> </ul>
事業主体		
	事業者名称	エナジー・フューエルズ・リソーシズ社(EFRC)
	事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EFRC は、カナダのウラン・バナジウム鉱山開発会社 VME 社<sup>i</sup>が2006年に買収して100%子会社とした米国法人</li> <li>● エナジー・フューエルズ社は、その後 M&amp;A 等を経て拡大し、2012年にはカナダの Denison Mines 社の White Mesa を含む米国資産を取得し、翌年には NYSE 上場等主要ウラン生産事業者の1つとなった。</li> <li>● 2019年にはバナジウム生産再開、2020年にはレアアース生産開始等、コアの製錬事業をウラン以外に広げている。</li> </ul>
	資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NYSE American(シンボル:UUUU)及びトロント証券取引所(TSX)(シンボル:EFR)上場</li> <li>● 直近の経営状況は、生産抑制によりコスト削減を図るも、減損処理も重なる等赤字状態が続いており、2021年にはユタ州・コロラド州の非中核ウランプロジェクトをコンソリデーテッド・ウラニウム社(CUR)社に売却した。</li> </ul>
	政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 政府との資本関係や特別な支援プログラムは、ウェブサイトを確認した範囲ではない</li> <li>● 2022年12月にDOEのウラン備蓄向けに18.5百万ドルの契約を受注(3.1.2 (1)2)参照)</li> </ul>
	今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ウラン生産については、長期契約獲得をにらみながら生産拡大ができるよう準備を継続する方針</li> <li>● 会社全体としては、レアアース事業で優位性を活かし、拡充の方針</li> <li>● DOE 向けのウラン備蓄事業を2025年以降も引き続き進める方針</li> </ul>

施設	
施設名称	Lost Creek ウラン採鉱施設

<sup>i</sup> Volcanic Metals Exploration Inc.で、トロントのベンチャー市場上場のカナダ企業。2006年1月にEFRCを取得した後、6月にVMEからエナジー・フューエルズ社(Energy Fuels Inc.)へと名称変更した。

施設概要	ワイオミング州のウラン採鉱施設
技術	In-Situ Leaching 法
能力	220 万ポンド(約 1,000t)／年 ※Lost Creek は周辺区域も含めた複数プロジェクトの複合体であり、上記はその合計能力(Lost Creek プロジェクト単体の能力は 120 万ポンド(約 544t)／年)
稼働状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操業中(全 12 ユニットが計画されている施設で、2023 年迄は最初の 2 ユニットのみが操業)</li> <li>● 鉱山ユニットの新たな許可を取得するなどして増産予定</li> </ul>
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2013 年に操業開始</li> <li>● 2013～2023 年に 280 万ポンド(約 1,270t)の U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>を生産</li> <li>● 2023 年の生産量は約 10 万ポンド(約 45t)(2023 年のウラン販売は 28 万ポンド(約 127t))</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生産されたウランは電気事業者等に販売されてきたが、ウランの購入も行われている</li> <li>● ロシアのウクライナ侵攻後、2022 年 4 月には米電気事業者向けの 20 万ポンド(約 91t)／年の 6 年契約を獲得</li> <li>● 2022 年 12 月には、30 万ポンド(約 136t)／年の 5 年契約、及び NNSA のウラン備蓄向けに 10 万ポンド(約 45t)販売を受注</li> <li>● 2023 年 1 月、10 万ポンド(約 45t)を NNSA のウラン備蓄向けに販売、</li> <li>● ウラン備蓄向け販売は、転換施設で保有の 32 万ポンド(約 145t)の在庫から供給</li> </ul>
事業主体	
事業者名称	Lost Creek ISR 社(Ur-エナジー社の 100%子会社)
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2004 年にカナダで設立されたウランの探鉱・鉱山開発・生産企業。</li> <li>● 米国では 100%子会社の Ur-エナジー USA 社(コロラド州)及びその子会社 3 社(Lost Creek ISR 社(ワイオミング州)等)を通じてワイオミング州でウラン鉱山を開発・操業。</li> <li>● ウラン生産企業としては新興となるが、操業コストは約 16 ドル/ポンドで、低コスト生産者と評価されている。</li> </ul>
資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NYSE American(シンボル:URG)及びトロント証券取引所(TSX)(シンボル:URE)上場</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 直近の経営状況は、生産抑制によりコスト削減を図るも 2019 年以降連続して赤字状態だが、2022 年に複数の長期契約、DOE のウラン備蓄の受注成功が発表されている。</li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 政府との資本関係や特別な支援プログラムは、Ur-エナジー社ウェブサイトで確認した範囲ではない</li> <li>● 2022 年 12 月に DOE のウラン備蓄向けに 10 万ポンド(約 45t)の契約を受注、すでに納入も開始</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ウラン市場の好転をにらみ、Lost Creek 鉱山における生産能力拡充を図る方針</li> </ul>

施設	
施設名称	Crow Butte ウラン採鉱施設
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ネブラスカ州初のウラン採鉱施設で、1986 年に Wyoming Fuel 社によって開発され、その後 1994 年に Ferret Exploration 社、1995～2000 年にかけて Cameco 社によって買収されている。(2000 年に Cameco100% 子会社となる前は、韓国電力 (KEPCO) が 10% を保有していた)</li> </ul>
技術	In-Situ Leaching 法
能力	200 万ポンド(約 907t)／年
稼働状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 操業停止中</li> <li>● ウラン市場低迷により、2016 年 4 月に、Crow Butte を含む米国における操業縮小、新規ウラン井掘削中止が決定され、2018 年には生産量がゼロとなり、操業が停止されている。</li> </ul>
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1991 年に操業開始</li> <li>● Cameco 社が 100% 取得した 2000 年以降に 11.8 百万ポンド(約 5,350t)の <math>U_3O_8</math> を生産</li> <li>● 2006 年には全米ウラン生産量の約 18% となる 700 千ポンド(約 320t)以上を生産していた</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生産されたウランは Cameco 社の取引ウランの一部として米国電気事業者向けに販売されていたと考えられるが、詳細は不明</li> </ul>
事業主体	
事業者名称	Crow Butte Resources(CBR)社(Cameco 社の 100% 子会社)
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cameco 社は、1988 年にカナダで王立企業 2 社の合併により設</li> </ul>

	<p>立された世界トップクラスのウラン生産企業。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Crow Butte 施設を直接保有し、NRC 許認可を保有するのは 100%子会社の米国法人である CBR 社</li> <li>● CBR 社は 1994 年に Crow Butte 鉱山を取得した Ferret Exploration Nebraska 社が後に CBR に名称変更し、その後 Cameco 社の子会社となったもの。</li> </ul> <p>※以下は全て Cameco 社について記載</p>
資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● トロント証券取引所 (TSX) (シンボル:CCO) 及び NYSE American(シンボル:CCJ) 上場</li> <li>● 2023 年度決算では、販売量の増加やウラン・燃料サービスにおける価格の上昇により純利益等が前年度の倍以上に</li> <li>● 2024 年から WH 社への投資による利益が計上</li> <li>● S&amp;P 格付けでは、無担保社債 BBB-</li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 王立企業としてスタートしたが、1991 年に政府株式売却によりトロント市場に上場し、2002 年には全ての政府株式が売却されている。</li> <li>● 元株主であり、Cameco 社の本社が所在するサスカチュワン州は 1 株のクラス B 株式を保有しており、同州外に本社を移転する提案についてのみ投票権を有している。</li> <li>● 米国政府との特別な関係は、年次報告書等で確認する限りない。</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 気候変動対応等で堅調な需要が見込まれる原子力発電、不確実性を増したウラン供給等市場環境が変化する中で、燃料サイクル全体で強みを持ち、生産能力維持を図ってきた同社には好機と評価</li> <li>● ウラン市場のリスクは供給側から需要側に転じたとして、長期契約確保を進めながら生産回復を見込む</li> <li>● 柔軟性を確保しながら操業準備体制を整え、市場・契約状況に応じて増産を図る</li> </ul>

## (2) 転換

米国における転換施設は下記のメトロポリス・ワークス 1 カ所のみであり、操業を停止していたものの 2023 年に再開されている。

施設
----

施設名称	メトロポリス・ワークス(MTW、Metropolis Works)
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
技術	フッ化物揮発法
能力	7,000tU/年(2017年に15,000tU/年から縮小したが、需要に応じて復帰可能)
稼働状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国内転換需要の低迷から2017年11月から停止した。</li> <li>● 2023年7月に操業再開。なお再開前、安全機器の不具合でNRCの特別検査を受けた(Cameco社2023年次報告書による)。</li> <li>● NRC許認可は2060年3月まで40年間延長されている。</li> </ul>
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1958年に建設され、1959年からAECとの契約でUF<sub>6</sub>生産が開始された。</li> <li>● AEC契約の終了後の1964年に停止したが、1968年から商業転換サービスを開始し、これまでに500千tU以上のUF<sub>6</sub>を供給</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コンバーダイン(Converdyn)社が生産されたUF<sub>6</sub>の独占販売権を持つ。</li> <li>● 契約の多くは委託生産(toll processing)方式によっており、顧客指定の濃縮施設に輸送する。</li> <li>● MTWは世界的なウラン取引プラットフォームともなっており、1.3億ポンド(約59,000t)のU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>が取引されている。MTWでは世界のほとんどのウラン鉱山からウランを受け入れている。</li> </ul>
事業主体	
事業者名称	ハネウェル(所有者、操業者) コンバーダイン(UF <sub>6</sub> 販売)
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ハネウェル社は、航空宇宙向け、業務・産業向け制御技術等、技術により産業ソリューションを提供するコングロマリットで、フォーチュン100にリストされる企業である。</li> <li>● 1958年に建設された転換施設等原子力関連の施設は、ハネウェル社の前身の1つであるアライド・ケミカル(Allied Chemical)社の事業が継承されたもの。バーンウェル再処理施設もアライド社の合併企業が手がけていた。</li> <li>● コンバーダイン社は、ハネウェル社とゼネラル・アトミック(GA)社の折半出資により1992年に設立され、MTWの製品の排他的販売権を有する。</li> </ul>

資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Nasdaq 上場(シンボル:HON)</li> <li>● フォーチュン 100 企業であり、大手格付け機関による見通しは安定 (Stable)、長期信用格付けは A (S&amp;P、フィッチ) ~ A2 (Moody's)</li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● MTW は、当初は連邦政府(AEC)との契約役務を実施する施設として建設されたが、現在は民間向け事業であり、年次報告書でも原子力関連の政府との特別な関係への言及は確認できない。</li> <li>● 米国内で唯一の転換施設という特性からと考えられるが、新たなウラン備蓄では MTW が受け渡しサイトとして指定され、転換役務も発注されている。</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● MTW は、米国内唯一の転換施設として、2023 年フル操業を目指して再開準備中である。</li> <li>● 企業としてのハネウェル社は、技術革新を軸に ESG(環境・社会・ガバナンス)パフォーマンス進展を掲げているが、転換施設を含む原子力事業の比率は低く、年次報告書でも言及はされていない。</li> </ul>

### (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 カ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他、GLE 社が DOE との契約により劣化ウラン濃縮施設の建設を進める予定である。なお、AREVA 社のイーグル・ロック濃縮施設についても 2011 年に NRC の許認可が発給されたが、2015 年に AREVA 社の申入れにより許可は終了している。

以下、Urenco USA 施設と ACP について整理する。

施設	
施設名称	Urenco USA 施設 ※当初名称は「国家濃縮施設」(NEF: National Enrichment Facility)
施設概要	Urenco 社の米国子会社のルイジアナ・エナジー・サービス(LES)社がニューメキシコ州で保有・操業する濃縮施設で、現在米国で商業運転中の唯一のウラン濃縮施設
技術	ガス遠心分離法
能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 4.4 百万 SWU/年</li> <li>➢ 2012 年に 3 百万から 10 百万 SWU/年までの増強が申</li> </ul>

		請され 2015 年に承認されたが、市場環境悪化から増設は第 3 段階で停止されている
稼働状況		稼働中
稼働実績		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2009 年末に最初のカスケードで施設の操業を開始し、2015 年 12 月にはフル能力で操業を開始</li> <li>● 濃縮ウランの生産は 2010 年 6 月から始まり、2012 年 3 月に最初の出荷が行われた</li> <li>● 現在は 64 カスケードで約 4.9 百万 SWU/年を生産(全米需要の 1/3)</li> </ul>
役務取引 取組方針		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Urenco USA は、米国 LEU 需要の約 1/3 を生産する唯一の濃縮施設であり、基本的に米国電気事業者から濃縮役務を受注し、米国内燃料加工施設に出荷していると考えられるが、詳細は不明。</li> <li>● Urenco 社全体の売上の過半が北米向けであることを考えても、Urenco USA の濃縮役務の顧客は米国/北米電気事業者と考えられる。なお、表 3.1-2 によれば米国の民生用原子力発電炉の所有者及び運転者が米国から調達した 2023 年の濃縮役務は 4.3 百万 SWU なので、概ね Urenco USA 施設の年間生産容量と合致している。</li> <li>● 2023 年 3 月、Urenco USA 施設で製造した濃縮ウランをウルトラセーフニュークリア社(USNC)のマイクロ炉のために供給することを公表、初回納品は 2025 年を予定</li> </ul>
事業主体		
事業者名称		ルイジアナ・エナジー・サービス(LES)社(Urenco USA として活動)
事業者概要		<ul style="list-style-type: none"> <li>● LES 社は Urenco 社(Urenco Limited)グループが 100%保有する米国法人で、Urenco USA 施設の許認可保有者であるが、現在は Urenco USA として活動している<sup>j</sup>。</li> <li>● 当初はルイジアナ州での濃縮施設建設が計画されたため LES 社の名称となったが、Urenco USA 施設所在のニューメキシコ州を本拠としている。</li> </ul>
資本関係 経営状況		● LES 社は、Urenco USA, Inc.及び Urenco USA Holdings Ltd.を通じて Urenco 社(Urenco Limited)が 100%保有して

<sup>j</sup> 従って、本章では、特に峻別する必要がある場合を除き LES 社を Urenco USA 社として記述している。

	<p>いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Urenco 社株式は英・蘭政府、及び独電力会社<sup>k</sup>が各々1/3 を保有している。</li> <li>● Urenco 社の信用格付けは以下のとおり Moody's: Baa1(2024年10月) S&amp;P : A-(2023年6月)</li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国政府との特別な関係は、年次報告書等で確認する限りない。</li> <li>● なお、LES 社は DOE によって、HALEU 製造のための濃縮役務提供者として選定されている(3.1.2 (2)4)b 参照)</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● コア事業の濃縮サービスが今後も鍵だが、補完するものとして先進燃料等への取組も実施</li> <li>● ウクライナ侵攻等に対応して戦略を調整しており、能力増強も評価中だが、増強投資には顧客との長期契約が必要との基本的立場</li> <li>● まずはフル操業での対応と、在庫による供給を 2022 年 3 月から実施している</li> <li>● 2024 年 12 月には、最高 10%濃縮のウランを生産する許可の承認を NRC より受けており、米国既設炉の運転サイクル長期化への貢献などを目指す。</li> </ul>

施設	
施設名称	American 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、実証段階であるが米国で唯一 HALEU 製造を実施
技術	ガス遠心分離法
能力	2023 年 11 月に 20kg を DOE に納品、2024 年は年間 900kg の製造を見込む
稼働状況	実証製造を実施中
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2014 年から 2016 年にかけて低濃縮ウラン製造の実証に成功</li> <li>● 2023 年、DOE との契約により HALEU の製造を実施</li> </ul>
役務取引 取組方針	DOE との契約を履行するために HALEU 製造を継続すると思われるが、2024 年 2 月に、DOE からのシリンダの納入が遅れるため製造量が減少すると公表

<sup>k</sup> 正確には、E.ON 子会社の PreussenElektra 社と RWE 電力社の合弁会社が株式を保有。

事業主体	
事業者名称	セントラス・エナジー社
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 前身は 1992 年エネルギー政策法に基づき設立された USEC であり、連邦政府が実施していたウラン濃縮事業を承継</li> <li>● USEC は破産し、セントラス・エナジー社と改名して事業を再開</li> </ul>
資本関係 経営状況	● NYSE American(シンボル:LEU) 上場
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 前身は政府事業を承継した USEC</li> <li>● 連邦政府から HALEU の製造の発注を受ける</li> </ul>
今後の方針・戦略	● DOE との契約による実証製造を通じて、将来的には HALEU を使用する SMR 等の燃料製造を実施する方針

#### (4) 再転換

図 3.1-3 は、NRC のウェブサイトに掲載されている典型的な軽水炉用燃料製造施設のフロー図である。図では、 $UF_6$  を  $UO_2$  に再転換する工程も含めて、燃料製造として整理されている<sup>51</sup>。(6)で燃料加工施設として取り上げる GNF Wilmington 燃料加工施設、WH 社の Columbia 燃料加工施設、及びフラマトム社の Richland 燃料加工施設の許認可に関連して NRC に提出された文書でも、これらの燃料加工施設で実施されるプロセスに低濃縮  $UF_6$  の受領と  $UF_6$  の  $UO_2$  粉末への転換が含まれている<sup>52,53,54</sup>。

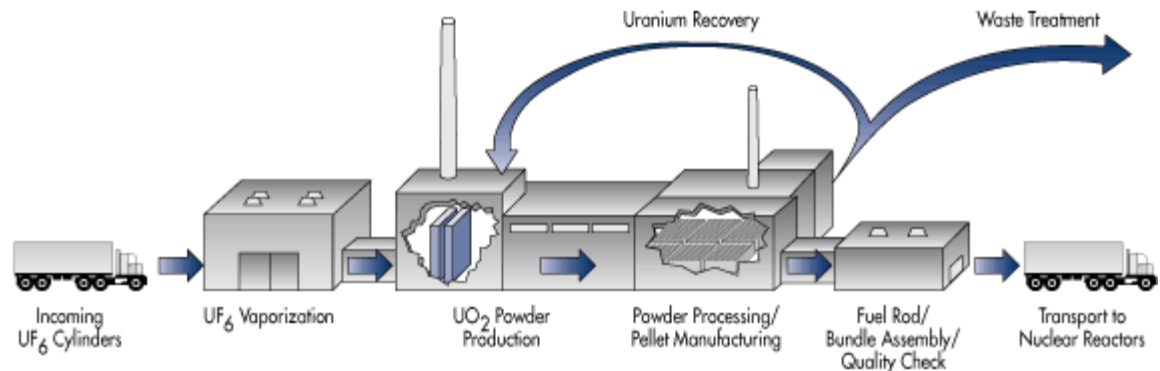


図 3.1-3 NRC ウェブサイトの典型的な軽水炉用燃料製造施設のフロー図

出所)NRC “Fuel Fabrication”(2025 年 1 月 31 日閲覧)より引用

このように、米国では再転換は燃料製造の一環として整理されている模様であり、IAEA の核燃料サイクル施設データベース(INFCIS)で、米国で「 $UO_2$  粉末への再転換」(Re-conversion to  $UO_2$  Powder)を実施している 3 施設(Barnwell、Paducah 及び Portsmouth)はいずれも、劣化  $UF_6$  の再転換施設である<sup>55</sup>。

## (5) 再処理

米国では現在、商用再処理は実施されていない。以前の実施実績は 3.1.3 (2)で整理している。

## (6) 燃料加工

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

なお、MOX 燃料加工について、冷戦終結を背景に米口間で 2000 年に締結された核軍縮の取り組みである米ロプルトニウム管理・処分協定(PMDA)の規定に基づき、米口はそれぞれに余剰プルトニウム 34t の処分を行うと決定した。米国では 2002 年にはプルトニウムの処分方法として MOX 燃料として商業炉で燃焼し処分するオプションが採用され、DOE サバンナリバー・サイト(SRS、サウスカロライナ州)で 2007 年に MOX 燃料製造施設(MFFF)の建設が開始された。しかしながら工期遅延とコスト超過により MFFF 建設は断念された。このため現在米国に、MOX 燃料加工施設は存在しない<sup>15)</sup>。

施設	
施設名称	GNF Wilmington 燃料加工施設
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ゼネラル・エレクトリック(GE)社が 1960 年代から操業するノースカロライナ州所在の燃料加工施設で、GE グループ BWR 向けの燃料等を製造</li> <li>● 現在はグローバル・ニュークリア・フュエル(GNF)社が受け継ぎ、GNF2、GNF3 等の燃料を製造している。</li> </ul>
技術	—
能力	● 1,200tHM/年
稼働状況	● 稼働中
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1969 年 1 月に AEC から許認可が発給され、程なく燃料製造が開始された</li> <li>● NRC 許認可は、2009 年に 40 年間更新され、2049 年 5 月まで有効。</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GNF 社は日本に工場を有している他、スペインで JV により燃料製造を行っており、Wilmington 工場で生産された燃料は、基本的に米国電気事業者向けと考えられるが、詳細は不明</li> <li>● GE グループで発電設備の製造等を行う GE ベルノバは 2025 年 1 月、Wilmington 工場に 5,000 万ドル以上を投じて GEH 社が開発を進める SMR である BWRX-300 の燃料設計や生産性の向上などを行う計画を公表</li> </ul>
事業主体	
事業者名称	GNF- Americas 社

事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GNF America 社は、GE 社が主導する日立との合弁会社 GNF ホールディング社の 100%子会社で、米国 Wilmington で燃料加工施設を保有、操業する。</li> <li>● GNF ホールディング社は、GNF-Americas 社の他に GNF ジャパンを保有する持ち株会社で、その管理会社として GNF 社がある。</li> </ul>
資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GNF America 社を 100%保有する GNF ホールディング社は、GE 社が 60%、日立製作所が 40%を出資。 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 2017 年までは東芝が 14%出資していたが、日立に移転</li> </ul> </li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国政府との特別な関係は、年次報告書等で確認する限りない。</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● GNF ウェブページでは今後の方針・戦略として明記された情報は確認できないが、GNF3 等 BWR 向け燃料について経済性を含めた性能向上を図る他、先進燃料への取組も行われている。</li> <li>● 2022 年 10 月には、テラパワー社と Natrium 燃料工場建設で合意する等、GNF 社と GE 日立ニュークリアエナジー(GEH)社は 5 年間で約 500 人の増員を図る計画</li> </ul>

施設	
施設名称	ウェスティングハウス Columbia 燃料加工施設
施設概要	WH 社が 1969 年から操業するサウスカロライナ州所在の燃料加工施設で、同社の PWR 向け燃料等を生産。
技術	—
能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>● INFCIS では 1,350tHM/年、WNA では 1,500tHM/年とされている。</li> </ul>
稼働状況	稼働中
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1969 年以來の生産量等は確認できていないが、2021 年には米国内発電所に約 2,500 体の燃料集合体が出荷されている。</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● WH 社は欧州にも燃料加工施設を有しており、Columbia 工場は基本的に米国電気事業者向けの燃料加工と考えられるが、取引や取組方針の詳細は不明</li> <li>● WNA によれば、PWR、BWR 両方の炉型の燃料を製造</li> <li>● Columbia 工場は、2022 年 9 月に NRC から 40 年間の許認可</li> </ul>

		更新を承認されているが、近年は相当額の設備改善投資が行われており、長期に操業継続の予定
事業主体		
事業者名称	WH 社	
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● WH 社は PWR のトップベンダーであり、米国原子力発電炉の 6 割が同社 PWR とされている。</li> <li>● 原子力産業界きっての知的財産権、技術者等を擁するトップクラスの企業といえる</li> </ul>	
資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● WH 社については、2022 年 10 月に、ブルックフィールド・リニューアブル(BR)社と Cameco 社のコンソーシアムが、WH 社取得に合意、手続きは 2023 年 11 月に完了</li> <li>● 出資比率は BR 社グループが 51%、Cameco 社が 49%</li> <li>● 2018 年に経営破綻の WH 社を取得した投資会社は、積極的な投資、経営改善に取り組み、収益力は 4 年間で倍増したとしている</li> </ul>	
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国政府と資本関係や法律による特別な関係はないが<sup>1</sup>、米国では軍事活動起源の DOE サイト修復を含め、政府発注の活動が多いことから、2017 年にワシントン DC の政府サービス事務所を再開している。</li> </ul>	
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● WH 社は、BR 社と Cameco 社による買収は、BR 社の再生可能エネルギーやエネルギー貯蔵等、及び Cameco 社のフロントエンド分野の能力が加わることで、WH 社のプレゼンス強化に繋がると歓迎している</li> </ul>	

施設		
施設名称	Richland 燃料加工施設	
施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DOE のワシントン州 Hanford サイトに隣接して Jersey Nuclear 社(後に Exxon Nuclear)が 1969 年に操業を開始した燃料加工施設</li> <li>● 運営者は、その後シーメンスに変わり、AREVA 再編等名称は変遷したが、PWR/BWR の 10 種を超える多様な燃料を製造し、最も柔軟性ある燃料加工施設といわれている</li> </ul>	

<sup>1</sup> WH 社ウェブサイト([www.westinghousenuclear.com](http://www.westinghousenuclear.com))で確認

技術	—
能力	● 700tHM/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	● 1969 年に操業を開始し、2019 年に 50 周年を迎えた時点で 60,000 体以上の燃料集合体を製造
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 同社ウェブサイト等では Richland 工場に限定した取引情報等は確認できないが、フラマトム社全体として燃料設計から製造にわたる技術力、体制を備えていることが強みとして示されている。</li> <li>● ニュースケール社の小型モジュール炉(SMR)VOYGR 向けの燃料、及び燃料取扱い機器等もフラマトム社が受注している</li> <li>● 2021 年 11 月には米国で初めて事故耐性燃料(ATF)100%の燃料集合体を納入した。</li> <li>● 濃縮度最高 20%の HALEU を製造するために NRC と協議を開始</li> </ul>

#### 事業主体

事業者名称	フラマトム社(Framatome, Inc.)
事業者概要	● フラマトム社(Framatome, Inc.)はフランスのフラマトム SAS の 100%子会社の米国法人
資本関係 経営状況	● 2018 年に AREVA 社の組織変更により AREVA, Inc.社から社名が変更された
政府との関係	● 米国政府との資本関係や法律による特別な関係は年次報告書等で確認する限りない <sup>m</sup>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 同社ウェブサイトでは、燃料加工に係る今後の方針・戦略として明確に示された情報は確認できないが、フラマトム社は、全軽水炉設計向けの燃料をカバーし、燃料設計から製造にわたる技術力、体制を備えていることが強みとして示されている。</li> <li>● 2023 年に USNC と、JV を組成し商用規模で TRISO 燃料用の粒子を製造するための拘束力のない取決めを締結</li> </ul>

#### 施設

施設名称	リンチバーグ燃料加工施設
------	--------------

<sup>m</sup> フラマトム社ウェブサイト([www.framatome.com](http://www.framatome.com))で確認

施設概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アイダホ国立研究所(INL)との契約により、TRISO 燃料を製造</li> <li>● また、INL との契約により、NNSA から供給される高濃縮ウラン在庫をダウンブレードして HALEU を製造する予定</li> </ul>
技術	—
能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>● INFCIS では 400tHM/年とされている。</li> <li>● BWXT 社のウェブサイトで、TRISO 燃料の年間生産量は 100kg とされている。</li> </ul>
稼働状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 稼働中</li> </ul>
稼働実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>● INFCIS によれば、操業開始は 1982 年</li> <li>● TRISO 燃料は 2020 年に製造開始</li> </ul>
役務取引 取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自社が開発を進めているマイクロ炉や、国防総省が進めている原子炉開発プロジェクト「プロジェクト・ペレ」のために TRISO 燃料を製造</li> </ul>
事業主体	
事業者名称	BWXT 社
事業者概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 海軍の潜水艦や航空母艦の原子炉部品の製造、商用原子炉のための原子炉部品や燃料の製造などを実施</li> </ul>
資本関係 経営状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NYSE American(シンボル:BWXT) 上場。</li> </ul>
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国の政府からの受注は多いものの、出資を受ける等の関係はない模様。</li> </ul>
今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● カナダのオンタリオ州に建設する GEH 社製 BWRX-300 の RPV 製造を受注するなど、SMR の資機材製造にも積極的に取り組んでいく方針と考えられる。</li> </ul>

## (7) 燃料輸送

米国で燃料輸送の実績のある会社として、Secured Transportation Services(STS)社がある。同社は、ウェブサイトによれば「北米における使用済燃料輸送ソリューションの主導的提供者」とのことである<sup>56</sup>。同社は主要なプロジェクトとして、NNSA の委託によるペルーからの米国起源燃料の返送や、ロードアイランド核科学センターから連邦政府施設への使用済燃料輸送を挙げている<sup>57</sup>。また OranoUSA 社も、米国で燃料等の輸送事業を実施している<sup>58</sup>。なお、国際原子力輸送協会(WNTI)には米国から、ALARA ロジスティクス社、American Bureau of Shipping(ABS)、セントラス・エナジー社、コンバーダイン社((2)参照)、エナジーソリューション社、WH 社が加入している<sup>59</sup>。

## (8) 使用済燃料貯蔵

米国では、1982年放射性廃棄物政策法(NWPA)により、連邦政府(具体的にはDOE)が1998年以降に民間の原子力発電事業者から使用済燃料を引き取ることが規定されているが、ネバダ州ユッカマウンテンを候補地として進めてきた処分場建設が停止状態にあるためDOEは使用済燃料引取義務を果たせずにおり、各事業者が発電所内の独立使用済燃料貯蔵施設(ISFSI)で乾式貯蔵を行っている。このため貯蔵施設の数是非常に多く、また態様も、基本的には発電事業者によるサイト内での乾式貯蔵と共通である<sup>6</sup>。

なお、イリノイ州 Morris の ISFSI は、表中で唯一の湿式貯蔵施設となるが、これは GE 社が 1960～70 年代に建設を進めていた中西部燃料回収施設(MFRP:Midwest Fuel Recovery Plant)の計画が途中で断念され、すでに貯蔵が開始されていた使用済燃料等のための貯蔵施設として続いているものである<sup>1</sup>。

その他、民間の集中中間貯蔵施設プロジェクトとして、ユタ州スカルバレーで計画された中間貯蔵施設が NRC の許認可発給も受けていたが、先住民族や州等の反対もあって遅延する中で、サイト内中間貯蔵のための費用は DOE から賠償金として得られることが確定して事業者側の中間貯蔵施設建設の必要性も減り、最終的に計画は断念された。また、現在テキサス州とニューメキシコ州の 2 カ所で民間の中間貯蔵施設プロジェクトが進行中で、テキサス州プロジェクトでは NRC 許認可も発給済であるが、両件とも連邦政府による貯蔵を想定した施設であり、建設の具体的な予定は立っていない<sup>5,6</sup>。

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

米国ではネバダ州ユッカマウンテン・サイトが処分場候補サイトとされ、2008年からNRCで処分場建設・操業の許認可審査が行われているが、オバマ政権がユッカマウンテン計画廃止方針を決定した後、許認可審査のための予算も計上されず計画は停止状態にあり、米国には使用済燃料、HLWの処分施設は存在しない<sup>6</sup>。

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

米国における回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績は、3.1.3 (2)に整理したが、米国では現在、回収ウラン及びプルトニウムは発生していないため、それらの管理や処分を行う施設はない。また、ウラン濃縮事業を行っている Urenco USA 社は、劣化ウランは廃棄物ではなく再処理の価値が残る副生成物と見なしているが、濃縮施設の寿命を超えて保管することはなく、未処理の劣化ウランは最終的に転換施設に送られ、酸化ウランまたはウラン金属に転換される予定である<sup>46</sup>。しかしながら劣化ウランの転換はまだ実施されておらず、管理や処分を行う施設はない。

### 3.1.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

米国で、連邦レベルにおける原子力・核燃料サイクル関連の研究開発を中心的に担っているのは DOE の原子力局である。以下、バイデン政権下において 2024 年 3 月付で公表された 2025 年度の DOE の予算教書に基づき、DOE の原子力局における研究開発の概要を整理する。なお、2025 年度(2024 年 10 月～2025 年 9 月)の歳出法は成立しておらず、2025 年 3 月 14 日まで現状と同水準

の支出を維持することを原則として認めるつなぎ予算が成立している<sup>60</sup>。また、2025年1月末時点で、第2期トランプ政権の予算教書は公表されていない。

表 3.1-3 は、2025年度のDOEの予算教書で整理されている原子力局の2023～2025年度の予算及び予算要求額である<sup>61</sup>。

表 3.1-3 原子力局の2023～2025年度の予算及び予算要求額(単位:千ドル)

	2023年度 予算	2024年度 予算※ <sup>1</sup>	2025年度 予算要求
原子力大学プログラム等	130,276	130,276	143,400
原子炉コンセプト研究・開発・実証	279,872	279,872	88,300
先進的 SMR RD&D	164,400	164,400	0
軽水炉サステナビリティ	44,400	44,400	35,000
先進炉技術	59,072	59,072	43,800
統合エネルギーシステム	12,000	12,000	9,500
核燃料サイクル研究開発	404,900	404,900	446,690
採掘、転換及び輸送	2,000	2,000	2,000
物質の回収及び廃棄物フォーム開発	44,500	44,500	38,500
事故耐性燃料	96,000	96,000	97,900
核燃料サイクル炉心 R&D	15,000	15,000	15,000
次世代燃料	47,400	47,400	43,290
先進核燃料入手可能性	100,000	100,000	150,000
使用済燃料処分 R&D	47,000	47,000	47,000
統合廃棄物管理システム	53,000	53,000	53,000
原子力を可能にする(enabling)技術	88,413	88,413	105,100
先進的材料及び製造技術	9,610	9,610	23,000
先進的センサー及び計装機器	6,500	6,500	9,000
原子力先進的モデリング及びシミュレーション	27,500	27,500	28,600
原子力科学ユーザー施設	34,750	34,750	34,500
原子力における加速されたイノベーションのためのゲートウェイ(GAIN)	10,053	10,053	10,000
先進炉実証プログラム(ARDP)	288,315	288,315	218,248
国家原子炉イノベーションセンター	67,000	67,000	31,000
ARDP 実証原子炉	60,000	60,000	0
将来の実証のためのリスク削減	120,000	120,000	142,500
規制開発	12,065	12,065	15,000
先進炉の保障措置とセキュリティ	9,250	9,250	11,000
23-E-200, LOTUS※ <sup>2</sup>	20,000	20,000	18,748
インフラ	346,224	346,224	333,922

	2023 年度 予算	2024 年度 予算※1	2025 年度 予算要求
アイダホサイトの保障措置とセキュリティ	150,000	150,000	150,000
国際原子力協力	3,320	3,320	8,000
プログラム管理	81,680	81,680	97,000
原子力局合計	1,773,000	1,773,000	1,590,660

太字はプログラム等の名称を示し、その下の通常のフォントで記載した名称はプログラム等の下で実施されるサブプログラムを示す。金額のうち、通常のフォントで記載したものは、プログラム等の予算（要求）額の内数であり、太字で記載したものは各プログラム等の合計額である。

※1:2024 年度歳出法がまだ制定されていないため、同年度予算には 2023 年度歳出法の配賦額と同額が計上されている。

※2:LOTUS は、「合衆国における運転及び試験のための研究所」の略であり、燃料に関する実験などを実施するためのインフラを提供するプログラムである。

出所)DOE “Department of Energy FY 2025 Congressional Justification Volume 4”(2024 年 3 月)

以下に、表 3.1-3 に記載されたプログラムを中心として、本調査に関わりの深い研究開発プログラム等について整理する。

## (1) 原子力・核燃料サイクル

### 1) 事故耐性燃料サブプログラム

事故耐性燃料サブプログラムは、民間企業とコストを共同負担して事故耐性燃料の研究開発を行い、1 種類又はそれ以上の軽水炉用燃料コンセプトの開発を支援するものである。本サブプログラムは、福島第一原子力発電所事故後、連邦議会の指示も踏まえ、原子力局が軽水炉の燃料サプライヤー、原子炉の所有・運転者、国立研究所、大学等と協力して進めている。本サブプログラムで開発される燃料により、運転サイクルを長期化し 1 サイクルを 18～24 カ月間とすることや、同量の燃料を使用してより多くの発電も可能になると考えられている。具体的な研究開発の対象には、被覆材、不純物を加えた (doped)UO<sub>2</sub> 燃料ペレット、高燃焼度や高濃縮燃料などがある<sup>61</sup>。

DOE の支援を受けて事故耐性燃料の開発を進めている企業には、フラマトム社、WH 社や GEH 社がある。フラマトム社は 2023 年 7 月に、名称は非公表の米国の原子力発電炉で、同社が産業界ではじめて製造した改良事故耐性燃料 (EATF) が最初の運転サイクルを完了したことを公表した。この燃料は、同社の Richland 燃料加工施設 (3.1.5 (6) 参照) で製造されたものである。燃料は、同社が DOE の資金を活用して実施している PROtect プログラムで開発された、176 本のクロムで被覆された燃料棒とクロミア強化ペレットで構成される鉛燃料集合体 (LFA) であり、原子力発電炉には 2021 年春に初回装荷された。この EATF 燃料は 2023 年春の定期点検時に取り出され検査されたが、2 年間の運転を経て技術の健全性が確認されている<sup>62</sup>。

WH 社は 2024 年 1 月に、25 本の照射済み事故耐性燃料棒を試験と検査のために INL に発送したことを公表した。同社が開発している燃料により、事故の可能性のある環境下における原子力発電所のレジリエンスや安全性の向上、運転サイクルを長期化し 1 サイクルを 18～24 カ月間とすることが可

能であるとされている。なお、WH 社は INL への発送前に、オークリッジ国立研究所(ORNL)にも照射済み事故耐性燃料棒を発送している。同社は燃料試験の実施は、燃料を世界の原子炉に展開するために NRC から承認を得るための重要なマイルストーンであると位置づけている。また、発送を受けた国立研究所は、データを NRC や DOE 原子力局といった米国の関係機関のほか、日本や韓国、西欧の規制機関や研究機関にも送ることとされている<sup>63</sup>。

GEH 社は 2024 年 5 月に、核燃料事業を実施している GNF 社が製造した高燃焼燃料棒を ORNL に対して、商業運転後の試験のために発送したことを公表した。この燃料は、名称は非公表の米国の原子力発電炉で 3 サイクル使用されたとのことである。また、燃料は GNF 社の Wilmington 燃料加工施設で製造されたものである(同施設について 3.1.5 (6)参照)。燃料を検証することで、GNF 社や DOE は、事故耐性燃料サブプログラムの主要目的の 1 つである高燃焼燃料に関する貴重な情報を得ることができる<sup>64</sup>。

## 2) 次世代燃料サブプログラム

表 3.1-3 で整理したとおり、本サブプログラムは DOE 原子力局における核燃料サイクル研究開発プログラムの一環として実施されている。本サブプログラムは、次世代燃料開発に対して資金的支援や研究所で実施する研究開発を通じて支援を行うものである。本サブプログラムは、複数の小規模で分散化された燃料開発の取組をまとめ上げて組成したものであり、共通的な目的として以下の点が挙げられている<sup>61</sup>。

- 長期間事故耐性を有する燃料のコンセプト
- 金属燃料
- 先進的 TRISO 燃料
- 熔融塩燃料

表 3.1-3 にあるように、2025 年度予算要求は前年度比で約 400 万ドル減少しているが、これは TRISO 燃料の品質保証に関するプログラムが完了に近づき、放射化実験といったコストの大きい活動が完了したためである<sup>61</sup>。

## 3) 先進核燃料入手可能性サブプログラム

表 3.1-3 で整理したとおり、本サブプログラムも核燃料サイクル研究開発プログラムの一環として実施されている。本サブプログラムは、米国で HALEU を使用する炉型の開発が進められているにもかかわらず国内にその商業供給業者がないことを踏まえ、DOE が有するウラン在庫を用いて少量の HALEU の製造や製造のための濃縮能力の構築を図ろうとするものである。具体的には、DOE が研究や開発、実証プログラムで HALEU を使用するために、DOE の超過ウラン在庫からウランの回収やダウンブレンディングを行う<sup>61</sup>。

表 3.1-3 にあるように、2025 年度予算要求で本サブプログラムには前年度比で 5,000 万ドル増の 1 億 5,000 万ドルが要求されている。DOE は予算を活用して、オハイオ州パイクトンで最低でも年間 900kg の HALEU 製造を継続して行うほか、サウスカロライナ州サバンナ・リバー・サイトにおけるウランの回収・ダウンブレンディングによる濃度 19.75%の HALEU 最大 240 万 t の製造などを行うこととしている<sup>61</sup>。

## (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

OECD/NEA は、加盟国の政府が 2050 年までにネットゼロを実現するために利用可能な道筋を検討するにあたって、SMR の技術が商業的実用化にいたるまでの進捗度合いを理解するための一助にするとの位置づけで、「SMR ダッシュボード」を発行しており、2023 年 3 月に第 1 巻、同年 7 月に第 2 巻が公表されている。「SMR ダッシュボード」では、SMR の炉型が中性子スペクトルや燃料の種類などで整理されている<sup>65</sup>。

「SMR ダッシュボード」で、米国に本拠を置く企業が開発している SMR で HALEU を使用する炉型として表 3.1-4 に示したものがある<sup>65</sup>。しかしながら、以下の中で最も開発が進んでいると考えられるテラパワー社のナトリウムも、NRC に対して建設許可申請を提出するにとどまっておき、また商用炉で使用する HALEU が入手可能になると見込まれる時期が遅れていることもあり、運転開始は現状では 2029 年第 4 四半期と想定されている<sup>66,67</sup>。また、オクロ社はオーロラの商業プラント初号機の運転開始を 2020 年代内と見込んでいる<sup>68</sup>。

表 3.1-4 「SMR ダッシュボード」に掲載された、米国に本拠を置く企業が開発している HALEU を使用する SMR

炉型の名称	開発企業	中性子スペクトル
ヘルメス	カイロスパワー社	熱中性子
オーロラ	オクロ社	高速中性子
ナトリウム	テラパワー社	高速中性子
MMR	USNC	熱中性子
eVinci	WH 社	熱中性子
XE-100	X エナジー社	熱中性子
BANR SMR	BWX テクノロジー社	熱中性子
プロジェクト・ペレ	BWX テクノロジー社	熱中性子
カレイドス	ラディアント社	熱中性子
ウェスティングハウス LFR	WH 社	高速中性子

出所)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition” (2023 年 7 月)に基  
づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

以下、「SMR ダッシュボード」に掲載されている米国の炉型のうち、高速炉であるオクロ社のオーロラ、テラパワー社の「ナトリウム」、及び WH 社のウェスティングハウス LFR について整理する。また、「ナトリウム」とともに ARDP の支援を受けている高温ガス炉の Xe-100 についても整理する<sup>65</sup>。

### 1) オーロラ

オーロラの開発を進めているオクロ社は、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、同氏は現在オクロ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。表 3.1-5 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>65</sup>。

表 3.1-5 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

出所)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition”(2023年7月)より引用

オーロラで使用する燃料について、オクロ社は 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オクロ社を、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 年にオクロ社は、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 をオクロ社が購入する可能性を検討することで合意している<sup>65</sup>。

## 2) 「ナトリウム」

テラパワー社は、GEH 社との共同開発で「ナトリウム」と命名されたナトリウム高速炉と溶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 でテラパワー社と 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>69,70</sup>。

「ナトリウム」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>70</sup>。表 3.1-6 は、「SMR ダッシュボード」で整理されている「ナトリウム」の主要諸元である<sup>65</sup>。

表 3.1-6 「ナトリウム」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

出所)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition”(2023年7月)より引用

「ナトリウム」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 社とテラパワー社は、GNF Wilmington 燃料加工施設(3.1.5 (6)参照)の既施設サイトに燃料加工施設を建設する契約を締結した。またテラパワー社は2023年7月に、セントラス社と2030年の「ナトリウム」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>65</sup>。

### 3) ウェスティングハウス LFR

WH 社は、ウラン酸化物又は MOX 燃料を使用する鉛冷却高速炉であるウェスティングハウス LFR の開発を進めている。ウェスティングハウス LFR 開発に関する取組は主として英国で進められており、英国政府が進めている先進モジュール炉(AMR)支援の支援対象に選定されている<sup>71</sup>。

ウェスティングハウス LFR でウラン燃料を用いる場合、WH 社は HALEU を使用することとしている。同社は2021年以降、英国政府の支援により、同国の国立原子力研究所(NNL)やマンチェスター大学と協力して、燃料の開発や試験を含む、LFR 燃料システムに関する研究開発を進めている。表 3.1-7 は、「SMR ダッシュボード」で整理されているウェスティングハウス LFR の主要諸元である<sup>65</sup>。

表 3.1-7 ウェスティングハウス LFR の主要諸元

熱出力(MWt)	950
出口温度(°C)	530(第1段階)、650(第2段階)
中性子スペクトラム	高速中性子
燃料の種類	短期的には、 $UO_2$ ペレット又は MOX を利用し、長期的にはウラン酸化物(UN)ペレットを使用
燃料	$UO_2$ ペレットには HALEU、MOX 燃料にはプルトニウム-ウラン酸化物を利用

出所)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition”(2023年7月)より引用

### 4) Xe-100

Xe-100 は、X エナジー社が開発を進めている高温ガス炉である。テラパワー社と同様に、X エナジー社も DOE の ARDP による支援を受けている。また X エナジー社は、IRA で規定された1億4,850万ドルの税額控除による支援も受けることになっている<sup>72</sup>。X エナジー社は、Xe-100 の実用化

において化学メーカー大手のダウ社と協力しており、2023 年 5 月には Xe-100 の建設地としてダウ社のテキサス州シードリフト・サイトが選定されている。表 3.1-8 は、「SMR ダッシュボード」で整理されている Xe-100 の主要諸元である<sup>65</sup>。

表 3.1-8 Xe-100 の主要諸元

熱出力(MWt)	200
出口温度(°C)	750
中性子スペクトラム	熱中性子
燃料の種類	TRISO-X ペブル
燃料	HALEU

出所)OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition”(2023 年 7 月)より引用

諸元にあるとおり、Xe-100 は TRISO-X ペブル燃料を使用する。X エナジー社は TRISO-X ペブル燃料の設計、製造及び許認可に関して、マサチューセッツ工科大学(MIT)、サージェント&ランディ社、セントラス社等と協力している。2022 年に X エナジー社は、TRISO-X ペブル燃料製造施設の立地場所としてテネシー州のオークリッジを選定した。この敷地は、以前は ORNL の所有地であったものである。X エナジー社は、2026 年にパイロット製造ラインにおける TRISO-X ペブル燃料の製造開始を予定している。なお、NRC は TRISO-X ペブル燃料の品質保証方法に関する報告書の審査を進めている<sup>65</sup>。

### (3) 放射性廃棄物管理

#### 1) 使用済燃料処分 R&D

DOE における核燃料サイクル研究開発プログラムの使用済燃料処分 R&D サブプログラムは、使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の長期貯蔵、輸送及び処分を可能とするための科学研究と技術開発を行うものである。本サブプログラムは、使用済燃料や高レベル放射性廃棄物の処分経路には中立的な(disposition-path-neutral)管理システムやオプションの開発支援を主眼としている<sup>61</sup>。

このように、処分場を特定しない開発の支援を進めている背景には、米国では 1982 年放射性廃棄物政策法による手続きを経てネバダ州のユッカマウンテンが使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の最終処分場に決定したものの、その後オバマ政権時にユッカマウンテン計画を中止する方針が示され、現在は同計画が膠着状態にあることを踏まえたものと思われる。なお、ユッカマウンテン計画中止方針の提示後、「米国の原子力の将来に関するブルーリボン委員会」が設置され、2012 年 1 月に、同委員会により同意に基づくサイト選定などの代替案が勧告された。同意に基づくサイト選定計画について、前バイデン政権では 2021 年に DOE が中間貯蔵に対象を絞った計画を開始し、2023 年 4 月にサイト選定プロセスの更新を行うとともに、関心を持つコミュニティと協働して取り組むための 13 の資金提供先

を決定している<sup>73</sup>。

### a. 実規模貯蔵キャスク実証<sup>61</sup>

米国では、長年にわたり乾式貯蔵が実施されてきたが、これは低燃焼度燃料の貯蔵であり、貯蔵による高燃焼度燃料の劣化に関するデータは限定的である。本プロジェクトは、このデータのギャップを埋めるために、DOE が NRC や原子力産業界と協力して実施しているものであり、燃焼度 45 GWd/MTHM 以上の高燃焼度燃料の長期貯蔵について調査を行っている。具体的には、短期間の実験室試験で開発された予測モデルと経験的結論のベンチマーク化や、長期間にわたるシステムの性能予測能力の信頼構築を行っている。

### b. 貯蔵及び輸送 R&D<sup>61</sup>

本プロジェクトで DOE は、高燃焼度燃料の貯蔵と輸送に関連する研究開発、実地調査、数値的・物理的モデリングの両方を含む、国立研究所及び産業界の専門家による試験の支援を行っている。具体的な内容として以下のようなものがある。

- 水素化物の再配向と脆化に伴う被覆管の応答試験
- 貯蔵溶接部における大気腐食の影響
- エラストマーシールの脆化測定
- ボルト、溶接部、シール及び毒物の熱機械的劣化の測定
- 貯蔵燃料の熱プロファイルの分析
- 燃料とキャスクの応力プロファイルの決定
- キャスク乾燥プロセスの評価
- バージニア州ミネラルにあるノース・アンナ発電所のキャスク実証プロジェクトからの燃料の実験室での照射後検査と試験
- キャスク内外の監視用センサーの開発

### c. 処分 R&D<sup>61</sup>

本プロジェクトで DOE は、粘土・頁岩、岩塩、結晶質岩の 3 つの主要な地質岩石における処分システムの長期的性能に関する理解を深めるための活動を実施している。これらの活動には、他国で実施されている適用可能な研究開発を活用し、米国の処分研究開発ポートフォリオに統合するための、国際パートナーとの既存及び新規の協力が含まれる。また、既存の単一目的(貯蔵のみを目的とした)使用済燃料キャニスター及び貯蔵と輸送の二重目的キャニスターを掘削された処分場の処分する実現可能性を決定するための評価も実施される。さらに、新しい事故耐性燃料や、新しく提案された先進炉からの使用済燃料や廃棄物形態の処分性能特性が評価される。その他、放射性廃棄物の管理・処分に関連する研究活動への参加者を増やすためのパイロットプログラムの支援も行われる。

## 2) 統合廃棄物管理システム

1982 年放射性廃棄物政策法は、米国の使用済燃料と高レベル放射性廃棄物の処分責任を DOE に

課しており、DOE はこれらの物質を適切に管理・処分する連邦政府の法的義務を履行するための取組を行っている。統合廃棄物管理システムサブプログラムは、包括的な廃棄物管理システムの一部として、同意に基づく立地アプローチを用いる連邦中間貯蔵プログラムを開発・実施する取組、並びに貯蔵、輸送、システム工学及び分析活動を支援するものである。このサブプログラムの活動には、同意に基づく立地プロセスの実施、DOE の「使用済核燃料の連邦統合中間貯蔵のための同意に基づく立地プロセス (2023 年)」の第 1 段階の実施、及び同プロセスの第 2 段階の準備が含まれる。第 1 段階は、広範な一般市民への働きかけと関与、相互学習、使用済燃料とは何か、中期及びそれ以上の時間スケールでどのように管理できるかについての国民的対話の支援を通じて、能力構築に重点を置く。第 2 段階は、連邦施設の受け入れを検討するボランティアの募集と、立地適性評価の実施に重点を置くこととなっている<sup>61</sup>。

統合廃棄物管理システムサブプログラムでは、連邦政府が建設する統合中間貯蔵施設の設計、建設及び操業に関する技術的準備も実施することとなり、これには使用済燃料の貯蔵施設への輸送も含まれる。輸送関連の具体的な取組として以下が挙げられている<sup>61</sup>。

- 連邦の貯蔵・処分施設への使用済燃料輸送の安全性に対する社会的信用と信頼を構築するため、鉄道サイズの使用済燃料キャスクの実規模パッケージ性能実証を開始する。
- 高燃焼度燃料の性能に関する研究を支援するため、使用済燃料の実証キャスク 1 体を出荷する準備を進める。これは、連邦政府の貯蔵・処分施設への将来の大規模使用済燃料輸送のパイロット出荷として実施される可能性がある。
- DOE が所有する貯蔵施設の操業に先立つ期間において、社会的信頼、輸送能力、及びインフラを構築するための計画を策定する。
- 輸送の安全性を含む、使用済燃料輸送のためのガイダンス文書、運用計画、手順を策定する。
- 緊急時対応訓練、車両安全検査、及び輸送システム運用のアプローチを含む、使用済燃料輸送活動の協力計画を策定するための州及び部族政府のパートナーとの関与活動を実施する。
- 大規模使用済燃料を支援するための専用鉄道車両、セキュリティ・安全監視装置の開発、資格認定、及び保守を実施する。
- 原子力発電所サイトの輸送インフラを評価し、各サイトから使用済燃料を搬出するためのオプションを特定する。

また、輸送関連以外の取組として以下が挙げられている<sup>61</sup>。

- 連邦中間貯蔵施設及び関連する使用済燃料輸送システムの立地、設計、許可、建設、操業に関するプロジェクト管理計画及び技術文書の作成
- 中間貯蔵施設の設計オプション及び立地プロセスに適用される規制上の考慮事項の分析
- オプション分析と輸送計画に情報を提供するための、関連する放射性廃棄物インベントリの量と特性に関する詳細データの更新と分析
- 連邦統合中間貯蔵施設プロジェクトのための環境影響評価書作成意向通知の開始
- DOE 命令 413.3B「資本資産取得のためのプログラム及びプロジェクト管理」のプロジェクト管理要件に従った、商業用使用済燃料の連邦政府による中間貯蔵能力に関するミッションの必要性の分析

## 参考文献

- <sup>1</sup> Congressional Research Service, “ Nuclear Fuel Reprocessing: U.S. Policy Development”, 2008年3月27日  
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RS/RS22542>
- <sup>2</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>3</sup> U.S. General Accounting Office, “ Status And Commercial Potential Of The Barnwell Nuclear Fuel Plant”, 1984年3月28日  
<https://www.gao.gov/assets/rced-84-21.pdf>
- <sup>4</sup> Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future (BRC), “Report to the Secretary of Energy” (Final Report), 2012年1月  
[https://www.energy.gov/sites/default/files/2013/04/f0/brc\\_finalreport\\_jan2012.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf)
- <sup>5</sup> 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター 平成30年度 放射性廃棄物共通技術調査等事業 放射性廃棄物海外総合情報調査（国庫債務負担行為に係るもの）報告書（令和元年度分）  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/library/2019/31fy\\_kaigai.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/2019/31fy_kaigai.pdf)
- <sup>6</sup> U.S. Government Accountability Office, “ COMMERCIAL SPENT NUCLEAR FUEL - Congressional Action Needed to Break Impasse and Develop a Permanent Disposal Solution”, GAO-21-603, 2021年9月  
<https://www.gao.gov/assets/gao-21-603.pdf>
- <sup>7</sup> Congressional Research Service, “ The Front End of the Nuclear Fuel Cycle: Current Issues”, 2019年7月29日更新  
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45753>
- <sup>8</sup> DOE エネルギー情報局 “Uranium Marketing Annual Report”(2024年12月3日閲覧)  
<https://www.eia.gov/uranium/marketing/>
- <sup>9</sup> ホワイトハウス “Memorandum on the Effect of Uranium Imports on the National Security and Establishment of the United States Nuclear Fuel Working Group” (2019年7月12日)  
<https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/memorandum-effect-uranium-imports-national-security-establishment-united-states-nuclear-fuel-working-group/>
- <sup>10</sup> エナジーフューエル社 “Energy Fuels and Ur-Energy Jointly File Section 232 Petition with U.S. Commerce Department to Investigate Effects of Uranium Imports on U.S. National Security”(2018年1月16日)  
<https://www.energyfuels.com/2018-01-16-Energy-Fuels-and-Ur-Energy-Jointly-File-Section-232-Petition-with-U-S-Commerce-Department-to-Investigate-Effects-of-Uranium-Imports-on-U-S-National-Security>
- <sup>11</sup> エナジーフューエル社 “Department of Commerce Submits Uranium Section 232 Report to President Trump”(2019年4月16日)  
<https://www.energyfuels.com/2019-04-16-Department-of-Commerce-Submits-Uranium-Section-232-Report-to-President-Trump>
- <sup>12</sup> DOE “RESTORING AMERICA’S COMPETITIVE NUCLEAR ENERGY ADVANTAGE”(2020年4月)  
<https://www.energy.gov/articles/restoring-americas-competitive-nuclear->

- energy-advantage
- 13 DOE “DOE Uranium Leasing Program Annual Status and Activities Report for Calendar Year 2023”(2024年4月)  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-05/46995-ASAR.pdf>
  - 14 エナジーフューエル社 “Energy Fuels Awarded Contract to Sell \$18.5 Million of Uranium to U.S. Uranium Reserve”(2022年12月16日)  
<https://www.energyfuels.com/2022-12-16-Energy-Fuels-Awarded-Contract-to-Sell-18-5-Million-of-Uranium-to-U-S-Uranium-Reserve>
  - 15 世界原子力協会 “US Nuclear Fuel Cycle”(2024年11月20日)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/usa-nuclear-fuel-cycle.aspx>
  - 16 米国連邦議会下院 “PROHIBITING RUSSIAN URANIUM IMPORTS ACT REPORT together with MINORITY VIEWS”(2023年12月1日)  
<https://www.congress.gov/118/crpt/hrpt296/CRPT-118hrpt296.pdf>
  - 17 DOE “Department of Energy FY 2022 Congressional Budget Request Volume 3 Part 2”(2021年5月)  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-06/doe-fy2022-budget-volume-3.2-v3.pdf>
  - 18 米国連邦議会ウェブサイト “All Actions: H.R.1042 — 118th Congress (2023-2024)” (2024年10月21日閲覧)  
<https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/1042/all-actions>
  - 19 米国連邦議会ウェブサイト “Summary: H.R.1042 — 118th Congress (2023-2024)” (2024年10月21日閲覧)  
<https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/1042>
  - 20 議会法律ウェブサイト “S.870 - A bill to authorize appropriations for the United States Fire Administration and firefighter assistance grant programs, to advance the benefits of nuclear energy, and for other purposes.”(2024年12月3日閲覧)  
<https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/870>
  - 21 USTR “Notice of Modification: China’s Acts, Policies and Practices Related to Technology Transfer, Intellectual Property and Innovation”(2024年9月18日)  
<https://www.federalregister.gov/documents/2024/09/18/2024-21217/notice-of-modification-chinas-acts-policies-and-practices-related-to-technology-transfer>
  - 22 世界原子力協会 “US updates import tariffs as domestic uranium production grows”(2024年9月25日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/us-increases-import-tariffs-as-domestic-uranium-production-grows#:~:text=The%20tariff%20on%20%22Actinium%2C%20californium,or%20withdrawn%20from%20warehouse%20for>
  - 23 米国務省 “Sanctions to Degrade Russia’s Energy Sector”(2025年1月10日)  
<https://2021-2025.state.gov/office-of-the-spokesperson/releases/2025/01/sanctions-to-degrade-russias-energy-sector>
  - 24 米国連邦官報 “Blocking Property With Respect To Specified Harmful Foreign Activities of the Government of the Russian Federation”(2021年4月19日)  
<https://www.federalregister.gov/documents/2021/04/19/2021-08098/blocking-property-with-respect-to-specified-harmful-foreign-activities-of-the-government-of-the>
  - 25 DOE “Instructions for Requesting a Waiver from the Secretary of Energy for

- the Import of Russian Low-Enriched Uranium (LEU) into the United States”  
(2024年5月20日)  
[https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-05/FINAL%20DOE%20Waiver%20Request%20Procedures%205.20.24.digital%20sig.KMG\\_.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-05/FINAL%20DOE%20Waiver%20Request%20Procedures%205.20.24.digital%20sig.KMG_.pdf)
- <sup>26</sup> World Nuclear News “Centrus receives uranium import waiver”(2024年7月23日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/centrus-receives-uranium-import-waiver>
- <sup>27</sup> セントラス・エナジー社 “Investor Presentation”(2024年12月)  
<https://investors.centrusenergy.com/static-files/058b474a-c135-4600-a84b-e9908864a7af>
- <sup>28</sup> Nuclear Engineering International “Techsnabexport issues force majeure notice to US customers after uranium supply ban”(2024年5月22日)  
<https://www.neimagazine.com/fuel-fuel-cycle/techsnabexport-issues-force-majeure-notice-to-us-customers-after-uranium-supply-ban/?cf-view&cf-closed>
- <sup>29</sup> ロシア大統領府 “Meeting with Government members”(2024年9月11日)  
<http://en.kremlin.ru/events/president/news/75085>
- <sup>30</sup> ロシア政府「政府、米国への濃縮ウラン輸出に一時的な制限を設定」(ロシア語、2024年11月15日)  
<http://government.ru/news/53343/>
- <sup>31</sup> ホワイトハウス “SAFELY AND RESPONSIBLY EXPANDING U.S. NUCLEAR ENERGY: DEPLOYMENT TARGETS AND A FRAMEWORK FOR ACTION”(2024年11月)  
<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2024/11/US-Nuclear-Energy-Deployment-Framework.pdf>
- <sup>32</sup> 世界原子力協会 “DOE seeks domestic LEU supply contracts”(2024年6月28日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/doe-seeks-domestic-leu-supply-contracts>
- <sup>33</sup> 世界原子力協会 “USA selects suppliers for low-enriched uranium contracts”(2024年12月11日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/doe-selects-suppliers-for-leu-contracts>
- <sup>34</sup> Orano 社 “Project Ike Enrichment”(2024年9月4日)  
<https://www.orano.group/usa/en/our-portfolio-expertise/project-ike-enrichment>
- <sup>35</sup> Urenco 社 “Urenco marks installation of new US enrichment capacity”(2024年10月10日)  
<https://www.urengo.com/news/global/2024/urengo-marks-installation-of-new-us-enrichment-capacity>
- <sup>36</sup> セントラス・エナジー社 “Investment lays groundwork for potential large-scale uranium enrichment expansion”(2024年11月20日)  
<https://www.centrusenergy.com/news/centrus-launches-additional-investment-in-centrifuge-manufacturing/>
- <sup>37</sup> セントラス・エナジー社 “Centrus Makes First HALEU Delivery to U.S. Department of Energy”(2023年11月7日)  
<https://www.centrusenergy.com/news/centrus-makes-first-haleu-delivery-to-u-s-department-of-energy/>

- <sup>38</sup> DOE “DOE Announces Next Steps to Build Domestic Uranium Supply for Advanced Nuclear Reactors As Part of President Biden’s Investing in America Agenda”(2024年1月9日)  
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-next-steps-build-domestic-uranium-supply-advanced-nuclear-reactors-part>
- <sup>39</sup> DOE “Biden-Harris Administration Announces Four Contracts to Boost Domestic HALEU Supply and Reinforce America’s Nuclear Energy Leadership as Part of Investing in America Agenda”(2024年10月17日)  
<https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-four-contracts-boost-domestic-haleu-supply-and>
- <sup>40</sup> World Nuclear News “DOE selects HALEU enrichment providers”(2024年10月18日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/doe-selects-haleu-enrichment-providers>
- <sup>41</sup> DOE “Biden-Harris Administration Announces 6 Contracts to Spur America’s Domestic HALEU Supply Chain as Part of Investing in America Agenda”(2024年10月8日)  
<https://www.energy.gov/ne/articles/biden-harris-administration-announces-6-contracts-spur-americas-domestic-haleu-supply>
- <sup>42</sup> DOE 国防プログラム局 “Plutonium & Uranium Recovery from Spent Fuel Reprocessing by Nuclear Fuel Services at West Valley, New York from 1966 to 1972”(1999年11月)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1219/ML12194A610.pdf>
- <sup>43</sup> U.S. Government Accountability Office “Nuclear Waste Cleanup: DOE’s Efforts to Manage Depleted Uranium Would Benefit from Clearer Legal Authorities GAO-22-105471”(2022年7月27日)  
<https://www.gao.gov/assets/gao-22-105471.pdf>
- <sup>44</sup> NRC “New Fuel Cycle Facility Licensing and Construction”(2024年12月19日閲覧)  
<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/new-fac-licensing.html>
- <sup>45</sup> DOE “DOE Issues Decision on Disposal of Depleted Uranium Oxide From Kentucky, Ohio, Plant”(2020年6月5日)  
<https://www.energy.gov/em/articles/doe-issues-decision-disposal-depleted-uranium-oxide-kentucky-ohio-plants>
- <sup>46</sup> NRC “Environmental Impact Statement for the Proposed Fluorine Extraction Process and Depleted Uranium Deconversion Plant in Lea County, New Mexico – Final Report (NUREG-2113)”(2012年8月)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1222/ML12220A380.pdf>
- <sup>47</sup> INIS 社 “INTERNATIONAL ISOTOPE TO DIVEST DEPLETED URANIUM DECONVERSION ASSETS TO AMERICAN FUEL RESOURCES FOR \$12,500,000 CASH.”(2024年2月8日)  
[https://intisoid.com/wp-content/uploads/2024/02/PR\\_DUF6-Asset-Transaction\\_20240208\\_final.pdf](https://intisoid.com/wp-content/uploads/2024/02/PR_DUF6-Asset-Transaction_20240208_final.pdf)
- <sup>48</sup> アメリカンフューエル社 “For Immediate Release: Friday, February 9, 2024”(2024年2月9日)  
<https://americanfuel.us/press>
- <sup>49</sup> NRC “Environmental Assessment for the Proposed Louisiana Energy Services, Urenco USA Uranium Enrichment Facility Capacity Expansion”(2015年3月)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML1507/ML15072A016.pdf>

- <sup>50</sup> DOE エネルギー情報局 “2023 Uranium Marketing Annual Report”(2024 年 6 月 6 日 閲覧)  
<https://www.eia.gov/uranium/marketing/pdf/2023%20UMAR.pdf>
- <sup>51</sup> NRC “Fuel Fabrication”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/fuel-fab.html>
- <sup>52</sup> GNF- Americas 社 “License Renewal Application for Global Nuclear Fuel - Americas LLC”(2007 年 4 月)  
NRC ADAMS においてダウンロード
- <sup>53</sup> WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC “APPLICATION FOR RENEWAL OF A SPECIAL NUCLEAR MATERIAL LICENSE FOR THE COLUMBIA FUEL FABRICATION FACILITY HOPKINS, SOUTH CAROLINA”(2021 年 9 月 20 日)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML2126/ML21263A218.pdf>
- <sup>54</sup> フラマトム社 “EHS&L Document Licensing - NRC Materials License SNM-1227 - Chapter 1 General Information Nature of Changes”(2023 年 8 月 3 日)  
<https://www.nrc.gov/docs/ML2319/ML23198A318.pdf>
- <sup>55</sup> IAEA “Nuclear fuel Cycle Facilities Database”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facilities>
- <sup>56</sup> STS 社 “Nuclear transport doesn’t have to be hard. We’re here to help”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://stsnuclear.com/>
- <sup>57</sup> STS 社 “Our nuclear transportation projects”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://stsnuclear.com/projects>
- <sup>58</sup> OranoUSA 社 “Nuclear Transport and Logistics”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://www.orano.group/usa/en/our-portfolio-expertise/products-services/nuclear-transport-and-logistics>
- <sup>59</sup> WNTI “Our Members”(2025 年 2 月 7 日閲覧)  
<https://www.wnti.co.uk/about/members/>
- <sup>60</sup> JETRO 「米つなぎ予算が成立、政府閉鎖を回避」(2024 年 12 月 23 日)  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2024/12/fb3d866aca75333f.html>
- <sup>61</sup> DOE “Department of Energy FY 2025 Congressional Justification Volume 4”(2024 年 3 月)  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-03/doe-fy-2025-budget-vol-4-v5.pdf>
- <sup>62</sup> フラマトム社 “Framatome’s accident tolerant fuel technology one step closer to market readiness”(2023 年 7 月 25 日)  
<https://www.framatome.com/medias/framatomes-accident-tolerant-fuel-technology-one-step-closer-to-market-readiness/>
- <sup>63</sup> WH 社 “Westinghouse Reaches a Key Milestone with Accident-Tolerant Fuel Technology”(2024 年 1 月 25 日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-reaches-a-key-milestone-with-accident-tolerant-fuel-technology>
- <sup>64</sup> GEH 社 “Fuel rods manufactured by GE Vernova’s Nuclear Fuel business to be evaluated at Oak Ridge National Laboratory”(2024 年 5 月 9 日)  
<https://www.gevernova.com/news/press-releases/fuel-rods-manufactured-ge-vernova-nuclear-fuel-business-evaluated-oak-ridge-national-laboratory>
- <sup>65</sup> OECD/NEA “The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition”(2023 年 7 月)  
[https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition)

- <sup>66</sup> NRC “NRC Makes Available TerraPower’s Construction Permit Application for Site in Kemmerer, Wyoming”(2024年4月10日)  
<https://www.nrc.gov/cdn/doc-collection-news/2024/24-023.pdf>
- <sup>67</sup> WNA “HALEU fuel availability delays Natrium reactor project”(2022年12月15日)  
<https://world-nuclear-news.org/Articles/HALEU-fuel-availability-delays-Natrium-reactor-pro#:~:text=TerraPower%20has%20said%20it%20expects,proposed%202028%20in%2Dservice%20date.>
- <sup>68</sup> WNA “Oklo cleared to begin site characterisation for first-of-a-kind plant”(2024年11月8日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/oklo-inc-cleared-to-begin-site-characterisation-for-first-of-a-kind-plant>
- <sup>69</sup> テラパワー社 “The Plant”(2025年2月6日閲覧)  
<https://www.terrapower.com/natrium/>
- <sup>70</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>71</sup> DESNZ “Notice Advanced Modular Reactor (AMR) Feasibility and Development Project”(2020年7月10日)  
<https://www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project>
- <sup>72</sup> X エナジー社 “X-energy Awarded \$148.5 Million Investment Tax Credit for First-of-a-Kind TRISO-X Fuel Fabrication Facility”(2024年8月23日)  
<https://x-energy.com/media/news-releases/x-energy-awarded-148m-investment-tax-credit-for-triso-x-fuel-fabrication-facility>
- <sup>73</sup> 原子力環境整備促進・資金管理センター「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について2024年版」(2024年2月)  
[https://www2.rwmc.or.jp/media/publications:2024:%E8%AB%B8%E5%A4%96%E5%9B%BD%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E9%AB%98%E3%83%AC%E3%83%99%E3%83%AB%E6%94%BE%E5%B0%84%E6%80%A7%E5%BB%83%E6%A3%84%E7%89%A9%E3%81%AE%E5%87%A6%E5%88%86%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6\\_2024%E5%B9%B4%E7%89%88\\_.pdf](https://www2.rwmc.or.jp/media/publications:2024:%E8%AB%B8%E5%A4%96%E5%9B%BD%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E9%AB%98%E3%83%AC%E3%83%99%E3%83%AB%E6%94%BE%E5%B0%84%E6%80%A7%E5%BB%83%E6%A3%84%E7%89%A9%E3%81%AE%E5%87%A6%E5%88%86%E3%81%AB%E3%81%A4%E3%81%84%E3%81%A6_2024%E5%B9%B4%E7%89%88_.pdf)

## 3.2 英国

### 3.2.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

英国では 1952 年から 1964 年にかけて、ウインズスケール(現セラフィールド)第 1 工場(B204)において軍事利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>1</sup>。1964 年には、商用炉であるマグノックス炉から発生する使用済燃料を再処理するマグノックス再処理プラント(B205)が操業を開始した。マグノックス炉の使用済燃料が再処理された理由は、燃料被覆管(マグノックス合金:主にマグネシウム、少量のアルミニウム・ベリリウム等の組成)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からである<sup>2</sup>。一方、金属ウランを燃料とするマグノックス炉に対し、ウラン酸化物を燃料とする改良型ガス冷却炉(AGR)が出現したことにより、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 年の事故を契機に閉鎖された<sup>2</sup>。一方、再処理事業の実施主体として 1971 年に設立された国有企業の英国核燃料公社(BNFL)が海外からの再処理契約を複数受注しており、契約済みの再処理役務を全て提供するため、政府は 1976 年に酸化物燃料再処理プラント(THORP)を建設する計画を発表した。THORP は 1978 年に計画が許可され、1994 年に操業を開始した。また、海外顧客向けに、セラフィールド MOX 燃料製造プラント(SMP)が 2001 年に操業を開始した<sup>1</sup>。

THORP は 2004 年に発生した漏洩事象により 2005 年に操業停止し、再処理事業運営は原子力廃止措置機関(NDA)に移管された。NDA は、国内の原子力レガシー施設の管理・処理に取り組む公的機関として政府が 2005 年 4 月に設立した。NDA への移管により、再処理事業を含め、セラフィールドサイトの所有権や事業方針の決定権は政府に移った。THORP はその後も操業の不調が続き、既存の国内外向け再処理契約が完了した 2018 年 11 月に操業を終了した<sup>3</sup>。また、SMP についても、2011 年の福島第一原子力発電所事故を受けて日本向けのサービスが縮小する見込みとなったことから、NDA は同年 8 月に閉鎖を決定した。さらに、マグノックス再処理プラントはマグノックス炉燃料の再処理を完了したことから 2022 年 7 月に操業を終了した。

英国政府は、使用済燃料の取扱いは所有者の判断に委ねるとしており、国として再処理を推進する方針は掲げていない。英国政府の方針では、使用済燃料の管理は長期間に及ぶとともに不確実性を伴うため、様々な選択肢を可能とする柔軟なアプローチが必要であり、政府が一定の期間内に使用済燃料の処分を強制することは適切ではないという立場をとっている<sup>4</sup>。また、事業者から再処理に関する提案を受けた場合は政府として協議するとしているものの、提案がない場合は再処理されないことを前提に管理計画を立案すべきであるとしている<sup>5</sup>。国内に再処理施設が存在しない中、英国において原子力発電事業を行う EDF エナジー社も再処理を行う方針は示していない。

英国における原子力政策は 2022 年 4 月に発表された「エネルギー安全保障戦略」<sup>6</sup>を中核としている。同戦略はコロナ禍からの復興によるエネルギー需要増加及びウクライナ情勢に伴うエネルギー価格高騰を受けて、エネルギー安全保障とネットゼロの両立及び推進を目指すものである。原子力発電の導

入に関する目標として、2030年までに最大8基の新設を承認し、2050年までに最大2,400万kW（2050年時点想定電力需要の25%）を導入する方針が示されている。これらの目標を達成するために必要となる燃料サプライチェーンの強化に向け、2022年7月には最大7,500万ポンドの「核燃料基金」(NFF<sup>a</sup>)の設立が発表された<sup>7</sup>。また、2024年1月には、エネルギー安全保障戦略で掲げた目標及び2050年ネットゼロを達成するための具体策として「民生原子力ロードマップ」<sup>8</sup>を発表した。同ロードマップでは、エネルギー安全保障戦略で掲げられた目標に加え、2030年から2044年までの15年間に、5年ごとに300万kWから700万kWの新設を促進する方針が示されている。また、核燃料サイクルについては以下の6点が掲げられている。

- 英国内の核燃料サイクルにおける能力を再生し、成長させる
- 2030年までに残存するロシア産燃料を撤去するとともにロシアからのウラン調達を終了させ、国際的なパートナーと協力してロシアに対する国際的な依存を終了させる
- HALEU燃料製造に向けた濃縮・再転換に対し、産業界と共同で最大3億ポンドを投資する
- スプリングフィールドサイトの廃止措置を進め、新たな能力を開発するためのスペースを確保する
- 核燃料基金を活用し、燃料製造やHALEU再転換に1,000万ポンドを投資する
- ベンダーに対し、政府として先進炉によるプルトニウムの使用を支援しない方針を明確にする

## (2) 官民の役割分担

フロントエンドにおいては、政府が原子力政策を掲げ、その実現に向けて民間企業を積極的に支援している。主な支援方法として、共同出資、新設推進機関を通じた支援、基金を通じた支援の3つが挙げられる。共同出資は、EDF エナジー社によるサイズウェル C 原子力発電所建設計画(EPR2 基)に対して行われている。同計画では、政府が計画主体であるフランス電力(EDF)の共同出資者となり、追加投資を実施するなど、実施者としての役割を果たしている。新設推進機関を通じた支援では、2023年7月に新設を推進する政府機関として「大英原子力」(GBN<sup>b</sup>)を設立し、GBNを通じた支援を実施している。GBNは新設を推進する責務を負っており、選定された計画の共同出資者となって事業者と共に資金調達と立地サイトの確保を行う。基金を通じた支援では、先述のNFFのほか、SMR開発に対する2.15億ポンド規模の基金、AMR<sup>c</sup>開発に対する1.7億ポンド規模の基金、許認可等の参入障壁の突破を支援する1.2億ポンド規模の基金(FNEF<sup>d</sup>)等を立ち上げ、補助金を拠出している。

バックエンドに関しては、一部を除き政府機関である原子力廃止措置機関(NDA<sup>e</sup>)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<sup>f</sup>)、原子力廃棄物サービス(NWS<sup>g</sup>)、原子力輸送ソリューション(NTS<sup>h</sup>)の4つの組織を有している<sup>9</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

<sup>a</sup> Nuclear Fuel Fund

<sup>b</sup> Great British Nuclear

<sup>c</sup> 英国では第4世代炉技術を用いたモジュール炉をAMR(先進モジュール炉)と定義している

<sup>d</sup> Future Nuclear Enabling Fund

<sup>e</sup> Nuclear Decommissioning Authority

<sup>f</sup> Nuclear Restoration Services

<sup>g</sup> Nuclear Waste Services

<sup>h</sup> Nuclear Transport Solutions

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>10</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>11</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>12</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>13</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>14</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>15</sup>。

### 3.2.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

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>16</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。

国として、英国政府は 2022 年 4 月に発表したエネルギー安全保障戦略で化石燃料に関する脱ロシアを明確に掲げたが、原子力分野については言及していなかった。また、同戦略では原子力発電所の導入に関する目標は掲げられたものの、核燃料サイクル分野に関する言及はなかった。一方、同戦略の実現に向けて設立された NFF に関するプレスリリースにおいて、燃料分野における海外依存を低減させるために国内の燃料産業を拡大する方針が示された。2022 年 12 月には NFF を活用し、ウェスティングハウス UK 社に対し最大 1,300 万ポンドを支援することが発表された。この支援は天然ウラン及び回収ウランの転換能力開発を目的としており、特にロシア以外で行われていない回収ウランの転換を目指す点で脱ロシアに向けた大きな動きであるといえる<sup>17</sup>。また、2023 年 1 月には NFF をロシア製燃料の代わりとなる燃料の開発を支援するものと位置づけることが明言された<sup>18</sup>。NFF からの支援が決定している事業者を表 3.2-1 に示す<sup>19, 20, 21</sup>。

表 3.2-1 英国核燃料基金の支援対象

事業者	支援額	支援対象技術
ウェスティングハウス UK	1,300 万ポンド	天然ウラン転換、回収ウラン転換
	1,050 万ポンド	軽水炉燃料製造、HALEU 燃料製造、溶融塩燃料開発
UrencoUK	950 万ポンド	LEU+濃縮、HALEU 濃縮
NTS	100 万ポンド	HALEU 輸送容器開発
モルテックス FLEX	120 万ポンド	溶融塩燃料開発
英国国立原子力研究所	935 万ポンド	燃料製造、HALEU 再転換

出所)各種発表に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

2024 年 1 月には、西側諸国で初となる HALEU 燃料製造に向けて 3 億ポンドを投じること、及び 1,000 万ポンドを先進燃料製造に投じることが発表された<sup>22</sup>。同年 5 月には、3 億ポンドのうち、1.96 億ポンドを UrencoUK 社による濃縮設備建設に投じることが発表された<sup>23</sup>。同設備では 2031 年まで

に年間 10t の HALEU を製造することを目指している。また、同年 7 月には 3 億ポンドのうち、7,000 万ポンドを HALEU 再転換に投じるための公募が開始された<sup>24</sup>。

### 3.2.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

英国では、過去にマグノックス再処理プラント及び 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。英国政府としては、再処理が選択肢として残っている限り、使用済燃料を放射性廃棄物として分類すべきではないとしている<sup>25</sup>。

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>26</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>27</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>28</sup>。

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り、操業を終了した THORP の燃料貯蔵池で貯蔵されている<sup>29</sup>。THORP では AGR が運転を停止するまでに発生する全ての使用済燃料を貯蔵する計画となり、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り、英国政府は関与しない<sup>25</sup>。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>30</sup>。

##### 2) 処理・処分の実績

英国における再処理の実績を表 3.2-2 に示す。マグノックス再処理プラント(B205)は年間 1,500tU の再処理能力を有し<sup>1</sup>、1964 年から 2022 年にかけて 54,920t のマグノックス燃料が再処理された<sup>31</sup>。THORP は年間 1,200tU (後に 600tU に削減)の再処理能力を有し<sup>1</sup>、1994 年から 2018 年にかけて 9,331t の使用済燃料が再処理された<sup>32</sup>。このうち 6 割程度(約 5,020t<sup>25</sup>)は英国内で発生した AGR 燃料であったとされる<sup>33</sup>。THORP は英国内で発生した AGR 使用済燃料だけではなく、海外向けの再処理役務も提供しており、9 カ国を顧客としていた。海外向けの主な再処理実績は、日本、ドイツ、スイスである<sup>1</sup>。

表 3.2-2 英国における再処理実績

施設名	操業期間	再処理実績	再処理対象
-----	------	-------	-------

B205	1964年～2022年	54,920t	マグノックス炉燃料
THORP	1994年～2018年	9,331t	AGR 燃料・海外軽水炉燃料

出所)各種文献に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

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3.2-3に示す<sup>34</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 3.2-3 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	

出所)NDA「2022 UK Radioactive Material Inventory」(2022年)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

英国政府は、2020年時点でウランの管理方法として以下の3つの選択肢を提示している<sup>25</sup>。なお、英国政府はUrencoUK社が保有する劣化ウランについて、再利用または処分が決定するまで貯蔵される見方を示している<sup>25</sup>。

- 安全かつ確実な長期保管を継続する
- 商業的価値がある物質はリサイクル・再利用を目的として第三者に売却する
- 地層処分あるいはその他の方法で処分する

2024年1月に発表された民生原子力ロードマップでは、前述のウェスティングハウスUK社に対する1,300万ポンドの支援を通じて回収ウランを再利用する道筋を開発するとしており、政府として回収ウランの再利用に前向きな姿勢を示している<sup>8</sup>。

民生プルトニウムに関しては、2011年時点ではMOX燃料として再利用することが最適なオプションであるとしつつも様々な選択肢を残すとしており、2019年時点では再利用と固定化(Immobilisation)が選択肢として挙げられていた<sup>35</sup>。その後、英国政府は2025年1月に、NDAが保有するプルトニウムを最終処分に適する形態に固定化することを決定した<sup>36</sup>。これに伴い、NDAはプルトニウムの処理施設及び中間貯蔵施設を建設する方針である<sup>37</sup>。

## 2) 実績

マグノックス炉燃料の再処理に伴って発生した回収ウラン 15,000t が、再濃縮を経て AGR 燃料として再利用された実績がある<sup>38</sup>。一方、この再利用は経済的理由から 1990 年代に終了した<sup>39</sup>。また、サイズウェル B ではロシア産回収ウランを使用した燃料が装荷されたことがある<sup>33</sup>。EDF エナジー社は国内に回収ウラン転換施設が完成し次第、ロシア産から国産に移行する方針を示しているため<sup>16</sup>、回収ウランの利用を続けるものと考えられる。

劣化ウランに関しては濃縮事業者である UrencoUK 社が英国内で保管施設を運営し、 $U_3O_8$  の形態で貯蔵している。なお、UrencoUK 社は劣化  $UF_6$  を  $U_3O_8$  に脱転換する施設(加工能力 7,000tU/年)を 2019 年から操業しており、英国内だけではなくドイツとオランダの Urenco 社濃縮施設で発生した劣化  $UF_6$  の脱転換も行っている<sup>33</sup>。

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<sup>25</sup>。英国においてプルサーマルの実績は存在しない。

2016 年時点のウランの貯蔵状況を表 3.2-4 に示す<sup>40</sup>。

表 3.2-4 英国における使用済燃料の貯蔵状況(2016 年時点)

種別	発生源	所有者	貯蔵量[tU]	貯蔵場所
回収ウラン	マグノックス炉燃料再処理	NDA	26,000	カーペンハースト
	AGR 燃料再処理	NDA EDF エナジー	5,000	セラフィールド
未照射劣化ウラン	天然ウラン濃縮	UrencoUK	108,500	カーペンハースト
照射劣化ウラン	回収ウランの再濃縮	NDA	15,500	カーペンハースト スプリングフィールズ

出所)CoRWM「POSITION PAPER: CoRWM CONSIDERATION OF THE UK URANIUM INVENTORY, MANAGEMENT AND DISPOSAL OPTIONS」(2023 年)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### 3.2.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

EDF エナジー社が 2024 年に英国議会へ提出した資料によると、同社はウラン鉱石の半数以上をカナダとカザフスタンから調達している<sup>16</sup>。また、ニジュールも重要な調達先であるとする一方で、大規模なサプライチェーンを構築していることから、同国の情勢不安による影響は受けていないとしている。

転換役務はフランスの Orano 社、カナダの Cameco 社、米国のコンバーダイン社の 3 社で全需要を賄っている。濃縮役務はオランダの Urenco 社とフランスの Orano 社にも委託しており、国内の UrencoUK 社を含めた 3 社で全需要を賄っている<sup>16</sup>。

<sup>i</sup> CoRWM の最新ポジションペーパー(2023 年 7 月発表)においても 2016 年時点のデータが掲載されており、それ以降の集計データは公表されていないと考えられる

### 3.2.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

英国にはウラン鉱床が存在するが、経済性が低い<sup>41</sup>ため、採掘は行われていない<sup>41</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。

#### (2) 転換

英国ではウェスティングハウス UK 社が転換施設を保有しているが、2014 年から操業を停止している<sup>j, 33, 42</sup>。前述のとおり、同社は英国政府から 1,300 万ポンドの助成を受け、2028 年から転換役務を提供する計画としている<sup>43</sup>。報道情報によると、同社は 5,000tU/年の天然ウラン転換と 2,000tU/年の回収ウラン転換を検討しており、2025 年中に最終投資決定を行うとしている<sup>44</sup>。

施設	
施設名称	Springfields (Hex Conversion)
施設概要	ウラン鉱石を受け入れ、UF <sub>6</sub> を製造
技術	溶媒抽出法
能力	6,000tU/年
稼働状況	操業停止
稼働実績	1993 年稼働
役務取引 取組方針	カナダの Cameco 社から転換役務を受注していたが、2014 年の契約満了により終了
事業主体	
事業者名称	Westinghouse/UK
事業者概要	米国ペンシルバニア州に本社を置く多国籍原子力関連企業
資本関係 経営状況	Westinghouse 社が 2010 年からスプリングフィールズサイトを NDA より長期リースし運営している
政府との関係	政府による支援のもと設備増強を計画
今後の方針・戦略	英国政府から 1,300 万ポンドの支援を受け、天然ウラン転換と回収ウラン転換の設備を建設する計画

#### (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。

施設	
施設名称	カーペンハースト濃縮工場

<sup>j</sup> IAEA の Nuclear Fuel Cycle Facilities Database では 2 つの転換施設(Springfields Main Line Chemical Plant 及び Hex Conversion)が運転中と分類されているが、複数の文献において、カナダのカメコ社との転換契約を終えた 2014 年に操業を停止したとされているため、施設として廃止措置に至っていないものの、2025 年時点では操業していないものと考えられる

施設概要	六フッ化ウラン(UF <sub>6</sub> )の濃縮を行う
技術	遠心分離法
能力	4,500tSWU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1972 年稼働開始
役務取引 取組方針	Urenco 社全体で日本、米国、英国、フランス、中国、韓国など 21 カ国に濃縮ウランを供給
事業主体	
事業者名称	Urenco UK Limited
事業者概要	英国、ドイツ、オランダの合弁会社(本社は英国) 英国、ドイツ、オランダ、米国でウラン濃縮プラントを運営
資本関係 経営状況	英国政府とオランダ政府が 1/3 ずつ株式を所有し、残りの 1/3 はドイツ企業の E.ON S.E.と RWE AG が 50%ずつ所有
政府との関係	英国政府より株式の 1/3 の投資を受けている
今後の方針・戦略	英国政府から約 2 億ポンドの支援を受け、HALEU 燃料製造に向けた濃縮施設の建設を計画

#### (4) 再転換

英国内で再転換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。

施設	
施設名称	Springfields (UO <sub>2</sub> Conversion)
施設概要	濃縮 UF <sub>6</sub> を受け入れ、濃縮 UO <sub>2</sub> を製造
技術	IDR 法
能力	900tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1993 年稼働
役務取引 取組方針	カーペンハースト濃縮工場より UF <sub>6</sub> を受け入れ、UO <sub>2</sub> に再転換したのちスプリングフィールドの燃料製造工場に納入
事業主体	
事業者名称	Westinghouse/UK
事業者概要	米国ペンシルバニア州に本社を置く多国籍原子力関連企業
資本関係 経営状況	Westinghouse 社が 2010 年からスプリングフィールズサイトを NDA より長期リースし運営している
政府との関係	英国政府は HALEU 再転換に 7,000 万ポンドを投資する方針であり、同社が応募する可能性がある
今後の方針・戦略	再転換に関する方針・戦略は不明

## (5) 燃料加工(MOX 含む)

英国内で燃料加工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 2 つ存在する。それぞれ AGR 用燃料と PWR 用燃料を製造している。なお、かつては SMP が MOX 燃料を製造していたが、2012 年に閉鎖しており、それ以降、英国内では MOX 燃料を製造していない。

施設	
施設名称	Springfields OFC AGR Line
施設概要	AGR 用燃料の製造工場
技術	不明
能力	290tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1996 年稼働
役務取引 取組方針	スプリングフィールズで再転換された $UO_2$ を AGR 用燃料として加工し、英国内 AGR に供給
施設	
施設名称	Springfields Oxide Fuel Complex (PWR)
施設概要	PWR 用燃料の製造工場
技術	ADU 法
能力	200tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1993 年稼働
役務取引 取組方針	スプリングフィールズで再転換された $UO_2$ を PWR 用燃料として加工し、海外に輸出
事業主体	
事業者名称	Westinghouse/UK
事業者概要	米国ペンシルバニア州に本社を置く多国籍原子力関連企業
資本関係 経営状況	Westinghouse 社が 2010 年からスプリングフィールズサイトを NDA より長期リースし運営している
政府との関係	政府による投資のもと設備増強を計画
今後の方針・戦略	英国政府から 1,050 万ポンドの支援を受け、軽水炉燃料製造、HALEU 燃料製造、熔融塩燃料開発を実施

## (6) 再処理

英国では 2018 年に THORP が、2022 年にマグノックス再処理プラントが操業を終了しており、それ以降、英国で再処理を行っている施設は存在しない。

## (7) 燃料輸送

英国内における使用済燃料の輸送は NDA 傘下の NTS が実施しており、鉄道車両や船舶を保有し

ている。NTS は Pacific Nuclear Transport (PNTL) 社も運営しており、フランスで製造された MOX 燃料やガラス固化体を日本へ輸送する役務も担っている。また、米国から欧州へのプルトニウム輸送も実施している。

## (8) 使用済燃料貯蔵

英国で使用済燃料貯蔵を行う事業者は NDA 傘下のセラフィールド社と EDF エナジー社である。セラフィールド社は EDF エナジー社が所有する AGR の使用済燃料貯蔵を行い、EDF エナジー社は同社が所有する PWR の使用済燃料貯蔵を行う。

施設	
施設名称	THORP
施設概要	閉鎖した再処理工場の使用済燃料貯蔵池を活用し、英国内の AGR で発生する使用済燃料を貯蔵
技術	湿式貯蔵
能力	不明
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	EDF エナジー社が運転する AGR から発生した使用済燃料を受け入れ、処理・処分方法が決定するまで貯蔵
事業主体	
事業者名称	Sellafield Ltd
事業者概要	政府機関である NDA 傘下の企業であり、セラフィールドサイトの運営・管理を所掌
資本関係 経営状況	政府機関である NDA 傘下の企業であるため、100% 国有
政府との関係	同上
今後の方針・戦略	英国内の AGR は 2028 年までに全て閉鎖されるため、使用済燃料の発生量がある程度定まっているため、大幅な設備増強等は不要であると考えられる

施設	
施設名称	Sizewell B
施設概要	EDF エナジー社が運転する PWR 発電所であり、使用済燃料貯蔵プールと乾式貯蔵キャスクを有する
技術	湿式貯蔵・乾式貯蔵
能力	不明
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	同サイトで発生した使用済燃料を貯蔵
事業主体	

	事業者名称	EDF energy
	事業者概要	英国唯一の原子力発電事業者
	資本関係 経営状況	フランス国営企業であるフランス電力(EDF)の子会社
	政府との関係	特になし
	今後の方針・戦略	2035年までの運転を計画していたが、2050年までの運転延長を検討中であり、それに伴う使用済燃料貯蔵容量の拡大についても検討される可能性が高い

## (9) 放射性廃棄物

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。

施設	
施設名称	Dounreay LLW facility <sup>45</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、コンクリートボルト
能力	約 17.5 万 m <sup>3</sup> (2020 年 3 月末時点)
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	追加で 12 ヘクタールの敷地の許認可を取得予定(現在 60 ヘクタールが許認可済み)
事業主体	
事業者名称	Nuclear Restoration Services
事業者概要	政府機関である NDA 傘下の企業であり、マグノックス炉及び AGR の廃止措置とドーンレイサイトの管理を所掌
資本関係 経営状況	政府機関である NDA 傘下の企業であるため、100% 国有
政府との関係	同上
今後の方針・戦略	サイト内の研究炉からの燃料取り出しを進める方針

施設	
施設名称	LLWR disposal site
施設概要	英国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)、ボルト処分
能力	トレンチ約 80 万 m <sup>3</sup> (満杯)

	ボールド約 130 万 m <sup>3</sup> (2019 年 4 月末時点)
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	新規施設の段階的な建設と、処分が完了した施設の最終封鎖に向けた工事を実施
事業主体	
事業者名称	Nuclear Waste Services
事業者概要	政府機関である NDA 傘下の企業であり、低レベル放射性廃棄物及び高レベル放射性廃棄物の処分を所掌
資本関係 経営状況	政府機関である NDA 傘下の企業であるため、100%国有
政府との関係	同上
今後の方針・戦略	2127 年までに処分完了予定

### (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

英国で回収ウラン・劣化ウランの取扱い・貯蔵等を行う事業者はセラフィールド社と UrencoUK 社である。セラフィールド社はセラフィールドサイトに保管されている AGR 燃料の再処理に伴って発生した回収ウランの管理を行う。UrencoUK 社は濃縮事業で生じた劣化ウランの管理を行うとともに、NDA からの委託を受けて NDA が保有する回収ウランの管理を行う<sup>46</sup>。

施設	
施設名称	Sellafield
施設概要	事故を起こした原子力発電所サイト(レガシーサイト)や閉鎖した再処理施設が存在する複合原子力施設
技術	不明
能力	不明
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	2014 年時点で 5,000tU の回収ウランを保管しており、2018 年には再処理工場自体が閉鎖されたことから、保管量の大幅な増加はないと考えられる
事業主体	
事業者名称	Sellafield Ltd
事業者概要	政府機関である NDA 傘下の企業であり、セラフィールドサイトの運営・管理を所掌
資本関係 経営状況	政府機関である NDA 傘下の企業であるため、100%国有
政府との関係	同上
今後の方針・戦略	前述のとおり、設備増強等は不要であると考えられる

施設
----

施設名称	Capenhurst
施設概要	同一サイト内に存在する濃縮工場で発生した劣化ウランの保管を行うとともに、NDA が保有する回収ウランの保管を行う
技術	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> として保管(劣化ウラン)
能力	不明
稼働状況	稼働中
役務取引 取組方針	Urenco 社がオランダとドイツで操業する濃縮工場で発生した劣化ウランを U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> に脱転換する役務も提供 Urenco 社のカーペンハーストサイトに隣接していた NDA のカーペンハーストサイトを譲り受け、NDA が所有する回収ウランを保管
事業主体	
事業者名称	Urenco UK Limited
事業者概要	英国、ドイツ、オランダの合弁会社(本社は英国) 英国、ドイツ、オランダ、米国でウラン濃縮プラントを運営
資本関係 経営状況	英国政府とオランダ政府が 1/3 ずつ株式を所有し、残りの 1/3 はドイツ企業の E.ON S.E.と RWE AG が 50%ずつ所有
政府との関係	英国政府より株式の 1/3 の投資を受けている
今後の方針・戦略	濃縮事業に伴って劣化ウランは発生し続けるため、貯蔵容量の増強が必要になると考えられる

### 3.2.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

前述のとおり、2022 年 7 月に燃料の国内生産量拡大を目的とした NFF が設立された。NFF の設計にあたり情報要求(RFI)が行われ、その結果 NFF で資金提供される分野は軽水炉燃料、HALEU 燃料、AMR 用燃料の生産・サプライチェーンの強化に向けた開発等とされた。また、本基金では再処理技術及びウラン燃料以外の核燃料(MOX 燃料等)の開発は対象外としている<sup>47</sup>。NFF では表 3.2-1 に示したように、軽水炉燃料製造、HALEU 燃料製造、溶融塩炉燃料製造を支援しており、これらに関する研究開発が実施されている。

#### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

NFF による HALEU 燃料開発・溶融塩炉燃料開発支援に加え、英国では 2021 年 12 月から高温ガス炉の研究開発を支援する AMR 研究開発・実証プログラムを実施している。同プログラムから派生する形で高温ガス炉燃料プログラムも実施されており、2023 年 7 月から 2025 年 3 月にかけて、フェーズ B として高温ガス炉用被覆粒子燃料の開発を支援している。フェーズ B では英国国立研究開発所(NNL<sup>k</sup>)に対し、1,600 万ポンドの支援が行われている。

<sup>k</sup> National Nuclear Laboratory

また、NNL が中心となって溶融塩炉技術を開発するベンダー及び研究者並びに規制機関のコミュニティとして溶融塩炉技術プラットフォーム(MSTP)が立ち上げられている<sup>48</sup>。民間企業においても、モルテックス FLEX 社が溶融塩炉の開発を行っており、表 3.2-1 に示したように、NFF から 130 万ポンドの助成を受けている。同社は助成金を用いて商用規模の溶融燃料製造に向けた技術計画を策定している<sup>49</sup>。

### (3) 放射性廃棄物管理

英国では放射性廃棄物管理・処分の実施主体であるセラフィールド社と NWS が研究開発を実施している。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>37</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。セラフィールド社が実施している研究開発項目を表 3.2-5 に示す<sup>50</sup>。

表 3.2-5 セラフィールド社の研究開発項目

研究開発項目	研究内容の例
要素技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 廃棄物の熱処理</li> <li>• 膨張式ロボットアーム</li> </ul>
使用済燃料管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• イオン交換固体の回収と固定化</li> <li>• 使用済燃料貯蔵プール監視用 ROV 開発</li> </ul>
プルトニウム等の取扱い	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自動梱包システム</li> <li>• 自動輸送システム</li> </ul>
廃棄物取り出し	<ul style="list-style-type: none"> <li>• スラッジ混合・輸送システム</li> <li>• 廃棄物特性分析プロセスの高度化</li> </ul>
除染	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 反ニュートリノ検出によるストロンチウム監視</li> <li>• コンクリートの非破壊深度測定</li> </ul>
サイト管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• サンプル分析の改善</li> <li>• フッ化水素酸の使用量削減</li> </ul>

出所)セラフィールド社「Annual Research and Development Review 2023/24」(2024 年)に基づきエム・アール・アイリサーチアソシエイツ作成

## 参考文献

- <sup>1</sup> Martin Forwood “The Legacy of Reprocessing in the United Kingdom”, A research report of the International Panel on Fissile Materials(2008年7月)  
<https://fissilematerials.org/library/rr05.pdf>
- <sup>2</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>3</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>4</sup> 英国政府 “Managing radioactive substances and nuclear decommissioning policy consultation Government response”(2024年5月)  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6655b77e7b792ffff71a8445/managing-radioactive-substances-nuclear-decommissioning-policy-government-response.pdf>
- <sup>5</sup> 英国政府 “UK policy framework for managing radioactive substances and nuclear decommissioning”(2024年5月)  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6632371769098ded31fca7c1/managing-radioactive-substances-and-nuclear-decommissioning-uk-policy-framework.pdf>
- <sup>6</sup> 英国政府 “British Energy Security Strategy”(2022年4月)  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/626112c0e90e07168e3fdb3/british-energy-security-strategy-web-accessible.pdf>
- <sup>7</sup> 英国政府プレスリリース “Government fund to accelerate nuclear fuel supply opens”(2022年7月19日)  
<https://www.gov.uk/government/news/government-fund-to-accelerate-nuclear-fuel-supply-opens>
- <sup>8</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>9</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>10</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>11</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>12</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>13</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>14</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>15</sup> EDF エナジー社ウェブサイト “Nuclear decommissioning”  
<https://www.edfenergy.com/about/nuclear/decommissioning>
- <sup>16</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>17</sup> 英国政府プレスリリース “£102 million government backing for nuclear and hydrogen innovation in the UK”(2022年12月13日)  
<https://www.gov.uk/government/news/102-million-government-backing-for-nuclear-and-hydrogen-innovation-in-the-uk>
- <sup>18</sup> 英国政府プレスリリース “Ministers bolster UK nuclear fuel capacity to squeeze out Russian influence”(2023年1月2日)  
<https://www.gov.uk/government/news/ministers-bolster-uk-nuclear-fuel-capacity-to-squeeze-out-russian-influence>
- <sup>19</sup> 英国政府ウェブサイト “Nuclear Fuel Fund successful projects”(2023年7月18日)  
<https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-fuel-fund-nff-projects-awarded-funding/nuclear-fuel-fund-successful-projects>
- <sup>20</sup> ウェスティングハウス社プレスリリース “Westinghouse Awarded Trio of Grants from UK Nuclear Fuel Fund”(2023年7月27日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-awarded-trio-of-grants-from-uk-nuclear-fuel-fund>
- <sup>21</sup> NNL ウェブサイト “NNL announces £9.35 million investment from the Nuclear Fuel Fund for innovation centre and design of test facility”(2024年1月11日)  
<https://uknnl.com/2024/01/nnl-announces-9-35-million-investment-from-the-nuclear-fuel-fund-for-innovation-centre-and-design-of-test-facility/>
- <sup>22</sup> 英国政府 “UK invests in high-tech nuclear fuel to push Putin out of global energy market”(2024年1月7日)  
<https://www.gov.uk/government/news/uk-invests-in-high-tech-nuclear-fuel-to-push-putin-out-of-global-energy-market>
- <sup>23</sup> 英国政府プレスリリース “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>24</sup> 英国政府 “High Assay Low Enriched Uranium (HALEU) deconversion competition”(2024年8月21日最終更新)  
<https://www.gov.uk/government/publications/high-assay-low-enriched-uranium-haleu-deconversion-competition>
- <sup>25</sup> 英国政府 “The United Kingdom’s Seventh National Report on Compliance with the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and on the Safety of Radioactive Waste Management”(2020年10月)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/uk-7rm.pdf>
- <sup>26</sup> NDA “Annual Report and Accounts 2023/24”(2024年10月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6703df05080bdf716392ef1c/A\\_RAC\\_2023-24\\_final\\_for\\_web.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6703df05080bdf716392ef1c/A_RAC_2023-24_final_for_web.pdf)
- <sup>27</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>28</sup> ONR-NGO groups – Written evidence (RSK0096)(2021年5月20日)  
<https://committees.parliament.uk/committee/483/risk-assessment-and-risk-planning-committee/publications/written-evidence/>
- <sup>29</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>30</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>31</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>32</sup> セラフィールド社 “What is Thorp?” (2024 年 11 月 25 日)  
<https://www.gov.uk/government/case-studies/what-is-thorp>
- <sup>33</sup> WNA “Country profiles Nuclear Power in the United Kingdom” (2024 年 12 月 6 日更新)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom>
- <sup>34</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>35</sup> NDA “PROGRESS ON PLUTONIUM CONSOLIDATION, STORAGE AND DISPOSITION” (2019 年 3 月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/791046/Progress\\_on\\_Plutonium.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/791046/Progress_on_Plutonium.pdf)
- <sup>36</sup> 英国議会 “Plutonium Disposition Strategy (Statement UIN HCWS388) » (2025 年 1 月 24 日)  
<https://questions-statements.parliament.uk/written-statements/detail/2025-01-24/hcws388>
- <sup>37</sup> NDA “NDA group welcomes Government decision on plutonium disposition” (2025 年 1 月 24 日)  
<https://www.gov.uk/government/news/nda-group-welcomes-government-decision-on-plutonium-disposition>
- <sup>38</sup> NDA, Case studies: Spent Fuels strategic theme (2023 年 10 月 2 日)  
<https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-decommissioning-authority-annual-report-and-accounts-2022-to-2023/case-studies-spent-fuels-strategic-theme>
- <sup>39</sup> IAEA “Use of Reprocessed Uranium Proceedings of a Technical Meeting held in Vienna, 29–31 August 2007”、2010 年  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE\\_1630\\_CD/PDF/IAEA-TECDOC-1630.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1630_CD/PDF/IAEA-TECDOC-1630.pdf)
- <sup>40</sup> CoRWM “POSITION PAPER: CoRWM CONSIDERATION OF THE UK URANIUM INVENTORY, MANAGEMENT AND DISPOSAL OPTIONS” (2023 年 7 月)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64c8ff81d8b1a70011b05ecc/co\\_rwm-consideration-uk-uranium-inventory-management-disposal-options.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64c8ff81d8b1a70011b05ecc/co_rwm-consideration-uk-uranium-inventory-management-disposal-options.pdf)
- <sup>41</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>42</sup> Financial Times “Russia restrictions boost case for restarting UK uranium conversion, says Cameco” (2024 年 12 月 1 日)  
<https://www.ft.com/content/b2256649-038e-42db-aff9-a923f6e789ba>
- <sup>43</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>44</sup> Energy Intelligence “Nuclear Fuel: Westinghouse Evaluates 2025 Springfields UF6 Plant Revival”(2024年11月1日)  
<https://www.energyintel.com/00000192-e353-d5af-a1b7-eff3e72f0000>
- <sup>45</sup> BEIS “2022 UK Radioactive Waste Inventory”  
<https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2023/02/2022-Waste-Report-010223.pdf>
- <sup>46</sup> NDA “NDA Draft Business Plan 2023 to 2026 - html version”(2023年4月21日更新)  
<https://www.gov.uk/government/consultations/nuclear-decommissioning-authority-draft-business-plan-2023-to-2026-for-consultation/nda-draft-business-plan-2023-to-2026-html-version#capenhurst>
- <sup>47</sup> 英国政府 “Nuclear Fuel Fund Application Guidance”  
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65f87f14d977c2001f9b8036/nuclear-fuel-fund-nff-application-guidance.pdf>
- <sup>48</sup> NNL “Molten Salt Technology Platform”  
<https://uknnl.com/innovation-science-and-technology/showreel/collaborations/molten-salt-technology-platform/>
- <sup>49</sup> モルテックス FLEX 社 “British nuclear developer MoltexFLEX wins £1.3m grant from UK Government”(2023年7月18日)  
<https://www.moltexflex.com/british-nuclear-developer-moltexflex-wins-1-3m-grant-from-uk-government/>
- <sup>50</sup> セラフィールド社 “Annual Research and Development Review 2023/24”(2024年9月27日)  
[https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66f42f1330536cb927482724/Annual\\_R\\_D\\_Review\\_2023-24.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/66f42f1330536cb927482724/Annual_R_D_Review_2023-24.pdf)

## 3.3 フランス

### 3.3.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

##### 1) 原子力政策

フランスはオイルショックを契機として、当時のメスマール首相が 1974 年に「全電化-原子力化」の方針を打ち出した。このメスマール計画に基づき、1980 年代には原子炉の建設ラッシュを迎え、米国に次ぐ世界第 2 位の原子力発電大国に成長した。

歴代政権はほぼ一貫して原子力発電を支持してきた。しかし、福島第一原子力発電所事故を受け、当時の野党・社会党は電源を多様化するために原子力発電を縮減する必要性を主張した。2012 年に実施された大統領選挙では同党のオランド氏が当選し、議会下院総選挙でも社会党が勝利した。オランド大統領(当時)は選挙公約の中で、電源構成に占める原子力の割合を 2025 年までに現状の 75% から 50% に縮減する方針を掲げ、この目標は「グリーン成長のためのエネルギー転換に関する 2015 年 8 月 17 日の法律 n°2015-992(エネルギー転換法)」に明記された。さらに同法では、原子力発電の設備容量の上限を現状維持の 6,320 万 kW とすることも規定されている<sup>1</sup>。

マクロン大統領は 2018 年 11 月、2025 年までに原子力の割合を 50% に縮減することは実行不可能との判断から、期限を 10 年先送りして 2035 年とする決定を発表した<sup>2</sup>。この期限変更を反映した原子力政策は「エネルギー及び気候に関する 2019 年 11 月 8 日の法律 n°2019-1147(エネルギー・気候法)<sup>3</sup>」により法制化され、2020 年 4 月に発表された現行の多年度エネルギー計画(PPE)<sup>4</sup>にも明記されている。

PPE では、フランスにおけるエネルギーに係る政府の 10 年間の優先行動が、5 年ずつの連続する 2 期に分けて定められる。PPE は 5 年ごとに改定され、その際に第 2 期の 5 年については内容の見直しが行われ、また、新たに 5 年間の計画が追加される。現行 PPE 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。

現行 PPE における原子力政策に関する主な記載内容を抜粋すると以下ようになる。

- 政府は、電源構成に占める原子力の割合を 50% に縮減するという目標を追求する。しかし電力供給が途絶するリスクを冒すことなく、あるいは火力発電プラントの建設を再開することなく、原子力の割合を 2025 年を目途に 50% に縮減するとの当初の目標を達成することは不可能と考えられる。そこでエネルギー・気候法では、原子力の割合を 2035 年の時点で 50% に縮減するとの目標を改めて設定した。
- 原子力の割合を 2035 年の時点で 50% に縮減するために、90 万 kW 級原子炉を 14 基閉鎖する。その中には、後段の理由から早期に閉鎖するフェッセンハイム原子力発電所の 2 基も含まれる。
- フランスにおける原子力発電設備容量の上限は 6,320 万 kW である。この上限は 2015 年のエネルギー転換法により「ある発電施設が運開することにより、原子力発電設備に許可された総容量 6,320 万 kW を超える場合、当該施設の運転許可を発出することはできない」と定められている。原子力発電設備容量の上限を遵守し、かつフラマンヴィル 3 号機として建設中の欧州加

圧水型原子炉(EPR)の運開を可能にするため、フェッセンハイム原子力発電所の2基については2020年上半期に閉鎖する。

- フェッセンハイムの2基を除く12基の90万kW原子炉の恒久停止は、原則として第5回の10年期総合検査の際、すなわち2029年から2035年にかけて行う。ただし、(フェッセンハイムの2基とは別の)2基の原子炉のみ第5回10年期総合検査を待たずに2027年と2028年に閉鎖する。また、特定の状況(近隣諸国がフランスの発電能力に頼らずに電力安定供給を確保できるようになる、電力の市場価格が低い水準で推移する等)が同時に発生した場合、さらに2基の原子炉を2025年と2026年に閉鎖する。
- 今回のPPEの対象期間(2019～2028年)における課題は2つある。まず、①地域レベルでも国レベルでも、廃止措置産業の発展を支援すること、また、②小型モジュール原子炉(SMR)の開発プロジェクトにおいて、PPEの次回の改定までに先行研究に着手し、SMR技術の潜在性をよりよく評価するとともに、専門能力を開発できるようにすることである。

PPEに基づき、2020年にはフェッセンハイム原子力発電所の2基の原子炉が閉鎖された。2022年末現在、フランスで運転中の商用原子炉56基は全てPWRであり、その内訳は90万kW級が32基、130万kW級が20基、145万kW級が4基である。また、2007年に着工したフラマンヴィル3号機(欧州加圧水型炉=EPR、165万kW)は2024年5月に燃料装荷、同年12月21日に送電網に接続され、送電を開始した<sup>5</sup>。国内では1990年のシボー2号機以来、約25年ぶりの新設炉の運転開始となった。

さらに、マクロン大統領は2021年中頃から原子力再興に積極姿勢を示している。2021年10月12日、大統領は技術革新やエコロジー転換を目的とする大規模投資計画「フランス2030」を発表し、2030年に向けて10の目標を示した<sup>6</sup>。第1に掲げられた目標は「国内でSMRを実現し、廃棄物管理を改善する」というものであり、そのための投資予算額は10億ユーロとされている。

また、マクロン大統領は現在2期目であるが、大統領選挙期間中の2022年2月10日に遊説先のベルフォール(Belfort)で行った国家エネルギー戦略に関する演説<sup>7</sup>において、今後30年で国内のエネルギー消費量を40%低減し、電力による化石燃料の代替を念頭に発電電力量を最大60%増量するとともに、電力の脱炭素化を推進する意向を表明した。大統領は再生可能エネルギーと原子力を国家エネルギー政策の基軸としており、原子力については次のような展望を示している。

- 既存の原子炉の寿命を延長する。
- 2050年までに原子力発電設備容量を2,500万kW増強する。具体的には、国内において改良型EPR(EPR 2)を6基建設し、さらに8基の増設を検討する。
- フランス2030計画の枠内で、SMR及び革新的原子炉の開発に10億ユーロを充当する。

しかし、この大統領の方針が法的裏付けを得るには、次期PPEにより有効性が認められなければならない。先述のとおり、PPEの対象期間は第1期5年間、第2期5年間の合計10年間であり、5年ごとに改定される。現行PPEの内容は、原子力発電比率を抑制する施策をとっていた2020年4月に最終化されたことから、既存炉の寿命延長も複数のEPR 2の新設も想定されていない。PPEの改定に向けて政府は、2024年11月から12月に公開協議を実施しており、草案ではマクロン大統領の演説で言及されたとおり、原子炉の寿命延長や最大14基の新設を含め、フランス原子力再興を具体化させたものとなっている。



現行の PPE における核燃料サイクルバックエンド政策に関する主な記載内容を抜粋すると以下のようになる。

- 現在までの研究では、第 4 世代のナトリウム冷却高速中性子炉(SFR、仏語表記では RNR-Na)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 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、高速中性子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、高速中性子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、PWR におけるマルチサイクルにより、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(R&D)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 におけるマルチサイクル戦略は、新たな燃料サイクル・インフラストラクチャーの開発(ラ・アーク再処理プラント及び MOX 燃料加工プラント Melox の施設の改造)を必要とするであろう。
- したがって事業者は、マルチサイクルの数値化された開発計画を、原子炉と燃料サイクルの両面で、今後 5 年間については詳細に、さらに商業展開までを視野に入れて策定するべきである。その計画は、原子炉安全、運転条件の変化、工場での製造、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 R&D 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閉じた核燃料サイクルの見通しは、高速中性子炉の物理及び関連のサイクルプロセスの知識に係る専門能力の強化・維持を目的とするプログラムへと R&D の努力を方向付けること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。このプログラムの内容は、本 PPE の発表から最初の数カ月間で詳細かつ数値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え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、この戦略は、本 PPE の対象期間中はもとより、ラ・アーク再処理プラントの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。そのために、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管理を永続化させるため、十分な基数の 130 万 kW 級原子炉における MOX 利用の普及拡大が計画されるであろう。
- フランス電力(EDF)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

原子炉の MOX 化は 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 R&D に、長期的には第 4 世代原子炉の展開を見据えた R&D に基づいて決定する。

上述のとおり PPE 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 3 月にはル・メール経済・財務・産業兼デジタル主権大臣が、燃料サイクル戦略を 2040 年以降も継続すると発表した<sup>12</sup>。また、これに先立ち 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)は、現在の再処理路線を継続するため、ラ・アーク再処理工場への長期にわたる大規模投資を宣言していた<sup>13</sup>。ル・メール大臣は以下の目標を発表した。

- ラ・アークの再処理工場及び MOX 燃料製造工場の運転期間を 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
- ラ・アークにおける新たな MOX 燃料製造プラント建設に向けた調査の開始
- 2045 年から 2050 年の間を目途にラ・アーク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%削減可能と強調した。Orano 社によるとフランスでは現在、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。

## (2) 官民の役割分担

フランスはウラン資源をカナダ、カザフスタン、ニジェール等からの海外輸入に依存しているが、国内では転換、濃縮、使用済燃料の再処理、MOX 燃料の製造を Orano 社が担っており、UO<sub>2</sub>燃料の成型加工を Framatome 社が担当している。

フランスでは、図 3.3-2 に示すとおり、主要な原子力産業の株式の大半を仏政府が直接・間接に保有している。

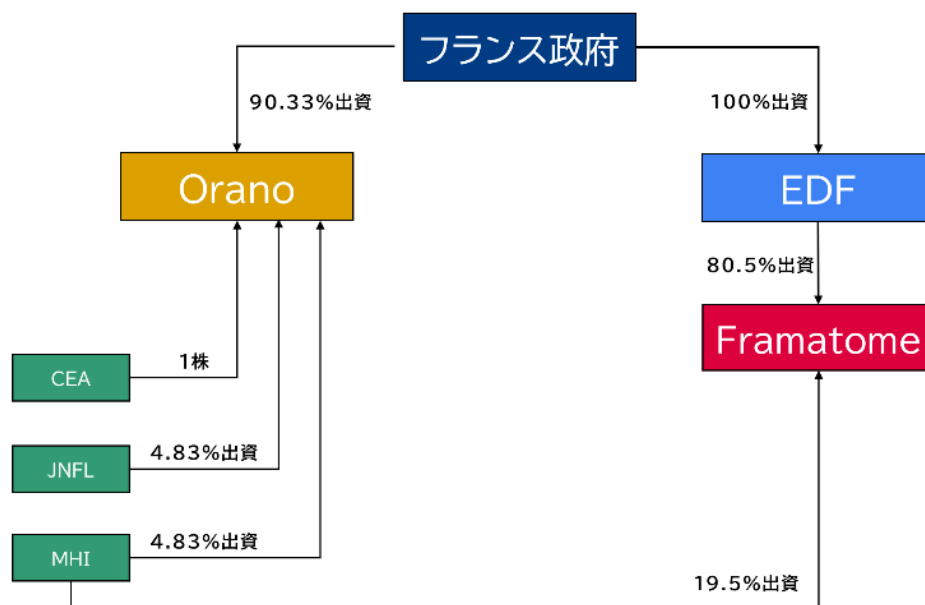


図 3.3-2 フランスにおける原子力産業の資本関係(2025年2月現在)

出所) Orano 社、Framatome 社、EDF 資料等に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

フランス政府は2022年7月、Orano社の株式のうちAREVA SA社の保有分(全体の0.01%相当)を取得し、Natixis社の保有分(全体の10%相当)を6億3,800万ユーロで購入した。これにより、Orano社への政府の出資率は90%となった。また、ボルヌ首相は同年7月6日の国会における所信表明演説の中でフランス政府がOrano社株を100%取得する意向であると述べ<sup>14</sup>、経済・財務・産業及びデジタル主権省も7月19日のプレスリリースで同じ政府方針を表明していた<sup>15</sup>。フランス政府は2023年6月8日にフランス電力(EDF)の株式100%取得を発表し、国有化を完了させている<sup>16</sup>。2024年10月24日には、Orano社が約3億ユーロの増資<sup>17</sup>を発表し、フランス政府が全てを引き受けた<sup>18</sup>。これにより政府の出資率はそれまでの90%から90.33%に上昇し、日本原燃株式会社(JNFL)と三菱重工業株式会社(MHI)の出資率はそれぞれ5%から4.83%ずつとなった。この増資について政府とOrano社は、株主としてのフランス政府のコミットメントを示すものであるとし、特にジョルジュ・ベッセ濃縮工場の能力増強(後述)などの資金調達に貢献すると発表している。

Orano社の前身はAREVAグループである。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のがOrano社である。同社は、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するビジネスモデルを採用している。

Oranoグループは図3.3-3に示すとおり、ウラン資源開発から再処理まで子会社を擁し、包括的な事業展開を行っている。

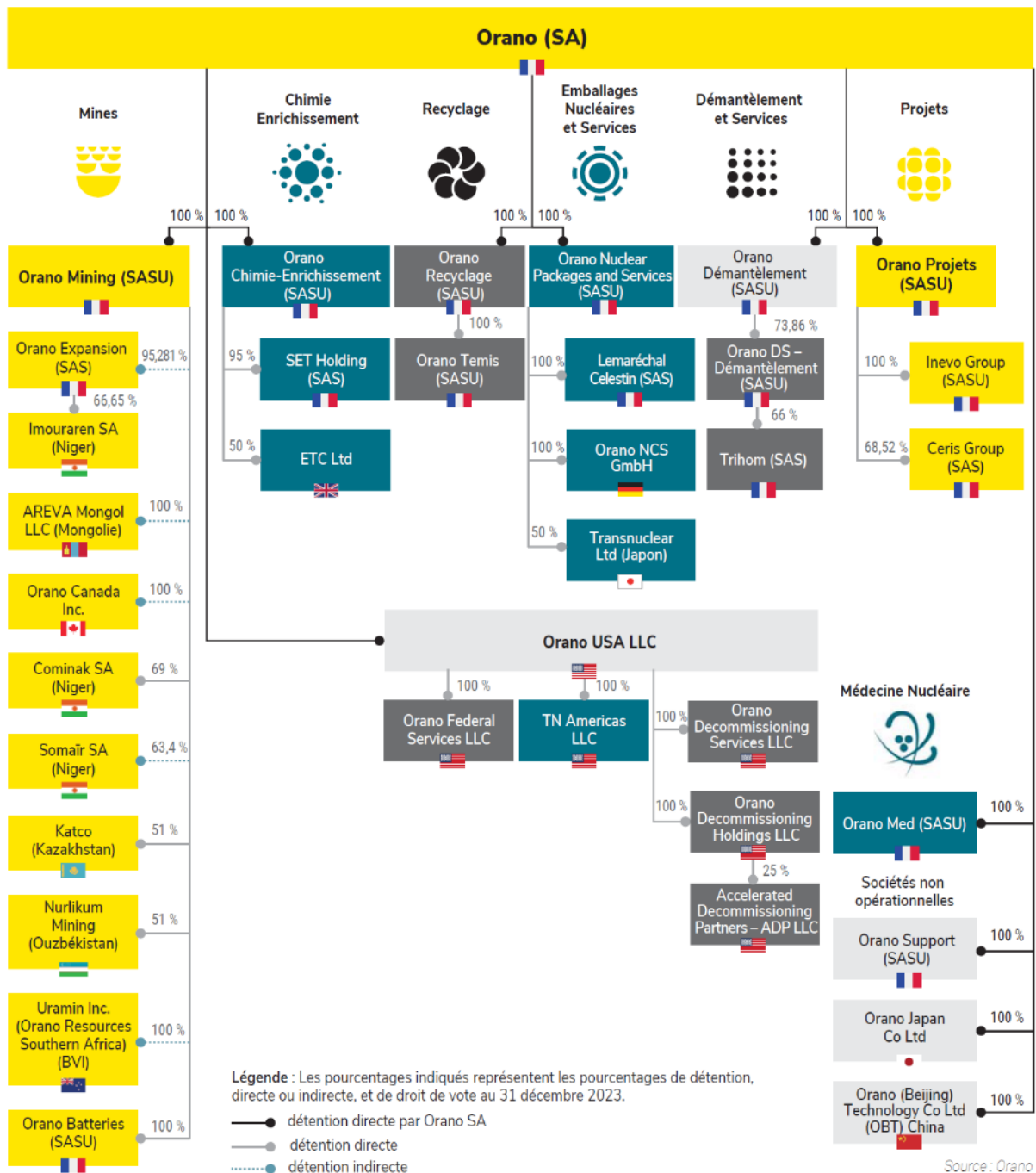


図 3.3-3 Orano グループの組織体制

出所) Orano “Rapport Annuel d’Activité 2023”に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

フランスの核燃料サイクルにおいて、 $UO_2$  燃料の成型加工は Framatome 社が行っている。Framatome 社は研究・開発、燃料成型加工及び完全に統合されたロジスティクスの組織を有し、そのサイトはフランス(サプライチェーンの順に、ジャリ、ユジーヌ、モントルイユ=ジュニエ、ルグル、パンブフ、ロマン及びリヨン)、ドイツ(カールシュタイン、リンゲン及びエアランゲン)及び米国(リッチランド及びリンチバーグ)に立地している。燃料サイクルに関わる同社の事業活動とその能力は以下のとおりである。

- 燃料集合体の開発・設計：製品設計、中性子・熱水力学・熱機械・機械計算のコード・方法、データベース

- ジルコニウムとその合金の製造：化学・冶金技術、技術移転
- 燃料集合体の製造・商業化：反応化学・固体化学、粉末冶金、組立、溶接、非破壊検査、安全・放射線防護解析、プログラミング、技術移転
- 金属ウランの生産を含む研究炉用の燃料要素の製造、研究・開発、プロトタイピング：核燃料研究センター研究・イノベーションラボ(CRIL)
- 燃料関連役務：原子力発電所サイトにおけるエンジニアリング、製造、支援

Framatome 社の出資構成(2024 年 12 月時点)は下記のとおりである。

- フランス電力(EDF)グループ：80.5 %
- 三菱重工業株式会社：19.5 %

### 3.3.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

#### 1) 調達先の多様化や長期契約の締結によりウランの供給安定性を確保

2001 年に国内最後のウラン鉱山を閉鎖して以来フランスは、自国内で稼働する 56 基(2024 年 12 月 21 日に送電網接続のフラマンヴィル 3 号機を入れて 57 基)に必要な燃料の全てを輸入しており、地政学リスクの軽減や調達コスト削減へ向けて、その調達先の多様化を進めてきた。

現行の PPE では、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低く、福島第一原子力発電所事故以降ウラン市場は停滞しており、1 ポンド当たり約 25 ドルと低価格で推移している(2019 年時点)としていた。一方、2023 年版の Orano 社の年次報告書<sup>19</sup>では、ロシアによるウクライナ侵攻が始まった 2022 年以降は、1 ポンド当たり 47 ドル以上で推移しており、天然ウランの価格高騰を指摘している。

PPE によれば、フランス電力(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、濃縮及び燃料の製造)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。

2022 年フランスのウラン調達先は、カザフスタン(37%)、ニジェール(20%)、ナミビア(16%)、オーストラリア(14%)、ウズベキスタン(13%)となっている。

2023 年 7 月から続いているニジェールの政変(反仏の軍事政権発足)により、Orano 社が持つニジェール国内でのウラン供給サプライチェーンには支障が出ている。2024 年 6 月には推定埋蔵量 20 万 t ともいわれるイムラレン鉱山での採掘許可取り消し、さらに 2024 年 10 月には現地 Orano 子会社の財政悪化を理由に、ニジェール国内の生産拠点での採掘を停止している。また、報道等によれば、ニジェール産のウラン権益をめぐり、ロスアトム社がニジェール軍事政権と接触しているとの情報もある。

一方で前述のとおりフランスはウラン調達先の多様化を進めているほか、多年度エネルギー計画でも

10年単位の長期契約締結を進めており、ニジュールでの採掘停止はフランス国内の原子力燃料調達に大きな混乱を引き起こすものでないとの見方もある。

調達先多様化に向けてマクロン大統領は2023年10月、モンゴルとのウラン採掘協力強化で合意している。Orano社がモンゴルのドルノゴビ県にある鉱山(30年以上採掘可能との試算)でのウラン採掘に係る覚書を締結した。この契約に先立ちマクロン大統領は2023年5月にモンゴルを大統領として初訪問しており、フレルスフ大統領との会談で、モンゴルでの開発プロジェクトに関して2023年秋の締結を目指すとしていた(Oranoはモンゴルでのパイロット事業を2021~2022年に成功させていた)。ロシアと中国の間に位置するモンゴルが地政学的にも重要であるとおり、フランスは今後も国家主導でウラン調達先の多様化を進めて行く方針を示している。

上記の調達先の多様化や長期契約の締結の他、PPEにあるストック管理のとおりフランスは、大量のウランを備蓄している。2024年版国家インベントリ<sup>20</sup>によると、フランスは2022年末時点で、3万5,900tの天然ウラン(EDFの56基の原子炉の年間消費量は、発電量に応じて7,000~9,000tであり、5年分以上の消費量に相当)、3,540tの濃縮ウラン(2~3年分の消費量に相当)、33万1,000tの劣化ウラン(7年分以上の消費量に相当)を保有しており、フランスは少なく見積もっても10年分以上のウラン資源を国内に保有している。

## 2) ウクライナ侵攻とジョルジュ・ベス第2濃縮プラント拡張計画

西側諸国のエネルギー供給力の強化に向けてOrano社は2023年10月、ウラン濃縮能力の増強を目的とした約17億ユーロ規模の追加投資を発表した<sup>21</sup>。14基からなる既存の遠心分離モジュールに4基を増設させ、生産能力を30%以上、年間2,500tSWU規模を拡張させる。発表の1年後の2024年10月10日には、ジョルジュ・ベス第2濃縮工場の拡張工事を開始させている<sup>22</sup>。またこの発表に先立ち、2023年2月1日から同年4月9日まで、拡張計画に関する公開討論が実施されていた。

ジョルジュ・ベス第2プラントは2011年に操業を開始した。同プラントの建設に関する2006年の公衆意見調査の時点で、同プラントの生産能力を10,000tSWU/年にまで増大させることは想定されていたが、当時の国際市況を考慮し、設置許可申請では公称能力7,500tSWU/年にとどめられた。このほどOrano社が同プラントの生産能力増大を決断した背景には、ロシアによるウクライナ侵攻がある。

ロシアのROSATOM社は2023年時点で、濃縮ウラン市場の世界シェア約46%を占めている。ウクライナ戦争以前、Orano社は、世界の濃縮ウラン需要は将来にわたり安定的に推移するものと予測していた。世界の濃縮ウラン需要は年2%のペースで増大していたが、これは主にアジア、特に中国における原子力発電所の増加によるもので、西側の需要は、欧州における原子炉の閉鎖(新規原子炉の建設プロジェクトにより部分的に相殺)、米国の原子炉の寿命延長、日本の一部の原子炉の再稼働といった要因が相まって安定していた。したがって、Orano社にとって、核燃料サイクルのフロントエンドに新たに投資するモチベーションはなかった。

しかし、ロシアがウクライナに侵攻したことで濃縮ウランの供給が途絶するリスクが生じたため、西側の多くの原子力関連事業者がロシアへの依存度を縮減することを検討しており、各国政府もこれを後押ししている。米国及び欧州の市場におけるロシアのシェアが低下すれば、現在ロシアが供給している約濃縮ウランを別ルートで調達する必要がある。その場合、濃縮ウラン市場におけるOrano社のシェアの変化を決定する要素は次の2点である。

- 原子力関連事業者が、市場の均衡を図る上で、URENCO社とOrano社の間でどのようにパ

イを配分することが望ましいと判断するか。

- 経済協力開発機構(OECD)の経済圏からロシアが完全にあるいは部分的に排除された場合、中国等の経済圏へのロシア産濃縮ウランの輸出量がどれだけ増加するか。

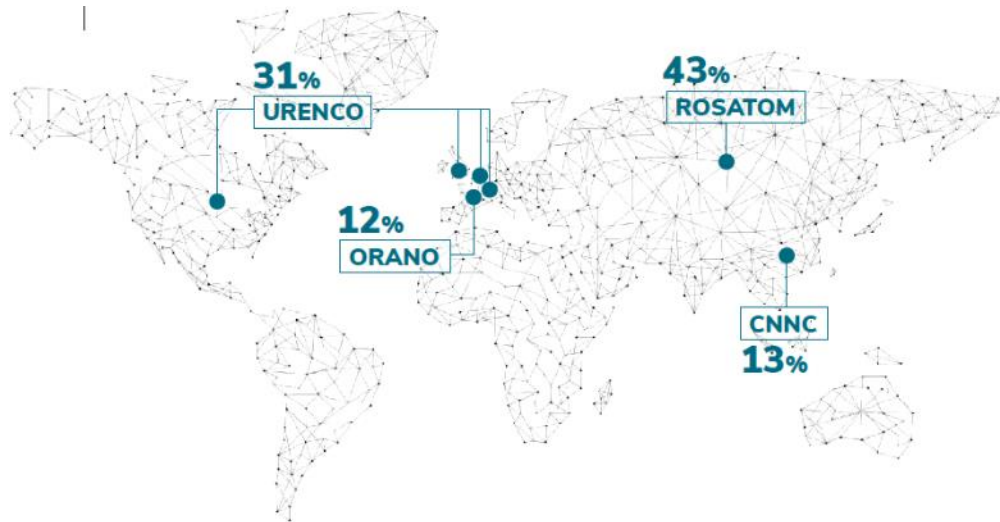


図 3.3-4 世界の4大ウラン濃縮事業者の濃縮設備占有率<sup>23</sup>

出所) Orano 社ウェブサイト “Le contexte et les objectifs du projet”より引用

Orano 社は 2024 年 10 月 24 日にも、約 3 億ユーロの増資を発表<sup>24</sup>し、全てフランス政府が出資した。Orano 社はこの増資により、ジョルジュ・ベス第 2 濃縮プラントの生産能力増強をはじめとする事業の資金調達を行うと説明している。またフランス政府も、エネルギー主権や気候変動を含む世界規模の課題に対応できるよう、株主としての国家の決意を示すものと説明した。濃縮プラントの拡張計画は、西側諸国のエネルギー主権を強化する戦略の 1 つとして、国による支援のもと計画が進行されている。

### 3) 東欧諸国への VVER 用燃料開発・供給計画

ウクライナ侵攻開始以降、東欧諸国において VVER のロシア産燃料からの切り替えの動きが加速している。フランスのフラマトム社は 2024 年 7 月にスロバキア電力と VVER-440 用の燃料供給に係る長期契約を締結した。これによりボフニチェ及びモホフチェ原子力発電所の VVER-440 では、2027 年以降フラマトム社製の燃料が装荷される。これに先立ち 2023 年 5 月にはフラマトム社はスロバキア電力と VVER 向け代替燃料供給で覚書を締結していた<sup>25</sup>。この覚書によりスロバキアの VVER 用燃料の調達先多様化と、エネルギーの供給確保に貢献する。またフラマトム社は、スロバキア電力以外にも欧州で VVER を稼働させる全ての事業者から、燃料供給の途絶回避や輸入依存を軽減させるよう、欧州主権の燃料供給体制を確立するよう要請を受けていると発表した。この要請についてフラマトム社は、直近の戦略としては、VVER 専用となる燃料製造工場の設立と、燃料製造に係るサプライチェーンを欧州に立ち上げる。これと並行して中期的には、欧州の VVER 事業者との協力のもと、欧州独自の設計による燃料を開発させる計画である。

同様にフラマトム社は 2023 年 9 月ハンガリーの VVER-440 用燃料供給でも覚書を交わし、2024

年 10 月に長期契約を締結している。これにより 2027 年以降、ハンガリーで唯一稼働するパクシュ原子力発電所の 4 基にフラマトム社製の燃料が装荷される。また、フラマトム社はチェコやブルガリアとも VVER 用燃料供給で長期契約を締結しており、いずれも 2025 年以降に燃料装荷が開始されるほか、VVER-1000 の燃料開発に関してもチェコ電力と 2024 年 10 月に了解覚書を締結している。

ロシアのウクライナ侵攻開始以降、EU も燃料供給の多様化に向けて取組を加速させている。フラマトム社は 2024 年 6 月、欧州原子力共同体(EURATOM)が進める研究・訓練プログラム Euratom Research and Training Programme(ERTP)のもと、VVER-440 向け燃料の開発・供給を目的として、EU から 1,000 万ユーロの拠出を受けた<sup>26</sup>。これによりフラマトム社はチェコの CEZ 社、フィンランドの Fortum 社、ハンガリーの MVM Paks 社及びスロバキアの Slovenské Elektrárne 社など 17 の企業・機関と共に、Framatome Safe and Alternative VVER European Project (SAVE プロジェクト)を開始させた。このプロジェクトを通じて、欧州による VVER 用燃料を開発し、燃料サプライチェーンを強化させる。SAVE プロジェクトは、2023 年 7 月より開始された米国ウェスティングハウス社主導の Accelerated Program for Implementation of Secure VVER Fuel Supply (APIS) プロジェクトに続く、EU の燃料供給多様化に関する研究・訓練プロジェクトとなる。フラマトム社は自社を、燃料の設計から製造まで 100% 欧州主権を実現できる唯一の燃料サプライヤーであるとし、EU 機関や加盟国と協力して、VVER 燃料供給の多様化と、エネルギーセキュリティの確保の動きを広げている。

### 3.3.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

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混合酸化物(MOX)に加工して再利用する方針がとられており、フランス電力(EDF)は使用済燃料の再処理を Orano 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。

使用済 MOX 燃料の再処理については、2024 年時点では実施されていない。フランス政府は、ウラン資源価格の高騰等を想定したエネルギー安全保障の観点から、長期的には使用済 MOX 燃料から回収したプルトニウムを高速炉で再利用するマルチサイクルを目指している。先述のとおり、現行の多年度エネルギー計画(PPE)では、2025~2028 年頃にマルチリサイクル用の新たな燃料の原子炉への試験装荷を実施し、2040 年頃にマルチリサイクルの実用化を目指す方針が示されている。しかし、2050 年頃まではウラン資源は潤沢かつ低価格で調達できるとの判断から、当初 2040 年頃の実用化を目指していた高速炉の開発計画を 2100 年頃に先送りしており、マルチリサイクルの実現時期も後ろ倒しとなる。

一方で政府は、使用済  $UO_2$  燃料及びプルトニウムのストックを一定水準以下に抑制するため、130 万 kW 級 PWR でのプルサーマルと、第 3 世代炉である欧州加圧水型原子炉(EPR)におけるプルトニウムのマルチリサイクルを検討している。ただし、マルチリサイクルを実施するためには、新たな MOX 燃料(MOX 2)の開発や、再処理や燃料加工を行うサイクル施設の改修も必要となり、これに向けた技術

面や安全面での研究が必要となる。

## 2) 処理・処分の実績

仏国内で発生した使用済燃料は、Orano 社のラ・アーク(La Hague)再処理プラントで処理されており、2021年には1,021tの使用済燃料が再処理された。また、に示すとおり、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、Orano 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、これまでに38,000t以上の使用済燃料が再処理されている。

表 3.3-1 1972～1976年までに締結された契約に基づく再処理実績

国名	再処理した使用済燃料の量	再処理の実施期間
ドイツ	172t	1977-1995年
オランダ	79t	1979-1984年
日本	151t	1982-1986年
ベルギー	40t	1980-1981年
スイス	70t	1976-1984年

出所) Orano “Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano la Hague, Édition 2023”に基づき作成  
[https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport-orano-art-8-2023.pdf?sfvrsn=2f63b4c3\\_6](https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport-orano-art-8-2023.pdf?sfvrsn=2f63b4c3_6)

表 3.3-2 1977年以降に締結された契約に基づく再処理実績

国名	再処理した使用済燃料の量	再処理の終了年
ドイツ	5,310t	2008年
オランダ	247t	2006年
日本	2,793t	1999年
ベルギー	631t	2001年
スイス	701t	2016年

出所) Orano “Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano la Hague, Édition 2023”に基づき作成  
[https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport-orano-art-8-2023.pdf?sfvrsn=2f63b4c3\\_6](https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport-orano-art-8-2023.pdf?sfvrsn=2f63b4c3_6)

2023年末時点でラ・アーク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40.8 kgHM、オーストラリア由来が553.7 kgHMとなっている。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

フランスでは再処理により発生した回収ウランも燃料として再利用されている。回収ウランの濃縮には

遠心分離技術が必要であったが、フランスでは当初ガス拡散法が採用されていたため、回収ウランの濃縮はロシアの TENEX 社に委託されていた。ただし、2013 年以降、ウラン価格の下落と、TENEX 社のプラントにおける回収ウラン濃縮によって発生する廃液処理が EDF の環境・技術基準に適合しないことに起因する EDF と TENEX 社との間の対立が原因で中断された。このため回収ウランはトリカスタンの Orano 社サイトにおいて貯蔵されているが、貯蔵容量の逼迫から、EDF は 2024 年 2 月にクリュアス原子力発電所 2 号機で、回収ウラン燃料による発電を再開させている。

EDF は 2018 年、TENEX 社及び URENCO 社と回収ウランの転換・濃縮に関する契約を締結した。TENEX 社が自社プラントの状態を EDF の環境・技術基準に適合させたことを確認した上で、EDF は 2021 年 11 月、 $U_3O_8$  形態の回収ウランをロシアに向けて搬出した。この第 1 回委託分の回収ウランは TENEX 社のセベルスク(Seversk)プラントで転換され、次いでオランダのアルメロ(Almelo)にある URENCO 社のプラントで濃縮された後、フランスに返還されて Framatome 社のロマン＝シュル＝イゼール(Romans sur Isère)のプラントで PWR 用の燃料集合体に成型加工される。

EDF と TENEX 社及び URENCO 社との 2018 年の契約に基づく作業フローは図 3.3-5 に示すとおりである。

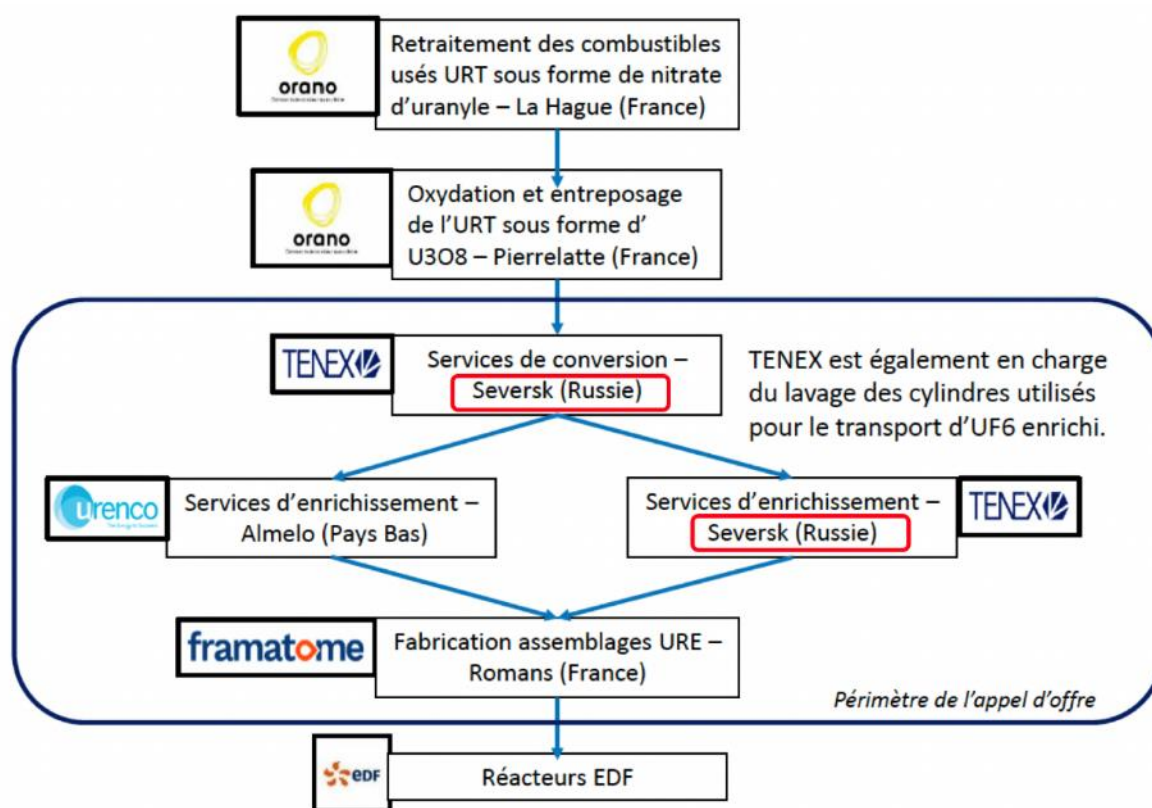


図 3.3-5 回収ウランの転換・濃縮に係る 2018 年契約の作業フロー

出所)EDF の 2022 年 3 月 18 日のプレゼン資料

フランスでは使用済燃料の再処理を行い、回収したプルトニウムを MOX 燃料に加工して再利用している。同国は、プルトニウムのストック量が増加することを避けるために、プルサーマルを行うのに必要な分の再処理しか行わない方針である。現在、国内で MOX 燃料の装荷が許可されているのは全 56 基の商用炉のうち 24 基であるが、2025 年末時点で実際にプルサーマルが行われているのは 22 基(い

ずれも 90 万 kW 級 PWR)である。

マルチサイクルに関しては、先述のとおり、長期的には使用済 MOX 燃料を再処理して回収したプルトニウムを高速炉で再利用することが目指されているが、短・中期的には第 3 世代炉である欧州加圧水型原子炉(EPR)で再利用することが検討されている。

## 2) 実績

回収ウラン燃料は 1994～2003 年にかけて合計 600t、クリュアス原子力発電所の 4 基の 90 万 kW 級 PWR において装荷された実績がある。

海外由来の使用済燃料の再処理によって回収されたプルトニウムは、フランスにおけるプルトニウム需給バランスにおいては考慮されない。再処理を委託した国は、国際原子力機関(IAEA)のプルトニウム国際管理指針に基づき、国外に存在する自国のプルトニウム管理状況に関するデータを報告している。フランスも同指針に基づき、自国が保有するプルトニウムの量を IAEA に毎年報告している。そのデータによれば、フランスの民生用プルトニウムの保有量は 2013 年末から 2023 年末にかけて表に示すとおり推移した。なお、未照射プルトニウムのうち、再処理プラントの貯蔵施設にストックされたプルトニウムの量は 40～50t 程度で推移している。

表 3.3-3 フランスのプルトニウム保有量(単位:tPU)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
未照射の Pu <sup>a</sup>	78.1	78.8	79.7	81.7	80.9	83.2	90.3	95	99.9	106.2	110.7
使用済燃料中の Pu	268.9	275.6	281.7	287.8	295.0	299.6	299.8	299.7	302	303.3	306.1

出所)IAEA、INFCIRC/549「Communication Received from France Concerning Its Policies Regarding the Management of Plutonium<sup>27</sup>」に基づき作成

### 3.3.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

#### (1) ウラン資源

ウラン資源に関しては、オート＝ヴィエンヌ県のジュアク(Jouac)ウラン鉱山が 2001 年に閉山され、以後、フランス国内では採掘が行われていないため、輸入に依存している。

ウラン資源の調達は Orano グループが担っている。同グループは、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。主な調達先は、カザフスタン、ニジェール、ナミビア、オーストラリア、ウズベキスタンなどがある(ニジェールの政変を含む調達先の多様化に係る動向については、3.3.2 1)を参照)。

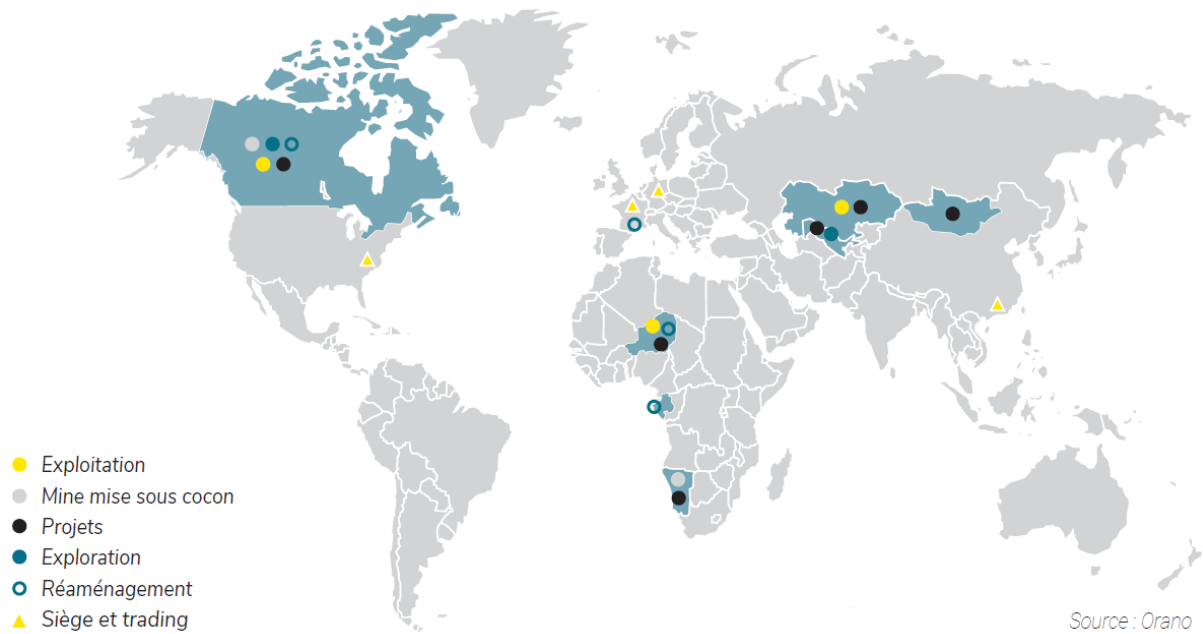


図 3.3-6 世界における Orano 社の採掘活動

出所) Orano “Rapport Annuel d’Activité 2023”

Orano 社は各調達先からの調達量の詳細を公表していないが、世界銀行の WITS 貿易データベースによれば、フランスは「HS Code 284410:天然ウラン及びその化合物等」を、以下の国から輸入している<sup>28</sup>。データは他国へ販売分を含む。

表 3.3-4 フランスの主なウラン輸入相手国(単位:kg)

国名	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
カザフスタン	725,973	112,633	1,720,520	2,764,190	3,193,160
ニジェール	858,809	601,772	3,153,750	2,990,450	3,387,630
ナンビア	283,988	433,799	843,883	995,043	1,970,750
ウズベキスタン	59,815	200,398	1,951,250	2,515,110	1,540,710
オーストラリア	164,452	349,297	2,078,020	2,792,410	1,525,890
南アフリカ	-	-	46,179	-	194,078
カナダ	297,601	3,232,230	276	152,330	14,094

出所) WITS “France Natural uranium and its compounds, etc imports by country in 2023”

## (2) 転換

ウラン転換の国外からの調達状況は不明である。ただし、フランス原子力学会の情報に拠れば、EDF は 2022 年において、少なくともロシアからのウラン転換役務調達は実施していない<sup>29</sup>。なお、2022 年末時点で他国へのウラン転換役務を提供していたプラントは、仏 Orano とロシアのセベルスク、カナダのポートホープのみである。よって、EDF は原則として国内でウラン転換役務を調達していると考えられるが、2022 年時点で、仮に多様化の観点から国外調達を行っていた場合、調達先はカナダである。なお、2023 年 7 月には米国でも転換プラントが稼働を再開している。

### (3) 濃縮

次項に示すとおり、フランスは自国に濃縮施設を持ち、国外にも役務を提供している。フランスの原子力事業者であるEDFは、仏Oranoを濃縮ウランの主供給者としているが、供給元多様化の観点から、2022年のロシアによるウクライナ侵攻以前の段階で、Urenco(英米蘭に濃縮プラントを持つ)に加え、ロシアとも濃縮ウランの調達契約を締結していた。2022年以降も、既存の契約は継続しているが、2022年以降、ロシアとの間で新たな契約は行っていない<sup>29</sup>。

世界銀行のWITS貿易データベースによれば、2022年において「HS Code 284420:濃縮ウラン」に関連して、フランスから他国に1246tの濃縮ウランが輸出された一方で、国外からも463tの濃縮ウランが入ってきている。同データベースにおける数値は、例えばフラマトムの顧客がロシアで濃縮したウランを用いてフランスでの燃料製造等を委託したケース等も含まれるため、フランスにおける濃縮ウランの他国依存度を示すものではない。

## 3.3.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

### (1) ウラン採掘・精錬

国内でのウラン採掘・精錬は行っていない。

### (2) 転換

現地で精錬されたイエローケーキは、仏マルヴェジ(Malvesi)サイトのComurhex II- Malvesiプラントで四フッ化ウラン(UF<sub>4</sub>)に転換された後、トリカスタン(Tricastin)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)ではなく環境保護指定施設(ICPE)となる。

Orano社 Comurhex II- Malvesi 転換プラントの概要

施設	
施設名称	Comurhex II- Malvesi
施設概要	仏 Malvesi サイトに立地しており、Orano mining 社が調達したウラン資源(国外でイエローケーキを精製)を四フッ化ウラン(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。
	役務取引 取組方針	自社が操業する Pierrelatte プラントに UF <sub>4</sub> を供給
事業主体		
	事業者名称	Orano 社
	事業者概要	経営が悪化した AREVA グループから燃料サイクル事業部門が分離され、Orano 社が設立された。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するビジネスモデルを採用している。
	政府との関係	仏政府は Orano 社の支配株主であり、13 名の取締役のうち 5 名は政府推薦。
	今後の方針・戦略	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するビジネスモデルを継続。

#### Orano 社 Comurhex-Pierrelatte 転換プラントの概要

施設	
施設名称	Comurhex-Pierrelatte (Tricastin)
施設概要	仏 Tricastin サイトに立地しており、Comurhex II-Malvesi プラントで生産された UF <sub>4</sub> を六フッ化ウラン (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 転換施設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。Malvesi の Comurhex II 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)
	役務取引 取組方針	自社が操業する Georges Besse II プラントに UF <sub>6</sub> を 供給
事業主体:Orano 社		

### (3) 濃縮

UF<sub>6</sub>は、さらに同じトリカスタンサイトのジョルジュ・ベス第 2 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。  
ここまでのウラン転換-濃縮プロセスを図 3.3-7 に示す。

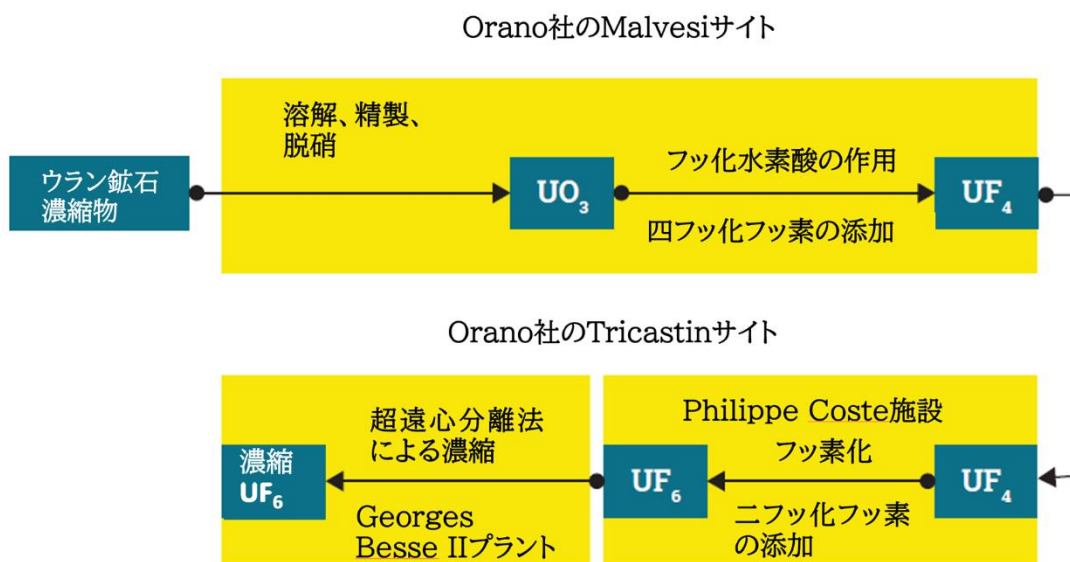


図 3.3-7 フランスにおけるウラン転換-濃縮プロセス

出所)Orano 社情報等に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

#### Orano 社ジョルジュ・ベス第 2 濃縮プラントの概要

施設		
	施設名称	Georges Besse II
	施設概要	仏 Tricastin サイトに立地しており、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(分離作業単位)/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。
役務取引 取組方針		Framatome 社の Romans プラントに濃縮ウランを供給。
事業主体:Orano 社		

#### (4) 再転換

トリカスタンサイトの W プラントでは、濃縮作業で生成した劣化ウランが安定な八酸化三ウラン(U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)形態に転換され(脱フッ素)、同サイトの TU5 プラントでは、ラ・アーク(La Hague)再処理プラント由来の再処理回収ウランが U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 形態に転換され(脱硝)、それぞれコンディショニングを経て貯蔵されている。

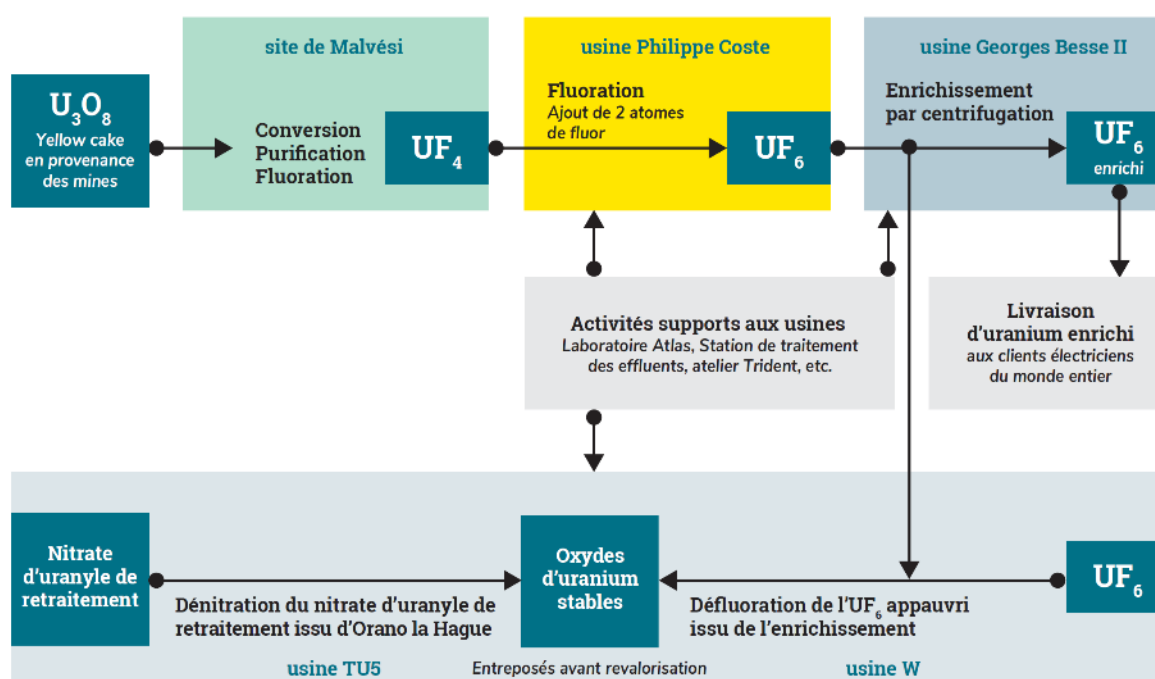


図 3.3-8 フランスにおける再転換プロセス(usine TU5、usine W)

出所)Orano 社情報等に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### (5) 再処理

使用済燃料は原子力発電所のプールで冷却された後、ラ・アーク再処理プラントに移送される。同プラントでは、ウランとプルトニウムが核分裂生成物及びその他の超ウラン元素から分離される。

Orano 社ラ・アーク再処理プラントの概要

施設	
施設名称	La Hague
施設概要	仏 La Hague サイトに立地し、2 つの再処理プラント UP2-800 施設及び UP 3 施設から構成されている。仏 EDF、その他の国の商用原子炉で発生する使用済 $UO_2$ 燃料及び使用済 MOX 燃料の再処理を行い、ウランとプルトニウムを分離している。なお、ベルギーの Mol サイトの試験炉 BR2 の使用済燃料の再処理も行っている。
技術	PUREX 法
能力	UP2-800 施設と UP 3 施設の処理能力は 2003 年の政令により、それぞれ 1,000t/年と定められているが、両施設を合わせた処理量は年量 1,700t 未満に制限されている。
稼働状況	操業中
稼働実績	UP2-800 施設は 1996 年に、UP 3 施設は 1990 年に、それぞれ操業を開始。1996 年に操業を開始し 2004 年に閉鎖された UP2-400 施設で処理された分も含め、2021 年までの再処理実績は約 38,363t であり、その内訳は下記のとおりである(括弧内は受託国)。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 5,482t(ドイツ)</li> <li>・ 2,944t(日本)</li> <li>・ 771t(スイス)</li> <li>・ 673t(ベルギー)</li> <li>・ 450t(オランダ)</li> <li>・ 196t(イタリア)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>27,847t(フランス)</li> </ul> <p>2021年には、EDF、その他の国の使用済燃料1,021tを処理し、硝酸溶液 997tを生産し、そのうち 865tを自社の Tricastin サイトに搬送した。また、ベルギーの試験炉 BR2 の使用済燃料 0.01t を処理した。なお、この年には BR2 由来の酸化プルトニウム(PuO<sub>2</sub>)12t を生産し、そのうち 6t を自社の Melox プラントに搬送した。なお、2021年時点で、La Hague サイトでは未処理の使用済燃料 10,088t(再処理委託者は EDF、その他の国の電気事業者)が貯蔵されている。</p>
役務取引 取組方針	<p>仏 EDF を主要顧客とするが、その他の国の電気事業者からも再処理を受託。Orano 社と EDF の間で 2040 年まで再処理役務を継続する誓約(engagement)が成立しており、処理量は個別の協定(accord)により決定される。なお、海外由来の再処理廃棄物を仏国内で処分することは法律で禁じられており、再処理委託国に返還される。</p>
事業主体:Orano 社	

## (6) 燃料加工(MOX 含む)

トリカスタンサイトで生産された濃縮ウランはフラマトム社のロマン＝シュル＝イゼール(Romans sur Isère)のプラントで PWR 用の燃料に成型加工される。原子炉に供給される前の新燃料は、フランス電力(EDF)がビュージェイ(Bugey)とシノン(Chinon)に有している地域間倉庫(MIR)において保管することもできる。

フラマトム社 Romans 燃料成型加工プラントの概要

施設	
施設名称	Romans
施設概要	<p>仏 Romans-sur-Isère サイトに立地しており、仏 Orano 社の Georges Besse II プラント、Urenco 社(オランダ、ドイツ、英国)及び Tenex 社(ロシア)からの濃縮ウランを燃料集合体に成型加工し、それぞれ仏 EDF、中国の台山原子力発電所、スイスのゲスゲン原子力発電所に供給している。なお、ANF 社(Framatome 社の子会社)の独リンゲン(Lingen)プラント由来の UO<sub>2</sub></p>

		燃料棒を粉末状の $UO_2$ と八酸化三ウラン ( $U_3O_8$ ) に加工し、Framatome 社の米リッチランドプラント及びフランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA) に供給している (研究用)。
	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可能。
	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、Georges Besse II プラントからの濃縮ウラン 564t、Urenco 社の濃縮ウラン 142t、Tenex 社の濃縮ウラン 21t を処理し、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した。
	役務取引 取組方針	Orano 社→Romans→EDF、Urenco 社→Romans→台山、Tenex 社→Romans→ゲスゲン
事業主体		
	事業者名称	Framatome 社
	事業者概要	フランス電力 (EDF) 傘下で原子炉製造・サービス、燃料の成型加工を担当。
	今後の方針・戦略	EDF 傘下企業として、①カーボンニュートラルの実現と気候変動対策、②地球資源の保全、③社会の安寧と連帯の確立、④責任ある開発に取り組んでいく。

回収されたプルトニウムはマルクール (Marcoule) の Melox プラントにおいて混合酸化物 (MOX) 燃料に加工される。フランスでは、MOX 燃料は一部の 90 万 kW 級 PWR において利用されている。現在、使用済 MOX 燃料の再処理は行われておらず、当面はラ・アーク再処理プラントにおいて貯蔵される。

フランスにおける使用済燃料のリサイクルプロセスを図 3.3-9 に示す。

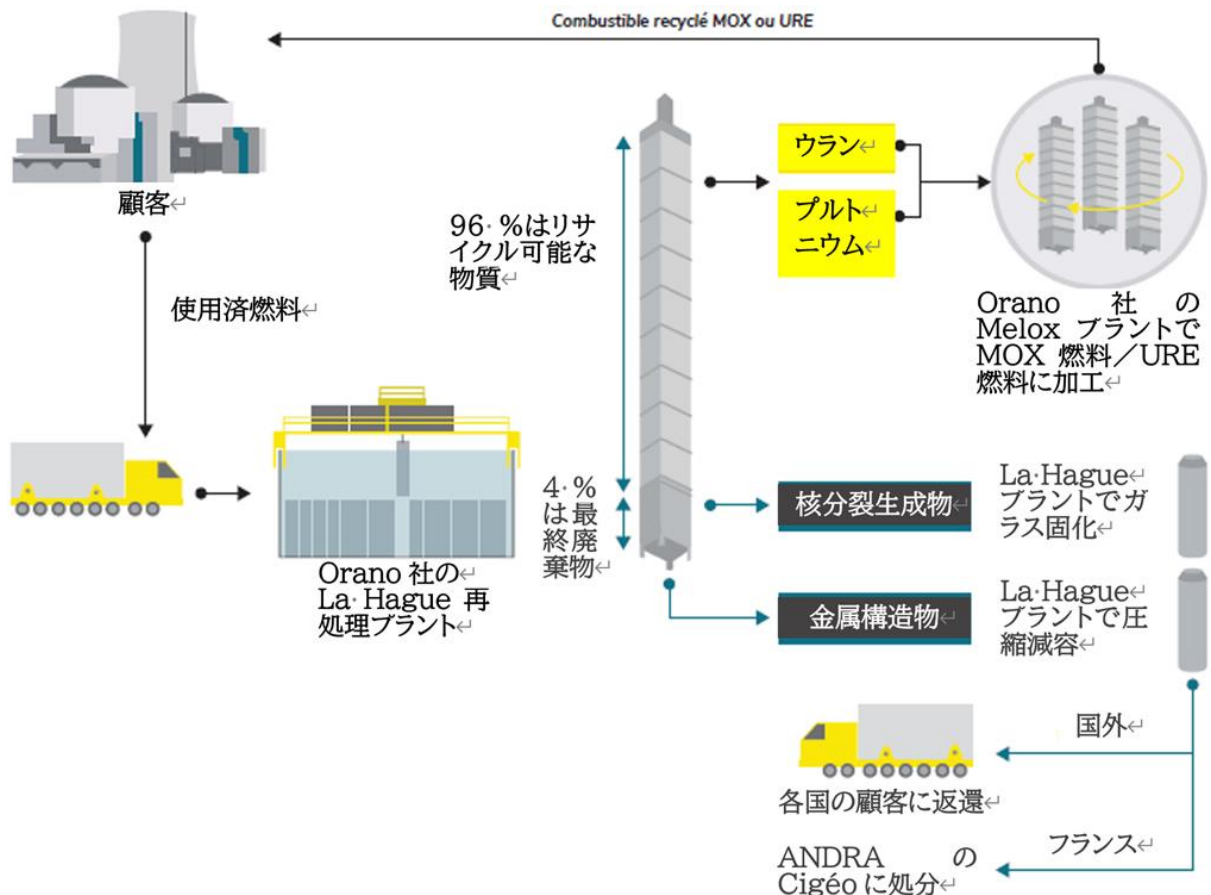


図 3.3-9 フランスにおける使用済燃料のリサイクルプロセス

出所)Orano 社情報等に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### Orano 社 Melox プラントの概要

施設	
施設名称	Melox
施設概要	仏マルクール(サイト)に立地し、ANF 社(Framatome 社の子会社)の独リンゲンプラント及びスウェーデンウェスティングハウス社(WSE)の瑞 Vasteras プラント由来の劣化 $UO_2$ 、ならびに仏 Orano 社のラ・アーク再処理プラント由来の $PuO_2$ を MOX 燃料集合体に成型加工し、仏 EDF と日本の関西電力に搬送した(2021 年実績)。なお、Melox プラントは 2014 年まで、Tricastin サイトの Comurhex-Pierrelatte プラントの回収ウラン処理施設から供給された劣化 $UO_2$ を加工し、その一部を EDF に供給していたが、同施設の閉鎖により、2015 年以降は海外由来の劣化 $UO_2$ のみを使用している。
技術	Advanced MIMAS 法

能力	公称生産能力は 195 t HM/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。
役務取引 取組方針	フランス、日本、ドイツ、オランダの原子力発電事業者に MOX 燃料を供給。2021 年には、ドイツ由来の劣化 UO <sub>2</sub> を 54t、スウェーデン由来の劣化 UO <sub>2</sub> を 6t、仏ラ・アーク由来の PuO <sub>2</sub> を 5t 処理し、51t 相当の MOX 燃料集合体を生産した。これらの MOX 燃料集合体のうち、38t 相当を EDF に、7t 相当を関西電力に搬送した。
事業主体:Orano 社	

## (7) 燃料輸送

燃料集合体は鉄道または車両により輸送される。Orano 社傘下には、原子力専門輸送会社として OranoNuclear Packages and Services 社(Orano NPS)が輸送の管理、輸送用コンテナをはじめとする輸送用インフラの開発・生産を行っている<sup>30</sup>。同社が輸送方針を体系化させたのち、子会社である LMC 社を始めとする下請け会社が輸送を行う。

## (8) 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 1~2 年程度貯蔵された後、ラ・アーク再処理プラントに輸送され、再処理までにさらに 8 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、発電所からラ・アーク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。同国で湿式貯蔵方式が採用された理由は、原子力発電や使用済燃料の再処理が行われ始めた 1970~1980 年代にかけて、乾式貯蔵技術の開発が十分に進んでいなかったためとされている。

規制の面では、原子力発電所における貯蔵期間中は、原子力発電所に関わる安全規制の対象となり、ラ・アーク再処理プラントへの輸送後は、燃料サイクル施設に関わる安全規制の対象となる。原子力発電所も燃料サイクル施設もフランスにおいては原子力基本施設(INB)という位置づけであることから、基本的な規制要件は同一であり、次の基本法令が適用される。

- 環境法典
- 原子力基本施設に関する一般的な規則を定める 2012 年 2 月 7 日の省令

これに加えて、事業者の活動等に関するフランス原子力安全・放射線防護機関(ASNR)の検査等が

実施され、必要に応じて、個別の施設に関する ASNR の決定(法的拘束力を有する)が策定される。

放射性廃棄物管理機関(ANDRA)が 2024 年に公表した「放射性物質及び放射性廃棄物インベントリ」の主要データによれば、2024 年末時点における使用済燃料のストックは以下のとおりである。

使用済 UO<sub>2</sub> 燃料及び使用済回収ウラン燃料:11,500 tHM

使用済 MOX 燃料(高速炉使用済 MOX 燃料を含む):2,460 tHM

「放射性物質及び放射性廃棄物インベントリ」に基づく 2013 年から 2022 年の使用済燃料のストックの推移は表 3.3-5 に示すとおりである。

表 3.3-5 フランス国内の使用済燃料のストックの推移(単位:tHM)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
使用済 UO <sub>2</sub> ・回収ウラン燃料	12,000	12,270	12,082	12,000	12,100	12,000	11,900	11,700	11,200	11,500
使用済 MOX 燃料	1,700	1,763	1,873	1,960	2,030	2,140	2,270	2,350	2,390	2,460

出所)ANDRA 放射性物質・放射性廃棄物インベントリ主要データに基づき作成

#### a. 貯蔵容量ひっ迫の問題

大半の使用済燃料が貯蔵されているラ・アーク再処理プラントに関しては、2035 年までに電源構成に占める原子力の割合を 50%に縮減する政策との関連で、近い将来に貯蔵容量が不足する問題が指摘されていた。2017 年に発行された PNGMDR は EDF に対して、使用済燃料貯蔵の管理戦略を明確にし、新しい貯蔵能力の創設に関連する技術的及び安全上の選択肢を原子力安全機関(ASN)に提示するよう求めていた。また、原子力安全機関(ASN)の 2018 年 10 月 18 日付の見解書においても、プルサーマルを実施している 90 万 kW 級 PWR が閉鎖された場合、プルトニウム需給バランスを取るために再処理量が減少し、貯蔵される使用済燃料が増大することにより、2030 年頃までにラ・アークの貯蔵容量がひっ迫することが指摘された。

これに対して EDF は、貯蔵プールの新設に係る検討を開始した。2019 年には改訂版 PNGMDR に関する公開協議が行われ、環境移行省と ASN により使用済燃料の貯蔵容量追加の必要性を再確認するとともに、貯蔵プール新設に向けた検討の継続を要請した。これを経て 2022 年の第 5 版 PNGMDR においても、早急な貯蔵能力拡大の必要性が改めて確認された。

EDF は、使用済燃料の貯蔵容量ひっ迫に対応するため、新たな使用済燃料貯蔵プールの建設プロジェクトを進めている。Orano 社がラ・アークに所有する既存の貯蔵施設に隣接した区域に、約 15 ヘクタールの敷地を確保し、6,500t(約 13,000 体の燃料集合体に相当)の使用済燃料が貯蔵可能な施設の建設を目指している。施設は半地下式で設計された 3 つの建物からなり、輸送用キャスクの収容、使用済燃料集合体の荷揚げ、タンクへの貯蔵が行われる。総事業費は約 12.5 億ユーロと見積もられ、当初は EDF グループが全額を融資する計画であった<sup>31</sup>。2034 年の稼働を目指し EDF は、2023 年、2024 年に複数回にわたり、情報公開を目的としたワーキンググループや追跡委員会、環境・社会経済ワーキンググループのほか、一般市民との対話を行ってきた<sup>32</sup>。

EDF が進めていた同プロジェクトについて 2024 年 10 月、EDF と Orano 社は、エネルギー・気候総局(DGEC)及び原子力規制機関(ASNR)に対して、EDF から Orano 社へのプロジェクトの移管を

提案した。EDF が同プロジェクトを中止し、今後は Orano 社の管理の下、よりスケールの大きな使用済燃料貯蔵プール拡大プロジェクトの展開が期待される。この変更は、ラ・アーグ施設の生産性が向上していることや、2024 年 2 月の原子力政策評議会(CPN)において、ラ・アーグへの大規模な長期投資が決定され、国家としての原子力・核燃料サイクル戦略の継続が確認されたことが、主な理由と説明される。EDF と Orano 社によると、長期にわたる原子力発電の推進と、バックエンドに関する国の基本方針が示されたことにより、少なくとも 2040 年までは、稠密化を行わなくとも使用済燃料貯蔵の飽和リスクが先延ばしされる。EDF の計画では 2034 年の操業を目指していたが、Orano 社が進める新プロジェクトでは、2040 年に変更され、貯蔵容量についても、6,500t のプール 1 つから 3 つまたは将来的には 4 つのプールへとプロジェクトが拡大される。また事業者の変更により、ラ・アーグで貯蔵施設を持つ Orano 社が単一の事業者となることで、効率化が目指される<sup>33</sup>。

### (9) 放射性廃棄物

フランスにおける放射性廃棄物の管理・処分方針は、放射性核種の寿命と放射能レベルによって図 3.3-10 のとおり分類されている。

	極短寿命 (VTC)	主に短寿命 (VC)	主に長寿命 (VL)
極低レベル (TFA)	VTC: 放射性崩壊による管理	TFA: 浅地中処分 モルヴィリエ処分場 (Cires)	
低レベル (FA)		FMA-VC: 浅地中処分 オーブまたはラ・マンシュ処分場	FA-VL: 処分方法検討中
中レベル (MA)		MA-VL, HA: 地層処分 Cigéoプロジェクト	
高レベル (HA)	該当なし		

図 3.3-10 フランスにおける放射性廃棄物の分類と管理方法

出所) ANDRA 放射性物質・放射性廃棄物インベントリに基づき作成

フランスでは使用済燃料は再処理されており、直接処分は想定されていない。再処理により発生する高レベル放射性廃棄物については、フランスにおける放射性廃棄物管理を行っている放射性廃棄物管理機関(ANDRA)によりガラス固化され、将来的には地層処分場 Cigéo に処分される(Cigéo については、3.3.6 (3)を参照)。

### (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

回収ウランはトリカスタンの Orano 社サイトにおいて貯蔵されているが、貯蔵容量のひっ迫から、EDF は 2024 年 2 月にクリュアス原子力発電所 2 号機で、回収ウラン燃料による発電を再開させた。

### 3.3.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

フランスにおける原子力分野の研究・開発(R&D)は、原子力・代替エネルギー庁(CEA)<sup>b</sup>を中心に実施されている。CEAはフランス政府と3カ年のR&D方針も含む運営方針に関する契約を締結しているとされるが、当該契約は公開情報からは確認できない。放射性廃棄物管理に関するR&Dについては、国家評価委員会(CNE)による毎年の評価が実施されており、R&D戦略の立案においてはCNEの勧告等も考慮されているものと考えられる。

核燃料サイクル施設の安全性向上に関しては、原子力安全規制に鑑みたR&Dが実施される。安全規制に関しては燃料サイクル施設を含めて原子力安全機関(ASN)が監督を行っており、安全規制活動や安全性の向上に必要なR&Dについては、ASNの技術支援機関である放射線防護・原子力安全研究所(IRSN)が担っている。なお、2025年1月にASNとIRSNは統合されており、ASNRが創設された。ASNRが担う任務には、ASNR内部又は国外を含む他の研究機関と連携し、分野横断的研究プログラムを実施することが定められている<sup>34</sup>。統合により、R&Dにおいてもリソースの最適化が目指される。

#### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

マクロン大統領は、2021年10月に発表した大規模投資計画「フランス2030」において「放射性廃棄物の適切な管理を伴う革新的な小型モジュール原子炉の開発する」との目標を明示し、2022年2月のベルフォール演説でも「フランス2030計画の枠内でSMR及び革新的原子炉を開発する」と明言した。イノベーションの促進を目指す投資計画「フランス2030」の枠組みで政府は、原子力分野に10億ユーロの公費を投じる予定である。この目標として、原子炉用途の多様化、廃棄物と放射能の減量、マルチサイクルを通じた戦略的主権の確保、安全性と核セキュリティの向上の4つの柱を挙げている。

2022年3月にはフランス2030の枠組みで、核分裂及び核融合分野の革新的な原子炉のコンセプトを支援するため、プロジェクト募集が開始された。革新的原子炉の支援対象プロジェクト公募は「構想」、「概念の実証」、「プロトタイプ」の3段階に分けて行われる。第1段階の募集では2024年までに11件の革新炉プロジェクトに対して、約1.3億ユーロの支援が決定した。うち9件はナトリウム冷却高速炉や鉛冷却高速炉、溶融塩炉、高温炉を含む核分裂炉、2件は核融合炉のプロジェクトからなる。これらの新しい原子炉のコンセプトは、電気・熱・水素の複合的生産、クローズド燃料サイクルの完結、放射性廃棄物管理、生産されるエネルギーの競争力強化、原子力安全性や核セキュリティなど、フランス原子力産業の研究開発に大きな進歩をもたらすと政府は説明している。

SMRやAMRの登場により、原子力の世界に変化が訪れているとして、Orano社は2024年10月、革新的な高速炉の設計を行う新興企業と、2つのワーキンググループを発足した<sup>35</sup>。高速炉の開発を共通の取組とすることで、効率性の向上や、燃料に関する開発コストと資源の最適化が目指される。ワーキンググループは高速炉MOXグループと、溶融塩炉グループに分かれ、それぞれ高速炉で使用さ

れる MOX 燃料と、溶融塩炉で使用される液体燃料の開発、ラ・アークでの再処理、輸送・取扱い技術の開発を目指す。グループのメンバーはいずれも「フランス 2030」の投資対象に選定された企業で、高速炉 MOX グループには Orano 社のほか、Hexana 社、newcleo 社、Otrera 社が参加し、溶融塩炉グループには Orano 社の他、Naarea 社、Stellaria 社、Thorizon 社が参加する。このうち Orano 社は 2023 年 6 月までに Stellaria 社及び Thorizon 社との協働研究を行っており、ワーキンググループの発足はこれを補完するものとなる。これらの協力体制は「フランス 2030」に続き、最先端の原子力技術の開発でフランスのリーダーとしての地位確立を狙う。最先端の原子力技術の開発促進と、エネルギー革新のリーダーとしてのフランス地位確立を目指す。

### (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法律<sup>35</sup>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。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。3 段階に分けて行われる技術審査のうち、2024 年 6 月には、ASN が Cigéo の設置許可申請に対して、第 1 段階の結果を公表した。技術審査の第 1 段階では Cigéo の安全評価に使用されている基礎データの評価が対象となった。審査は放射線防護・原子力安全研究所(IRSN)の支援のもと、ASN の廃棄物常設専門家グループ(GDP)が担当した。ASN は、安全評価の実施において ANDRA の知見が十分な水準にあると評価している。

さらに 2025 年 1 月には、第 2 段階の結果も公表されている<sup>36</sup>。技術審査の第 2 段階では、操業段階での地上及び地下施設の安全評価が行われた。第 2 段階においても IRSN が実施した専門的評価に基づき、GDP が審査を行った。IRSN は、安全目標や防護における活動・要素とその妥当性の評価、また事故及びインシデントの特定と分類、作業区域の定義等の専門的評価を行い、2024 年 11 月に ASN に意見書及び評価報告書を提出していた<sup>37</sup>。

第 2 段階の審査項目としては、安全アプローチ、操業時の安全性、健康及び環境影響が対象となったほか、第 1 から第 3 段階共通の課題として、パイロット産業フェーズでの安全性が審査された。第 2 段階の審査の結果、ANDRA による安全性の立証は概ね満足のいくものであるが、いくつかの改善点も指摘された。特に、事故対策の強化、火災リスク管理の改善、ビチューメン固化体に対する安全性の実証、処分坑道及び処分孔における爆発リスク管理の詳細化などが求められた。また、パイロット産業フェーズの計画や基準についても、さらなる具体化が必要とされた。GPD は、掘削作業開始前に再検討が必要な問題として、初期構造物に対するモニタリング規定の特定や、ビチューメン固化体の処分、長寿命中レベル放射性廃棄物の処分坑道の閉鎖時、高レベル放射性廃棄物の処分孔の安全性立証の追加作業を挙げている。技術審査の最終段階となる第 3 段階の審査は 2025 年半ばに実施予定となっている。1991 年より研究が開始された同プロジェクトの建設開始は 2027 年頃で、2035 年以降の操業開始が予定されている。

## 参考文献

- <sup>1</sup> Légifrance “LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (1)”(2015年8月17日)  
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031044385>
- <sup>2</sup> Élysée “Transition énergétique : changeons ensemble”(2018年11月28日)  
<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2018/11/28/transition-energetique-changeons-ensemble>
- <sup>3</sup> Légifrance “LOI n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (1)”(2019年11月8日)  
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000039355955/>
- <sup>4</sup> 多年度エネルギー計画 “Programmation Pluriannuelle de l'Énergie 2019-2023 2024-2028”(2020年4月)  
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%201%27e%CC%81nergie.pdf>
- <sup>5</sup> EDF “Point d'actualité sur l'EPR de Flamanville : le réacteur produit ses premiers électrons sur le réseau électrique national”(2024年12月21日)  
<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/journalistes/tous-les-communiqués-de-presse/point-d-actualite-sur-l-epr-de-flamanville-le-reacteur-produit-ses-premiers-electrons-sur-le-reseau-electrique-national>
- <sup>6</sup> Élysée “Présentation du plan France 2030”(2021年10月12日)  
<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2021/10/12/presentation-du-plan-france-2030>
- <sup>7</sup> Élysée “Reprendre en main notre destin énergétique”(2022年2月10日)  
<https://www.elysee.fr/front/pdf/elysee-module-19285-fr.pdf>
- <sup>8</sup> Légifrance “LOI n° 2023-491 du 22 juin 2023 relative à l'accélération des procédures liées à la construction de nouvelles installations nucléaires à proximité de sites nucléaires existants et au fonctionnement des installations existantes (1)”(2023年6月22日)  
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047715784>
- <sup>9</sup> Légifrance “LOI n° 2024-450 du 21 mai 2024 relative à l'organisation de la gouvernance de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour répondre au défi de la relance de la filière nucléaire (1)”(2024年5月21日)  
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049563783>
- <sup>10</sup> ASNR “Création de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)”(2025年1月2日)  
<https://www.asnr.fr/actualites/creation-de-lautorite-de-surete-nucleaire-et-de-radioprotection-asnr>
- <sup>11</sup> Sénat “Éclairer l'avenir : l'électricité aux horizons 2035 et 2050 - Rapport”(2024年7月2日)  
<https://www.senat.fr/rap/r23-714-1/r23-714-156.html>
- <sup>12</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年3月7日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/mars/bruno-le-maire-et-roland-lescore-en-visite-sur-le-site-orano-la-hague-confirment-la-strategie-de-traitement-recyclage-au-dela-de-2040>
- <sup>13</sup> フランス政府 “Nucléaire: l'Élysée annonce de futurs ”investissements importants” sur le site Orano de La Hague”(2024年2月27日)

- <https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/09/09c15f29b00311ee1e75aa69891e24caedb32a64.pdf>
- 14 フランス政府 “EDF bientôt détenue à 100 % par l’État : mode d’emploi” (2022 年 7 月 20 日)  
<https://www.info.gouv.fr/actualite/edf-bientot-detendue-a-100-par-letat-mode-demploi>
- 15 フランス政府 “L’Etat annonce son intention de lancer une offre publique d’achat simplifiée sur les titres de capital d’EDF dans l’objectif de retirer la société de la cote” (2022 年 7 月 19 日)  
<https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/03/e6c3f4deabeb936596a126730d9096fef476202e.pdf>
- 16 経済・財務・産業及びデジタル主権省 “L’Etat annonce son intention de lancer une offre publique d’achat simplifiée sur les titres de capital d’EDF dans l’objectif de retirer la société de la cote” (2023 年 6 月 8 日)  
<https://presse.economie.gouv.fr/08062023-letat-redevient-lactionnaire-unique-dedf/>
- 17 Orano “Orano annonce la réalisation d’une augmentation de capital de 300 millions d’euros” (2024 年 10 月 24 日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/octobre/orano-annonce-la-realisation-d-une-augmentation-de-capital-de-300-millions-d-euros>
- 18 経済・財務・産業及びデジタル主権省 “L’Agence des participations de l’État (APE) confirme la souscription de l’État à hauteur de 300 M€ à l’augmentation de capital d’Orano” (2024 年 10 月 24 日)  
<https://presse.economie.gouv.fr/lagence-des-participations-de-letat-ape-confirme-la-souscription-de-letat-a-hauteur-de-300-meur-a-laugmentation-de-capital-dorano/>
- 19 Orano “Rapport Annuel d’Activité Orano 2023” (2025 年 2 月 6 日閲覧)  
[https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/publication-groupe/orano\\_rapport-annuel-activite\\_2023\\_mel.pdf?sfvrsn=e1eb5bf8\\_10&\\_gl=1\\*7zkg3b\\*\\_gcl\\_au\\*MTUyMDcyMDY4Mi4xNzM0NTMONTQ4](https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/publication-groupe/orano_rapport-annuel-activite_2023_mel.pdf?sfvrsn=e1eb5bf8_10&_gl=1*7zkg3b*_gcl_au*MTUyMDcyMDY4Mi4xNzM0NTMONTQ4)
- 20 ANDRA “Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Les Essentiels 2024” (2024 年 3 月 13 日)  
[https://www.andra.fr/sites/default/files/2024-03/ANDRA\\_Inventaire%20national\\_Essentiel%202024\\_V13.pdf](https://www.andra.fr/sites/default/files/2024-03/ANDRA_Inventaire%20national_Essentiel%202024_V13.pdf)
- 21 Orano “Le Conseil d’administration d’Orano valide le projet d’extension de capacité d’enrichissement de l’usine Georges Besse 2” (2023 年 10 月 19 日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2023/octobre/le-conseil-d-administration-orano-valide-le-projet-d-extension-de-capacite-d-enrichissement-de-l-usine-georges-besse-2>
- 22 Orano “Pose de la première pierre de l’extension de l’usine Georges Besse 2 d’Orano” (2024 年 10 月 10 日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/octobre/pose-de-la-premiere-pierre-de-l-extension-de-l-usine-georges-besse-2-d-orano>
- 23 Orano “Le contexte et les objectifs du projet” (2025 年 2 月 7 日閲覧)  
<https://www.orano.group/projetextensiongb2/fr/le-projet/le-contexte-et-les-objectifs-du-projet>
- 24 Orano “Orano annonce la réalisation d’une augmentation de capital de 300

- millions d'euros" (2024 年 10 月 24 日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/octobre/orano-annonce-la-realisation-d-une-augmentation-de-capital-de-300-millions-d-euros>
- <sup>25</sup> Framatome "Framatome et Slovenské elektrárne signent un accord pour renforcer leur partenariat" (2023 年 5 月 31 日)  
<https://www.framatome.com/medias/framatome-et-slovenske-elektrarne-signent-un-accord-pour-renforcer-leur-partenariat/?lang=fr>
- <sup>26</sup> Framatome "Framatome obtient un financement de l'Union européenne pour développer un combustible VVER souverain 100% européen" (2024 年 6 月 20 日)  
<https://www.framatome.com/medias/framatome-obtient-un-financement-de-l-union-europeenne-pour-developper-un-combustible-vver-souverain-100-pour-100-europeen/?lang=fr>
- <sup>27</sup> IAEA "Communication Received from France Concerning Its Policies Regarding the Management of Plutonium" (2024 年 8 月 23 日)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1998/infcirc549a5-28.pdf>
- <sup>28</sup> WTIS "France Natural uranium and its compounds, etc imports by country in 2023"(2025 年 2 月 8 日閲覧)  
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/FRA/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/284410>
- <sup>29</sup> Sfen "Le nucléaire français n'est pas sous emprise russe - fact checking du rapport Greenpeace"(2023 年 3 月 20 日)  
<https://www.sfen.org/rgn/le-nucleaire-francais-nest-pas-sous-emprise-russe-fact-checking-du-rapport-greenpeace>
- <sup>30</sup> Orano "Emballages nucléaires & Services"(2025 年 2 月 5 日閲覧)  
<https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/activites-de-services-et-d-ingenierie/sites-emballages-nucleaires-services>
- <sup>31</sup> EDF "Le projet piscine en bref "(2025 年 2 月 25 日閲覧)  
<https://projet-piscine.edf.fr/pages/le-projet-piscine-en-bref>
- <sup>32</sup> EDF "Comptes-rendus des rencontres"(2025 年 2 月 25 日閲覧)  
<https://projet-piscine.edf.fr/pages/comptes-rendus-des-rencontres>
- <sup>33</sup> HCTISN "Perspectives d'évolution des entreposages de combustibles usés & Schéma industriel de l'aval du futur"(2024 年 10 月 15 日)  
[http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/2024\\_10\\_15\\_-\\_hctisn\\_-\\_besoin\\_en\\_entreposages\\_et\\_schema\\_industriel\\_adf\\_vd.pdf](http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/2024_10_15_-_hctisn_-_besoin_en_entreposages_et_schema_industriel_adf_vd.pdf)
- <sup>34</sup> ASNR "Les missions de l'ASNR"(2025 年 2 月 7 日閲覧)  
<https://www.asnr.fr/lasnr/les-missions-de-lasnr>
- <sup>35</sup> Orano "Orano lance deux groupes de travail avec les concepteurs de réacteurs innovants"(2024 年 10 月 14 日)  
<https://www.orano.group/fr/actus/actualites-du-groupe/2024/octobre/orano-lance-deux-sharing-groups-avec-les-concepteurs-de-reacteurs-innovants>
- <sup>36</sup> ASNR "Le groupe permanent d'experts pour les déchets émet ses recommandations sur la sûreté de Cigéo en phase d'exploitation"(2025 年 1 月 16 日)  
<https://www.asnr.fr/actualites/le-groupe-permanent-dexperts-pour-les-dechets-emet-ses-recommandations-sur-la-surete-de>
- <sup>37</sup> IRSN "Avis et rapports Projet Cigéo"(2024 年 11 月 29 日)  
<https://www.irsn.fr/avis-rapports-projet-cigeo>

## 3.4 ロシア

### 3.4.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

ロシアでは、ソ連時代から原子力の軍事利用と共に平和利用を積極的に展開し、原子力技術の開発当初よりクローズドな核燃料サイクルを目指し、早くから高速炉や核燃料サイクル技術の研究開発が行われた。1991年のソ連崩壊後、ロシアでは1992年に原子力省(MINATOM)が設立され、ソ連時代からの原子力事業を引き継いだ。2000年に始まったプーチン大統領の政権下で、ロシアの原子力・核燃料サイクル体制が再編・強化され、国内での新設に加え、国外展開も再び強化された。2001年には同大統領が、国外からの使用済燃料を可能にする法律に署名した<sup>1</sup>。この法律により、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。2004年には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、より柔軟な原子力分野の事業展開を図る目的で、プーチン大統領は2007年12月1日の大統領令により連邦原子力庁としてのROSATOMを廃止、「ROSATOM 国営原子力会社」として法人化し、原子力利用の政策と事業を一体で担う組織となった。このROSATOMのもとに、軍民の原子力・核燃料サイクル事業が集約された<sup>2</sup>。

化石燃料の国外輸出は、ロシアの国家財政を支える重要な収入手段である。このためロシアでは、自国の化石燃料資源を輸出に優先的に回すために、国内の発電部門を原子力等で代替する戦略を取っている。ロシアでは、特に2000年代以降、高速炉を将来のエネルギー問題解決の鍵として捉えて、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ことを目的に開発が進められた。同国では2010年代終わり頃まで、中長期のターゲット年(2030年、2050年、2100年など)に向けた国家の戦略目標としての「原子力戦略」を定めてきた。また、ロシアでは政府が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、「ロシア連邦における原子力エネルギーの発展に関するFTP(2002-2010年)」、「原子力及び放射線安全に関するFTP(2008-2015年)」、「ロシア連邦における原子力産業の革新開発に関するFTP(2010-2015年)」に基づき、原子力開発を推し進めた。

「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年には「Proryv(ブレイクスルー)」プロジェクトが開始された。同プロジェクトは特に高速炉(セベルスクでの鉛冷却高速炉「BREST-OD-300」の建設など)や燃料再処理技術の開発に焦点を当てている。ROSATOMは2024年現在も、同プロジェクトを継続しており<sup>3</sup>、上記FTPを通じて、革新炉サイクルを含めた現在のロシアにおける開発の流れが形作られた。

2025年現在、上掲の原子力戦略はより広範なエネルギー戦略、電源開発戦略に統合され、FTPにおいても旧原子力・軍事サイト等のレガシーサイトの復旧などに関する文書はあるが、新たに連邦FTPとして原子力・燃料サイクルの新機軸を打ち出すような文書は発出されていない模様である<sup>4</sup>。

2019年5月13日のロシア連邦大統領令として発行された「2035年までのロシア連邦のエネルギー戦略」では、エネルギー輸出の拡大と多様化、国内エネルギー供給の安定確保、イノベーション推進

と輸出競争力確保、低炭素技術(原子力含む)など環境技術の導入促進を大きな柱とし、その対応の一環として、原子力産業の国際市場での競争力強化と、輸出拡大を打ち出している<sup>5</sup>。この戦略は 2025 年時点においても有効である。

こうした戦略に基づいて、ROSATOM では原子力関連製品やサービスの輸出拡大を進めている。ROSATOM は、原子炉輸出の契約オプションの 1 つとして、建設した原子炉を完成後に相手国に引き渡すのではなく、同社が建設(Build)・保有(Own)・運営(Operate)を行う BOO 方式を提供している。また、国家間の借款など、建設資金を含めた対応も行い、前述のとおり、使用済燃料の引き取りも可能であり、こうした特徴を、特に原子力発電導入を検討する新興国への輸出における ROSATOM の強みとして打ち出している。

## (2) 官民の役割分担

ロシアでは軍民原子力産業の全てが、国有原子力会社である ROSATOM に集約されている。

ソ連時代、原子力行政及び事業は、中型機械工業省が担当していたが、チョルノービリ事故直後の 1986 年 6 月、原子力・産業省に改組された。1991 年のソ連崩壊に伴い、原子力・産業省のロシア担当部分を継承して連邦原子力省が設立され、2004 年に組織改編により連邦原子力庁が設立された。2007 年 4 月には大統領令第 556 号「ロシア連邦原子力産業複合体の再編に関する大統領令の改正案の導入に関する大統領令」発出され、原子力推進を担う行政的機能と、それまで分立していた核燃料サイクル、原子力発電をはじめ民生から軍事までの原子力事業を統合する 100% 国有企業体の設立が規定され、同年内に国営原子力会社 ROSATOM が発足した。こうした経緯から、ロシアでは安全規制を連邦環境・技術・原子力監督庁(ロステフナドゾル)、また原子力の安全保障面での取り組みは原子力安全研究所(IBRAE)が担うなど、規制の側面で外部の行政当局が担当するが、原子力推進行政と原子力事業は ROSATOM のもとで一体的に、政府の取組として実施されている。すなわち、100% 政府による体制であるということができる。

同様の体制は民生プルトニウムの所有権にも当てはまる。

ロシアでは、「原子力利用に関する連邦法」の第 5 条において、核物質の所有権について定めている。同条では核物質の所有者を連邦あるいは法人とし、①連邦のみが所有者となる核物質のリスト、及び②核物質の所有を認められるロシア法人のリストを指定するとしている。また、国外からロシアへと持ち込まれた核物質については、外国の国家あるいは法人の所有権を認めることができるとしている。

上記①、②のリストは、上述の ROSATOM 設置法令である 2007 年大統領令の附属書として定められている(①のリストは附属書 1、②のリストは同附属書 3)。2024 年 1 月改正の最新版によれば、①のリスト(大統領令附属書 1)において、プルトニウムは政府が国家財産として所有する核物質のリストに含まれるが(附属書 1 第二項)、核燃料や使用済燃料に含まれるプルトニウムや、商用炉や研究炉の使用済燃料再処理により回収されたプルトニウムなど民生プルトニウムは、政府による直接所有からの「除外」対象に含まれている。すなわち、ロシアにおいて、民生プルトニウムは直接的な国家財産としては扱われておらず、②のリスト(同令附属書 3)に掲載される、大統領が承認した法人であれば所有することができる。なお②のリストには、ROSATOM 及びその傘下の事業体や研究所が記載されている。

ROSATOM に所在するプルトニウムのうち、軍事に係るプルトニウムは法人としての ROSATOM ではなく直接国家に帰属するが、ロシア国内の原子力発電所由来の民生プルトニウムは、一貫して 100% 国営の ROSATOM の所有下にある<sup>6,7,8</sup>。

### 3.4.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシア・親ロシア動向

#### (1) 燃料サイクルにおける「脱ロシア」に対するロシアの対抗策

ロシアが2022年2月にウクライナへの侵攻を開始すると、欧米諸国は相次いで、ロシア制裁の一環として、様々な品目の輸出入禁止措置を採った。EUでは、2014年のロシアによるクリミア併合を機に発出した対ロ制裁に関する決定や規則(理事会決定2014/512/CFSP、欧州連合規則(EU)33/2014)を更新・拡大した。これによりロシア法人等との契約の締結・継続を禁止、あるいはこれら法人等に対するEURATOMや加盟国の国家計画等に基づく資金調達、財政支援等が禁止された。また、ロシアに対するデュアルユース品目・技術の販売、供給、移転、輸出、これらにかかる技術的・財政的支援供与も禁止された。ただし、原子力においてはウラン供給や濃縮ほか燃料サイクルをはじめ、ロシアの排除は現実問題として困難であることから、民生原子力に係る活動は全体として、制裁の対象外とされている。

米国においても状況は同様だったが、2024年5月、バイデン政権はロシア産ウラン輸入禁止法(H.R. 1042)を制定し、同年8月に同法が発効した。これにより、対ロ制裁が民生原子力分野にも及ぶこととなった。同法では、ロシアからの低濃縮ウラン輸入濃縮ウランの輸入を原則禁止とし、2027年まではエネルギー長官が代替の調達先が不足すると認めるケースにおいてのみ、特定量の輸入を例外的に許可すること、2028年以降は全面輸入禁止とすることが定められた。

ロシアはこれに対抗して2024年11月に、米国に対する低濃縮ウランの輸出を、「暫定的に」原則禁止とする法改正を行った。これは、ロシアのウクライナ侵攻後の欧米による対ロ制裁への対抗措置としてロシア政府が2022年3月に発出した、ロシアからの輸出制限品目・対象国に関する政令を改定するものである。元の政令では、濃縮ウランは「原則輸出禁止」だが、脚注において特例措置として、輸出が可能となっていたところ、2024年11月の決議により、その特例措置から米国・米国人が除外された。その上で、当該政府決議では脚注部分に改めて米国について「連邦技術輸出管理局が都度許可を出すこと」という例外条項のもとで、輸出を認める条件を付している<sup>9,10</sup>。

結局、少なくとも米国で全面禁止となる2028年より前の段階では、ロシアと米国間の濃縮ウラン輸出入は、現在も可能である。ただし、従来、輸出管理制度上の優遇国待遇を、両国が互いに取り消した状態となっている。

従来、米国の電気事業者がロシアから濃縮ウランを調達する際、両者の長期契約等に基づき、輸出管理上も包括許可を得ていたものが、5月の米国法改正によりこうした包括許可が無効となり、都度の許可が必要となった。ロシア側の11月の法改正も同じく、包括許可を取り消して、都度の許可を定める形をとっている。

このように、ロシアと米国間では濃縮ウランに係る制限が法的に明示されているが、その他の国々について、変更はない。なお、EUでは上述のとおり、原子炉や燃料製品においても法的な制裁対象ではないものの、エネルギー安全保障上の観点から「ロシア以外」への調達先切替・多様化の動きが見られる(後述)。しかし実態として、EURATOM供給機関(ESA)の統計によれば(表3.4-1)、燃料サイクルの起点となる天然ウランの調達や転換、濃縮において、ロシアからEU内事業者への供給は2023年時点でウクライナ侵攻前の2021年と比較して量、比率ともに増加している状況にある<sup>11,12</sup>。ESAは、ロ

シアによるウクライナ侵攻を受けて、燃料供給先の切替による供給が始まるまでの間に対応するため、VVER 燃料備蓄の動きが出たことによるもので、EU におけるロシア依存の高まりとして解釈するべきではないとしている。それでもなお、下掲からは現状における原子力部門におけるロシア排除の難しさがうかがえる。

表 3.4-1 ロシアから EU 事業者へのウラン、転換、濃縮供給(2021~2023 年)

	2021		2022		2023	
	供給量	比率	供給量	比率	供給量	比率
天然ウラン	2,358tU	19.7%	1,980tU	16.9%	3,419tU	23.5%
転換	3,039tU	25.0%	2,444tU	22.4%	3,543tU	26.5%
濃縮	3,190tSW	31.0%	3,239tSW	30.2%	4,647tSW	37.9%

出所)EURATOM ESA “Annual Report 2022”, “Annual Report 2023”

## (2) 欧州及び周辺における動向

上述のとおり、EU ではロシアに対し、原子力分野の輸出入に係る法的な制裁措置を講じていない。しかし欧州はロシアに地理的に近接し、エネルギーにおける依存度も高い。特に東欧地域では、旧共産圏である関係から、上述のような天然ウラン～濃縮といった上流部分だけでなく、既存炉の主流がロシア型原子炉であることから、原子力におけるロシア依存度がより高い。

### 1) EU における原子力サプライチェーン強化に関する動き

EU では、域内に原子力に批判的な加盟国が複数存在することもあり、従来、原子力の利用は加盟各国の判断都市、EU 全体として原子力に対して特定のスタンスを採る、あるいは財政面を含む支援策を提供するといったことはしていなかった。しかし、2020 年代以降、その流れに変化がでてきている。

EU は、2019 年 12 月に 2050 年カーボンニュートラルの実現を軸に、脱炭素と経済成長の両立をめざす「欧州グリーンディール」を発表した。その後、EU タクソミーの文脈で、原子力を「サステナブル」な経済活動に含めることの是非が議論され、気候変動抑制への貢献を認める方向で議論が動いていたところに、2022 年 2 月、ロシアによるウクライナ侵攻が開始された。同年 5 月に欧州委員会は政策パッケージ REPowerEU を発表し、ロシア依存の脱却とグリーン移行加速化において、原子力が貢献する「可能性」があると言及した<sup>13</sup>。同年 7 月には、EU タクソミーに原子力を含めるとともに、その条件を定める規則が成立し、EU において、「原子力はサステナブル」たりうるという位置づけが確定した。

欧州ではこうした動きと、ウクライナ侵攻に前後するエネルギー危機とが並行して進行し、原子力は環境と経済性の両立に加え、エネルギー安全保障の観点からも、注目されるようになった。

再生可能エネルギー(再エネ)とともに、原子力は欧州において特にロシアへの依存度が高いガスを代替する脱炭素電源だが、上述のとおり、特に燃料サイクルの上流部分や東欧におけるロシア型炉の存在など、ロシアの影響が無視できない。2023 年 2 月には、欧州の原子力国の筆頭であるフランス主導のもと、域内 11 カ国<sup>a</sup>による「欧州原子力アライアンス」が発足した。同アライアンスは、欧州原子力サプ

<sup>a</sup> フランス、ブルガリア、クロアチア、チェコ、ハンガリー、フィンランド、オランダ、ポーランド、ルーマニア、スロバキア、スロベニア

ライチェーンの強化を活動目的の 1 つとしている。こうした域内原子力国による働きかけもあり、EU では域内原子力サプライチェーン強化に向けた枠組み作りや、法制度整備が進められている。

EU の行政組織である欧州委員会の主導による取組として、2024 年 2 月には、欧州 SMR 産業アライアンスが設立された。同アライアンスでは、2030 年初頭までの欧州における SMR 導入を目指して、域内の SMR サプライチェーン構築等に取り組む<sup>14</sup>。2024 年 10 月には 9 つの炉型を支援対象に選定した<sup>15</sup>。

法制度としては 2024 年 4 月に電力市場改革法、5 月にネットゼロ産業法が成立し、EU 各国で、原子力発電及び関連産業を公的に支援することが可能になった。電力市場改革法では、低炭素電源支援として、原子力発電への新規投資(新設に加え、既存施設における長期運転改修も含む)に対し、差額決済契約(CfD)<sup>b</sup>による公的支援が可能となった。従来、電力販売に係る一定の価格保証は再エネに対してのみ認められてきたが、本法により、再エネと原子力が同じ仕組みで支援を受けられるようになった。

ネットゼロ産業法は、再エネ資機材の中国依存、その他エネルギーのロシア依存、米インフレ抑制法の自国製品優遇に対抗し、クリーンエネ技術製造にかかる欧州サプライチェーンを強化することを目的とする法律である。同法では脱炭素に貢献する技術を「ネットゼロ技術」に指定し、加盟国に対し、対象指定技術の行政手続き簡素化・短縮化や、許認可手続きの加速化などを求める。同法では、燃料サイクルを含む原子力発電が対象技術に指定された<sup>16</sup>。

## 2) 東欧・北欧地域とロシア

本項では欧州の中でもロシアに地理的・歴史的に近い関係にある東欧・北欧地域における対ロシア状況を整理する。この地域では、ロシアに対する警戒感が強く「脱ロシア」を推し進める国が複数ある一方で、ロシアとの関係性が深い、あるいはフランスやドイツといった EU 内の「西側」大国への警戒感から、一定の調達多様化を図りつつも、ロシアとの関係維持を重視する国も一部ある。

旧共産圏だった関係から、東欧地域では多くのロシア型炉が運転中である(CANDU 炉のルーマニア、米国製 PWR のスロベニアは例外)。こうした国々では、これまでの運転経験から、新增設においても VVER は、有力な候補となりうる。一方、北欧ではフィンランドとスウェーデンが、いわゆる「西側」に属する中で、地理的に近接するロシアと一定の関係を持ち、フィンランドでは VVER が運転しているほか、スウェーデンでも VVER 炉はないものの、PWR 燃料の一部をロシアから調達していた。

東欧(VVER 国)・北欧の原子力国における対ロシアの概況を図 3.4-1 に示す。

---

<sup>b</sup> 電力卸売市場価格が基準価格より低いときは差額を政府等が補填する一方で、市場価格が基準価格より高いときには事業者が消費者に対し、利益を還元する(双方向 CfD)。

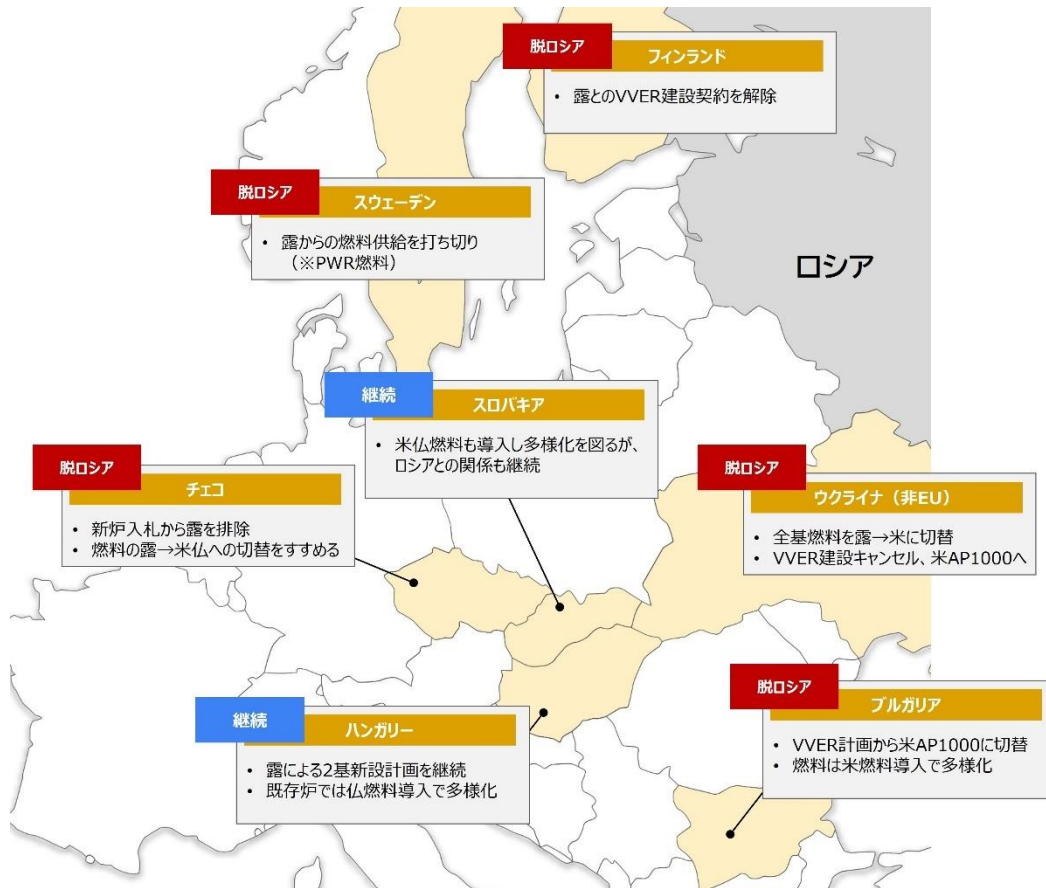


図 3.4-1 東欧・北欧の原子力国におけるロシア対応

出所)各種情報に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

東欧の VVER 保有国の中で、特にチェコでは、2022 年のロシアによるウクライナ侵攻以前から、脱ロシアの動きが見られた。チェコで運転中の 4 基は全て VVER で、燃料も全てロシアから供給されてきた。チェコではドコバニにおける原子炉新設の入札を実施していたが、2021 年 4 月、チェコ政府は 2014 年に発生した弾薬後爆発事件にロシアが関与したとして、安全保障上の観点で、ロシアを入札から排除する閣議決定を行った<sup>17</sup>。また既存のテメリン原子力発電所の VVER 燃料についても、2019 年から、米ウェestingハウス(WH)社のスウェーデン拠点で製造した VVER 燃料を装荷する試験を開始した。なお、同発電所に対するロシアからの燃料供給契約が 2023 年まで残っており、当時のチェコ電力(CEZ)の発表では、WH 社燃料の装荷試験は、今後の多様化の可能性を検証するもので、ただちに燃料を米国産に切り替えることを意味するものではない、とされていた<sup>18</sup>。2024 年以降の燃料供給について CEZ は 2020 年に入札を開始し、2022 年 4 月に、WH 社と仏フラマトムの 2 社を新たな供給者に指定した。ロシアのウクライナ侵攻を受け、CEZ のプレスはもう 1 つのドコバニ原子力発電所についても、安全保障上の理由から供給者の切替に向けた交渉を開始し、2023 年 3 月に、米 WH と 2024 年からの VVER 燃料供給供給契約を締結した<sup>19</sup>。これにより両発電所とも、燃料供給者がロシアから米仏に切り替わることになった。

ブルガリアは、比較的ロシアとの関係も良好だが、ベレネ原子力発電所における VVER 計画が複数回にわたり中止と再開を繰り返した後、最終的にはロシアのウクライナ侵攻と欧州の対ロ制裁を理由に、2023 年に最終的に中止となった。代わりにコズロドイ 7 号機、8 号機として、米 WH 社の AP1000 を

建設する計画が進められている。また VVER 燃料に関しても、ロシアからの供給を排除はしていないが、2022 年 10 月に米 WH とも供給契約を結び<sup>20</sup>、供給元の多様化を図っている。ブルガリアは、チェコのように率先して脱ロシアを図ったわけではないが、結果的に原子力において、ロシア以外の供給者に向かう形となった。

チェコの隣国であるスロバキアも、VVER 炉燃料の全量をロシアによっていたため、2022 年のロシアによるウクライナ侵攻でロシアからの陸路での燃料供給が難しくなった際に、特例でロシアからの空輸ルートを確認するなど、対応を迫られた。こうしたこともあり、米 WH 社と燃料供給交渉を行い、VVER 燃料の多様化を図っている。

なお、EU 加盟国ではないが、ウクライナにおいては当然ながら、ロシアの侵攻を受けて、国内全炉の燃料供給をロシアから米 WH 社に切り替えるなど、脱ロシアの動きをとっている。

一方、EU 東欧諸国の中でもハンガリーは、親露傾向が強く、ウクライナ侵攻後も、パクシュ原子力発電所における 2 基の VVER 建設計画を続行する意向を表明した。ハンガリーはロシアからの借款を受けて同発電所を建設する。燃料に関しても、2023 年末の時点では EU 加盟の VVER 国で唯一、ロシア以外の燃料供給者との契約を行っていなかった<sup>11</sup>。しかし多様化の観点から、フランスとの交渉を進め、2024 年 10 月にフラマトムと、パクシュの既存ユニットへの燃料供給契約を締結した<sup>21</sup>。

北欧では、フィンランドが 2022 年 5 月に、ロシアによる計画遅延とウクライナ侵攻を理由に、ハンヒキビでの VVER 建設の契約を解除し、建設許可申請を取り下げた<sup>22</sup>。既存のロビーサ原子力発電所の VVER 燃料は 2027 年、2030 年までロシアとの契約が残存しているが、その後の切替に向けて、2022 年 11 月に米 WH 社とパートナーシップを締結し、装荷試験を実施している<sup>23</sup>。スウェーデンは Vattenfall 社の PWR でロシア TVEL が西側 PWR 向けに開発した燃料(3.4.6 (1)5参照)を用いていたが、ロシアがウクライナに侵攻した 2022 年 2 月 24 日当日に、ロシアからの PWR 燃料調達を停止することを発表した<sup>24</sup>。

### (3) グローバルサウスとロシア

2022 年 2 月にロシアがウクライナに侵攻して以降、欧州を含む主に先進諸国では、脱ロシアの動きが高まった。一方、明確な定義はないものの、近年「グローバルサウス」と呼ばれるアジア、アフリカ、中南米、オセアニア(オーストラリアとニュージーランド除く)の発展途上国には、脱ロシアに動く先進国と異なり、ロシアをパートナーとして選択する、あるいは積極的に選択肢に入れる、言うなれば「with ロシア」の姿勢を示す国々も多い。

2022 年にアラブ首長国連邦(UAE)で開催された国連気候変動枠組条約第 28 回締約国会議(COP28)では、「原子力 3 倍宣言」が提唱され、日本を含む 22 カ国が賛同した。その後も賛同国は増え、翌年の COP29 終了までに 31 カ国となった。

2024 年 12 月時点における賛同 31 カ国は以下のとおりである。

アルメニア、ブルガリア、カナダ、クロアチア、チェコ共和国、エルサルバドル、フィンランド、フランス、ガーナ、ハンガリー、ジャマイカ、日本、カザフスタン、ケニア、韓国、コソボ、モルドバ、モンゴル、モロッコ、オランダ、ナイジェリア、ポーランド、ルーマニア、スロバキア、スロベニア、スウェーデン、トルコ、ウクライナ、アラブ首長国連邦、英国、米国

また、これらを地図上に表したものが図 3.4-2 である。

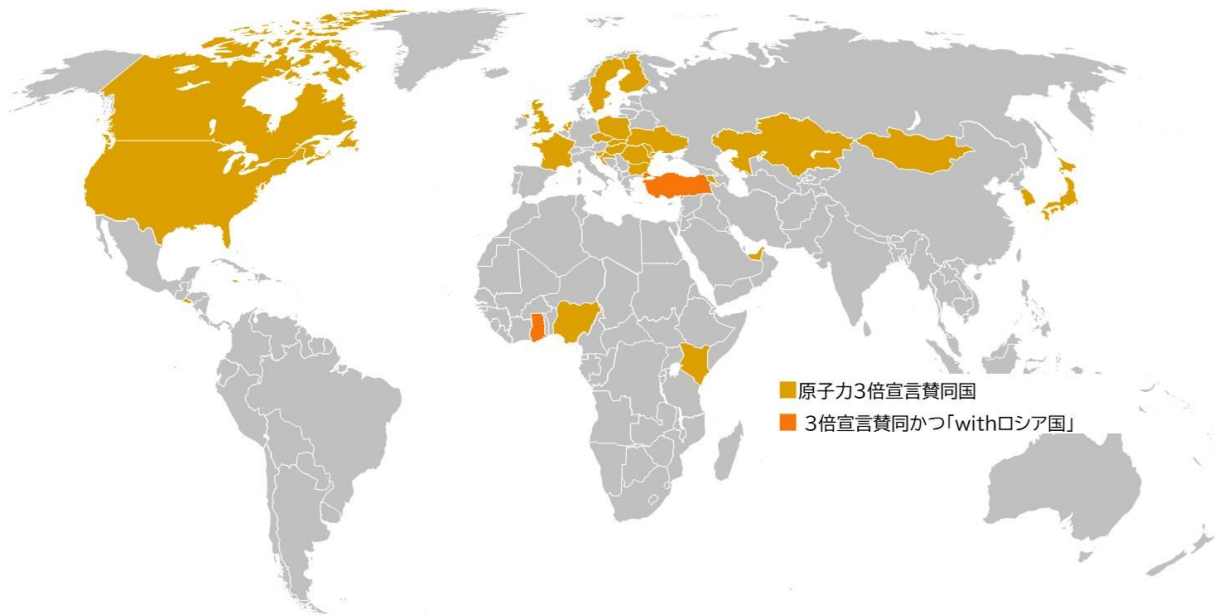


図 3.4-2 「原子力 3 倍宣言」賛同国(2024 年時点)

「原子力 3 倍宣言」賛同国には、偏りが見られる。ここでは、原子力に積極的だが宣言に「賛同していない国」に注目したい。「原子力 3 倍宣言」が米国主導の枠組みであることの影響は大きく、原子力大国の 1 つであるロシアがまず賛同していない。いわゆるグローバルサウスといわれる地域からの賛同国も少ない。代表的な原子力国である中国、インドのほか、VVER 炉を持つバングラデシュ、イラン、VVER が建設中の新規国エジプトも非賛同である。一方トルコも原子力新規参入でロシアの VVER が建設中だが、こうした国としては例外的に、3 倍宣言賛同国に名を連ねている。アフリカの数少ない賛同国のうちガーナは、原子力新規導入の入札を検討しており、ロシアも候補の 1 つとしている<sup>25</sup>。

2022 年 2 月のウクライナ侵攻後の現在、ロシアは上図における宣言空白地帯、欧米や先進国と一定の距離を置くグローバルサウスのアジア、アフリカ地域において、活発な活動を行っている。アジアではインドネシアやミャンマーと SMR に関する協力を進めているほか、過去に大型炉建設計画があったベトナムでは研究炉への燃料供給や原子力研究センターの建設を計画している<sup>26</sup>。アフリカでは特に近年、数多くの国にアプローチし、協力関係を拡大していることが確認されている。ROSATOM の情報によれば、2023 年に同社はブルンジ、ジンバブエ、エチオピア、ブルキナファソ、マリとの間で原子力協力に関する覚書や協定の新規締結、更新などを行った。またガーナでは上述のとおり、同国の大型炉建設計画の入札に関する情報要求(ROI)に応じており、「強いコミットメントを表明」している。ガーナも含め、沿岸部の国に対しては同国が実績を持つ浮体式原子力発電所や、電力系統整備が乏しい地域での展開が可能な SMR などの導入も提唱している。アフリカとの協力に関し、ROSATOM は 2000 人以上の学生をロシアに受け入れて原子力教育を行っているなど、この地域での存在感を強めている<sup>27</sup>。

また、アフリカにおいてはウラン資源確保の面でもロシアによる拡大の動きが見られる。ロシアは、ROSATOM の完全傘下にあるカナダ企業、UraniumOne 社を通じて、アフリカのウラン鉱山開発を進めてきたが、これに加え、2023 年に軍事クーデターで政権が変わったニジェールで、旧宗主国であるフランスとの関係悪化から、ニジェール政府が仏 Orano から剥奪する形となったウラン権益をロシアが取得に動き政府に接触しているとの報道もみられる<sup>28</sup>。ニジェールは従来、欧州向けウランの 1/4 ほどを占める重要な産地であり、動向が注目される。

このように、ロシアは特に欧米との間で原子力に係る取引減少の傾向を抱えつつも、原子力サプライチェーンの上流からバックエンドまで、一貫したサービスを提供できる強みを活かし、それ以外の地域における欧米のプレイヤー以外の選択肢として、大きな存在感を持っているといえる。

### 3.4.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

ロシアは、クローズドサイクルの実現に向け、使用済燃料の再処理を基本方針としており、使用済燃料を放射性廃棄物に分類していない。ただし、再処理能力が不足しており、再処理される使用済燃料は、段階的に拡大はされているものの、VVER440 の使用済燃料を中心とした一部に限られていることなどから、原子炉から発生した使用済燃料の大部分が貯蔵されている。従来、軽水冷却黒鉛減速炉 (RBMK) と VVER1000 の使用済燃料は、主に発電所サイト内で貯蔵されていたが、近年、鉍業化学コンビナート(MCC)の集中貯蔵施設への移送が進み、MCC への使用済燃料貯蔵の集約が進捗している<sup>29</sup>。2016 年に国内初号機が運開した VVER1200 など、今後展開が見込まれる原子力発電所の使用済燃料についても、取出後 3～5 年サイト内のプールで冷却後、MCC に移送し中間貯蔵される予定である。また、湿式貯蔵が主な貯蔵方式であったが、近年安全性と経済性の観点から、乾式貯蔵方式が採用される傾向にある。

ロシア国内で発生する使用済燃料の保管・再処理の流れを、図 3.4-3 に示す。

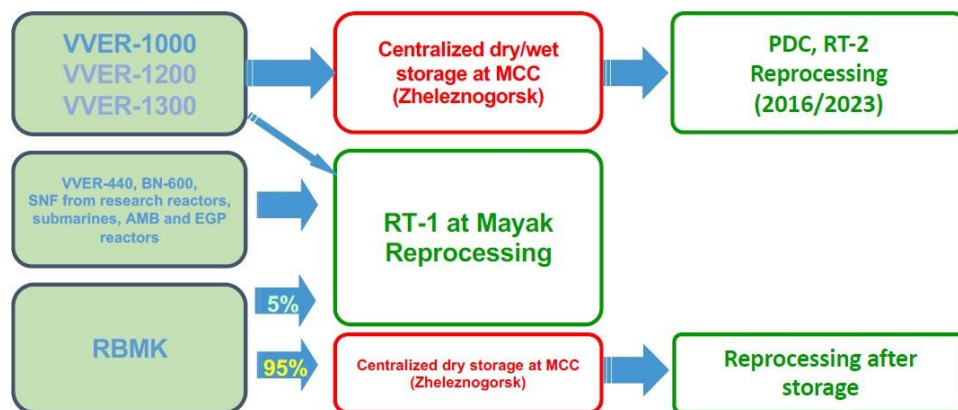


図 3.4-3 ロシア国内における使用済燃料の保管・再処理

出所)TENEX “Good Practices and Lessons Learned in Spent Fuel Transportation in the Russian Federation” IAEA Technical Meeting 24-28.10.2022 Vienna, Austria

1977 年からマヤク生産共同で稼働している再処理工場 RT-1 (400tHM/y) では、主に VVER440 やナトリウム冷却高速増殖炉 BN600 の使用済燃料が再処理されている。この他、一部試験的に VVER1000、RBMK 等の使用済燃料の再処理も行われている<sup>30</sup>。

新たな再処理工場 RT-2 は、マヤク生産合同ではなく、鉍業化学コンビナート(MCC)に建設される。RT-2 は VVER1000 をはじめ、より幅広い炉型の使用済燃料を商業規模で再処理する施設として構

想され、1984年に建設を開始したが、資金不足で建設は中断された。その後2015年にMCC内に再処理試験実証センター(PDC)が建設された。PDCではVVER1000使用済燃料の試験的な再処理等が実施されている。同センターを拡張する形で2025年頃に700tHM/y規模の再処理施設をRT-2として操業開始する計画がなされていたが、計画は遅延している。2024年1月時点のROSATOM社情報によれば、RT-2の操業開始時期は2030年代後半とされている<sup>31</sup>。なお直近、2024年12月10日の情報によれば、RT-2に向けた準備として、PDCの施設拡張(第2スタートアップコンビナート)が行われ、11月までに建設が完了し、2025年に本格操業を開始する予定とされている<sup>32</sup>。

上図に加え、ロシアではシベリア化学コンビナート(SCC)において、鉛冷却型高速中性子炉BREST-OD-300の建設が進められている。SCC内で燃料の製造から炉の運転、再処理までサイクルを完結させる計画で、2024年12月には同原子炉用のウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料製造工場が試運転された<sup>33</sup>。SCC内の再処理施設は2026年の建設開始、2030年の竣工、2031年の操業開始が見込まれている<sup>34</sup>。

過去には東欧諸国を中心に、諸外国からの使用済燃料受入と再処理を実施していたが、多くの国で1990年代後半までにロシアへの使用済燃料の引渡を停止している。2022年10月にROSATOM傘下の燃料サイクル事業者TENEXが公表した資料(図3.4-4)によれば、ロシアが輸出した炉に関連して、研究炉についてはロシア研究炉燃料返還プログラムの枠組みの下、再処理のためにロシアに返還されており、2020年までの時点で、東欧圏を中心とする欧州を含め、多くの炉の使用済燃料がロシアへ移送されている。2025年以降もアジアを始めロシアの技術による研究炉を建設する国などで、同様の対応をとる国が多いことが見込まれている。一方、発電炉に関しては、共産主義時代を中心に、2010年までに欧州を中心に多くのロシア型炉が建設されたが、2020年の廃棄物合同条約報告書によれば、前回報告以降の期間(2017年4月～2020年7月)において、ロシアが使用済燃料の引き取りを行ったのは「ブルガリアとウクライナ」の2カ国とされている<sup>29</sup>。これも2022年のロシアによる侵攻を受け、状況は変化しており両国とも同サービスの利用を停止していると考えられる。ただしトルコやエジプトなどを筆頭に、欧州外の国々を中心に、ロシアからの包括的な原子力サービスを受ける(ことが想定される)国々では、ロシアからの原子炉輸入に際し、「燃料リース」契約に基づくロシアへの使用済燃料の輸送・引き取りが想定される。なお、すでにVVERが運開済のインドやイランもこの燃料リース契約を結んでいるとされているが、2024年までの段階で、ロシアへの使用済燃料輸送の情報は確認されていない。いずれも2013年以降の運開であり、使用済燃料の発生量と冷却の期間を考慮すると、ロシアへの返送の段階には至っていないと考えられる。また今後、実際にロシアへの輸送が実施されるかは不明である。こうした国々の使用済燃料をロシアが引き取った場合、それらの燃料は国内で貯蔵あるいは計画中のRT-2で再処理する計画である<sup>30</sup>。

## Prospects for Transporting SNF of Foreign NPPs and RRs to the Russian Federation

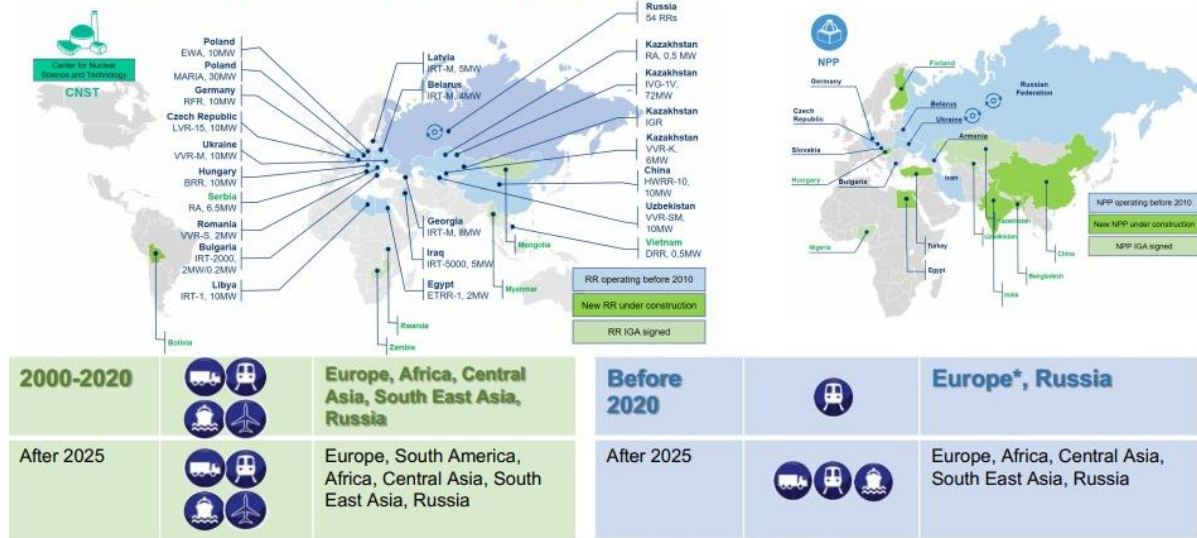


図 3.4-4 ロシアによる研究炉・発電炉輸出及びロシアへの使用済燃料輸送の見通し

出所)TENEX “Good Practices and Lessons Learned in Spent Fuel Transportation in the Russian Federation” IAEA Technical Meeting 24-28.10.2022 Vienna, Austria

放射性廃棄物処分について、ロシアは高レベル放射性廃棄物を地層処分する方針であるが、サイトは決定していない。処分実施主体の NO RAO は、MCC 近傍のエニセイスキーに地下研究所を設置し、最終処分場を設置する計画である。

中低レベル放射性廃棄物は NO RAO のもと、浅地中処分する方針である。現在操業中の処分場は、スペルドロフスク州のノボウラルスク 1 カ所で、2016 年に運用が開始されている。2020 年の廃棄物合同条約国別報告書によれば、ノボウラルスクで第 2 セクションの建設が実施されているほか、トムスク州のセベルスク、チェリャビンスク州オゼルスク、モスクワ州セルギエフ・ポサード、またサイトは決定していないが北西連邦管区とヴォルガ連邦管区でも各 1 カ所の処分場設置が計画されており、2030 年までに計 48m<sup>3</sup> の浅地中処分施設を操業開始する計画とされている<sup>29</sup>。その後、ノボウラルスクの第 2 セクション施設は 2020 年末までに完成し試運転を開始している<sup>35</sup>。建設中のうち最も建設が進んでいるセベルスクでは、2024 年 11 月時点の ROSATOM 情報誌において、2025 年に第 1 工区が完工し、2026 年に廃棄物の定置を開始する見込みが示されている<sup>36</sup>。

## 2) 処理・処分の実績

### a. 再処理の実績

ロシア国内で原子力発電に伴い発生する使用済燃料は、2022 年の情報で年間 650～700t とされている(11 カ所 37 基運転)<sup>30</sup>。図 3.4-3 に示したとおり、RT-1 では VVER-440 を中心に、高速炉 BN-350 と BN-600、その他研究炉、AMB/EGP-6(小型の RBMK)、原子力砕氷船や原子力潜水艦の動力炉の使用済燃料を再処理する。このほか、RBMK 由来の使用済燃料も総量の 5%程度が RT-1 で再処理されている。これ以外の大部分の使用済燃料は MCC や施設サイト内で保管されてい

る。

ROSATOM2023 年 年報によれば、ロシア国内全体での使用済燃料の蓄積量、貯蔵施設への輸送量、並びに再処理施設への輸送量は表 3.4-2 のとおりである。2023 年において、再処理された使用済燃料は全体の 22.6%であった<sup>37</sup>。

表 3.4-2 ロシア国内の使用済燃料量蓄積量・貯蔵施設への搬出量・再処理量(単位:t)

項目	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
使用済燃料蓄積量	25,260	25,669	26,199	26,645
貯蔵施設への搬出	945.5	905.1	838.2	836.0
再処理施設への搬出	99.7	81.9	133	164.2

出所)ROSATOM “Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2023”

なお、2020 年の廃棄物合同条約国別報告書によれば、2017 年から 2019 年にかけて RT-1 で再処理された使用済燃料は 259.6t、この時点までの累計再処理量は約 6,000t とされている<sup>29</sup>。国外から引き取る使用済燃料の再処理が減少したことなどもあり、2016 年に施設改良を行い受け入れ可能な使用済燃料の種類を拡大するなど、RT-1 の国内再処理を強化してきた。2015 年から 2016 年にかけては年間 200t、230t の再処理を実施しており、当時は数年で、処理量が RT-1 の許認可容量である 400t/年に達するとの見通しが示されていた<sup>38</sup>。しかしその後、引き続き国内再処理は強化する方向ではあるものの、RT-1 の設備容量をフル活用する状況には至っていない。

## b. 処分の実績

ロシアでは地層処分場が操業していないため、高レベル放射性廃棄物の処分実績はない。中低レベル放射性廃棄物に関しては、NO RAO のもと、スペルドロフスク州のノボウラルスク 1 カ所で浅地中処分が実施されており、2020 年の廃棄物合同条約国別報告書によれば、同処分場では 2017 年から 2019 年までに計 9,921.44m<sup>3</sup>の放射性物質が処分された<sup>29</sup>。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

ロシアはクローズドサイクルの方針である。現状では、使用済燃料再処理で回収したプルトニウム、ウランの用途は限られている。現状では回収プルトニウムはもっぱら、高速炉用の MOX 燃料に使用されており、軽水炉用 MOX 燃料は運用されていない。回収ウランは主に旧型の RBMK 炉でリサイクルされており、現在の主力炉である VVER 炉には今後拡大の方針である。

ROSATOM は近年、熱中性子炉と高速中性子炉を組み合わせた 2 要素アプローチでクローズドサイクルを実現する方針で、これを「持続可能な核燃料サイクル(Sustainable Nuclear Fuel Cycle)」と呼称し、推進する方針を示している。ROSATOM グループの燃料事業会社 TENEX の資料における「持続可能な核燃料サイクル」構想の全体像を図 3.4-5 に示す<sup>39</sup>。

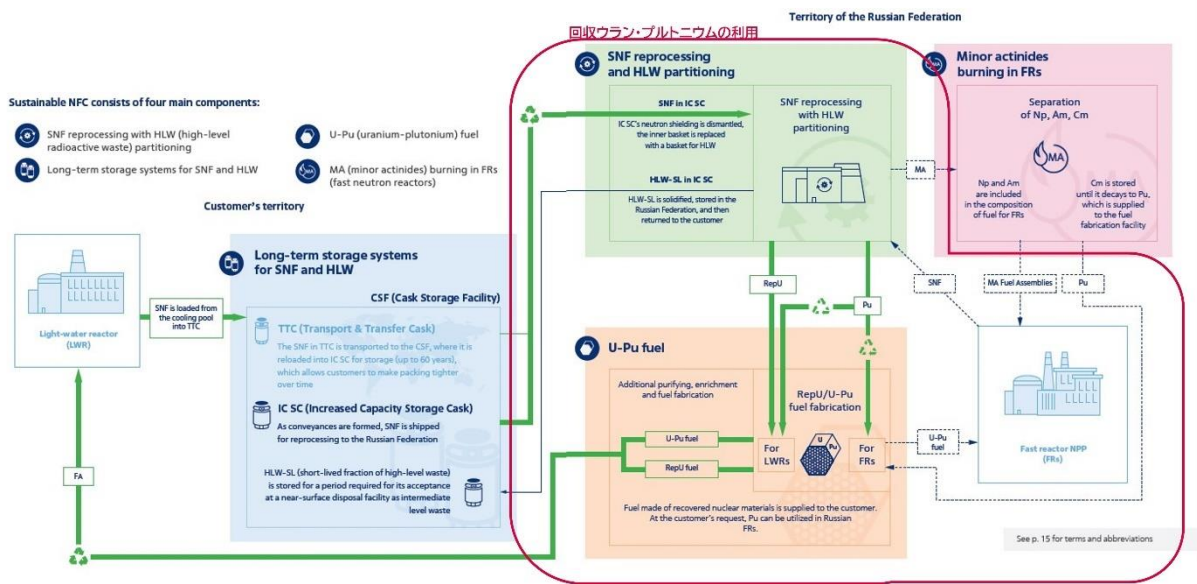


図 3.4-5 ロシアの「持続可能な核燃料サイクル」全体像

出所)TENEX “SUSTAINABLE NUCLEAR FUEL CYCLE”

ロシアでは使用済燃料から再処理工場 RT-1 で回収したウランを主に RBMK 用の新燃料製造に利用してきた。RBMK では燃料の 50%まで回収ウラン装荷が許可されている。実績比率は 2004 年時点で 40～50%であった。RBMK 炉用の回収濃縮ウラン燃料の組み立ては、燃料加工施設 OAO MSZ(OAO Mashinostroitelny Zavod)にて行われている<sup>40</sup>。ただし、2024 年 12 月時点で運転中の RBMK 炉は 7 基であり、順次閉鎖される。「持続可能な燃料サイクル」では回収ウランの利用用途を RBMK 中心から VVER 含むその他軽水炉へと拡げる方針で、以下のように説明されている。VVER における回収ウラン利用は、一部で行われているが、2024 年 11 月の ROSATOM 情報によれば、VVER への回収ウラン燃料の本格的な投入は 2028 年頃が想定されている<sup>41</sup>。

- 回収ウランを精製・濃縮し VVER、PWR、BWR(※RBMK 炉を含むと考えられる)のウラン燃料に使用
- 回収ウランとプルトニウムによる「REMIX 燃料」(後述)材料として、軽水炉で使用
- MOX 燃料への使用  
プルトニウムについては、以下の材料とする方針である。
- 混合窒化ウラン・プルトニウム燃料(高速炉燃料)
- MOX 燃料、REMIX 燃料材料(軽水炉燃料)

劣化ウランについては、建設中の鉛冷却高速炉 BREST-300 の混合窒化ウラン・プルトニウム燃料に用いるなど用途の拡大が想定されているが<sup>42</sup>、現状、積極的な用途はなく主にウラン濃縮サイトで貯蔵されている。

現状、プルトニウムは高速炉 MOX 燃料としての利用が主であるが、ロシアでは上記のとおり、軽水炉である VVER においても軽水炉用 MOX の利用を構想しているほか、REMIX 燃料を開発し、軽水炉である VVER で利用する方針で実証を進めている。REMIX 燃料は MOX 燃料と比べて LEU 燃料に特性が近く、炉心への REMIX 燃料の装荷比率を 100%とすることが可能で、5 回までの再処理(マルチサイクル)を想定している<sup>39,43</sup>。REMIX 燃料の特性や試験の状況については、3.4.6 (1)3)に後述する。

## 2) 実績

上述のとおり、現状の利用用途(試験除く)について、回収ウランは RBMK 炉ほか軽水炉燃料の新燃料材料、プルトニウムは高速炉燃料の材料としての利用が主である。ロシアにおける回収ウラン、劣化ウランの近年における具体的な利用量実績は不明である。

なお、プルトニウムに関しても具体的なロシア国内での利用実績は不明だが、2024 年 8 月にロシアが IAEA に提出したモデル追加議定書(INFCIRC/549)に基づくプルトニウムストックの報告では、2023 年 12 月 31 日時点でロシアに所在するプルトニウムの状況が、表 3.4-3 のように示されている。表 3.4-2 の情報とも合致するが、照射済プルトニウムの項目からは、使用済燃料のうち、再処理に回るものは一部であり、多くは発電所サイトあるいは集中中間貯蔵施設(表 3.4-3 では「その他に所在する使用済燃料」に相当)で保管されていることがわかる。このように、再処理される使用済燃料が一部であってもなお、ロシアでは回収したプルトニウムの用途が高速炉 MOX 燃料等に限られることから、表 3.4-3 の未照射プルトニウムの項目からは、再処理後、燃料等に加工されない状態で保管されているプルトニウムの量が 58t と多い状態にあることがわかる。<sup>44</sup>。

表 3.4-3 ロシア国内の未照射プルトニウム、照射済プルトニウムストック

種別	Pu ストック(kg)
未照射 Pu	
再処理プラントで保管中の Pu	58,400
加工・製造工程中、未完成製品中の Pu	1,300
原子力発電所その他サイトに所在する、未照射 MOX 燃料あるいはその他加工済製品中の Pu	4,200
その他未照射 Pu	1,000
計	64,900
照射済 Pu	
原子力発電所に所在する使用済燃料中の Pu	78,000
再処理施設に所在する使用済燃料中の Pu	8,000
その他に所在する使用済燃料中の Pu	118,000
計	204,000

出所) IAEA “Communication Received from the Russian Federation Concerning its Policies Regarding the Management of Plutonium INFCIRC/549/Add.9-26”をもとに作成

### 3.4.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

ロシアはウラン転換、濃縮で世界 1 位のシェアを持ち、自国に有する能力で国内の需要の全量をカバーするとともに、国外への役務提供も行っている<sup>45,46</sup>。

ウラン資源についても、多くの鉱山を有し、2023 年時点においてウラン生産で世界 3 位、14%の世界シェアを持つ<sup>37</sup>とされているものの、完全自給ではない。ROSATOM は特に 2020 年代以降、同グループ出資による国外でのウラン探鉱・開発を拡大しており、2021 年には年間 4,593 万ドルを国外鉱

山に投資したとされている。主な投資先はナミビア、カザフスタン、タンザニアである<sup>47</sup>。こうした海外での探鉱・開発は 3.4.5 に示す Rosatom グループの完全子会社である UraniumOne 社により実施されている。同社はかつてカナダ企業であり、日本の東京電力等も出資していたが、2013 年以降、100%Rosatom 傘下(現状では TENEX 子会社)となっている<sup>48</sup>。歴史的経緯や地理的接近性、ウラン産地としての生産量の多さから、ロシアの最大のウラン輸入元はカザフスタンであると推測されるが、定量的な情報は確認されていない。

### 3.4.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

ロシアでは、国営原子力会社である ROSATOM が、フロントエンドから発電、バックエンドまで一貫して、軍民の原子力事業全体を担っている。ROSATOM の民生原子力事業はアトムエネルギープロムのもとで統括される。ROSATOM の民生原子力事業における部門構成及び主要事業会社を図 3.4-6 に示す。



図 3.4-6 ROSATOM の民生原子力事業構成

出所)ROSATOM ウェブサイトなどより作成

ROSATOM グループの 2023 年年報によれば、同社は 2023 年末時点で、国外における原子炉建設基数で世界 1 位(33 基)であり、ウラン濃縮市場でも世界 1 位(シェア 36%)である。2030 年に向けた戦略目標としては、国際市場におけるシェア上昇等を挙げる。ROSATOM の財務状況、及び各

年における国外受注・収益の変化額を表 3.4-4、表 3.4-5 に示す。

表 3.4-4 ROSATOM の財務状況

	2021	2022	2023
利益(10 億ルーブル)	1,462.1	1,766.4	2,572.0
総資産額(10 億ルーブル)	5,234.4	6,726.9	8,400.8
無形資産(10 億ルーブル)	199.7	230.6	286.1
売上高利益率(ROS)(%)	13.28	9.17	10.00
総資産利益率(ROA)(%)	3.71	2.41	3.06
株主資本利益率(ROE)(%)	6.32	4.77	6.65

出所)ROSATOM2023 年年報

表 3.4-5 ROSATOM の国外受注額ポートフォリオと収益変化額(単位:億ドル)

	2021	2022	2023
海外受注累計額	1,399	1,359	1,271
原子炉建設	841	780	604
サイクル関連	340	335	364
その他	212	244	303
海外収益額	89.79	117.64	162.09
原子炉建設	48.96	56.12	73.19
サイクル関連	33.36	40.98	51.93
その他	7.48	20.55	36.97

出所)ROSATOM2023 年年報

## (1) ウラン採掘

ウラン採鉱・精錬は ROSATOM グループのアトムエネルギープロム子会社、ARMZ 社が担っている。

ウラン採鉱・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。

上掲の施設能力については IAEA の NFCIS 記載の設計容量による。



図 3.4-7 ARMZ 社のロシア国内鉱山資産(操業中・計画中)

出所)ROSATOM “PERFORMANCE OF THE MINING DIVISION 2023”

以下、ロシア国内で稼働中のウラン鉱山施設及びそれらを所有する ARMZ 社について整理する<sup>49</sup>。  
 なお、各鉱山の運営は各鉱山に ARMZ 社の子会社が設置され実施している。

施設	
施設名称	JSC Dalur
施設概要	ウラン採掘・精錬
技術	In-Situ Leaching(ISL)
能力	800tU/y
稼働状況	2002 年から稼働中
稼働実績	事業主体の項目参照
役務取引	-
取組方針	2023 年には採鉱設備のデジタル移行が完了。
施設	
施設名称	PJSC PIMCU(プリアルグンスク)
施設概要	ウラン採鉱
技術	地下採掘
能力	3500tU/y
稼働状況	1968 年より稼働
稼働実績	事業主体の項目参照
役務取引	-
取組方針	新鉱脈(プロジェクト No.6)の工事を実施

		中
施設		
施設名称	JSC Khiagda	
施設概要	ウラン採鉱	
技術	In-Situ Leaching(ISL)	
能力	1800tU/y	
稼働状況	2011 年より稼働	
稼働実績	事業主体の項目参照	
役務取引 取組方針	設計能力は上記だが、2023 年年報では 2024 年計画として、年間生産量を 1000tUに増大させている	
事業主体(採鉱全体)		
事業者名称	JSC ARMZ	
事業者概要	ROSATOM の鉱業部門。ウラン鉱山を中心 に金、銀、石炭などの探鉱・採掘・精錬な ども手がける。	
資本関係 経営状況	Atomenergoprom : 84.1589 % 、 TVEL : 14.336 % 、 ROSATOM : 1.1451% ----	
稼働実績	稼働中の鉱山合計で2,710tのウランを産 出(2023 年)	
政府との関係	国営企業である ROSATOM の傘下	
今後の方針・戦略	採掘事業では新規開発鉱脈の許認可や建 設を進める方針。2024 年以降の見通しと しては、2 つの拠点が ARMZ 傘下に統合 されることで、チタン、ジルコニウムを始め とするその他レアアースなど、対象製品の 幅を拡大する。	

ロシアは再処理のために他の国から使用済燃料を輸入することを認めており、通常は、再処理された材料及び副産物の廃棄物は原産国に返還される。また、研究炉及びその他の非動力炉で発生した使用済燃料も再処理のためロシアへ返還してきた例が数カ国ある。

## (2) 転換

ロシアでは現在、シベリア化学コンビナートが国内唯一の施設として転換サービスを提供している。同プラントは世界最大の転換能力と実績を持つ(2022 年)<sup>45</sup>。また、現状において、回収ウランを燃料として再利用可能な UF<sub>6</sub> に転換する能力を持つ世界で唯一の施設である。TVEL はウラン転換において世

界最大のシェアを持つ。過去にはアンガルスクの電解化学コンビナートなどでも転換サービスを実施していた。

施設 45,50,65	
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。回収ウランを燃料として利用可能なUF <sub>6</sub> に転換する能力を持つ。
技術	湿式プロセス
能力	12,500tU（推計）
稼働状況	1953年に稼働開始
稼働実績	12,000t(推計)
役務取引 取組方針	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。
事業主体	
事業者名称	ТВЕЛ
事業者概要	ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。
資本関係 経営状況	ROSATOM の 100%子会社
稼働実績	転換としての実績は施設の項参照
政府との関係	完全国営の ROSATOM の 100%子会社
今後の方針・戦略	ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、ТВЕЛ は明言していないが、同社の課題の 1 つとして、燃料製造等と並び、濃縮役務におけるコスト抑制対応を挙げている。

### (3) 濃縮

TVEL はウラン濃縮能力において世界シェア第 1 位で、46%を占める(2023 年)<sup>51</sup>。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 つの濃縮施設及び TVEL について、以下に整理する。

施設 <sup>65</sup>	
施設名称	ウラル電気化学プラント(UEIP)濃縮プラント
施設概要	ノボウラルスクに所在。濃縮ウランの製造に加え、燃料加工施設も持つ。ロシア国内で~30%の高濃縮ウランに対応するのは同プラントのみ。
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への切替完了。2024 年現在第 5 世代から第 9 世代の遠心分離機が稼働中 <sup>52</sup>
稼働実績	生産量実績は不明
役務取引 取組方針	1973 年以降、主に国外向けの濃縮役務を担ってきた。世界最大級の濃縮能力を持つ。
施設 <sup>65</sup>	
施設名称	電気化学プラント(PA ECP)濃縮プラント
施設概要	セレノゴルスクに所在。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
役務取引 取組方針	1990 年以降、国外向けの濃縮役務を担ってきた。
施設 <sup>65</sup>	
施設名称	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
	役務取引 取組方針	同サイトでは、BREST-300 の燃料供給から原子炉運転、使用済燃料の再処理から廃棄物処分まで、同炉のサイクルをサイト内で完結させる方針。
施設 <sup>65</sup>		
	施設名称	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
	役務取引 取組方針	国内外のウラン濃縮役務、また劣化ウランの濃縮役務も請け負う。
事業主体		
	事業者名称	TVEL
	事業者概要	ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。
	資本関係 経営状況	ROSATOM の 100%子会社
	稼働実績	濃縮としての実績は上記施設の項を参照
	政府との関係	国営企業である ROSATOM の傘下
	今後の方針・戦略	複数のプラントで国外向けの濃縮役務含む燃料事業を提供している。ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、TVEL は明言していないが、同社の課題の 1 つとして、燃料製造等と並び、濃縮役務におけ

		るコスト抑制対応を挙げている。
--	--	-----------------

#### (4) 再転換

ロシアではセレノゴルスクの電気化学プラントで、回収ウランの再転換(Reconversion)を実施している。

施設 <sup>53</sup>		
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	セレノゴルスクに所在。濃縮施設と同じサイト内に所在。回収ウランの再転換を実施	
技術	不明	
能力	10,000tDUF6/年	
稼働状況	2009年に操業開始	
稼働実績	10,906tDUF(2023年)	
役務取引 取組方針	-	
事業主体		
事業者名称	ТВЕЛ	
事業者概要	ROSATOMの燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。	
資本関係 経営状況	ROSATOMの100%子会社	
稼働実績	転換としての実績は施設の項参照	
政府との関係	完全国営のROSATOMの100%子会社	
今後の方針・戦略	ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、ТВЕЛは明言していないが、同社の課題の1つとして、燃料製造等と並び、濃縮稼働におけるコスト抑制対応を挙げている。	

#### (5) 燃料加工(MOX含む)

ロシア国内で燃料加工は自給されている。ウラン燃料、MOX燃料ともにТВЕЛ傘下の施設で生産されている(このほか、ROSATOM直轄のマヤ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、REMIX 燃料の開発と試作が行われている。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。

施設 <sup>54</sup>	
施設名称	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 FBR 燃料:50t U/年
稼働状況	1965 年に操業開始
稼働実績	-
役務取引 取組方針	中国の高速炉 CFR600 用の初装荷燃料 (MOX 燃料)も製造、輸出
施設 <sup>54</sup>	
施設名称	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	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	-
役務取引 取組方針	-
施設 <sup>54,55</sup>	
施設名称	鉍業化学コンビナート MCC MOX 燃料加工プラント
施設概要	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	-
役務取引	-

	取組方針	
施設 <sup>54</sup>		
	施設名称	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	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(回収プルと回収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
	役務取引 取組方針	-
施設 <sup>54,33</sup>		
	施設名称	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(回収プルと回収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
	役務取引 取組方針	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。

事業主体	
事業者名称	ТВЕL
事業者概要	ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。
資本関係 経営状況	ROSATOM の 100%子会社
稼働実績	実績は施設の項参照
政府との関係	完全国営の ROSATOM の 100%子会社
今後の方針・戦略	ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、ТВЕL は明言していないが、同社の課題の 1 つとして、燃料製造等と並び、濃縮役務におけるコスト抑制対応を挙げている。

## (6) 再処理

2025 年 1 月現在、フランス以外で唯一、商業規模での稼働中の軽水炉燃料の再処理能力を持つ国である。ただし国内クローズドサイクルの実現には十分ではない。また、現状、ロシアでは使用済燃料再処理で回収したプルトニウムを主として高速炉用 MOX 燃料に用いており、既存商用炉である VVER 等での MOX 利用(いわゆるプルサーマル)は実施していない(今後計画はある)。一方、VVER 向けに再処理においてプルトニウムとウランを分離しない REMIX 燃料を開発している。

計画中の再処理工場 RT-2(2025 年完工予定だったが遅延しており、2030 年代後半に操業開始見込み。3.4.3 (1)1参照)にて、使用済 MOX 燃料を再処理し、MOX 燃料や REMIX 燃料(ウランとプルトニウム酸化物の再生混合物)に再処理する計画があるが、現時点において使用済 MOX 燃料を再処理した実績は確認できない。

施設 <sup>54</sup>	
施設名称	マヤク生産合同 RT-1
施設概要	VVER440、VVER1000、及び高速炉 BN600、BN800 の使用済燃料を再処理
技術	PUREX 法
能力	400tU/年
稼働状況	1977 年から稼働
稼働実績	再処理実績は不明

	役務取引 取組方針	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。
事業主体		
	事業者名称	Mayak Production Association
	事業者概要	ROSATOM の直接管理下で、使用済燃料再処理やプルトニウム、ウラン改修等を行う
	資本関係 経営状況	ROSATOM 子会社
	稼働実績	実績は施設の項参照
	政府との関係	国営企業である ROSATOM の傘下
	今後の方針・戦略	-

施設 <sup>54</sup>		
	施設名称	鈹業化学コンビナート(MCC)RT-2
	施設概要	VVER1000 の使用済燃料を再処理
	技術	PUREX 法
	能力	800tU/年
	稼働状況	建設中(2035 年操業開始予定)
	稼働実績	-
	役務取引 取組方針 <sup>56</sup>	VVER1000 使用済燃料再処理に習熟した上で、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
施設 <sup>34</sup>		
	施設名称	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 MUNP 燃料の再処理を実施
	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
	役務取引 取組方針	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。
事業主体		
事業者名称		TVEL
事業者概要		ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。
資本関係 経営状況		ROSATOM の 100%子会社
稼働実績		実績は施設の項参照
政府との関係		完全国営の ROSATOM の 100%子会社
今後の方針・戦略		ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、TVEL は明言していないが、同社の課題の 1 つとして、燃料製造等と並び、濃縮業務におけるコスト抑制対応を挙げている。

## (7) 燃料輸送

ROSATOM 傘下には、原子力専門輸送会社として AtomSpetstrans 社がある。同社の輸送手段の主力は鉄道で、ロシア国鉄の下に 16 の地域駐在事務所を置いている。新燃料は大部分が鉄道で輸送されるが、使用済燃料では車両輸送や水路輸送も行うとしている<sup>57,58</sup>。

事業主体 <sup>57,58</sup>		
事業者名称		AtomSpetstrans
事業者概要		原子燃料物質、放射性物質や関連製品の国内外輸送、輸送の管理、輸送車両やインフラの開発・生産・建設
資本関係 経営状況		ROSATOM100%子会社 輸送部門単体の財務情報は公開されていない
政府との関係		国営企業である ROSATOM の傘下
今後の方針・戦略		今後の取組として、輸送支援サービスの構造改革、部門別の輸送インフラ開発計画の枠組みで、産業向けのマルチモーダル輸

		送、ロジスティクスシステムの一部として、 (核物質等の)特殊輸送のための産業輸 送・物流センターを地域に分散設置すると している。
--	--	--

## (8) 使用済燃料貯蔵

2020年初時点で、各原子力サイトにおいて貯蔵されている使用済燃料の量を表 3.4-6 に示す<sup>29</sup>。  
現状における稼働開始年は、IAEA の NFCIS データベースで確認可能なもののみ記載している。

表 3.4-6 ロシア国内の使用済燃料貯蔵量(2020/1/1 時点)

事業主体	燃料の種類	稼働開始年	使用済燃料貯蔵量(t)
コラ原子力発電所	VVER440	-	90.42
ノボボロネジ原子力発電所	VVER440	1986	27.39
	VVER1000/1200		141.39
バラコボ原子力発電所	VVER1000	-	475.54
ロストフ原子力発電所	VVER1000	-	342.57
カリニン原子力発電所	VVER1000	-	456.65
クルスク原子力発電所	RBMK1000	1986	3,585.93
レニングラード原子力発電所	RBMK1000	1984	3,626.69
	VVER1200		22.35
スモレンスク原子力発電所	RBMK1000	1986	3,577.22
ベロヤルスク原子力発電所	BN600、BN800	-	55.73
	AMB		73.2
ビリビノ原子力発電所	EGP6	-	185.67
マヤク生産合同	VVER440、AMB、 BN600、RR、原子力砕 氷船	1975	616.0
鉱業化学コンビナート (MCC)	VVER1000	2011	7,896.92
	RBMK		3,437.24
アイ・イ・レイプンスキー 記念物理・エネルギー研 究所(IPPE)	AM1	-	5,084
国家研究センター 原子 炉研究所(RIAR)	MIR、SM、VK50、	-	40,926
	BOR60		0.089
	IVV2M		9.7

Atomflot <sup>c</sup>			
-----------------------	--	--	--

出所)廃棄物合同条約ロシア第6回国別報告書(第7回検討会合用)(2020年)、IAEA NFCIS データベース

3.4.3 (1)に既述のとおり、ロシアでは過去数年で個別の原子力サイトからMCC(再処理施設)等に設置された集中中間貯蔵施設への移送が進んでいる。ROSATOM はこうした移管の理由を安全性と経済性と説明している。各施設からの使用済燃料の搬出量及び使用済燃料の蓄積量を、表 3.4-8 に示す。表 3.4-6 のとおり、使用済燃料貯蔵の実績量は確認できるが、各貯蔵施設の保管能力は不明であることなどから、使用済燃料プールの具体的なひっ迫状況等は不明である。

表 3.4-8 ロシア国内の使用済燃料量蓄積量・貯蔵施設への搬出量・再処理量(単位:t)  
(表 3.4-2 の再掲)

項目	2020年	2021年	2022年	2023年
使用済燃料蓄積量	25,260	25,669	26,199	26,645
貯蔵施設への搬出	<u>945.5</u>	<u>905.1</u>	<u>838.2</u>	<u>836.0</u>
再処理施設への搬出	99.7	81.9	133	164.2

出所)ROSATOM “Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2023”

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

3.4.3 (1)に記載のとおり、ロシアでは高レベル放射性廃棄物の地層処分場サイトが決定していない。中低レベル放射性廃棄物は放射性廃棄物処分実施主体である NO RAO のもと、浅地中処分する方針である。現在操業中の処分場は、スペルドロフスク州のノボウラルスク1カ所で、2016年に運用が開始されている。

施設 <sup>59,35</sup>	
施設名称	ノボウラルスク低中レベル放射性廃棄物処分場(PPZRO)
施設概要	低中レベル固体廃棄物を処分。第1セクションと第2セクションに分かれる
技術	浅地中処分
能力	5,500m <sup>3</sup> (第1・第2セクション合計)
稼働状況	第1セクション:2016年に稼働 第2セクション:2020年末に試運転
稼働実績	2017年から2019年までに計9,921.44 m <sup>3</sup> を処分(第1セクションのみ)
役務取引 取組方針	-

<sup>c</sup> 浮体式原子力発電所(アカデミック・ロモノソフ)

事業主体 <sup>60</sup>	
事業者名称	NO RAO
事業者概要	ロシアにおける放射性廃棄物処分の実施主体
資本関係 経営状況	ROSATOM の 100%子会社
稼働実績	上記参照
政府との関係	完全国営の ROSATOM の 100%子会社
今後の方針・戦略 <sup>59</sup>	トムスク州のセベルスク、チェリャビンスク州オゼルスク、モスクワ州セルギエフ・ポサード等でも浅地中処分場を建設・計画。2030 年までに 48,000m <sup>3</sup> の低中レベル放射性廃棄物処分容量を確保する方針である。

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

ロシアでは、ТВЕЛのもとで、現状において世界で唯一、回収ウランを再利用可能なUF<sub>6</sub>に転換し再濃縮する能力を有する(3.4.5 (2)及び 3.4.5 (3)を参照)とともに、ウラン濃縮を行っているサイトを中心に、劣化ウランや回収ウランの濃縮や、劣化ウランの貯蔵などを行っている。セレノゴルスクの電気化学プラントでは、フランスに続く取組として、2009 年から劣化六フッ化ウランをより安定した U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> に転換する Deconversion を実施している。以下、劣化ウランの Deconversion を行う電気化学プラントについて整理する。

施設 <sup>53</sup>	
施設名称	電気化学プラント(PA ECP)
施設概要	セレノゴルスクに所在。劣化六フッ化ウラン(UF <sub>6</sub> )を保管に適した U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> に転換する Deconversion の能力及び劣化ウラン(U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )の保管機能を持つ
技術	仏 Orano グループのピエールラット工場の技術を購入して使用
能力	10,000tDUF/年(Deconversion) 劣化ウランの貯蔵能力は不明
稼働状況	2009 年に操業開始
稼働実績 <sup>61</sup>	Deconversion : 10,906tDUF ( 2023 年)、2009-2023 年の累積は約 14.1 万

		t 劣化ウランの貯蔵実績:不明
	役務取引 取組方針 <sup>62</sup>	Deconversion の能力を倍増する計画で2019年にフランスと契約。2021 年頃からフランスからの機器納入が行われ、2023年 3 月の時点で建設中との情報があるが、2024年現在、運転開始の情報はなく、稼働中の能力は1万tにとどまっている。既存設備は毎年、設備能力上限レベルの稼働を続けている。Deconversion と回収した U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (劣化ウラン)の高速炉への適用促進により劣化ウランの在庫(累積量)の減少を目指す。
事業主体		
	事業者名称	TVEL
	事業者概要	ROSATOM の燃料事業会社として国内外の核燃料供給を担う。新燃料の製造に加え、再処理、リサイクル燃料の製造等も行う。
	資本関係 経営状況	ROSATOM の 100%子会社
	稼働実績	上記参照
	政府との関係	完全国営の ROSATOM の 100%子会社
	今後の方針・戦略	複数のプラントで国外向けの濃縮役務含む燃料事業を提供している。ウクライナ侵攻に伴う脱ロシアの影響について、TVEL は明言していないが、同社の課題の 1 つとして、燃料製造等と並び、濃縮役務におけるコスト抑制対応を挙げている。

### 3.4.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

##### 1) 熱中性子炉(VVER など)と高速炉の 2 要素によるマルチリサイクル

ロシアでは、早くからクローズド燃料サイクルの完結を政策に掲げ、様々な原子力関連法規が制定さ

れ、高速炉や核燃料サイクル技術の研究開発を積極的に推進している。クローズドサイクルの実現により、資源の確保と放射性廃棄物の量と毒性の最小化が目指されている。クローズドサイクル路線の維持により、国内の産業基盤・雇用の維持と放射化学という学問としての価値創出も期待されている。加えて、原子力関連製品やサービスの輸出の拡大が目指されている。長期的には、高速炉と熱中性子炉の二種類の炉と燃料による、マルチサイクルによるクローズドサイクルを目指している。

ROSATOM は 2011 年より「ブレイクスルー(Proryv)プロジェクト」を実施している。同プロジェクトは「固有安全性を有する高速炉とクローズド燃料サイクル施設を 2025 年までに開発すること」を目標に掲げ、要求事項として以下の 5 項目を示している。

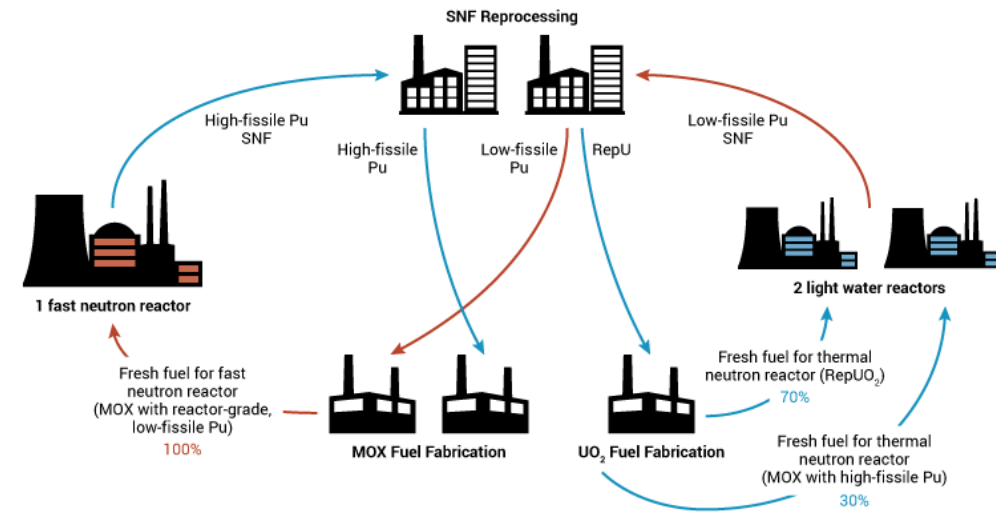
- 地域住民の退避を必要とするシビアアクシデントの可能性の排除
- ウラン資源の完全利用
- 放射性廃棄物が放射能的に天然ウランと等価になるような処分法開発の進歩(MA の核変換等)
- 技術面からの核不拡散体制強化
- 発電単価で他の発電技術と競合できる経済性

主要な実施項目としては以下が挙げられている。

- ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料の研究開発、燃料製造・再処理・廃棄物処理施設の設計、建設、運転
- 鉛冷却高速炉(BREST-OD-300)の研究開発、設計、建設、運転
- ナトリウム冷却高速炉(BN-1200)の研究開発、設計

ロシアでは同プロジェクトに基づいて高速炉、燃料など包括的・体系的な研究開発を進めているが、上掲の 2025 年という目標年については、2021 年の段階で ROSATOM トップの発言として「2035 年までに、熱中性子炉と高速中性子炉を組み合わせた 2 要素アプローチで核燃料サイクルを完結させる」となっている<sup>63</sup>。このアプローチでは、図 3.4-5 の「持続可能な核燃料サイクル」及び下掲の図 3.4-9 に示すとおり、2 種類の MOX 燃料、及び熱中性子炉と高速中性子炉を組み合わせたマルチサイクルが構想されている。その他にも、熱中性子炉 VVER と高速炉 BN による集中型核燃料サイクルも提唱されてきたが、ロシア政府が 2021 年に承認した「2024 年までの期間のロシア連邦における原子力エネルギー使用の分野における機器、技術、科学研究の開発」(第 14 次原子力国家プロジェクト)では、「2 要素アプローチ」が連邦プロジェクトとして認定されている<sup>64</sup>。

### Balanced Arrangement for Dual-Component Nuclear Power System



Source: Rosatom

図 3.4-9 2 種類の MOX 燃料、及び熱中性子炉と高速炉を活用したクローズドサイクル(2 要素アプローチの核燃料サイクル)

2 要素アプローチで核燃料サイクルでは、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(「高核分裂性プルトニウム」)を熱中性子炉に供給し、熱中性子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低いプルトニウム(「低核分裂性プルトニウム」)を高速炉に供給し、リサイクルする。

具体的には、熱中性子炉での発電により発生する使用済燃料を再処理して回収されるプルトニウム(使用済ウラン燃料由来か使用済 MOX 燃料由来かに関係なく、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」)が主要なプルトニウム源となる。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 以上の高速増殖炉用の MOX 燃料として使用することで、「高核分裂性プルトニウム」を含む使用済燃料が発生する。これを再処理して回収される「高核分裂性プルトニウム」は、熱中性子炉用の MOX 燃料に使用される。

この燃料サイクルにおける熱中性子炉の燃料は、上述の MOX 燃料または高濃縮再処理ウラン(U235 が 17%濃縮)であり、それぞれ 3 対 7 の割合で使用される。また、燃料需給量を鑑みると、高速増殖炉 1 基の運転は、熱中性子炉 2 基の運転とバランスする<sup>65</sup>。

本項では以下、主に VVER 炉の燃料開発動向について整理する。高速炉に係る燃料開発については(2)、高速炉に係る開発動向については(3)に整理する。

## 2) 事故耐性燃料の開発動向

ROSATOM グループの燃料事業会社である TVEL 社では、事故耐性燃料に係る研究開発の取組として、シリサイド燃料の開発に取り組んでおり、2023 年においては、VVER その他 PWR 原子炉で使用される製品の気密性確保を目的とした、炭化ケイ素をベースとする燃料要素複合被覆管の製造技術開発に重点を置き、以下の活動を実施した<sup>66</sup>。

- シリサイド燃料の開発:
- MIR 研究炉において、ETVS-K1 及び ETVS-V NFA 燃料要素の照射実験第 2 段階(照射

2 年目)を実施

- ETVS-K1 燃料棒と ETVS-V 燃料集合体の第 2 バッチを炉から取出。MIR 原子炉の運転休止中に使用済燃料プールで中間研究を実施
- 炉心から取り出された ETVS-K1 及び ETVS-V 燃料要素の最初のバッチについて、装荷後研究を実施
- 照射実験第 2 段階の実施後、START 設計コードの検証を実施
- 最適化された実験技術と電気アーク溶解法を用いて  $U_3Si_2$  インゴットを製造
- インゴットの構造(光学顕微鏡及び電子顕微鏡)、相及び化学組成(X 線位相及び化学分析、X 線スペクトルマイクロ分析)、密度、 $U_3Si_2$  錠剤の耐食性に対するドーピングの影響を調査する研究を実施
- $U_3Si_2$  タブレットを製造するためのラボ技術を開発
- 粉末の取得方法、タブレットのプレス及び焼結方法の試験
- クロムコーティングを施した合金 E110 及び燃焼度  $30MW \cdot day/kgU$  までの合金 42KhNM で被覆した燃料棒に関して、START-4A ソフトウェアを認証

2024 年においては、9 月にロストフ原子力発電所 2 号機(VVER1000)における試験装荷の第 3 サイクルが開始されたことが発表されている。1 サイクルは VVER1000 の運転サイクルに相当する 18 カ月である。ロストフ 2 号機では 2021 年に TVS-2M タイプの燃料集合体 3 体が初めて試験装荷された。これらの 3 体にはそれぞれ事故耐性燃料要素が 12 本含まれ、うち 6 本は構造材料に 42HNM クロムニッケル合金を使用して製造され、残り 6 本はクロムコーティングを施したジルコニウム合金を被覆管材料に使用している。今後、燃料集合体を構成する 312 本全てを事故耐性燃料として試験を行うことを目指しており、ТВЕL 社の燃料製造工場には、ジルコニウム合金製のシェルにクロムコーティングを施す製造ラインが設置され、テストバッチの製造を行い、品質が確認されたとしている<sup>67</sup>。

### 3) REMIX 燃料の開発動向

REMIX 燃料は、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ることによって製造される。低濃縮ウランは重量として全体の 20%を占める。これによって Pu239 が約 1%、U235 が約 4%の燃料が完成し、4 年間の運転で 5 万 MWD/t の燃焼度を維持できる。使用済 REMIX 燃料には Pu239 が 2%、U235 が 1%含有しており、冷却・再処理後に低濃縮ウランと混ぜることで複数回(最大 5 回)リサイクルできる。REMIX 燃料サイクルは、回収ウランの蓄積や分離プルトニウムの増加を防ぐ特徴もある。2022 年の資料に拠れば、REMIX 燃料は最大 1.5%の Pu239 を含有し、炉心の装荷燃料の全量を REMIX 燃料とすることが可能である。また、REMIX 燃料に置き換えクローズドサイクルを実現することで、天然ウランを最大 32%節約できるとしている<sup>39</sup>。

REMIX 燃料は 2021 年まで、バラコボ 3 号機(VVER1000)で、一部に REMIX 燃料棒を含む燃料集合体(312 本中 6 本)3 体の試験装荷を 3 サイクルにわたって(1 サイクルは 18 カ月)実施した。続いて、同 1 号機に REMIX 燃料棒のみで構成される燃料集合体 6 体を装荷し、試験を開始した。2024 年現在、試験予定最終の 3 サイクル目である。<sup>66,68,69</sup>

なお、REMIX 燃料はワンスルーと比較して、使用済燃料の貯蔵、処分コストの削減に貢献すると考

えられるが、高放射能のため燃料製造コストが MOX 燃料より大きく、酸化ウラン燃料と比較すると 25～30%増となるとされており<sup>70</sup>、燃料製造コストの縮減が課題である。

#### 4) 軽水炉における HALEU 利用に向けた取組

3.4.6 (2)2)に後述するとおり、ロシアではすでに小型炉でウラン濃縮度 5%以上(HALEU)の燃料を利用しているが、軽水炉である VVER でも、HALEU 燃料利用に向けた研究開発を行っている。2024 年 12 月 10 日には、ROSATOM のディミトロフグラード原子炉研究所の研究炉 MIR.M1 において、中性子吸収剤エルビウムと濃縮度約 5%のウラン 235 を含むマトリックスの照射試験を開始した。ROSATOM は、ウラン濃縮度を 6%、長期的には 7～8%に高めることは世界的なトレンドであるとし、現在、12～18 カ月である原子炉の燃料サイクルを 24 カ月まで延長することが可能になり、経済性が向上するとしている。

MIR 炉におけるプログラムでは、1 年間の照射サイクルを 4 回実施する計画である。TVEL 社はこの試験のために、ウラン・エルビウムマトリックス付き VVER-1000 サイズの燃料要素 12 体からなる試験用燃料集合体を製造した。ウラン・エルビウムマトリックスを使用した VVER 燃料の原子炉試験は初である。試算によると、エルビウムは、VVER 炉の通常の吸収体として使用されるガドリニウムよりも、18 カ月以上の長期の燃料サイクルで濃縮度 5%以上の燃料を用いて運転することに適した中性子吸収体である。試験用燃料の製造には、RBMK 型原子炉用のウラン・エルビウム燃料製造のノウハウが活用された。研究成果は、VVER 炉用ウラン-エルビウム燃料の製造技術開発、及びロシア型の原子力発電所における同燃料導入の検証に活用される。<sup>71</sup>

#### 5) 「西側」PWR 向け燃料開発

TVEL 社は、「西側」設計の PWR 向けの燃料として TVS-K 燃料を開発している。TVEL は 2021 年にノボシビルスクで TVS-K 燃料の製造を実施した。2023 年の活動としては、改良型 12 フィート TVS-K 設計の開発と検証を目的として、同燃料の実物大モデル(LFA-3)が製造され、ROSATOM の機械工学部門に納品された<sup>66</sup>。

2023 年の国際会議(TopFuel)において、TVEL の担当者は、TVS-K タイプの燃料について、西側の PWR 炉メーカーから完全に独立した唯一の PWR 燃料であるとし、商業運転条件下での燃料の挙動が優れており、燃焼度の高い TVS-K の導入により発電ユニットの燃料サイクルを長くすることができ、原子力発電所の運転の費用対効果が高まると、その可能性を強調している<sup>72</sup>。

TVS-K 燃料はスウェーデンの Vattenfall 社の原子力発電所に納入実績を持つ。ただし、2022 年のロシアによるウクライナ侵攻直後に、同社はロシアからの燃料調達を止めることを発表した(3.4.2 (2)2)参照)。西側諸国との関係が悪化している中で、西側諸国あるいは西側諸国製の PWR 炉を導入する国において、どの程度ロシア製造の燃料が検討の選択肢に入るのかは不透明と考えられる。

### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

#### 1) 高速炉の開発状況

ロシアでは旧ソ連時代から高速炉の開発を進め、1969 年に実験炉 BOR-60、1973 年に原型炉

BN-350(1999年に寿命で閉鎖)、1980年に原型炉 BN-600、1980年代には実証炉 BN-800 がベロヤルスクと南ウラルで着工したが、チョルノービリ事故等の影響で、長らく凍結状態にあった。2000年代に入ってベロヤルスクで建設が再開され、BN-800 は 2016 年 10 月に営業運転を開始した。同機は、2022 年 9 月にほぼフル MOX 燃料での運転を開始した。また、2018 年 8 月には商用機としてシリアル生産することを想定した BN-1200 の初号機を、ベロヤルスク 5 号機として建設することが発表された。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>73</sup>。完工は 2035 年が見込まれている<sup>74</sup>。

このほか、鉛冷却高速炉として、セベルスクのシベリア化学コンビナートに BREST-300 の建設が計画され、2025 年の運転を予定している。なお、鉛ビスマス冷却炉として SVBR-100 の開発も行われていたが、2018 年にプロジェクト中止となった。ロシアにおける高速炉(発電炉)の開発状況を表 3.4-7 に示す。

また、研究炉として、2015 年にディミトロフグラードの原子力研究所で多目的高速中性子研究炉(MBIR)の建設が開始され、2023 年には原子炉容器が設置、2028 年に運転を開始する予定である。同研究炉は IAEA の国際フォーラム INPRO の枠内で、「MBIR 国際研究センター(ICC MBIR)」として国外の研究を受け入れるセンターとなることが想定されてきた<sup>75,76</sup>。現状、ICC MBIR では同センターの利用を希望する国内外の研究組織等とコンソーシアムを形成する動きを見せている<sup>77</sup>。2022 年のウクライナ侵攻以降、ロシアは様々な制裁の対象となっているが、ICC MBIR が今後、INPRO 等より広い枠組みで、西側諸国を含めて利活用されるのかは不透明な状況である。なお、2024 年 8 月時点で、MBIR の設計責任者の発言として、原子炉の建設自体は制裁下においても計画通り進める意向がプレスリリースとして発表されている<sup>78</sup>。

表 3.4-7 ロシアにおける(発電用)高速炉の開発状況

分類	原子炉	段階	所在地	状況	設備容量 (MW) 備考
ナトリウム高速冷却炉 (タンク型)	BN-600 ベロヤルスク 3	原型炉	ザレチヌイ	運転中(1980 ～)	600
	BN-800 ベロヤルスク 4	実証炉		運転中(2016 ～)	864
	BN-1200 ベロヤルスク 5	商用炉		計画中(2035 年完工見込)	1220
	BN-1200 南ウラル 1	商用炉	チェリャビンスク	計画中	1220
鉛冷却高速炉	BREST-300 セベルスク	原型炉	シベリア化学コンビナート	建設中	300

			(SCC)		
--	--	--	-------	--	--

出所)WNA 情報より作成

## 2) 小型モジュール炉の開発

SMR においてもロシアは他国に先駆けた開発を行い、実用化に着手している。ロシアにおける SMR による発電所の運転・計画状況を表 3.4-8 に示す<sup>79</sup>。

表 3.4-8 ロシアにおける SMR 運転・計画状況

名称	炉型・電気出力	分類	状況	用途・備考
アカデミック・ロモノソフ	KLT-40S(2基) 35MW×2	浮体式(船載型)	2020年運開	ペベク自治体への電熱供給
未定	RITM-200C(3基)55MW×2基 4隻	浮体式(船載型)	2022年建造開始、2027年運開予定	4隻。うち2つの船体部分は中国で建造。(炉は全てロシア)。シベリア東部の銅鉱山等、極東部北部での電力供給
未定 (ヤクーツク)	RITM-200N(3基)55MW×2基	陸上設置式	2023年建設許可、2028年運開予定	

出所)WNA “Small Modular Reactor (SMR) Global Tracker”ほか

同国の SMR 開発は、1970 年代から PWR タイプの小型炉を動力として搭載する原子力砕氷船を建造・運用してきた経験等を活かし、洋上型の展開が先行している点が特徴的である。2020 年には、旧式の砕氷船動力炉に基づく KLT-40S を搭載した浮体式洋上 SMR であるアカデミック・ロモノソフの商業運転が開始され、ロシア極東部の都市ペベクへの電力供給を開始した。2022 年末までには電気に加え、熱供給インフラの整備も行われ、コジェネレーションを開始した模様である。アカデミック・ロモノソフは、老朽化したビリビノ原子力発電所(2025 年までに全機閉鎖予定)、閉鎖済の火力発電所(いずれもコジェネレーション実施)をリプレースすることを想定しており、2023 年にはビリビノとの送電線が接続され、同市及び近隣の鉱山への送電も開始した。原子炉は船体の左舷と右舷に 1 基ずつ設置されており、およそ 3 年～3.5 年に 1 度、炉心燃料全体を取り替える(カセットコア)。2023 年から 2024 年には、運開後初の燃料交換が実施された<sup>80</sup>。ROSATOM では KLT-40S より新しい砕氷船動力炉として、RITM-200 シリーズ(熱出力 175MW)も製造・運用しており、アカデミック・ロモノソフに続く SMR 原子力発電所には、同シリーズを適用する計画である。シベリア沿岸では、浮体式原子力

発電所 4 隻を導入する予定で、このうち 2 基の船体部分は中国に発注され、2022 年に建造が開始された。原子炉部分などはロシアで製造される<sup>81</sup>。さらにサハ共和国のヤクーツクでロシアでは初となる陸上設置型の SMR 発電所が計画されており、2023 年に建設許可を受け、2028 年の運転開始が予定されている<sup>82</sup>。KLT-40S と RITM-200 シリーズは燃料として HALEU を用いており、世界的に見ても、HALEU 実用の嚆矢となっている<sup>83</sup>。

このほか、マイクロ炉の開発も行われている。ROSATOM によれば、もっとも実用に近いのが砕氷船動力炉をベースとしたマイクロ炉 SHELF-M(熱出力 35MW、電気出力 10MW、燃料交換間隔 8 年)である。2023 年 6 月時点で同年中に概念設計を完了、2030 年頃の初号機運転開始が想定されている<sup>84</sup>。SHELF-M については 2022 年 6 月にサハ共和国と ROSATOM が、推進合意書を締結しており<sup>85</sup>、同地域でも初号機設置の可能性が高いと考えられる。

さらに 2023 年には、ROSATOM が第 4 世代のマイクロ炉として小型高速中性子炉 SVET-M を開発中であると述べた<sup>86</sup>。

### 3) 高速炉用 MOX 燃料の開発

ROSATOM 及び燃料事業会社の TVEL では高速炉用 MOX 燃料の改良に取り組んでいる。特に BN800 では、2022 年に初めて、全炉心 MOX 燃料での運転を開始した。高速炉用 MOX 燃料について ROSATOM は、原子力発電所の使用済燃料由来のプルトニウムと、ウラン濃縮由来の劣化ウランなど、核燃料サイクルから派生的に発生する物質を混合したものと説明している。さらに 2023 年にはアメリシウム 241 等のマイナーアクチニドを含む MOX 燃料を製造、2024 年 7 月には BN800 に装荷し、燃焼試験を開始した。また、2023 年中には BN800 用 MOX 燃料の被覆管を CHS68-ID 鋼から EK164-ID 鋼に切替え、これにより炉内での燃焼期間の長期化が可能になったとしている。また、国外向けとして TVEL では中国で建設中の高速実証炉 CFR600 の初装荷燃料(MOX)も製造しており、2023 年には発注者である中国工業集団有限公司(CNNC)が、MOX 燃料集合体や制御棒、スリーブなどの受入検査を行ったとしている<sup>66,87</sup>。

### 4) ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料の開発

MOX 以外の高速炉燃料として、ロシアでは建設中の鉛冷却高速炉 BREST-OD-300 の燃料として、ウラン・プルトニウム混合窒化物(MNUP)燃料を開発している。BREST-OD-300 に係る取組は、「Proryv(ブレイクスルー)」プロジェクトの一環として実施される。

MNUP は、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。使用されるウランはほとんどがウラン 238 で構成され、ウラン 235 の含有量は約 0.1%である(通常の軽水炉燃料では~5%)<sup>88</sup>。BREST-OD-300 に加え、現在運転中の BN600、BN800 の後継として計画中の大容量の高速炉 BN1200 の燃料に関して、MNUP は MOX 燃料と並ぶオプションとして検討されている。

2023 年には、BN600 において、試験用燃料集合体 3 体が装荷され燃焼試験が開始された。1 体には先進高速炉の炉心材料の照射サンプル、2 体には設計限界までの窒化物燃料の燃焼試験を行うための、取り外し可能な容器を備えた照射集合体が含まれている。<sup>66</sup>

2024 年 4 月には、BREST-OD-300 が立地するシベリア化学コンビナート内に設置された BREST-OD-300 の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>35</sup>。MNUP 燃料の製造は 4 つのラインで行われる。ペレット製造は炭素熱合成ライン、MNUP 燃料ペレット製造ラインの 2 段階で行われる。加えて、燃料棒の組み立てライン、及び燃料集合体の組み立てラインがある。

「Proryv(ブレイクスルー)」プロジェクトでは、シベリア化学コンビナート内で BREST-OD-300 に係る燃料製造、原子炉、再処理のサイクルを完結させる構想であり、一連の設備をパイロットデモンストラーションエネルギーコンプレックス(PDEC)と呼称している。BREST-OD-300 によるプルトニウム 239 生成などにより、劣化ウラン以外の燃料材料は PDEC 内部で調達可能となるとしている。<sup>88</sup>

### (3) 放射性廃棄物管理

#### 1) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減

過年度の TENEX 社へのヒアリングによると、ロシア国内の放射性廃棄物の処理技術に係る研究開発は、MA の回収及び変換、その燃焼に向けての技術開発が主である。放射性廃棄物の中で放射線強度の大きな Am、Cm、Np、Cs、Sr、Tc、Mo、Zr を回収する技術の開発、及びその後燃料成分として再利用する技術開発が始まっている。Am 含有の燃料製造や、その燃料を燃焼できる原子炉の研究開発が行われている。高速炉 BN-1200 で MA も燃焼できるよう設計されている。

#### 2) 地下研究所の建設状況

放射性廃棄物処分について、ロシアは高レベル放射性廃棄物を地層処分する方針であるが、サイトは決定していない。処分実施主体の NO RAO は、MCC 近傍のエニセイスキーに地下研究所を設置し、最終処分場を設置する計画である。この地域には、ニジニカンスキー花崗岩層と呼ばれる処分母岩層が確認されている。地下研究所は 2018 年に建設が開始されており、NO RAO は 2024 年に最大深度 520m の施設を完成予定、2025 年からバリアシステム等の試験を行い、2030 年に同地における処分の可能性を判断するとしている<sup>89</sup>。なお、2024 年 12 月時点で、地下研究所竣工の情報は確認されていない。

## 参考文献

- <sup>1</sup> Arms Control Association “Putin Approves Spent-Fuel Import Legislation” (2024年10月25日閲覧)  
<https://www.armscontrol.org/act/2001-09/putin-approves-spent-fuel-import-legislation>
- <sup>2</sup> ROSATOM “История” (2024年10月25日閲覧)  
<https://rasu.pro/o-kompanii/istoriya>
- <sup>3</sup> ROSATOM “Rosatom starts installation of the BREST-OD-300 4th generation reactor” (2024年1月17日)  
<https://atommedia.online/en/2024/01/17/v-severske-nachalsya-montazh-reaktornoj/>
- <sup>4</sup> 国家プログラムウェブサイト(2025年1月17日閲覧)  
<https://www.fcntp.ru/programs-and-projects/>
- <sup>5</sup> ロシアエネルギー省 “Энергостратегия”(2019年5月13日)  
<https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy>
- <sup>6</sup> ロシア大統領府、”Amendments to Executive Order on restructuring Russia’s nuclear power generation complex” (2024年1月5日)  
<http://en.kremlin.ru/acts/news/73228>
- <sup>7</sup> 原子力利用に関する連邦法(統合版)  
[https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8450/012122057c641b0135a0d369461fc02c7182ecd9/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8450/012122057c641b0135a0d369461fc02c7182ecd9/)
- <sup>8</sup> 2007年4月27日の大統領令第556号「ロシア連邦原子力産業複合体の再編に関する大統領令の改正案の導入に関する大統領令」  
<https://base.garant.ru/191037/>
- <sup>9</sup> ロシア政府プレスリリース “Постановление от 14 ноября 2024 года №1544” (2024年11月15日)  
<http://government.ru/news/53343/>
- <sup>10</sup> 2024年11月14日決議 No.1544  
<http://static.government.ru/media/files/ONAFejAFVnByxT3O3ozITOT2j8WILWyB.pdf>
- <sup>11</sup> EURATOM ESA “Annual Report 2023”  
[https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6\\_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202023%20-%20Final%20draft.pdf](https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202023%20-%20Final%20draft.pdf)
- <sup>12</sup> EURATOM ESA “Annual Report 2022”  
[https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/416f638d-1928-44b6-a9d9-d9180b6eb2ad\\_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202022%20-%20Final%20%28website%29\\_2.pdf](https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/416f638d-1928-44b6-a9d9-d9180b6eb2ad_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202022%20-%20Final%20%28website%29_2.pdf)
- <sup>13</sup> Communication REPowerEU Plan COM(2022)230  
[https://commission.europa.eu/document/download/26b26894-254d-4a65-8b4d-bced92365d1b\\_en](https://commission.europa.eu/document/download/26b26894-254d-4a65-8b4d-bced92365d1b_en)
- <sup>14</sup> 欧州委員会 “European Industrial Alliance on SMRs”(2025年2月6日閲覧)  
[https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/industrial-alliances/european-industrial-alliance-small-modular-reactors_en)
- <sup>15</sup> WNN “First SMR projects selected by European Industrial Alliance”(2024年10月14日)

- <https://www.world-nuclear-news.org/articles/first-smr-projects-selected-by-european-industrial-alliance>
- <sup>16</sup> Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem and amending Regulation (EU) 2018/1724  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1735>
- <sup>17</sup> Чехия政府 “Vláda prodloužila program Antivirus, schválila i Národní strategii pro čelení hybridnímu působení” (2021 年 4 月 19 日)  
<https://vlada.gov.cz/cz/media-centrum/aktualne/vlada-prodlouzila-program-antivirus--schvalila-i-narodni-strategii-pro-celeni-hybridnimu-pusobeni-187837/>
- <sup>18</sup> CEZ “Refueling will start at Temelín. Six fuel assemblies made by Westinghouse Electric Sweden will be tested” (2019 年 4 月 4 日)  
<https://www.cez.cz/en/media/press-releases/refueling-will-start-at-temelin.-six-fuel-assemblies-made-by-westinghouse-electric-sweden-will-be-tested-69837>
- <sup>19</sup> CEZ “US company to supply nuclear fuel also to Dukovany, not only to Temelín” (2023 年 3 月 29 日)  
<https://www.cez.cz/en/investors/inside-information/us-company-to-supply-nuclear-fuel-also-to-dukovany-not-only-to-temelin-174621>
- <sup>20</sup> Westinghouse “Westinghouse Delivers First VVER-1000 Fuel Reload to Bulgaria” (2024 年 5 月 29 日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-delivers-first-vver-1000-fuel-reload-to-bulgaria>
- <sup>21</sup> Framatome “Framatome to supply fuel to Hungarian VVER reactors” (2024 年 10 月 25 日)  
<https://www.framatome.com/medias/framatome-to-supply-fuel-to-hungarian-vver-reactors/?lang=en>
- <sup>22</sup> Fennovoima “Fennovoima has terminated the contract for the delivery of the Hanhikivi 1 nuclear power plant with Rosatom” (2022 年 5 月)  
<https://fennovoima.fi/2022/05/02/fennovoima-on-paattanyt-hanhikivi-1-ydinvoimalan-laitostoimitus-sopimuksen-rosatomin-kanssa/>
- <sup>23</sup> Westinghouse “Westinghouse Completes First VVER-440 Fuel Reload at Finland's Loviisa Nuclear Power Plant” (2024 年 9 月 2 日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-completes-first-vver-440-fuel-reload-at-finlands-loviisa-nuclear-power-plant>
- <sup>24</sup> Vattenfall “Vattenfall stops deliveries of Russian nuclear fuel” (2022 年 2 月 24 日)  
<https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2022/vattenfall-stops-deliveries-of-russian-nuclear-fuel#:~:text=No%20deliveries%20of%20nuclear%20fuel%20from%20Russia%20to,power%20plants%20will%20take%20place%20until%20further%20notice.>
- <sup>25</sup> Business Insider Africa “US, Russia, China, France, and South Korea compete to build Ghana's first nuclear power plant” (2024 年 5 月 22 日)  
<https://africa.businessinsider.com/local/markets/us-russia-china-france-and-south-korea-compete-to-build-ghanas-first-nuclear-power/14kbmec>

- <sup>26</sup> ROSATOM “Southeast Asia in Focus”(2024 年 12 月 19 日)  
<https://rosatomnewsletter.com/2024/12/19/southeast-asia-in-focus-2/>
- <sup>27</sup> ROSATOM “Nuclear Future for Africa” (2024 年 2 月 28 日)  
<https://rosatomnewsletter.com/2024/02/28/nuclear-future-for-africa/>
- <sup>28</sup> BBC “How a uranium mine became a pawn in the row between Niger and France” (2024 年 12 月 8 日)  
<https://www.bbc.com/news/articles/czjd70mzge2o>
- <sup>29</sup> 廃棄物合同条約ロシア第 6 回国別報告書(第 7 回検討会合用)(2020 年)  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-7rm\\_english.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-7rm_english.pdf)
- <sup>30</sup> TENEX “Good Practices and Lessons Learned in Spent Fuel Transportation in the Russian Federation” IAEA Technical Meeting 24-28.10.2022 Vienna, Austria  
[https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TM%20on%20Operational%20Experiences%20of%20Spent%20Fuel%20and%20Hi/7\\_Madalina\\_Budu\\_TENE\\_X\\_Russian\\_Federation.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TM%20on%20Operational%20Experiences%20of%20Spent%20Fuel%20and%20Hi/7_Madalina_Budu_TENE_X_Russian_Federation.pdf)
- <sup>31</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>32</sup> ROSATOM プレスリリース(2024 年 12 月 10 日)  
<https://strana-rosatom.ru/2024/12/10/v-2025-godu-rosatom-zapustit-vtoroj-kom/>
- <sup>33</sup> TVEL “«Росатом» ввел в опытно-промышленную эксплуатацию завод по производству ядерного топлива для инновационного реактора БРЕСТ-ОД-300”(2024 年 12 月 25 日)  
[https://tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=14080&arrNewsFilter\\_idBlock=1](https://tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=14080&arrNewsFilter_idBlock=1)
- <sup>34</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>35</sup> Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года»(2025 年 2 月 4 日閲覧)  
<https://xn----btb4bfrm9d.xn--plai/about/events-program/directionlevent9/>
- <sup>36</sup> STRANA ROSATOM “В Северске продолжается строительство пункта финальной изоляции РАО”(2024 年 11 月 5 日)  
<https://strana-rosatom.ru/2024/11/05/izolyaciya-modul-pervyj-v-severske-za/>
- <sup>37</sup> ROSATOM “Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2023”  
[https://report.rosatom.ru/go\\_eng/go\\_rosatom\\_eng\\_2023/rosatom\\_2023\\_eng.pdf](https://report.rosatom.ru/go_eng/go_rosatom_eng_2023/rosatom_2023_eng.pdf)
- <sup>38</sup> ROSATOM “Performance of State Atomic Energy Corporation ROSATOM 2016”  
[https://report.rosatom.ru/go\\_eng/go\\_rosatom\\_eng\\_2016/go\\_2016.pdf](https://report.rosatom.ru/go_eng/go_rosatom_eng_2016/go_2016.pdf)
- <sup>39</sup> TENEX “SUSTAINABLE NUCLEAR FUEL CYCLE”(2024 年 12 月 13 日閲覧)

- [https://tenex.ru/upload/medialibrary/Sustainable%20Nuclear%20Fuel%20Cycle\\_book.pdf](https://tenex.ru/upload/medialibrary/Sustainable%20Nuclear%20Fuel%20Cycle_book.pdf)
- 40 日本原子力研究開発機構「平成 29 年度原子力の利用状況に関する調査 核燃料サイクル技術等調査 報告書」(2018 年 2 月)p.94  
[https://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/H29FY/000460.pdf](https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000460.pdf)
- 41 ROSATOM “Отработавшее еще работает: реакторы ВВЭР переведут на топливо из регенерированного урана”(2024 年 11 月 19 日)  
<https://strana-rosatom.ru/2024/11/19/otrabortavshee-eshhe-porabotaet-reakto/>
- 42 ROSATOM ニュースレター “BREST Gets Based”(2024 年 2 月)  
<https://rosatomnewsletter.com/2024/02/28/brest-gets-based/>
- 43 WNN “Final cycle of REMIX nuclear fuel trial under way”(2024 年 12 月 3 日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/final-cycle-of-remix-nuclear-fuel-trial-under-way>
- 44 IAEA “Communication Received from the Russian Federation Concerning its Policies Regarding the Management of Plutonium INFCIRC/549/Add.9-26” (2024 年 8 月 8 日)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1998/infcirc549a9-26.pdf>
- 45 WNA “Conversion and Deconversion” (2024 年 12 月 13 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/conversion-and-deconversion>
- 46 WNA “Uranium Enrichment” (2025 年 1 月 25 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment>
- 47 経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA) “Uranium 2022:Resources, Production and Demand”(2023 年)  
[https://www.oecd-neo.org/jcms/pl\\_79960/uranium-2022-resources-production-and-demand?details=true](https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_79960/uranium-2022-resources-production-and-demand?details=true)
- 48 Uranium One “About Us” (2025 年 1 月 27 日閲覧)  
<https://www.uranium1.com/about-us/>
- 49 ROSATOM “PERFORMANCE OF THE MINING DIVISION 2023”  
[https://report.rosatom.ru/go\\_eng/2023/armz\\_2023\\_eng.pdf](https://report.rosatom.ru/go_eng/2023/armz_2023_eng.pdf)
- 50 Atomic2.0 “Сибирский химический комбинат (СХК)” (2024 年 12 月 20 日閲覧)  
<https://www.atomic-energy.ru/SHK>
- 51 Euratom Supply Agency “Annual Report 2023”  
[https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6\\_en](https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6_en)
- 52 UEIP “История УЭХК”(2024 年 12 月 13 日閲覧)  
<https://ueip.ru/AboutCompany/Pages/history.aspx>
- 53 電気化学プラント “Environmental safety report 2023”  
<https://www.ecp.ru/sites/default/files/download/eco/ecorep-23-eng.pdf>
- 54 IAEA NFCIS “Machine - Building Plant, JSC MSZ (WVER)” (2025 年 1 月 27 日閲覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facility/Details/17>
- 55 МСС “Создание технологического комплекса по замыканию ЯТЦ” (2025 年 1 月 28 日閲覧)

- [https://www.sibghk.ru/static-page/view?id\\_category=8&id=20](https://www.sibghk.ru/static-page/view?id_category=8&id=20)
- <sup>56</sup> МСС “Завод регенерации топлива (ЗРТ)” (2025 年 1 月 28 日閲覧)  
[https://www.sibghk.ru/static-page/view?id\\_category=8&id=24](https://www.sibghk.ru/static-page/view?id_category=8&id=24)
- <sup>57</sup> Atomspetstrans ウェブサイト  
<https://atomst.ru/>
- <sup>58</sup> Atomspetstrans “Цели и задачи” (2024 年 12 月 20 日閲覧)  
<https://atomst.ru/about/tseli-i-zadachi/>
- <sup>59</sup> 放射性廃棄物等安全条約第 7 回締約国会議 ロシア国別報告書(2020 年)  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-7rm\\_english.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-7rm_english.pdf)
- <sup>60</sup> NO RAO ウェブサイト  
<https://www.norao.ru/en/>
- <sup>61</sup> Atomic2.0 “Зеленогорский «Электрохимический завод» с 2009 года переработал более 130 тысяч тонн обедненного гексафторида урана на установке «W-ЭХЗ»”(2023 年 3 月 9 日)  
<https://www.atomic-energy.ru/news/2023/03/09/133408>
- <sup>62</sup> ЕСП “Переработка ОГФУ с образованием HF-продуктов”(2024 年 12 月 20 日閲覧)  
<https://www.ecp.ru/activity/nuclear/ogfu>
- <sup>63</sup> ROSATOM ニュースレター”Proryv: Breaking Through”(2021 年 11 月)  
<https://rosatomnewsletter.com/2021/12/01/proryv-breaking-through/>
- <sup>64</sup> ROSATOM “Правительство утвердило 14-й национальный проект по развитию атомной науки и технологий”(2021 年 2 月 8 日)  
<https://strana-rosatom.ru/2021/02/08/31102/>
- <sup>65</sup> WNA “Russia’s Nuclear Fuel Cycle”(2024 年 12 月 13 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>66</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>67</sup> TVEL “В Росатоме начался заключительный цикл опытно-промышленной эксплуатации ядерного топлива ATF нового поколения безопасности”(2024 年 9 月 17 日)  
[https://www.tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=13847&arrNewsFilter\\_idBlock=1](https://www.tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=13847&arrNewsFilter_idBlock=1)
- <sup>68</sup> WNN “Final cycle of REMIX nuclear fuel trial under way”(2024 年 12 月 3 日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/articles/final-cycle-of-remix-nuclear-fuel-trial-under-way>
- <sup>69</sup> TVEL “В реактор 1-го энергоблока Балаковской АЭС загружена первая партия РЕМИКС-топлива”(2021 年 12 月 21 日)  
[https://tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT\\_ID=9134&arrNewsFilter\\_idBlock=1&sphrase\\_id=51363](https://tvel.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=9134&arrNewsFilter_idBlock=1&sphrase_id=51363)
- <sup>70</sup> WNA “Mixed Oxide (MOX) Fuel”(2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox#mox-reprocessing-and-further-use>

- <sup>71</sup> ROSATOM “Rosatom starts reactor tests in order to increase nuclear fuel enrichment” (2024 年 12 月 10 日)  
<https://atommedia.online/en/2024/12/10/v-rosatome-nachalis-reaktornye-isp/>
- <sup>72</sup> WNN “TVEL puts case at conference for TVSK-K performance” (2023 年 7 月 24 日)  
<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/TVEL-tells-conference-of-TVSK-fuel-plans>
- <sup>73</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-/](https://ase-ec.ru/for-journalists/news/2024/jul/v-2025-godu-beloyarskaya-aes-poluchit-na-soglasovanie-proektnuyu-dokumentatsiyu-po-bn-1200m/)
- <sup>74</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>75</sup> WNA “Nuclear Power in Russia” (2025 年 2 月 4 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/Information-Library/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia-Nuclear-Power>
- <sup>76</sup> IRC MBIR “Role of the MBIR Project in achieving SDGs” (2023 年 8 月)  
<https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df21/slides/3.1-Goncharuk.pdf>
- <sup>77</sup> IRC MBIR “Консорциум” (2025 年 2 月 5 日閲覧)  
<https://mbir-rosatom.ru/consortium/>
- <sup>78</sup> IRC MBIR “Сроки строительства уникального реактора МБИР не будут сдвигаться” (2024 年 8 月 29 日)  
<https://mbir-rosatom.ru/news/sroki-stroitelstva-unikalnogo-reaktora-mbir-ne-budut-sdvigatsya/>
- <sup>79</sup> WNA “Small Modular Reactor (SMR) Global Tracker” (2025 年 2 月 5 日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/small-modular-reactor-smr-global-tracker>
- <sup>80</sup> FNPP “For the first time Rosatom Fuel Division supplied fresh nuclear fuel to the world’s only floating nuclear cogeneration plant in the Arctic” (2023 年 10 月 16 日)  
<https://fnpp.info/latest-news/for-the-first-time-rosatom-fuel-division-supplied-fresh-nuclear-fuel-to-the-world%E2%80%99s-only-floating-nuclear-cogeneration-plant-in-the-arctic>
- <sup>81</sup> FNPP “Keel-laying ceremony for the first Arctic-type Floating Power Unit with RITM-200 transport reactor vessels” (2022 年 8 月 30 日)  
<https://fnpp.info/latest-news/keel-laying-ceremony-for-the-first-arctic-type-floating-power-unit-with-ritm-200-transport-reactor-vessels>
- <sup>82</sup> FNPP “On April 21, Rosenergoatom obtained a license issued by Rostekhnadzor to construct the Yakutsk land-based SMR in the Ust-Yansky District of the Republic of Sakha (Yakutia).” (2023 年 4 月 21 日)  
<https://fnpp.info/latest-news/rosatom-obtained-a-license-for-the-first-land-based-smr-in-russia>
- <sup>83</sup> IAEA “Small Modular Reactors for Marine-based Nuclear Power Plant Technologies, Designs and Applications” (2023 年 11 月)  
[https://aris.iaea.org/publications/Marine-Based%20SMR\\_V8\\_A4%20format.pdf](https://aris.iaea.org/publications/Marine-Based%20SMR_V8_A4%20format.pdf)
- <sup>84</sup> ROSATOM “In Focus: SHELF-M Reactor” (2025 年 2 月 5 日閲覧)

- <https://rosatomnewsletter.com/2023/06/26/in-focus-shelf-m-reactor/>
- <sup>85</sup> FNPP “ROSATOM and Republic of Sakha (Yakutia) Plan to Build Small NPP with SHELF-M Reactor”(2022年6月21日)  
[https://fnpp.info/latest-news/rosatom-and-republic-of-sakha-\(yakutia\)-plan-to-build-small-npp-with-shelf-m-reactor](https://fnpp.info/latest-news/rosatom-and-republic-of-sakha-(yakutia)-plan-to-build-small-npp-with-shelf-m-reactor)
- <sup>86</sup> NEI magazine “Gidropress to develop fast microreactor”(2023年1月4日)  
<https://www.neimagazine.com/news/gidropress-to-develop-fast-microreactor-10488497/>
- <sup>87</sup> ROSATOM “ROSATOM starts afterburning of minor actinides in a fast reactor”(2024年7月10日)  
<https://atommedia.online/en/2024/07/10/v-rosatome-nachalas-opytno-promyshl/>
- <sup>88</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>89</sup> NO RAO “Хронология создания”(2024年12月13日閲覧)  
<https://www.nkmlab.ru/khronologiya-sozdaniya/>

## 3.5 中国

### 3.5.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

2020年発行の中国の放射性廃棄物等安全条約国別報告書によれば、中国で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。ただし、商用再処理施設はまだ完工に至っておらず、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>1</sup>。OECD/NEAとIAEAが共同で取りまとめた”Uranium 2022: Resources, Production and Demand”(通称「レッドブック」)によると、中国において原子力発電所で、MOX燃料の装荷は行われていない<sup>2</sup>。

中国で商用原子力発電所初号機である秦山原子力発電所1号機の建設が開始されたのは1985年であるが、この時期からすでに中国は使用済燃料の再処理を実施するという方針を決定していた。再処理方針の決定及びその理由を示した文書等は確認できないが、大規模な原子力発電の導入が構想されていたため、ウラン資源のひっ迫を考慮してのものではないかと推測される。また、2016年から2020年の時期を対象とした第13次五カ年計画では、大型商用再処理施設の建設について検討を進め、推進していくことが規定された<sup>3</sup>。さらに、2021年から2025年の時期を対象とした第14次五カ年計画でも、再処理施設の建設推進が掲げられている<sup>4</sup>。

中国では、核燃料サイクル政策に関する規定を含む原子力法案の制定に向けた動きが進められており、これまで複数回法案が公表されているものの、2024年11月時点で同法は制定されていない。2024年4月に公表された法案では、核燃料サイクルに関して以下の点などが規定されている<sup>5</sup>。

- 国は完備された核燃料サイクル体系を確立し、使用済燃料を燃料サイクルで利用し、放射性廃棄物の処理・処分を適切に行う。核燃料サイクルにはウラン・トリウム探査、採鉱と精錬、ウラン濃縮と転換、同位体分離、燃料製造、使用済燃料及び放射性廃棄物の処理処分等の工程を含む。(第16条)
- 国務院の核工業主管部門は、核燃料サイクルの中長期発展専門計画を策定する。(第17条)
- 核燃料サイクル施設の建設には国務院の核工業主管部門による審査又は承認を必要とする。(第18条)
- 国は使用済燃料の貯蔵、輸送及び再処理等の管理制度を確立する。(第21条)
- 核燃料サイクルを操業する組織は、国の規定に従い核燃料サイクル施設の廃止措置費用及び放射性廃棄物の処分費用を引き当てる。(第22条)
- 原子力の研究、開発及び利用活動に従事する組織は、可能な限り放射性廃棄物の発生量を減少させるよう努力し、厳格に関連する法律、行政法規及び基準の要件を遵守し、放射性廃棄物の分類管理と安全な処理処分を実施しなければならない。放射性廃棄物の処分場の建設は原子力発展による要求にふさわしいものとしなければならない。(第23条)

フロントエンドに関して中国は、ウラン資源は3分の1を国産ウランで、3分の1を中国が権益を有する海外のウラン鉱山からの輸入で、3分の1を市場で調達する方針である。中国は転換から燃料製造に至るプロセスも自国で実施する能力を備えているが、核燃料の輸入も行っている<sup>6</sup>。

## (2) 官民の役割分担

中国では、核燃料サイクル政策は中央政府が決定している。また、企業との役割分担について、原子力分野の主力企業グループである中国核工業集团公司(CNNC)、中国広核集団(CGN)、国家電力投資集团公司(SPIC)や華能集団、資機材製造を行っている重電の主力企業等は国有企業であり、政府とこれらの国有企業が一体となって原子力・核燃料サイクル政策を推進しているといえる。

以下に、中国の原子力発電や核燃料サイクルにおける産業構造を整理する。図 3.5-1 に中国で原子力事業の規制・推進に関わる主要な政府機関を図示した。中国政府で、原子力分野の政策は以下のように分担されている。

- 原子力発電政策：国家発展改革委員会の国家能源局。同局内には原子力発電司が設置されている。<sup>7</sup>
- 核燃料サイクル政策：工業・情報化部に属する国家原子能機構<sup>8</sup>
- 原子力安全規制：生態環境部に属する国家核安全局<sup>9</sup>

中国でプラントの研究開発や原子力発電事業を実施する主要な3グループ(CNNC、CGN、SPIC)はいずれも国有企業である。このうち、CNNC は原子力発電事業に加えて、ウラン資源の開発から燃料製造に至るフロントエンドや、バックエンドも手がけている。また、CGN は、自ら海外でウラン資源権益の確保を行っている。これらの企業は、国有企業であることから経営に関して国有資産管理監督委員会の監督を受け、また環境規制では生態環境部、原子力安全規制においては生態環境部内の国家核安全局の監督を受けている<sup>9,10</sup>。

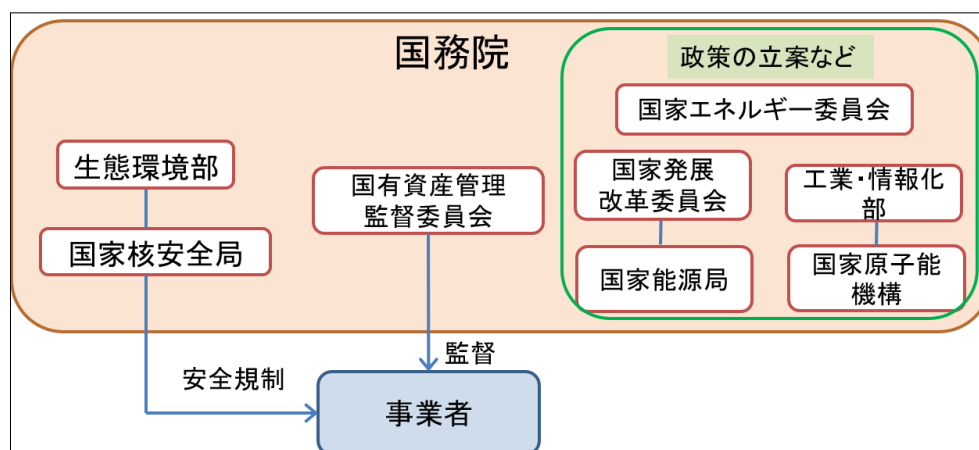


図 3.5-1 中国において原子力事業の規制等に関わる主要な政府機関

出所)原子力安全条約第 7 回締約国会議 中華人民共和国報告書等に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### 3.5.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

中国は、ロシアのウクライナ侵攻後も制裁を課すといった対応を行っておらず、サイクル政策・燃料サプライチェーンにおいて脱ロシアに向けた動きはみられていない。また、のちに表 3.5-1 に整理するとおり、ロシアのウクライナ侵攻後中国のロシアからのウラン 235 を濃縮したウラン等の輸入額は減少していない。

### 3.5.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

3.5.1 に記載したとおり、中国で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いる。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。

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。自国の技術を利用した再処理施設の建設プロジェクトに関する情報は限定的であるが、IAEA の Country Nuclear Power Profiles の 2024 年版には、200t の大規模商業使用済燃料再処理プロジェクトにおいて建設が開始されたことが記載されている<sup>11</sup>。Country Nuclear Power Profiles にこのプロジェクトに関するこれ以上の情報は記載されていないが、これは甘肅省酒泉市金塔県の核技術産業パークにおいて進められている使用済燃料再処理施設の建設について言及しているものと思われる。

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<sup>6</sup>。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等してきた。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>12</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>13</sup>。しかしながら、2024 年 12 月時点で CNNC と Orano 社は建設契約締結には至っていない。

##### 2) 処理・処分の実績

中国では、パイロットプラントにおいて使用済燃料の再処理が実施されている。放射性廃棄物処分に関して、高レベル放射性廃棄物は地層処分することとされており、現在地下研究所の建設が進められている。低レベル放射性廃棄物は、すでに複数の処分場で処分が実施されている。

##### a. 再処理

世界原子力協会の情報によると、甘肅省の蘭州核燃料コンプレックスで、ピューレックス法を用いた再処理パイロットプラントの建設が 2006 年に開始された。同プラントのホット試験は 2010 年に完了し、2013 年から 2015 年にかけて、約 50t の使用済燃料が再処理された。その後、同プラントの年間再処理容量は約 36t になったと報告されている<sup>6</sup>。2005 年 9 月の IAEA の技術報告書で CNNC の職員が公表した情報によると、パイロットプラントは甘肅省の蘭州核燃料コンプレックス(LNFC)に建設されており、主な役割は以下のとおりである<sup>14</sup>。

- ホット条件における使用済燃料の再処理のためのプロセス、機器及び設備の実証

- 将来の商用再処理プラントのための設計、建設、試験操業及び操業のための経験の蓄積
- MOX 燃料製造のためのプルトニウムの供給

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ニドの分離も検討されている<sup>15</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>16</sup>。

## b. 放射性廃棄物処分

中国では、高レベル放射性廃棄物の地層処分にに向けた研究開発に関して、2006年に「高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発計画に関するガイド」が策定された。この文書では、21世紀半ばの処分場建設を目標として、研究開発やサイト選定のスケジュールや目標が、以下のとおり3段階に分けて示されている<sup>17</sup>。

- 実験室研究とサイト選択段階(2006～2020年)
- 地下研究所での試験段階(2021～2040年)
- プロトタイプ処分場の検証と処分場建設段階(2041年～今世紀半ば)

このように中国では、「高レベル放射性廃棄物地層処分にに関する研究開発計画ガイド」に基づき研究開発が進められている。具体的には中国各地の計6カ所の高レベル放射性廃棄物地層処分場の候補地域において実施された予備的な比較に基づき、国家原子能機構が甘粛省の北山を候補地域として選定した。北山では高レベル放射性廃棄物地層処分場のサイト選定における地質、水文地質条件や、地震学的・地質学的調査及び社会経済条件の調査を実施することとなっている。また、ボーリング調査で深部における岩盤や水理に関連するデータを整備して、花崗岩サイトの予備的な評価方法を確立することとなっている。2016年3月には、CNNCグループの北京地質研究院(BRIUG)が北山において、地下研究所のサイト評価のためのデータ取得を目的としたボーリング孔の掘削を開始した<sup>18</sup>。また、2020年6月にはBRIUGが作成・提出した北山における地下研究所建設プロジェクトの環境影響報告書が、安全規制機関である国家核安全局のウェブサイトで公表された<sup>19</sup>。その後、2021年6月には北山で地下研究所建設が開始されている<sup>20</sup>。2023年に北山の地下研究所建設サイトでは、らせん型斜坑の3カ所の湾曲部分の掘削が完了し、掘削の総延長は3,116mとなり、作業員用のシャフトの掘削深度は設計深度である-590mに達している<sup>21</sup>。

2023年の国家核安全局の年報によると、低レベル放射性廃棄物の処分は、甘粛省の西北処分場、四川省の飛鳳山処分場、広東省の北龍処分場、甘粛省の龍和処分場で実施されている。また、金塔極低レベル放射性廃棄物埋設場でも処分が実施されている<sup>21</sup>。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

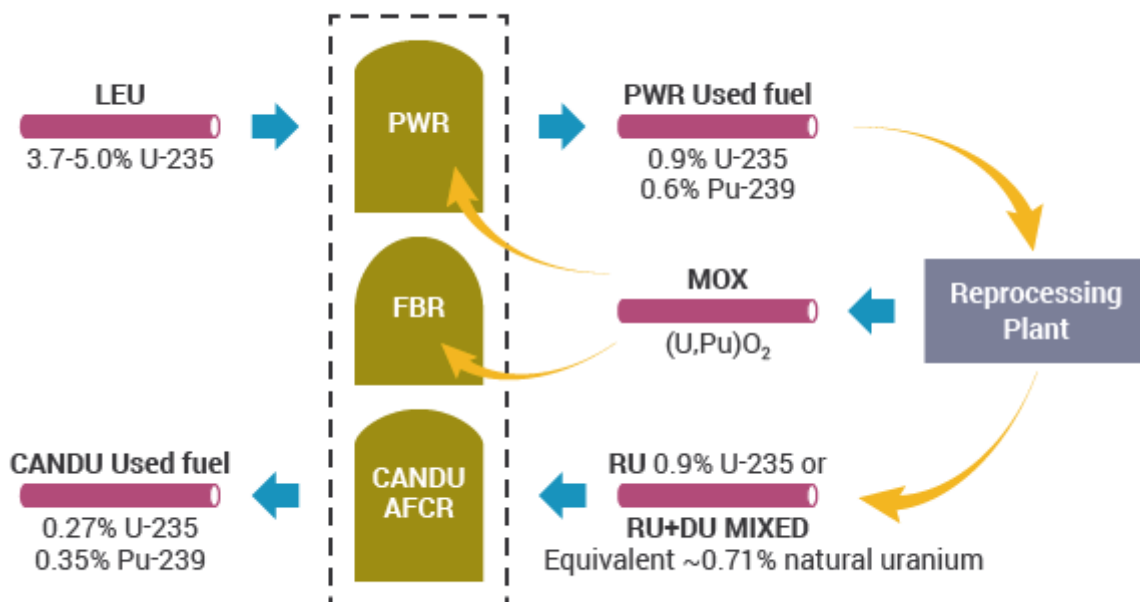
中国では回収ウラン・プルトニウムも活用して資源利用の最大化を図る方針である<sup>1)</sup>。

### 2) 実績

世界原子力協会の情報によると、2008年にCNNCグループの中国核動力研究設計院(NPIC)がカナダ原子力公社(AECL)と、PWRの使用済燃料から回収したウランの再利用等の研究開発に関する契約を締結し、回収ウランの再利用に関する両国の協力が開始された。両国の協力で、2基のCANDU炉が運転している秦山第三原子力発電所において、PWRの使用済燃料から回収したウランを最大1.6%まで(通常は0.9%)高めて再利用した燃料の使用に関する技術開発が進められている。この技術の最初の実証は、秦山第三1号機で実施され、通常のCANDU炉の燃料(0.7%のウラン235)と同等の濃度にすべく回収ウランを劣化ウランと混合した12体の燃料集合体が装荷された。挙動は天然ウランを原料とした燃料と同様であった<sup>6)</sup>。

図3.5-2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<sup>6)</sup>。

### China Nuclear Fuel Cycle Vision



Source: World Nuclear Association

図 3.5-2 中国の核燃料サイクルのビジョン

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

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>22</sup>。なお、(1)で報告した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>23</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中国実験高速炉(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>24</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。

### 3.5.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

#### (1) ウラン資源

表 3.5-1 は、中国海関総署(我が国の税関に相当)の海関統計データオンラインサーチプラットフォームに基づき、米ドル建てで表示した中国の2020年から2024年における天然ウラン及びその化合物等<sup>a</sup>の輸入額である<sup>25</sup>。

表 3.5-1 中国の2020年から2024年における天然ウラン及びその化合物等の輸入額(単位:ドル)

取引相手国	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
カザフスタン	1,021,975,271	553,183,361	741,639,236	207,891,985	1,618,216,100
ウズベキスタン	46,990,590	106,004,115	60,994,839		
ナミビア	431,876,515	489,475,811	438,544,992	69,496,968	702,400,664
ベルギー	3,620				
英国	3,855		5,769		
ドイツ	990				
オーストリア					106
ロシア		65,544,905	1,926		
チェコ		104			

<sup>a</sup> 「商品の名称及び分類についての統一システムに関する国際条約」による正式名称は、「天然ウラン及びその化合物並びに天然ウラン又はその化合物を含有する合金、ディスパージョン(サーメットを含む。)、陶磁製品及び混合物」である。

税関「輸出統計品目表(2025年1月版)」(2025年1月27日閲覧)  
[https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025\\_01\\_01/data/j\\_28.htm](https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025_01_01/data/j_28.htm)

米国	22,035		18,080		12,292
----	--------	--	--------	--	--------

出所)中国海関総署「海関統計データオンラインサーチプラットフォーム」(2025年1月28日閲覧)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

表 3.5-1 の取引相手国には、ウラン資源が豊富な国とそうでない国が含まれているため、原産国で採掘されたウランがイエローケーキに精錬され、原産国以外の国から中国に輸入されている事例もあるものと考えられる。

## (2) 転換

表 3.5-1 には中国の天然ウラン及びその化合物等の輸入額を示し、表 3.5-2 にはウラン 235 を濃縮したウラン等の輸入額を示している。表 3.5-2 に示したウランは濃縮ウランであることから、すでに転換が行われているが、表 3.5-1 に示したウランがすでに転換されたものか転換が行われる前のもの(イエローケーキの輸入)であるかは不明であり、中国がどの国からどの程度の金額の転換役務を調達しているかを特定することはできない。なお、表 3.5-1 の取引相手国のうち、転換施設を有するのはロシア及び米国である<sup>26</sup>。

## (3) 濃縮

表 3.5-2 は、中国海関総署の海関統計データオンラインサーチプラットフォームに基づき、米ドル建てで表示した中国の 2020 年から 2024 年におけるウラン 235 を濃縮したウラン等<sup>b</sup>の輸入額である<sup>25</sup>。なお、取引相手国が「中国」となっているものは、以前に中国からいったん輸出されたウラン 235 を濃縮したウラン等が実質的な変更を加えずに同じ状態で再度中国に輸入された再輸入を意味しているものと考えられる。

表 3.5-2 中国の 2020 年から 2024 年におけるウラン 235 を濃縮したウラン等の輸入額(単位:ドル)

取引相手国	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年
中国	107,074	45,855	91,310	132,820	38,514
カザフスタン	99,635,545	35,963,233	92,819,301	110,443,267	68,373,585
ベルギー	3,927				
英国	57,508,447	28,256	56,611	15,314	523,058
ドイツ		63,317,334			
フランス	4,267	55,532	30,779	57,595	52,393

<sup>b</sup> 「商品の名称及び分類についての統一システムに関する国際条約」による正式名称は、「ウラン 235 を濃縮したウラン及びプルトニウム並びにこれらの化合物並びにウラン 235 を濃縮したウラン、プルトニウム又はこれらの化合物を含有する合金、ディスパーション(サーメットを含む。)、陶磁製品及び混合物」である。

税関「輸出統計品目表(2025年1月版)」(2025年1月27日閲覧)

[https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025.01.01/data/j\\_28.htm](https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025.01.01/data/j_28.htm)

オランダ			111,292,085		29,985,113
オーストリア			100		
ロシア	38,378,923		492,591,892	417,951,367	848,803,309
チェコ				3,575	
米国	20,917	6,453	7,945	74,850	22,218

出所)中国海関総署「海関統計データオンラインサーチプラットフォーム」(2025年1月28日閲覧)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

表 3.5-2 の取引相手国にはウラン濃縮施設を所有しない国も含まれているため、必ずしも取引相手国で濃縮されたウランが輸入されているものではない。なお、表 3.5-2 の取引相手国のうち、濃縮能力を有する国は中国、英国、ドイツ、フランス、オランダ、ロシア及び米国である<sup>27</sup>。

### 3.5.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

以下に、中国で操業中のウラン採掘・精錬施設について整理する。

施設	
施設名称	撫州(江西省)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	酸リーチング
能力	350 tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1966 年稼働開始
役務取引	不明
取組方針	
事業主体	
事業者名称	FUZHOU URANIUM MINE.
事業者概要	CNNC のグループ会社
資本関係	CNNC の 100%所有
経営状況	
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バックエンド事業の拡大を進めている。

施設	
施設名称	伊寧(新疆ウイグル自治区)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	In situ リーチング
能力	480 tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1993 年稼働開始
役務取引	800 tU/年への能力増強を計画中
取組方針	
事業主体	
事業者名称	Xinjiang Bureau of Mining and Metallurgy, CNNC.
事業者概要	CNNC のグループ会社
資本関係 経営状況	CNNC の 100%所有
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バックエンド事業の拡大を進めている。

施設	
施設名称	崇義(江西省)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	ヒープ・酸リーチング
能力	120 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1979 年稼働開始
役務取引	不明
取組方針	
事業主体	
事業者名称	CNNC
事業者概要	CNNC は原子力発電事業に加えて、ウラン資源の開発から燃料製造に至るフロントエンドや、バックエンドも手がけている。

資本関係 経営状況	国の 100%所有
政府との関係	国有企業
今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バック エンド事業の拡大を進めている。

施設	
施設名称	騰衝(雲南省)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	In situ リーチング
能力	20 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1991 年稼働開始
役務取引 取組方針	不明
事業主体	
事業者名称	不明
事業者概要	事業者名は不明だが CNNC グループ企業
資本関係 経営状況	CNNC の 100%所有
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バック エンド事業の拡大を進めている。

施設	
施設名称	藍田(陝西省)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	ヒープ・酸リーチング
能力	100 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1993 年稼働開始
役務取引	不明

	取組方針	
事業主体		
	事業者名称	不明
	事業者概要	事業者名は不明だが CNNC グループ企業
	資本関係 経営状況	CNNC の 100%所有
	政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
	今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バック エンド事業の拡大を進めている。

施設		
	施設名称	本溪(遼寧省)
	施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
	技術	ヒープ・酸リーチング
	能力	120 t U/年
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	1996 年稼働開始
	役務取引	不明
	取組方針	

事業主体		
	事業者名称	不明
	事業者概要	事業者名は不明だが CNNC グループ企業
	資本関係 経営状況	CNNC の 100%所有
	政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
	今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バック エンド事業の拡大を進めている。

施設		
	施設名称	晴隆(貴州省)
	施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
	技術	ヒープ・酸リーチング

能力	100 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	2007 年稼働開始
役務取引 取組方針	不明
事業主体	
事業者名称	CNNC
事業者概要	CNNC は原子力発電事業に加えて、ウラン資源の開発から燃料製造に至るフロントエンドや、バックエンドも手がけている。
資本関係 経営状況	国の 100%所有
政府との関係	国有企業
今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バックエンド事業の拡大を進めている。

施設	
施設名称	韶関(広東省)
施設概要	ウラン採掘・精錬施設。製品はイエローケーキ
技術	ヒープ・酸リーチング
能力	160 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	2008 年稼働開始
役務取引 取組方針	不明
事業主体	
事業者名称	CNNC
事業者概要	CNNC は原子力発電事業に加えて、ウラン資源の開発から燃料製造に至るフロントエンドや、バックエンドも手がけている。
資本関係 経営状況	国の 100%所有
政府との関係	国有企業

今後の方針・戦略	CNNC グループは原子力発電所の新增設やフロントエンド・バックエンド事業の拡大を進めている。
----------	---

## (2) 転換

施設	
施設名称	衡陽ウランプラント(湖南省衡陽市)
施設概要	国内または海外で採掘されたウラン鉱石由来の二酸化ウランを六フッ化ウランに転換し、国内の濃縮施設に納入
技術	NFCIS に記載はないが、規制機関の原子力安全年報 2021 年版によれば、化工転換乾式法と IDR 法の生産ラインがある。
能力	3000 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	2016 年稼働開始。累積処理量は不明だが、単純計算で 15,000 tU 程度か。
役務取引 取組方針	不明だが、CNNC グループ企業からフィード物質を受け入れ、同グループ企業のみを対象として製品を納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	衡陽ウランプラント。規制機関の原子力安全年報 2021 年版によれば、事業者は中核建中核燃料元件有限公司と思われる。中核建中核燃料元件有限公司は中国原子能工業公司の子会社
事業者概要	CNNC のグループ会社
資本関係	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100%所有と思われる。
経営状況	不明
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	不明。CNNC グループとして方針決定していると思われる。

施設	
施設名称	蘭州核燃料コンプレックス(LNFC)(甘粛省蘭州市)
施設概要	国内または海外で採掘されたウラン鉱石由来の二酸化ウランを六フッ化ウランに転換し、国内の濃縮施設に納入
技術	NFCIS に記載はない。WNA によれば湿式プロセスが採用されて

	いる。
能力	3000 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	NFCIS には、1980 年稼働開始という記述と、「プラントは 2010 年にホット試運転を実施した」との記述がある。
役務取引 取組方針	不明だが、CNNC グループ企業からフィード物質を受け入れ、同グループ企業のみを対象として製品を納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	中国原子能工業公司
事業者概要	CNNC の子会社
資本関係	CNNC が 100% 所有
経営状況	不明
政府との関係	親会社の CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	不明。CNNC グループとして方針決定していると思われる。

### (3) 濃縮

施設	
施設名称	漢中ウラン濃縮プラント(陝西省漢中市)
施設概要	国内または海外で採掘されたウラン鉱石由来の六フッ化ウランを濃縮し、国内の再転換施設に納入
技術	遠心分離法
能力	1000 MTSWU/年。500 MTSWU/年の建設中。
稼働状況	稼働中
稼働実績	1997 年稼働開始。累積処理量は不明だが、単純計算で 14,000 MTSWU 程度か。
役務取引 取組方針	不明だが、CNNC グループ企業からフィード物質を受け入れ、同グループ企業のみを対象として製品を納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	NFCIS では Hanzhong Uranium Enrichment Plant。規制機関の原子力安全年報 2021 年版では中核陝西铀浓缩有限公司とある。
事業者概要	CNNC のグループ会社で、中国原子能工業公司の子会社

資本関係	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100%所有と思われる。
経営状況	不明
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	不明。CNNC グループとして方針決定していると思われる。

施設	
施設名称	蘭州核燃料コンプレックス(LNFC)甘肅濃縮(甘肅省蘭州市)
施設概要	国内または海外で採掘されたウラン鉱石由来の六フッ化ウランを濃縮し、国内の再転換施設に納入
技術	遠心分離法
能力	500 tU/年、2019 年で 3.56MSWU
稼働状況	稼働中
稼働実績	2005 年稼働開始。累積処理量は不明だが、単純計算で 3,000 tU 程度か。
役務取引 取組方針	不明だが、CNNC グループ企業からフィード物質を受け入れ、同グループ企業のみを対象として製品を納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	中国原子能工業公司。規制機関の原子力安全年報 2021 年版には、中核蘭州鈾濃縮有限公司という名称がある。中核蘭州鈾濃縮有限公司は中国原子能工業公司の子会社
事業者概要	CNNC の子会社
資本関係	中国原子能工業公司は CNNC が 100%所有
経営状況	不明
政府との関係	親会社の CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	不明。CNNC グループとして方針決定していると思われる。

#### (4) 再転換

IAEA の Nuclear Fuel Cycle Facilities Database に、中国で再転換を実施する施設は掲載されていない。しかしながら、国家核安全局が発行している年報で、主要な製品として UO<sub>2</sub> 粉末を製造している生産ラインが、燃料加工を実施している中核建中核燃料元件有限公司の施設として掲載されていることから、中国では燃料製造会社が再転換を実施していることが考えられる<sup>21</sup>。

## (5) 再処理

施設	
施設名称	蘭州再処理パイロットプラント(甘肅省蘭州市)
施設概要	建設が 2006 年に開始された。同プラントのホット試験は 2010 年に完了
技術	ピューレックス法
能力	0.1HMt/年
稼働状況	IAEA のデータベースでは、建設中
稼働実績	2013 年から 2015 年にかけて、約 50t の使用済燃料が再処理された。その後、同プラントの年間再処理容量は約 36t になったと報告されている
役務取引 取組方針	詳細は不明だが、商用再処理施設で適用するための技術開発を進めているものと思われる。
事業主体	
事業者名称	Lanzhou Nuclear Fuel Complex.
事業者概要	詳細は不明だが、CNNC のグループ会社
資本関係 経営状況	CNNC のグループ会社で、グループで 100% 所有 不明
政府との関係	CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	次に整理するとおり、中国では実証再処理施設が建設中だが、そのために必要な技術は蘭州再処理パイロットプラントの稼働で得られたのかは不明

施設	
施設名称	実証再処理プラント(甘肅省金塔県)
施設概要	建設開始年は不明だが、IAEA のデータベースでは 2025 年に操業を開始
技術	湿式(ピューレックス法か)
能力	200 重金属換算 t/年
稼働状況	建設中
稼働実績	建設中

役務取引 取組方針	再処理で回収した物質をどのように利用するのかなどの詳細は不明
事業主体	
事業者名称	CNNC
事業者概要	原子力分野の主力企業グループの 1 社であり、3 グループ中唯一国内でフロント・バックエンド事業を実施(詳細は 3.5.1 (2) 参照)
資本関係 経営状況	100%国有企業
政府との関係	CNNC は 100%国有企業
今後の方針・戦略	詳細は不明

## (6) 燃料加工(MOX 含む)

施設	
施設名称	CANDU 核燃料プラント(内モンゴル自治区包頭市)
施設概要	詳細は不明だが、フィード物質として八酸化三ウランを受け取り、PHWR 燃料を製造している。納入先は CANDU 炉 2 基が運転中の秦山第三発電所と思われる。
技術	不明
能力	200 t U/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	2003 年稼働開始。秦山第三由来の使用済燃料の 2016 年末時点貯蔵量は約 2,600tHM で、この大部分は本施設で製造されたものと考えられる。
役務取引 取組方針	CANDU 炉の核燃料なので、イエローケーキ(八酸化三ウラン)を濃縮せずフィード物質としている。 秦山第三の核燃料を排他的に納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	Baotou Nuclear Fuel Element Plant
事業者概要	詳細は不明だが、CNNC のグループ会社
資本関係	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100%所有と思われる。

経営状況	不明
政府との関係	CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	引き続き秦山第三の燃料を納入していくものと思われる。

施設	
施設名称	HTR 核燃料プラント(内モンゴル自治区包頭市)
施設概要	詳細は不明だが、フィード物質として六フッ化ウランを受け取り、高温ガス炉燃料を製造している。納入先は、北京の高温ガス実験炉と、石島湾の高温ガス実証炉と思われる。
技術	不明
能力	300,000 tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	2016 年稼働開始。球形ペブル燃料の製造容量は 400t/年に相当し、2020 年までに 800t/年まで拡大する計画があったとのこと(計画の実現状況は不明)。
役務取引 取組方針	CNNC の 2 カ所の濃縮施設由来の濃縮ウラン(六フッ化ウラン)をフィード物質として、再転換は本施設で行っている模様。 高温ガス実験炉及び実証炉の核燃料を排他的に納入していると思われる。
事業主体	
事業者名称	Baotou Nuclear Fuel Element Plant
事業者概要	詳細は不明だが、CNNC のグループ会社
資本関係	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100% 所有と思われる。
経営状況	不明
政府との関係	CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	引き続き中国の高温ガス実験炉及び実証炉の燃料を納入していくものと思われる。

施設	
施設名称	建中核燃料(四川省宜賓市)
施設概要	詳細は不明だが、フィード物質として六フッ化ウランを受け取り、

		PWRとVVERの核燃料を製造している。納入先は、中国のPWRとVVERと思われる。
	技術	不明
	能力	800 tU/年
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	1998年稼働開始。2020年までに1000t/年まで拡大する計画があったとのこと(計画の実現状況は不明)。
	役務取引 取組方針	CNNCの2カ所の濃縮施設由来の濃縮ウラン(六フッ化ウラン)をフィード物質として、再転換は本施設で行っている模様。
事業主体		
	事業者名称	NFCISではCNNCとなっているが、具体的には中核建中核燃料元件有限公司と思われる。
	事業者概要	詳細は不明だが、CNNCのグループ会社
	資本関係	詳細は不明も、CNNCのグループ会社で、グループで100%所有と思われる。
	経営状況	不明
	政府との関係	CNNCは100%国有企業
	今後の方針・戦略	引き続き中国のPWRとVVERの燃料を納入していくものと思われる。

施設		
	施設名称	PWR核燃料プラント(内モンゴル自治区包頭市)
	施設概要	詳細は不明だが、フィード物質として六フッ化ウランを受け取り、PWRの核燃料を製造している。納入先は、中国のPWRと思われる。
	技術	不明
	能力	600 tU/年(現在は800 tU/年か)
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	2012年稼働開始。2015年に製造能力は400t/年だったが、2017年に800t/年まで拡大されたとのこと。
	役務取引 取組方針	CNNCの2カ所の濃縮施設由来の濃縮ウラン(六フッ化ウラン)をフィード物質として、再転換は本施設で行っている模様。

事業主体	
事業者名称	Baotou Nuclear Fuel Element Plant
事業者概要	詳細は不明だが、CNNC のグループ会社
資本関係 経営状況	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100% 所有 と思われる。 不明
政府との関係	CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	引き続き中国の PWR の燃料を納入していくものと思われる。

## (7) 燃料輸送

中国で、燃料輸送を実施している組織に関する情報は確認できない。なお、国際原子力輸送協会 (WNTI) には中国から、CNNC グループの中国原子能工業有限公司 (CNEIC)、南通中集特殊運輸設備製造有限公司が加入している<sup>28</sup>。

## (8) 使用済燃料貯蔵

施設	
施設名称	集中湿式貯蔵施設(甘肅省蘭州市)
施設概要	詳細は不明だが、同じ甘肅省にある蘭州再処理パイロットプラント及び/又は実証再処理プラントで再処理するための燃料を貯蔵していると思われる。
技術	湿式貯蔵
能力	1,300 tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	詳細は不明
役務取引 取組方針	商用軽水炉で発生した使用済燃料を受け入れていると思われるが、詳細は不明
事業主体	
事業者名称	Lanzhou Nuclear Fuel Complex.
事業者概要	詳細は不明だが、CNNC のグループ会社
資本関係 経営状況	詳細は不明も、CNNC のグループ会社で、グループで 100% 所有 と思われる。 不明
政府との関係	CNNC は 100% 国有企業
今後の方針・戦略	詳細は不明

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

以下、国家核安全局のウェブサイト情報や年報等を基にして低レベル放射性廃棄物処分施設の情報を整理する<sup>21,29</sup>。

施設	
施設名称	西北低中レベル放射性固体廃棄物処分場(第1期第1段階)(甘粛省)
施設概要	低レベル放射性廃棄物浅地中処分施設
技術	—
能力	2023 年中の放射性廃棄物の受け入れ量は 1,989 体、1,313.06m <sup>3</sup>
稼働状況	2011 年に許可発給を受け、稼働中 <sup>30</sup>
稼働実績	2023 年末までの合計受け入れ放射性廃棄物量は 73,914 体、31,068.65m <sup>3</sup>
役務取引 取組方針	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分しているものと考えられる。
事業主体	
事業者名称	中核清原環境技術工程有限公司
事業者概要	CNNC グループ
資本関係 経営状況	CNNC の 100% 子会社と思われる。
政府との関係	CNNC は原子力分野の主力企業グループの 1 社(詳細は 3.5.1 (2)参照)
今後の方針・戦略	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分していくものと考えられる。

施設	
施設名称	飛鳳山低中レベル放射性固体廃棄物処分場(第1期)(四川省)
施設概要	低レベル放射性廃棄物浅地中処分施設
技術	—
能力	2023 年中の放射性廃棄物の受け入れ量は包 14,198 体、7,155.4m <sup>3</sup>
稼働状況	稼働中
稼働実績	2023 年末までの合計受け入れ放射性廃棄物量は 105,730 体、47,856.88m <sup>3</sup>
役務取引 取組方針	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分しているものと考えられる。
事業主体	
事業者名称	中核清原環境技術工程有限公司

事業者概要	CNNC グループ
資本関係 経営状況	CNNC の 100%子会社と思われる。
政府との関係	CNNC は原子力分野の主力企業グループの 1 社(詳細は 3.5.1 (2)参照)
今後の方針・戦略	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分していくものと考えられる。

施設	
施設名称	広東低・中レベル放射性固体廃棄物北龍処分場(広東省)
施設概要	低レベル放射性廃棄物浅地中処分施設
技術	—
能力	2023 年中、放射性廃棄物の受け入れはなかった
稼働状況	2011 年に許可発給を受け、稼働中 <sup>27</sup>
稼働実績	2023 年末までの合計受け入れ放射性廃棄物量は 2,240 体、2,526.44m <sup>3</sup>
役務取引 取組方針	CGN グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分しているものと考えられる。
事業主体	
事業者名称	広東大亜湾核電環保有限公司
事業者概要	CGN グループ
資本関係 経営状況	CGN の 100%子会社と思われる。
政府との関係	CGN は原子力分野の主力企業グループの 1 社(詳細は 3.5.1 (2)参照)
今後の方針・戦略	CGN グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分していくものと考えられる。

施設	
施設名称	龍和浅地中処分場(第 1 期第 1 段階)(甘粛省)
施設概要	低レベル放射性廃棄物浅地中処分施設
技術	—
能力	2023 年中の放射性廃棄物の受け入れ量は 2,632 体、2,309.3m <sup>3</sup>
稼働状況	稼働中
稼働実績	2023 年末までの合計受け入れ放射性廃棄物量は 3,242 体、2,989.3m <sup>3</sup>
役務取引	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄

	取組方針	物を処分しているものと考えられる。
事業主体		
	事業者名称	甘肅龍和環保科技有限公司
	事業者概要	CNNC グループ
	資本関係 経営状況	CNNC の 100% 子会社と思われる。
	政府との関係	CNNC は原子力分野の主力企業グループの 1 社(詳細は 3.5.1 (2)参照)
	今後の方針・戦略	CNNC グループの原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物を処分していくものと考えられる。

施設		
	施設名称	金塔極低レベル放射性廃棄物埋設場(甘肅省)
	施設概要	極低レベル放射性廃棄物埋設施設
	技術	—
	能力	2023 年中の放射性廃棄物の受け入れ量は 7,583 体、3,244.79m <sup>3</sup>
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	2023 年末までの合計受け入れ放射性廃棄物量は 9,457 体、3,835.29m <sup>3</sup>
	役務取引 取組方針	詳細は不明
事業主体		
	事業者名称	中核清原環境技術工程有限公司
	事業者概要	CNNC グループ
	資本関係 経営状況	CNNC の 100% 子会社と思われる。
	政府との関係	CNNC は原子力分野の主力企業グループの 1 社(詳細は 3.5.1 (2)参照)
	今後の方針・戦略	事業者は CNNC グループだが、CNNC グループの原子力発電所で発生した極低レベル放射性廃棄物のみを受け入れるのか、他グループの原子力発電所で発生した極低レベル放射性廃棄物も受け入れるのかは不明

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

3.5.3 (2)2)で整理したとおり、秦山第三原子力発電所において、回収ウランと劣化ウランを混合して製造した燃料集合体の利用が実施されている。しかしながら、回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等について詳細は不明である。

### 3.5.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

3.5.1 でも整理したように、中国で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することとしている。このため、使用済燃料の再処理や高速炉、再処理で発生する放射性廃棄物の管理処分の各分野で研究開発が進められている。また、中国では高温ガス実証炉がすでに運転を開始しているほか、トリウム溶融塩炉の開発も進められている。

本節では、(1)で高速炉及び再処理関連の研究開発動向について整理する。(2)では、革新炉関連としてトリウム溶融塩炉及び高温ガス炉の研究開発や実用化の動向についてまとめる。(3)では、高レベル放射性廃棄物を中心に放射性廃棄物管理に関する研究開発動向について整理する。

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

##### 1) 高速炉に関する研究開発動向

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>31</sup>。

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>32,33</sup>。なお、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>6</sup>。

また、CFR600 に続く CDFR の建設プロジェクトとして、2009 年 10 月に中国とロシアは、ロシアの BN-600 技術を利用したプラントを福建省三明市において 2013 年に着工する意向を確認した協定を締結した。しかしながら、ロシアの Atomstroyexport の営業活動にも関わらず、本プロジェクトは進んでいないとのことである<sup>29</sup>。

なお、中国の高速炉で使用する MOX 燃料のロシアにおける製造施設、製造状況等については、ロシアの燃料製造の項目(3.4.5 (5)、3.4.6 (2)3))に言及している。

##### 2) 再処理関連の研究開発動向

3.5.3 (1)2)a で整理したとおり、中国ではパイロットプラントで使用済燃料の再処理が実施されているほか、大規模な再処理施設の建設計画も進められている。MOX 燃料製造施設の開発について、世界原子力協会によると、CNNC の子会社である中核龍安科技公司によって、甘肅省金塔県の甘肅核技術産業パークで、年間生産量 200t の実証施設が建設されている。この施設の操業開始は 2025 年と見込まれている。また、同じく年間生産量 200t の 2 基目の施設が 2020 年末頃に着工している。これらの 2 基の施設は、2018 年に建設が開始された MOX 燃料製造実証施設近傍にあり、福建省霞

浦で建設中の 2 基の高速実証炉 CFR600 のための主要なインフラを構成している<sup>6</sup>。

## (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

### 1) トリウム溶融塩炉

中国では、1960 年代から 1970 年代にかけて、上海応用物理研究所でトリウム-ウラン燃料サイクル及び溶融塩炉に関する研究が実施された。しかしながら、当時は材料の制限のため、常温環境で運転されるゼロ出力実験装置が設置されるにとどまった。現在、「小型モジュール化トリウム溶融塩炉」の開発はトリウム-ウランサイクルの実現を加速させる技術として、エネルギーセキュリティの確保及び 2030 年カーボンピークアウト・2060 年カーボンニュートラルの実現にとって重要な意味を持つものと位置づけられている。中国はすでに、熱出力 2MWt の液体燃料トリウム実験炉(TMSR-LF1)の建設と運転の経験を有しているが、上海応用物理研究所はその経験に基づき、設計上の最大熱出力 60MWt、電気出力 10MWe の「小型モジュール化トリウム溶融塩炉」を建設し、大型商用炉御建設に必要な技術やデータ、経験の蓄積を図るとしている<sup>34</sup>。

トリウム溶融塩炉の燃料サイクルに関して、2020 年発行の IAEA の「小型モジュール炉の技術開発における進展」の情報によれば、2030 年代にパイロット段階のパイロプロセス施設が建設される。トリウム溶融塩炉の使用済燃料はこの施設に輸送し、燃料塩を回収し処分時の放射線インベントリを最小化するとのことである<sup>35</sup>。

### 2) 高温ガス炉

中国では、高温ガス炉はすでに研究炉(HTR-10)と実証炉(HTR-PM)がそれぞれ 1 基ずつ、運転を開始している。中国政府は、1992 年に HTR-10 の建設を承認した。2003 年には全出力運転が実施されている。HTR-10 の開発や運転は、清華大学の原子力・新エネルギー技術研究院(INET)が行っており、北京市に立地している。炉型はペブルベッドモジュラー高温ガス冷却炉であり、冷却材はヘリウムガス、減速材は黒鉛である。熱出力は 10MW(t)となっている。HTR-10 では、TRISO 型被覆燃料粒子を封入した球形の燃料要素 2 万 7,000 個が炉心に装荷され、運転が行われる。燃料の濃縮度は 17%であり、燃焼度は 80GWd/t となっている。HTR-PM は、2012 年 12 月に建設が開始され、2021 年 12 月に発電を開始している。HTR-PM も HTR-10 と同様に、INET が開発を行っており、所有者は大手電気事業者の華能グループであり、運転者は同グループの子会社となっている。HTR-PM は山東省石島湾に立地している。HTR-PM も HTR-10 と同様に、炉型はペブルベッドモジュラー高温ガス冷却炉であり、冷却材はヘリウムガス、減速材は黒鉛である。HTR-PM は 1 基の発電プラントが 2 台のモジュールで構成され、モジュール 1 台当たりの熱出力は 250MW(t)、1 基の発電プラントとしての電気出力は 210MW(e)となっている<sup>31</sup>。

燃料に関して、HTR-PM では HTR-10 と同様の燃料要素が 1 台のモジュールに 42 万個装荷される。燃料の濃縮度は 8.5%であり、燃焼度は 90GWd/t となっている。2020 年発行の IAEA の「小型モジュール炉の技術開発における進展」の情報によれば、HTR-10 では、当初はワンスルーサイクルが実施されるとのことである。また HTR-PM でも現在は、ワンスルーサイクルが実施されているとのことである。ただし、HTR-PM では使用済燃料が一定量に達し、再処理技術が経済的に利用できるよ

うになった場合におけるクローズドサイクル実施の可能性が言及されている。再処理を実施する場合は、使用済燃料を解体し、燃料は通常の再処理施設で再処理が可能とのことである<sup>31</sup>。

### (3) 放射性廃棄物管理

中国では、高レベル放射性廃棄物は地層処分する方針であり、現在地下研究所の建設が進められている。また、低中レベル放射性廃棄物はすでに複数の処分場で処分が進められている。これらの状況は、3.5.3 (1)2)b で整理している。

本節では、地下研究所の建設を進めている CNNC グループの北京地質研究院(BRIUG)、及び工学系の中国トップ大学で、原子力分野でも高温ガス炉の研究開発と運転などを行っている清華大学の INET が進めている放射性廃棄物管理に関する研究開発動向について整理する。

#### 1) 北京地質研究院(BRIUG)

BRIUG では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究開発のほか、地下資源の開発・評価などに関する研究開発も実施されている。以下に、BRIUG に設置されている研究所における研究開発の概要等を整理する<sup>36</sup>。

- 環境エンジニアリング研究所(高レベル放射性廃棄物地層処分研究所):  
本研究所では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究、低中レベル放射性廃棄物の浅地中処分場サイトの選定と評価、放射性残渣の管理の評価に関する研究、水環境調査と評価等が実施されている。
- 計測機器開発研究所:  
本研究所では、放射線測定機器の開発、ガンマ線量計等の測定機器の製造等が実施されている。
- 分析測定試験研究所(核工業地質分析測定試験研究センター):  
本研究所は、原子力分野の材料、放射性標準物質(原子力関連分野で使用される放射性物質の標準試料)<sup>37</sup>、地質・鉱物資源や環境の分析と測定試験に関する技術研究とサービスを主な業務としている。
- 地質鉱物資源研究所:  
本研究所では、ウラン鉱物化理論、鉱物化のメカニズムと鉱物化予測、ウラン・多金属資源ポテンシャル評価と鉱物化予測、シェールガス地質調査と評価などが実施されている。
- 科学技術情報研究所:  
本研究所は、原子力分野における地質関連の科学技術情報の整備やデジタル化等の事業を実施している。
- 物理化学探査研究所:  
本研究所は、主として物理探査と地球化学探査の技術と方法の研究と応用に従事しており、その研究成果は地質科学研究と鉱物探査、工学探査と水質調査、地質災害評価の重要な手段となっている。
- リモートセンシング技術応用研究所(リモートセンシング重点実験室):  
本研究所は、中国で最も早くリモートセンシング技術と応用の研究を開始した研究所の1つであり、高解像度の定量的リモートセンシングの技術開発や応用の研究などが実施されている。

## 2) 清華大学 原子力・新エネルギー技術研究院(INET)

INET には、エネルギー管理・気候政策チームや生物エネルギー・エネルギー貯蔵技術チームのほか、高温ガス炉技術等の研究を行う原子力科学・エンジニアリングチーム等と並んで、放射性廃棄物処分チームが設置されている<sup>38</sup>。

INET では、高レベル放射性廃棄物から長寿命核種や強放射性核種を分離し、さらに原子炉や加速器で安定核種や短寿命核種に変換する分離変換の研究が実施されている。清華大学は 1970 年代後半から、使用済燃料の再処理で発生する高レベル放射性廃棄物からアクチニドと強放射性核種であるストロンチウム 90 及びセシウム 137 を分離する研究を行ってきた。現在、アクチニドを分離するためのトリアルキルホスフィンオキサイド(TRPO)抽出、ストロンチウム 90 を分離するためのクラウンエーテル抽出、セシウム 137 を分離するためのキュプロ芳香族クラウンエーテル抽出に基づく完全分離プロセスの開発に成功し、実際の高放電廃液分離の熱試験により数回にわたって検証され、十分な分離結果が得られている。また、3 価のマイナーアクチニドであるアメリシウム/キュリウムとランタニドをさらに分離するために、ジチオリン酸を抽出剤とする 3 価のランタニド-アクチニド分離プロセスを開発している<sup>39</sup>。

## 参考文献

- <sup>1</sup> 「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)
- <sup>2</sup> OECD/NEA IAEA, “Uranium Resources, Production and Demand”(2023年)  
[https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2023-04/7634\\_uranium\\_-\\_resources\\_production\\_and\\_demand\\_2022.pdf](https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2023-04/7634_uranium_-_resources_production_and_demand_2022.pdf)
- <sup>3</sup> 新華社「中華人民共和国国民経済と社会発展第13次五カ年計画」(2016年3月17日)  
[http://www.xinhuanet.com//politics/2016lh/2016-03/17/c\\_1118366322\\_8.htm](http://www.xinhuanet.com//politics/2016lh/2016-03/17/c_1118366322_8.htm)
- <sup>4</sup> 中華人民共和国中央人民政府「中華人民共和国国民経済と社会発展第14次五カ年計画及び2035年長期目標綱要」(2021年3月13日)  
[https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content\\_5592681.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm)
- <sup>5</sup> 「中華人民共和国原子力法(草案)」(2024年4月)  
<https://npcobserver.com/wp-content/uploads/2024/04/Atomic-Energy-Law-Draft.pdf>
- <sup>6</sup> 世界原子力協会 “China’s Nuclear Fuel Cycle”(2024年11月21日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>7</sup> 国家発展改革委員会「国家能源局の概略」(2024年11月21日閲覧)  
<https://www.nea.gov.cn/gjnyj/index.htm>
- <sup>8</sup> 工業・情報化部「機構職責」(2024年11月21日閲覧)  
<https://www.miit.gov.cn/zzjg/index.html#bsdw>
- <sup>9</sup> 国家核安全局「組織機構」(2024年11月21日閲覧)  
<https://nnsa.mee.gov.cn/zjjg/>
- <sup>10</sup> 国有資産管理監督委員会「機構概況」(2024年11月21日閲覧)  
<http://www.sasac.gov.cn/n2588020/index.html>
- <sup>11</sup> IAEA “Country Nuclear Power Profiles China 2024 2. NUCLEAR POWER SITUATION”(2024年11月21日閲覧)  
<https://cnpp.iaea.org/public/countries/CN/profile/preview>
- <sup>12</sup> 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>
- <sup>13</sup> 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>
- <sup>14</sup> IAEA “IAEA-TECDOC-1467 Status and trends in spent fuel reprocessing”(2005年9月)  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1467\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1467_web.pdf)
- <sup>15</sup> 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)
- <sup>16</sup> 「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)
- <sup>17</sup> 国防科学技術工業委員会、科学技術部、国家環境保護総局「高レベル放射性廃棄物地層処分の研究開発計画に関するガイド」(2006年2月14日)

- <http://www.fsou.com/html/text/chl/750/75063.html>
- 18 BRIUG「高レベル放射性廃棄物地層処分場地下研究所サイトにおけるボーリング孔の掘削が順調に開始される」(2016年3月22日)  
<https://www.briug.cn/bjdz/xwzx60/hdyjkx/928923/index.html>
- 19 BRIUG「中国北山地下研究所建設プロジェクト 環境影響報告書」(2020年6月)  
[https://www.mee.gov.cn/ywdt/gsgg/gongshi/wqgs\\_1/202006/W020200629346584076797.pdf](https://www.mee.gov.cn/ywdt/gsgg/gongshi/wqgs_1/202006/W020200629346584076797.pdf)
- 20 国家原子能機構「中国北山地下研究所が着工」(2021年6月21日)  
<https://www.caea.gov.cn/n6760338/n6760342/c6831061/content.html>
- 21 国家核安全局「中華人民共和国国家核安全局 2023 年報」(2024年5月5日)  
[https://nnsa.mee.gov.cn/ztzl/haqbg/haqnb\\_1/202410/P020241011546858915662.pdf](https://nnsa.mee.gov.cn/ztzl/haqbg/haqnb_1/202410/P020241011546858915662.pdf)
- 22 IAEA 常駐中国代表团 “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>
- 23 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)
- 24 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>
- 25 中国海関総署「海関統計データオンラインサーチプラットフォーム」(2025年1月28日閲覧)  
<http://stats.customs.gov.cn/>
- 26 WNA “Conversion and Deconversion”(2025年1月28日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/conversion-and-deconversion>
- 27 WNA “Uranium Enrichment”(2025年1月28日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment>
- 28 WNTI “Our Members”(2025年2月7日閲覧)  
<https://www.wnti.co.uk/about/members/>
- 29 国家核安全局「わが国の主要な放射性廃棄物の貯蔵、処理、処分施設情報」(2024年12月19日閲覧)  
<https://nnsa.mee.gov.cn/ztzl/jgdxsjk/fsxfwcc/>
- 30 「放射性廃棄物等安全条約第5回締約国会議 中華人民共和国報告書」(2014年9月)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/jc-china-5th.pdf>
- 31 中国原子能科学研究院「中国実験高速炉」(2024年11月28日閲覧)  
<http://www.ciae.ac.cn/zh401/kynl22/kypt18/zgsykd/index.html>
- 32 IAEA “Power Reactor Information System”(2024年11月28日閲覧)  
<https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CN>
- 33 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>
- 34 中国科学院上海応用物理研究所「小型モジュール化トリウム溶融塩炉研究施設 環境影響報告書 (サイト選定段階)」(2024年10月)  
<https://www.mee.gov.cn/ywdt/gsgg/gongshi/gsq/202411/W020241126568416127023.pdf>

- <sup>35</sup> IAEA “Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition”(2020年9月)  
[https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf)
- <sup>36</sup> BRIUG「科研能力」(2024年12月2日閲覧)  
<https://www.briug.cn/bjdz/kynl/index.html>
- <sup>37</sup> 日本原子力研究開発機構 JPOSS「放射性標準物質」(2024年12月2日閲覧)  
<https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?5024740>
- <sup>38</sup> INET「組織機構図」(2024年12月2日閲覧)  
<https://www.inet.tsinghua.edu.cn/jgsz/zzjgt.htm>
- <sup>39</sup> INET「高レベル放射性廃液の分離」(2024年12月2日閲覧)  
<https://www.inet.tsinghua.edu.cn/zdxm/hrlhcl/xmjj.htm>

## 3.6 インド

### 3.6.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

インドは、1940 年代後半に原子力の平和利用のための開発に着手した。同国は世界最大級のトリウム賦存量を有し、バーバ原子力研究所(BARC)によればその量は約 51.8 万 t に及ぶ。インドの原子力開発で主導的な役割を担ったバーバ博士は 1950 年代に、以下の 3 段階からなるトリウムサイクルを提唱した。同国はこのサイクルの実現を原子力開発の基本方針に据えており、2024 年現在、インドの原子力開発は下掲の第 2 段階にある<sup>1</sup>。

- 第 1 段階:天然ウランを燃料とする加圧重水炉(PHWR)を使用、使用済燃料からプルトニウム回収
- 第 2 段階:回収したプルトニウムを高速増殖炉(FBR)で使用してトリウム照射し新たな燃料物質であるウラン 233 を生成
- 第 3 段階:改良型重水炉(AHWR)でのウラン 233 の利用及びトリウム照射によるウラン 233 の生成

同国は、1960 年代に米国やカナダの原子炉を輸入し、原子力民生利用の開発を進めていたが、同国は核不拡散条約(NPT)未加盟下で 1974 年に核実験を行い、これに対する制裁として、海外からの原子力技術協力が打ち切られた。

インドはカナダ型重水炉の技術をベースに、1960 年代に国産の加圧水型重水炉(PHWR)を開発した。PHWR は天然ウランを燃料とし、濃縮の必要がないことから、当時のインドでも導入がしやすかった。また重水炉は、軽水炉と比較してプルトニウムの生産効率が高いという特徴がある。核燃料についても自国で供給できる体制を構築し、FBR の研究開発も進めるなど、インドでは国家組織のもとで原子力産業の国産化が進んだ。原子力供給グループ(NSG)ガイドラインで NPT 非加盟国への禁輸が規定されていることから、この間、対インドで原子力発電所の建設などで協力したのはロシア(ソビエト時代からの協力)くらいであった。インドではクダンクラム原子力発電所で 2013 年と 2016 年にロシア型 VVER が 2 基運開し、2025 年 2 月現在、追加の 4 基が建設中である。

このように、ロシアとの協力を除き、主として自国での原子力開発を進めてきたインドだが、2008 年に米国の意向で、NSG ガイドラインの特例措置として対インドの原子力禁輸が解除され、同年、米国と民間原子力協力協定(いわゆる 123 協定)を締結したことを皮切りに、フランス、英国、韓国、チェコ、カナダ等に加え、2016 年には日本とも原子力協定を締結している<sup>2</sup>。2010 年にインドが原子力損害賠償法を制定し、2016 年に補足的原子力損害賠償条約(CSC)に加盟したことも後押しとなり、すでに実績があるロシアに加え、米国やフランスとも原子炉輸入に向けた協議が開始された。米国はウェスティングハウス(WH)社コヴァダで 6 基の AP1000 を建設する計画、フランスはフランス電力(EDF)がジャイタプールで 6 基の EPR を建設する計画である。しかし、インドの原子力損害賠償法における供給者責任条項の存在などがネックとなり、交渉は難航していた<sup>3</sup>。米国はインドの BARC など原子力研究所を、安全保障上の貿易取引制限リストに加えていたが、2025 年 1 月に制限を解除することを発表しており、今後、米国と研究開発を含む原子力協力が拡大し、AP1000 のような商用炉導入においても、関係の

拡大が後押しとなる可能性が考えられる<sup>4</sup>。

FBR に関してはカルパッカムにあるインディラ・ガンジー原子力研究所(IGCAR)内で 1985 年から試験炉が運転している。同地では 2004 年から建設が進められていた商業規模の PFBR(50 万 kW) が 2024 年 3 月に燃料を初装荷し、同炉は現在、試運転段階にある<sup>5</sup>。IGCAR では、FBR の使用済燃料再処理の実証プラントも建設されており、2024 年 1 月に首相が竣工イベントを行った<sup>6</sup>。このように FBR の利用とその燃料再処理へと、インドにおける原子力開発は、上掲のトリウム燃料サイクル第 2 段階のマイルストーンに沿って進みつつある。

インドのモディ首相は 2021 年、国連気候変動枠組条約第 26 回締約国会議(COP26)において、インドが 2070 年カーボンニュートラルを目指す方針を公表した。この目標達成に向けて、同国では、今後 20 年は石炭火力を一定程度維持しつつも、低炭素電源を拡大していく方向性である。インドは原子力を再エネと並ぶ低炭素電源の柱の 1 つとし、政府は 2024 年から 2047 年までに、原子力発電の設備容量を 100GW 増加させる方針を示している。また、インドはウランを産出するが、国内需要をカバーできる量ではなく、不足分は国外から輸入している。この輸入依存を低減させるため、上述の「トリウム燃料サイクル」にあるように、ウランからトリウムへの転換を促進していく必要があるとの見解を示している<sup>7</sup>。

## (2) 官民の役割分担

インドでは、ウラン探鉱・採掘から発電、再処理、廃棄物管理処分まで、原子力発電、核燃料サイクルを実施する全ての事業体が原子力庁(DAE)の傘下に置かれ、100%国営の体制で運営されている<sup>8</sup>。インドの原子力体制を図 3.6-1 に示す。特に燃料サイクルに関わる組織は青の太字で示している。

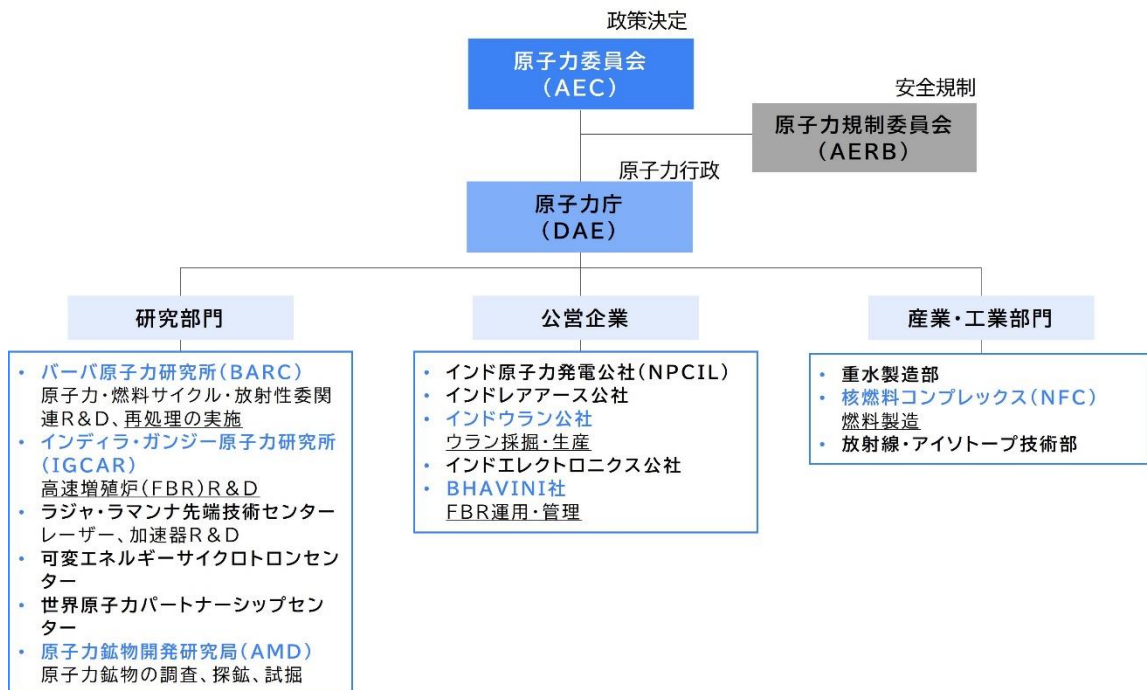


図 3.6-1 インドの原子力体制

出所)DAE ウェブサイト等より作成

燃料サイクル関連では、ウラン採掘においては、原子力鉱物開発研究局(AMD)が調査研究や探鉱を担い、100%公営企業のインドウラン公社が事業としてのウラン採掘や精錬などを担う。燃料製造は、政府直属部門のもとにある核燃料コンプレックス(NFC)が行っている。

原子力発電においては、PHWR や VVER 等の従来型の原子炉による全ての原子力発電所を公営企業のインド原子力発電公社(NPCIL)が所有・運転するのに対し、FBR に関しては、インディラ・ガンジー原子力研究所(IGCAR)が 1985 年から実験炉 FBTR で研究開発を行い、その知見をもとに原型炉である PFBR を設計、公営企業である BHAVINI 社が PFBR を建設、運転する役割分担となっている<sup>9</sup>。

### 3.6.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

前項に記載のとおり、インドは国際社会から原子力の禁輸措置を受けている中でも、旧ソビエト時代のロシアと原子力に関する協力関係を持ち、2024 年時点においてもロシア製 VVER の新規建設、新規計画を実施している。

核燃料サイクル分野においても、ロシアからの燃料供給を継続している。

インドはロシアとともに、いわゆる BRICS 諸国と呼ばれる新興経済国グループを形成しており、2022 年からのロシアによるウクライナ侵攻以降も、対ロシア制裁の姿勢を強める欧米諸国と距離を置き、ロシアとの関係性を維持する方針を示している。2024 年 7 月に開催された、インド・ロシアの年次首脳会談後に出された共同声明では、民生原子力が両国の戦略的パートナーシップの重要な要素であることの重要性を確認し、クダングラムで実施中の VVER 建設を進めるとともに、さらにこれに続く新サイトでの VVER 建設に向けて協議を行う方針を示した。燃料サイクルについても併せて、協力を拡大する意図を確認したとしている<sup>10</sup>。

### 3.6.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

インドでは 1950 年代にバーバ博士が提唱した 3 段階のトリウム燃料サイクル(3.6.1 (1)参照)計画に基づき、1960 年代から使用済燃料の再処理を実施している。これまでの再処理は全て、バーバ原子力研究所(BARC)のもとで実施されている。1965 年にトロンベイで運転を開始した同国最初の再処理施設は、当初、兵器用プルトニウムの分離を主たる目的としていた。現在は、主にトリウム燃料試験に用いた燃料など、トリウム燃料サイクル第 3 段階に向けた研究開発目的の燃料再処理を主に行っている。インド国産の商用発電炉である PHWR の使用済燃料を再処理するプラントとしては、1979 年にタラプール、1998 年にはカルパッカムの再処理施設が運転を開始した。上述の施設は全て、PUREX 法をベースとしている。再処理により得られたプルトニウム等は、高速増殖炉(FBR)実験炉である FBTR の燃料として使用されている。

インドでは、さらに FBR の使用済燃料を再処理するマルチサイクルを計画しており、3.6.1 (1)で既述のとおり、高速炉が立地するインディラ・ガンジー原子力研究所(IGCAR)の敷地内に、FBR 燃料再

処理実証プラント(DFRP)が建設され、2024年1月に竣工式が行われた。同プラントは、FBRに由来するカーバイド燃料と酸化物燃料の両方を処理可能という点で、世界唯一の施設であると説明されている<sup>6</sup>。なお、竣工式の情報の後、2025年1月現在、同施設の運転開始に関する情報は確認できていない。

インドにおける放射性廃棄物の処分について、高レベル・長寿命廃棄物は地層処分の方向で BARC での研究が進められているが、現時点において、サイト選定等の具体的な取組は進められていない。原子力発電所の使用済燃料(再処理されていないもの)、トロンベイ、タラプール、カルパッカムの3カ所の再処理施設から発生するガラス固化体等の廃棄物は、それぞれの施設サイト内で保管されている。

インドでは、ウラン、プルトニウムサイクルに加え、将来的にはトリウムサイクルを成立させることで、原子力に係る燃料の自立の度合いを高めるとともに、地層処分場に最終処分される放射性廃棄物の量を低減させることを目指している<sup>3,31,11</sup>。

## 2) 処理・処分の実績

インドにおける使用済燃料の再処理、保管や処分の実績・量に関する2024年時点の具体的なデータは公表されていない。世界原子力協会(WNA)によれば、タラプールとカルパッカムの再処理について設備容量が各年間100t/年、合計200t/年であるところ、実際の再処理水準は2つの施設の合計で約115t/年とされている。<sup>3</sup>

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

BARCのウェブサイトでは、天然ウランベースの燃料を用いるPHWRにおける照射(主にウラン238)の結果として生じる劣化ウランや再処理回収するプルトニウムを、FBRで燃焼させる方針が想定されている。また回収したウラン、劣化ウランはトリウムとともに、FBRのブランケットとして用いられる<sup>12</sup>。

この他、2007年のIAEAの資料に拠れば、インドではPHWRの初期装荷燃料の一部に回収ウランを用い、初期炉心の中性子束分布の平坦化を図るといった使用用途が見られる<sup>13</sup>。

### 2) 実績

インドにおけるプルトニウム利用量など、具体的な実績データは不明である。同国は2009年に国際原子力機関(IAEA)との間で、「民生用核施設に対する保障措置の適用に関する協定」(INFCIRC/754)を締結、2014年に追加議定書(AP)を批准し、順次対象設備を追加している。ただし、国内3カ所の再処理施設はこの対象施設に含まれていない。また、インドは核不拡散条約非加盟で、核保有国としての地位を主張していることから、我が国等が参加しているモデル追加議定書(INFCIRC/549)には加わらず、同議定書に基づくプルトニウムのインベントリ報告・公表の枠組みに参加していない<sup>14</sup>。

このようにインドの再処理施設は国際的な保障措置外にあるが、WNAによれば、2014年末時点におけるインドの民生用プルトニウム貯蔵量は約2.9tと推定され、そのほとんどがPFBR燃料用途とされている<sup>3</sup>。

PHWR 使用済燃料から分離回収された劣化ウランに関しては、高速炉用 MOX で上掲の回収プルトニウムと共に燃料に利用される<sup>15</sup>。利用の実績量は不明である。

このほか回収ウランのうち、過去に PHWR の初期装荷燃料に使用された実績として、2007 年の IAEA 資料では以下の表 3.6-1 のように内容が報告されている<sup>13</sup>。これ以降もインドでは PHWR が運開しているが、回収ウランの利用量実績は不明である。

表 3.6-1 インドの PHWR 初装荷燃料における回収ウラン利用(1991 年まで)

初臨界年	原子炉	燃料体数	使用された回収ウラン(酸化ウラン)(tU)
1980	ラジャスタン 2	656	9.8
1983	マドラス 1	656	9.8
1985	マドラス 2	384	5.7
1989	ナローラ 1	384	5.7
1991	ナローラ 2	384	5.7

出所) IAEA “IAEA-TECDOC-1529 Management of Reprocessed Uranium Current Status and Future Prospects” (2007 年 2 月)

### 3.6.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

インドは国内にウラン鉱山を有し、採掘・精錬を行っているが、国内の需要を充足してはならず、国外からウランを輸入している。転換に関しては、NFC の転換プラントで国内需要を賅っていると考えられる。

また、3.6.5 (3)で示すとおり、インドは、濃縮を必要としない天然ウランベースの燃料を用いる PHWR を主力炉としている。ただし、核不拡散条約発効前に建設されたタラプール 1、2 号機(BWR)の燃料に関しては、濃縮ウラン燃料ペレットをロシアから輸入し、国内で加工している。また、インド国内のクダンクラムで運転しているロシア製 VVER の燃料は、燃料集合体の形でロシアの TVEL から輸入している<sup>16</sup>。

インド上院における 2022 年の議員質問に対する原子力庁回答では、上記のうち、濃縮ウラン燃料ペレットと、天然ウランの国外からの輸入状況について情報が提供された。天然ウランはカザフスタンとカナダが主たる輸入元である。このほか、ロシア、ウズベキスタンともウラン購入契約を結んでいるとしている。同回答文書で示された、ロシアからの濃縮ウランペレット輸入量、カザフスタン及びカナダからの天然ウラン輸入量を以下の表 3.6-2 に示す。<sup>17</sup>

表 3.6-2 インドにおける濃縮ウランペレット、天然ウランの輸入状況

年度(※)	濃縮ウランペレット輸入量(MTU)	天然ウラン輸入量(MTU)	
		カザトムプロム(カザフスタン)	CAMECO(カナダ)
2018 年度	0	2,057.87	986.60

2019年度	56.78	1,499.98	1,001.29
2020年度	0	999.82	1000.48
2021年度	0	0	0

※インドの年度は4月～3月

### 3.6.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

インドでは燃料サイクル含む全ての原子力事業が、原子力庁のもと、完全国営企業あるいは同庁の一部門の事業として実施されている(事業体制は 3.6.1 (2)図 3.6-1 参照)。なお、インドの主力炉である PHWR は天然ウランベースの燃料を用いるため、ウラン濃縮が不要であり、商業規模の濃縮は行っていない。また、再処理も実施しているが、3.6.3 (1)で示したとおり、現状ではもっぱら研究所である BARC の拠点で実施されており、公営企業や事業部門の活動として位置づけられていない。

#### (1) ウラン採掘・精錬

以下では、2024 年時点で採掘と精錬事業を実施している拠点について整理する。国営のインドウラン公社 (UNIL) のもと、インドではジャルカンド州を中心に 7 カ所の鉱山地域でウラン採掘が行われ、うち 2 カ所は精錬施設を併設している。また、鉱山とは別に精錬を行う施設が 1 カ所ある。

施設 <sup>18,20,22</sup>	
施設名称	ジャグドゥダ鉱山・製錬施設
施設概要	ウラン採掘、精錬 採掘は 4 つの鉱山(全て地下採掘)、精錬はジャグドゥダ工場で実施。
技術	(採掘)地下採掘 (精錬)湿式処理
能力	(精錬)175tU/年
稼働状況	(採掘)1967 年から稼働 (精錬)1968 年から稼働
稼働実績	—
役務取引 取組方針	—
施設 <sup>18,20</sup>	
施設名称	ナラワパハール鉱山
施設概要	鉱山のみ
技術	地下採掘
能力	—
稼働状況	1995 年から稼働
稼働実績	—
役務取引 取組方針	—

施設 18,20	
施設名称	バティン鉱山
施設概要	鉱山のみ
技術	地下採掘
能力	—
稼働状況	1987 年から稼働
稼働実績	—
役務取引	—
取組方針	
施設 18,20	
施設名称	バガジャ鉱山
施設概要	鉱山のみ
技術	地下採掘
能力	—
稼働状況	2008 年から稼働
稼働実績	—
役務取引	—
取組方針	
施設 18,20	
施設名称	トゥラムディ鉱山
施設概要	ウラン採掘、精錬 トゥラムディ、バンドウラン(ジャグドゥダの鉱山の 1 つ)、モフルディ 鉱山からの鉱石を処理
技術	(採掘)地下採掘 (精錬)湿式処理
能力	(精錬)190tU/年
稼働状況 <sup>1920</sup>	(鉱山)2003 年から稼働 (精錬)2007 年から稼働
稼働実績	—
役務取引	—
取組方針	
施設 18,20	
施設名称	モフルディ鉱山
施設概要	
技術	地下採掘
能力	—
稼働状況	2012 年から稼働
稼働実績	—

	役務取引 取組方針	—
施設 <sup>18</sup>		
	施設名称	トゥンマラパレ鉱山・製錬施設
	施設概要	国内唯一の露天掘り鉱山
	技術	(採掘)露天掘り (精錬)湿式処理
	能力	(精錬)190tU/年
	稼働状況	(鉱山)不明 (精錬)2017年から継続稼働
	稼働実績	—
	役務取引 取組方針	—
事業主体(採鉱全体) <sup>21</sup>		
	事業者名称	インドウラン公社(UCIL)
	事業者概要	ウラン探鉱、採鉱、精製、加工
	資本関係 経営状況	100%国営 事業収入:約 228 億ルピー(2022 年度) 純利益:6.5 億ルピー
	稼働実績	採掘量、精錬に関する実績値は不明
	政府との関係	100%国営
	今後の方針・戦略	KPM(Kyelleng-Pyndengsohiong Mawtahbah)プロジェクト(メガラヤ州)など、あらたな露天掘り鉱山と処理施設の開発を計画中。

## (2) 転換

インドでは NFC のハイデラバードの施設で、転換を実施している。NFC は原子力庁の一部門であり、もっぱら国内向けに転換から燃料製造までの事業を行っている。

施設 <sup>22</sup>		
	施設名称	ハイデラバード転換施設
	施設概要	ウラン精鉱を UO <sub>2</sub> に転換
	技術	—
	能力	450 t HM/年
	稼働状況	1972 年から稼働
	稼働実績	転換単独での実績は不明
	役務取引 取組方針	NFC 内で製造する燃料(主に PHWR 燃料)用の転換を実施。インド全体の必要量を賄う。
事業主体(採鉱全体)		

事業者名称	核燃料コンプレックス(NFC)
事業者概要	原子燃料製造(転換、加工など)
資本関係 経営状況	インド原子力庁の一部門 売上高などの財務情報は非公開
稼働実績	-
政府との関係	政府機関の一部門(産業部門)
今後の方針・戦略	-

### (3) 濃縮

インドの商用炉の主力である国産炉、PHWR は天然ウランベースの燃料を用いており、濃縮を必要としない。国内で運転する VVER 用燃料はロシアの TVEL から輸入している。

### (4) 再転換

インドの商用炉の主力である国産炉、PHWR は天然ウランベースの燃料を用いており、濃縮を必要としない。ただし、PHWR の使用済燃料を再処理し、FBR 用の MOX 燃料を製造するにあたって、再転換が必要となる。原子力庁の年報には、再転換ラボの記載があり、こうした一部施設で再転換が実施されている模様である。施設の規模や実績などの詳細は不明だが、2023 年度において、老朽化した機器の交換や改修などの対応が行われたことが確認されている<sup>23</sup>。

### (5) 燃料加工(MOX 含む)

施設 <sup>22</sup>	
施設名称	NFC ペレット製造施設
施設概要	NFC の転換施設で製造された UO <sub>2</sub> をもとに PHWR 向けペレットを製造
技術	-
能力	335 t HM/年
稼働状況	1998 年から稼働
稼働実績 <sup>23</sup>	220MT のペレット製造(2023 年 4-12 月)
役務取引 取組方針	-
施設 <sup>22</sup>	
施設名称	NFC ジルカロイ燃料管製造施設
施設概要	PHWR 用燃料管を製造。複数のプラントから成る模様
技術	-
能力	-
稼働状況	-
稼働実績 <sup>23</sup>	115 万本の PHWR 燃料管を製造(2023 年 4-12 月)

	役務取引 取組方針	—
施設 <sup>22</sup>		
	施設名称	NFC PHWR 燃料製造施設
	施設概要	NFC 内で製造されたペレット、燃料管等を用いて PHWR 用燃料を製造
	技術	—
	能力	1,500 t HM/年
	稼働状況	1974 年から稼働
	稼働実績 <sup>23</sup>	第 2 製造施設と併せて、602MT の PHWR 燃料集合体を製造
	役務取引 取組方針	—
施設 <sup>22</sup>		
	施設名称	NFC PHWR 燃料製造第 2 施設
	施設概要	NFC 内で製造されたペレット、燃料管等を用いて PHWR 用燃料を製造
	技術	—
	能力	300 t HM/年
	稼働状況	1997 年から稼働
	稼働実績 <sup>23</sup>	第 1 製造施設と併せて、602MT の PHWR 燃料集合体を製造
	役務取引 取組方針	—
施設 <sup>22</sup>		
	施設名称	NFC BWR 燃料製造施設
	施設概要	他国から輸入したペレットを用いて BWR 燃料に加工
	技術	
	能力	24 t HM/年
	稼働状況	1974 年から稼働
	稼働実績	—
	役務取引 取組方針	—
施設 <sup>22,24,25</sup>		
	施設名称	NFC コタ燃料製造施設
	施設概要	70 万kW 級 PHWR 向け燃料製造施設
	技術	—
	能力	1,000t HM
	稼働状況	建設中(2024 年 9 月に落成式)

	稼働実績	-
	役務取引 取組方針	70 万kW 級 PHWR4 基の燃料製造を想定。施設は PHWR 燃料製造施設、ジルカロイ製造施設等で構成される。
事業主体 <sup>23</sup>		
	事業者名称	核燃料コンプレックス(NFC)
	事業者概要	原子燃料製造(転換、加工など)
	資本関係 経営状況	インド原子力庁の一部門 売上高などの財務情報は非公開
	稼働実績	-
	政府との関係	政府機関の一部門(産業部門)
	今後の方針・戦略	インドにおける原子力拡大(PHWR 増設、70 万kW 級 PHWR の投入)に伴い、燃料製造能力の拡大を図ると共に、老朽化設備の更新等を進めている

インドではトリウムサイクル実現に向けた取組の一環として、PHWR の使用済燃料を再処理し、高速炉用の MOX 燃料を製造している。高速炉用 MOX 燃料の製造は、BARC 原子力研究所のタラプール再処理プラントに併設された先進燃料製造施設で製造されていることが確認されている<sup>26</sup>。

施設		
	施設名称	タラプール先進燃料製造施設(AFFF)
	施設概要	FBR 用 MOX 燃料等の製造
	技術	-
	能力	-
	稼働状況	稼働年不明
	稼働実績	2024 年に燃料初装荷した PFBR の燃料等は同施設で製造された模様
	役務取引 取組方針	-
事業主体 <sup>31</sup>		
	事業者名称	バーバ原子力研究所(BARC)
	事業者概要	原子力庁傘下の研究施設
	資本関係 経営状況	インド原子力庁の一部門(研究部門) 売上高などの財務情報は非公開
	稼働実績	-
	政府との関係	政府機関の一部門(研究部門)
	今後の方針・戦略	-

## (6) 再処理

トロンベイで運転を開始した同国最初の再処理施設は、当初、兵器用プルトニウムの分離を主たる目

的としていた。現在は、主にトリウム燃料試験に用いた燃料など、トリウム燃料サイクル第 3 段階に向けた研究開発目的の燃料再処理を主に行っている。インド国産の商用発電炉である PHWR の使用済燃料を再処理するプラントとしては、1979 年にタラプール、1998 年にはカルパッカムの再処理施設が運転を開始した。上述の施設は全て、PUREX 法をベースとしている。再処理により得られたプルトニウム等は、高速増殖炉(FBR)実験炉である FBTR の燃料として使用されている。

インドでは、さらに FBR の使用済燃料を再処理するマルチサイクルを計画しており、3.6.1 (1)で既述のとおり、高速炉が立地するインディラ・ガンジー原子力研究所(IGCAR)の敷地内に、FBR 燃料再処理実証プラント(DFRP)が建設され、2024 年 1 月に竣工式が行われた<sup>6</sup>。

施設 <sup>27</sup>	
施設名称	トロンベイ再処理施設
施設概要	PHWR 使用済燃料の再処理
技術	PULEX
能力	60t/年
稼働状況	1982 年から稼働
稼働実績	—
役務取引	—
取組方針	
施設 <sup>27</sup>	
施設名称	タラプール再処理施設
施設概要	PHWR 使用済燃料の再処理
技術	PULEX
能力	100t/年
稼働状況	1982 年から稼働、現在の設備は 2010 年から稼働
稼働実績	事業主体の項目参照
役務取引	—
取組方針	
施設 <sup>27</sup>	
施設名称	カルパッカム再処理プラント
施設概要	PHWR、FBR 使用済燃料の再処理
技術	PULEX
能力	100t/年
稼働状況	1998 年から稼働(改修あり)
稼働実績	事業主体の項目参照
役務取引	—
取組方針	
事業主体 <sup>31</sup>	
事業者名称	バーバ原子力研究所(BARC)
事業者概要	原子力庁傘下の研究施設

資本関係	インド原子力庁の一部門(研究部門)
経営状況	売上高などの財務情報は非公開
稼働実績 <sup>3</sup>	WNA によれば、タラプールとカルパッカムで 400kg/年相当のプルトニウムを回収
政府との関係	政府機関の一部門(研究部門)
今後の方針・戦略	－

施設 <sup>27,6</sup>	
施設名称	FBR 燃料再処理実証プラント(DFRP)
施設概要	FBR 使用済燃料の再処理。カーバイド燃料と酸化物燃料の両方を処理可能 敷地内に高速炉 PFBR が立地
技術	－
能力	－
稼働状況	2024 年に試運転
稼働実績	－
役務取引	－
取組方針	
事業主体 <sup>9</sup>	
事業者名称	インディラガンジー原子力研究所(IGCAR)
事業者概要	原子力庁傘下の研究施設
資本関係	インド原子力庁の一部門(研究部門)
経営状況	売上高などの財務情報は非公開
稼働実績	－
政府との関係	政府機関の一部門(研究部門)
今後の方針・戦略	PFBR と一体での高速炉サイクルの研究開発を進める意向

## (7) 燃料輸送

核燃料等の輸送に特化した事業者は確認されていない。

## (8) 使用済燃料貯蔵

インドではクローズドサイクル方針のため、使用済燃料を再処理まで保管するが、原子炉建屋内の燃料プールでは容量が不足することから、1990 年のタラプール発電所を皮切りに、発電所サイト内に、原子炉建屋外(Away From Reactor, AFR)の使用済燃料貯蔵設備と呼ばれる貯蔵設備を設置している<sup>28</sup>。タラプールに最初に設置された AFR は湿式(プール)貯蔵だが、以降の設備は全て乾式貯蔵である。2025 年 1 月現在で確認されている AFR 使用済燃料貯蔵施設の整備状況を、表 3.6-3 に示す。

表 3.6-3 AFR 使用済燃料貯蔵施設の整備状況

サイト <sup>29,30</sup>	状況 <sup>30,22</sup>	方式 <sup>22</sup>	容量 <sup>22</sup>
タラプール 1、2 号機	供用中(1990 年～)	湿式	275tHM
タラプール 1、2 号機	供用中(1990 年～)	乾式	20tHM
ラジャスタン 1、2 号機 <sup>29</sup>	供用中(1994 年～)	乾式	570tHM
クダンクラム 3、4 号機 <sup>29</sup>	建設許可取得	乾式	不明
ラジャスタン 3、4 号機 <sup>30</sup>	立地許可取得	乾式	不明

出所)各種資料に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### (9) 放射性廃棄物管理・処分

インドには現在、高レベル放射性廃棄物の処分場が存在しない。低レベル廃棄物に関しては、原子力発電所サイト内で処分する方針だが、各サイトの状況詳細は不明である。

### (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

3.6.3 (2)で示したとおり、インドでは PHWR 燃料等の再処理から回収ウラン、劣化ウランが発生している。具体的な状況は不明だが、回収直後の回収ウランや劣化ウランは、3.6.5 (6)で示した再処理施設で保管されていると考えられる。

## 3.6.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

### (1) 原子力・核燃料サイクル

上述のとおり、インドは 3 段階のトリウム燃料サイクル計画に沿って、原子炉や燃料サイクルの開発を進めている。改めて、トリウムサイクルの各段階におけるターゲットの原子炉とその燃料、目的を表 3.6-4 に整理する。

表 3.6-4 3 段階のトリウム燃料サイクル計画における原子炉と燃料

段階	原子炉	燃料	目的
第 1 段階	PHWR	天然ウラン燃料	プルトニウムを回収 (MOX 燃料材料)
第 2 段階	FBR	MOX 燃料(ウラン-プルトニウムベース。ブランケットにトリウムを使用)	プルトニウムを増殖、トリウム照射によりウラン 233 を生成
第 3 段階	AHWR	トリウム-プルトニウムベースの MOX 燃料及びトリウム-ウラン 233 ベースの MOX 燃料	トリウム照射によりウラン 233 を生成

現在、インドは上記の第 2 段階の途上にある。燃料に関しては、上掲の計画の主流とは異なる新たな

燃料の検討の動きも見られる。以下、本項(1)では現行の主力発電炉である PHWR の燃料サイクルに係る開発動向、次項(2)では、FBR 使用済燃料の再処理や第 3 段階に向けたトリウムベース燃料の開発動向について整理する。

## 1) ウラン-Pu 再処理(PHWR 使用済燃料)

インドのトリウム燃料サイクル計画では、第 1 段階で天然ウランを燃料とする PHWR を運転し、その使用済燃料を再処理してプルトニウムとウランを回収し、混合酸化物燃料(MOX)燃料として第 2 段階で投入される FBR の燃料に用いる「ウラン-プルトニウム再処理」が示されている。インドでは現在、バーバ原子力研究所(BARC)がトロンバイ(100tHM/年)、タラプール(100tHM/年)、カルパッカム(200tHM/年)<sup>3</sup>の 3 か所で、PHWR の使用済燃料を再処理している。再処理方式は日本や英仏と同じ、PUREX 法による。PUREX 法で抽出されたウランとプルトニウムの分離は、タラプールの実証施設で実施されている。

ウラン-プルトニウム再処理のフローは確立されているが、商業化の段階には至っておらず、研究組織である BARC の下での実証段階と考えることができる。

BARC は今後の研究開発余地として、被ばく低減、再処理能力の向上、廃棄物管理の合理化を目的とした核種分離等にかかる技術を挙げている。また、インドにおいて原子炉の新設が続き、今後も拡大が予測される中、インドは再処理の拡大を企図しており、年間 600tHM/年の処理能力を持つ大規模(商業規模)プラントの実現に向け、分離装置の開発・スケールアップが必要としている。<sup>31</sup>

## 2) PHWR 向け新型燃料「ANNEE」の検討

将来的な目標はトリウム-U233 ベースの燃料サイクルの実現だが、より手近な既存炉に適用可能なオプションとして、PHWR 炉やカナダで用いられている CANDU 炉などの現行の重水炉向け新型燃料「ANNEE」の開発が、インド系の技術者が米国で創業したクリーン・コア・トリウム・エナジー(CCTE)によって実施されている。ANNEE はトリウムと HALEU を組み合わせた燃料であり、既存の PHWR 燃料と同じ外形寸法と構成で製造され、天然ウランを使っている既存燃料に替わる新たな燃料として、天然ウラン資源の節約効果が期待される。2024 年にはインドのエンジニアリング会社 Larsen & Toubro 社と CCTE がインドでの展開に向けた MOU を締結した。11 月には、米国のアイダホ国立研究所の高性能試験炉で行われていた、12 体の ANNEE 燃料試験体の照射試験が終了したことが報告されている<sup>32,33</sup>。

## (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

### 1) 高速炉及び燃料サイクル(FBR 使用済燃料再処理)の開発状況

トリウムサイクルの第 2 段階では、第 1 段階で回収したプルトニウムとウランを原料とする MOX 燃料を FBR で使用する。インドは、ここでウラン(劣化ウラン)とトリウムをプランケットとして用い、プルトニウムに加え、トリウムの中性子照射によりウラン 233 を生成させる方針を採っている。インドは世界有数のトリウム資源賦存国であり、BARC によれば、ケララ州とオリッサ州の砂浜の砂には、約 8~10%のトリウムを含有するモナザイトが豊富に埋蔵されている。モナザイトからのトリウム抽出は、インドレアアース

公社が行い、国内の原子力活動向けに供給している<sup>1</sup>。

インドは、フランスのRAPSODIEをベースにしたナトリウム冷却型FBRの実験炉FBTR(40MWt)を、カルパッカムにあるインディラ・ガンジー原子力研究所(IGCAR)に建設し、1985年に運転を開始した<sup>34</sup>。FBTRではプルトニウム-ウラン-カーバイド燃料(PuC-U233C)という特殊な燃料を用い、2005年までの間に、発生した使用済燃料は再処理され、新たなFBTR燃料としてリサイクルされた<sup>3</sup>。

この実験炉での知見に基づき、IGCARは原型炉PFBR(500MWe)の設計を実施した。PFBRの建設・運転は公営企業BHAVINI社が行う。BHAVINI社は2024年3月に初の燃料(MOX燃料を使用)装荷を実施し、PFBRは試験運転段階に入った<sup>5</sup>。同炉にはウランとトリウムのブランケットが装荷されている。

またPFBRの建設に合わせて、IGCARの敷地内に、FBR燃料再処理実証プラント(DFRP)が建設され、2024年1月に竣工した。同プラントは、FBTRに由来するカーバイド燃料と、PFBRに由来する酸化物燃料(MOX燃料)の両方の使用済燃料を処理可能であるとされている<sup>5</sup>。PFBRの運転と、DFRPにおける使用済高速炉MOX燃料の再処理が実施されるようになれば、上述のトリウムサイクルは、第2段階から第3段階への移行に向けて前進すると考えられる。

## 2) 改良型重水炉(AHWR)及び燃料サイクル(トリウム燃料サイクル)

インドのトリウム燃料サイクルは第3段階で完了する。その中心をなすのが、改良型重水炉(AHWR)とトリウムベースの燃料である。高速炉の開発は主にIGCARで行われるが、AHWRはBARCが主として開発を進めている。原則として、AHWRによりウラン233を増殖させ、再処理によりさらなる燃料を得るトリウムサイクルの実現をめざすが、BARCでは、トリウム-LEU(HALEU)ベースのMOX燃料を用いるタイプのAHWR-LEU炉も検討オプションに挙げている(表3.6-5)。

BARCはAHWRに係る技術的課題の例として、燃料が高線量であること、またそれに伴い、遠隔燃料製造技術の開発が必要であること、また3ストリームから成るトリウム燃料の水性再処理(THOREXプロセス)の実現を挙げている<sup>35</sup>。THOREXプロセスのフローを図3.6-2に示す<sup>36</sup>。

表 3.6-5 BARCが構想するAHWR炉

	AHWR	AHWR-LEU
タイプ	縦型圧力管式沸騰軽水冷却重水減速炉	
出力	300Mwe	
燃料	トリウム-プルトニウムベースのMOX燃料及びトリウム-ウラン233ベースのMOX燃料	トリウム-LEUベースのMOX燃料 ※LEU:19.75%の濃縮ウラン235 →すなわちHALEU
サイクル	使用済燃料をTHOREXプロセス(Thorium Extraction Process)(図3.6-2)によりリサイクル	原則としてワンスルー

出所)BARC “Thorium Fuel Cycle”

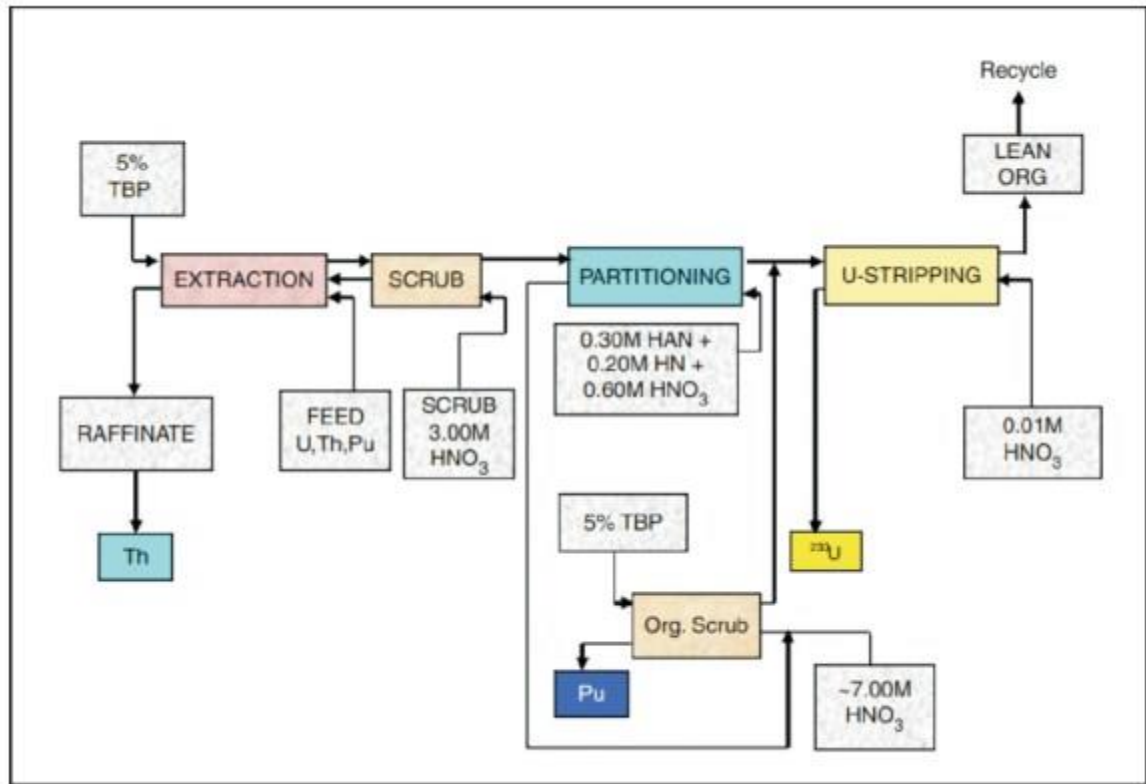


図 3.6-2 3 ストリームから成るトリウム燃料再処理(THOREX)プロセス

出所)BARC “IRRADIATED THORIA-BASED FUEL Experiences in Reprocessing”(2022)

トリウムベースの燃料開発に関しては、BARC の研究用原子炉等で照射試験などが実施されている。BARC によれば、トリウム燃料に係る試験状況は以下のとおりである。

- 研究炉 CIRUS の反射体領域にトリウム燃料棒を設置
- 研究炉 Dhruva にトリウム燃料集合体を装荷
- PHWR の初期炉心におけるフラックス平坦化を目的としたトリウム燃料集合体の利用
- FBTR におけるブランケットとしてのトリウム燃料集合体の試験
- 研究炉 CIRUS、Dhruva において、BWR、PHWR、AHWR 用のトリウム-プルトニウム MOX 燃料ピンの試験

実績としては以下のような内容が挙げられている。

- 照射済 PHWR 用トリウム燃料集合体及びトリウム-プルトニウム MOX 燃料ピンの照射後試験を実施
- トリウムベース燃料の熱物理学的、熱力学的特性の評価
- CIRUS で照射したトリウム燃料棒を BARC の施設で再処理。回収したウラン 233 を KAMINI 実験炉用の燃料に加工
- FBTR で照射したトリウムブランケット集合体を IGCAR 施設で再処理。回収したウラン 233 を FBTR における PFBR 燃料集合体の照射実験に使用<sup>35</sup>

### (3) 放射性廃棄物管理

放射性廃棄物管理に関する研究は、主に BARC で実施されている。使用済燃料の再処理で発生する高レベル廃液の処理に関して、インドでは誘導加熱金属溶融炉 (IHMM)、ジュール加熱セラミック溶融炉 (JHCM)、コールドクルーシブル誘導溶融炉 (CCIM) の 3 種類の溶融炉技術を通じて、ガラス固化技術を開発し、IHMM と JHCM の技術をベースとして、国内 3 カ所の再処理施設サイトにおいて、ガラス固化設備が成功裏に運転している。

そのほか、高レベル放射性廃棄物からセシウムとストロンチウムの大部分を回収し、セシウムを血液照射用の医療用途に供給する取組が行われている。ストロンチウムについてはイットリウム発生器に変換して放射性医薬品として利用するとしている。<sup>31</sup>

## 参考文献

- <sup>1</sup> バーバ原子力研究センター “Thorium Fuel Cycle”(2024年10月18日閲覧)  
<https://www.barc.gov.in/randd/tfc.html>
- <sup>2</sup> 外務省「日・インド原子力協定(概要)」(2017年10月4日)  
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000241576.pdf>
- <sup>3</sup> WNA “Nuclear Power in India” (2024年10月24日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/india>
- <sup>4</sup> 米商務省産業安全保障局 “Commerce Makes Revisions to the Entity List to Strengthen U.S. National Security” (2025年1月22日閲覧)  
<https://www.bis.gov/press-release/commerce-makes-revisions-entity-list-strengthen-us-national-security>
- <sup>5</sup> インド首相府 “PM witnesses the historic “Commencement of Core Loading” at India’s first indigenous Fast Breeder Reactor (500 MWe) at Kalpakkam, Tamil Nadu” (2024年3月4日)  
[https://www.pmindia.gov.in/en/news\\_updates/pm-witnesses-the-historic-commencement-of-core-loading-at-indias-first-indigenous-fast-breeder-reactor-500-mwe-at-kalpakkam-tamil-nadu/](https://www.pmindia.gov.in/en/news_updates/pm-witnesses-the-historic-commencement-of-core-loading-at-indias-first-indigenous-fast-breeder-reactor-500-mwe-at-kalpakkam-tamil-nadu/)
- <sup>6</sup> インド首相府 “PM inaugurates, dedicates to nation and lays foundation stone of multiple development projects worth more than Rs 20,000 crores in Tiruchirappalli, Tamil Nadu” (2024年1月2日)  
[https://www.pmindia.gov.in/en/news\\_updates/pm-inaugurates-dedicates-to-nation-and-lays-foundation-stone-of-multiple-development-projects-worth-more-than-rs-20000-crores-in-tiruchirappalli-tamil-nadu/?comment=disable](https://www.pmindia.gov.in/en/news_updates/pm-inaugurates-dedicates-to-nation-and-lays-foundation-stone-of-multiple-development-projects-worth-more-than-rs-20000-crores-in-tiruchirappalli-tamil-nadu/?comment=disable)
- <sup>7</sup> インド政府広報 “Launch of the report on energy transitions to achieve India’s net-zero targets” (2024年4月3日)  
<https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2017103>
- <sup>8</sup> 原子力庁(DAE) “Organisation Structure”(2024年10月18日閲覧)  
<https://dae.gov.in/organisation-structure/>
- <sup>9</sup> IGCAR “Profile of IGCAR” (2024年11月1日閲覧)  
<https://www.igcar.gov.in/igcarprofile.html>
- <sup>10</sup> インド政府広報 “Joint Statement following the 22nd India-Russia Annual Summit” (2024年7月9日)  
<https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2031946>
- <sup>11</sup> BARC “News Letter CLOSED FUEL CYCLE For Sustainable Growth of Nuclear Power Program in India”(2022年2月)  
[https://www.barc.gov.in/barc\\_nl/2022/2022010202.pdf](https://www.barc.gov.in/barc_nl/2022/2022010202.pdf)
- <sup>12</sup> BARC “BARC activities for Indian Nuclear Power Program” (2024年11月26日閲覧)  
<https://www.barc.gov.in/randd/artnp.html>
- <sup>13</sup> IAEA “IAEA-TECDOC-1529 Management of Reprocessed Uranium Current Status and Future Prospects” (2007年2月)  
[https://www-pub.iaea.org/MTC-D/Publications/PDF/te\\_1529\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTC-D/Publications/PDF/te_1529_web.pdf)
- <sup>14</sup> IAEA “Agreement Between the Government of India and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards to Civilian Nuclear Facilities INFCIRC/754” (2024年11月13日閲覧)  
<https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/agreement-between-government-india-and-international-atomic-energy-agency-application->

- safeguards-civilian-nuclear-facilities
- 15 BARC “CLOSED FUEL CYCLE For Sustainable Growth of Nuclear Power Program in India”  
[https://www.barc.gov.in/barc\\_nl/2022/2022010202.pdf](https://www.barc.gov.in/barc_nl/2022/2022010202.pdf)
  - 16 NEI magazine “Russia’s Tvel signs contract to supply fuel for India’s Tarapur NPP”(2019年1月31日)  
<https://www.neimagazine.com/news/russias-tvel-signs-contract-to-supply-fuel-for-indias-tarapur-npp-6956671/>
  - 17 インド上院議会質問政府答弁”GOVERNMENT OF INDIA DEPARTMENT OF ATOMIC ENERGY LOK SABHA UNSTARRED QUESTION No. 4537 TO BE ANSWERED ON 30.03.2022 IMPORT OF NUCLEAR FUEL” (2022年3月30日)  
<https://sansad.in/getFile/loksabhaquestions/annex/178/AU4537.pdf?source=pqals>
  - 18 UCIL “Introduction to UCIL” (2025年1月15日閲覧)  
<https://ucil.gov.in/about.html>
  - 19 UCIL “Turamdih Mine”(2025年2月5日閲覧)  
<https://ucil.gov.in/turamdihmine.html>
  - 20 BARC “Uranium mining and processing in India”  
<https://www.barc.gov.in/ebooks/9789356590526/paper04.pdf>
  - 21 UCIL “56<sup>th</sup> Annual Report 2023”  
[https://ucil.gov.in/pdf/report/Annual%20Report%20\(English\)2022-23.pdf](https://ucil.gov.in/pdf/report/Annual%20Report%20(English)2022-23.pdf)
  - 22 IAEA NFCIS データベース
  - 23 原子力庁 2023－2024 年報  
[https://data.dae.gov.in/publication\\_Anuual\\_Reports/English-2023-2024/Annual2023-2024e.pdf](https://data.dae.gov.in/publication_Anuual_Reports/English-2023-2024/Annual2023-2024e.pdf)
  - 24 NFC” 28th September, 2024 - Inauguration of facilities at NFC-Kota”(2024年9月28日)  
<https://www.nfc.gov.in/news-and-events.html>
  - 25 NFC” NFC Kota”(2025年1月22日閲覧)  
<https://www.nfc.gov.in/NFC-Kota.html>
  - 26 BARC “Developments in fabrication of annular MOX fuel pellet for Indian fast reactor”(2013年3月)  
[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1665CD/Track6\\_Fuel\\_Cycles.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1665CD/Track6_Fuel_Cycles.pdf)
  - 27 WNA “Processing of Used Nuclear Fuel”(2025年2月5日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel>
  - 28 BARC ”Storage of spent fuel from power reactors in India management and experience”(1999年7月)  
<https://inis.iaea.org/records/ab9ej-0pf90>
  - 29 AERB “Consent for Construction of Away From Reactor(AFR) Spent Fuel Storage Facility for KKNPP-3&4 at Kudankulam Site”(2022年9月16日)  
<https://www.aerb.gov.in/storage/uploads/News/newsDkJXq.pdf>
  - 30 AERB “Nuclear Projects” (2025年1月27日閲覧)  
<https://www.aerb.gov.in/english/regulatory-facilities/npps>
  - 31 BARC “R&D-Reprocessing and Nuclear Waste Management” (2024年11月1日閲覧)  
<https://www.barc.gov.in/randd/rwm.html>

- <sup>32</sup> NEI magazine “India’s L&T to collaborate on ANEEL fuel” (2024年10月23日)  
<https://www.neimagazine.com/news/indias-lt-to-collaborate-on-aneel-fuel/>
- <sup>33</sup> 米国原子力学会 “Clean Core Thorium Energy marks fuel testing milestone and agreement with L&T”(2024年11月16日)  
<https://www.ans.org/news/article-6562/clean-core-thorium-energy-marks-fuel-testing-milestone-and-agreement-with-lt/>
- <sup>34</sup> ICGR “Profile of IGCAR”(2024年11月8日閲覧)  
<https://www.igcar.gov.in/igcarprofile.html>
- <sup>35</sup> BARC “Thorium Fuel Cycle”(2025年1月22日閲覧)  
<https://www.barc.gov.in/randd/tfc.html>
- <sup>36</sup> BARC “IRRADIATED THORIA-BASED FUEL Experiences in Reprocessing”(2022)  
[https://www.barc.gov.in/barc\\_nl/2022/2022010204.pdf](https://www.barc.gov.in/barc_nl/2022/2022010204.pdf)

## 3.7 韓国

### 3.7.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

韓国はエネルギー資源が乏しく、化石燃料のほぼ全量を輸入しており、エネルギー安全保障と輸入燃料への依存低減を目的として、原子力発電の開発を進めてきた。同国は 1978 年に商業運転を開始した古里 1 号機を皮切りに、継続的に原子力発電を拡大してきた。米国の技術等をもとに、国産炉の開発も進め、1997 年には国内で国産炉 OPR1000 の初号機を運開させた。さらに改良型国産炉 APR1400 は、国内だけでなく国外輸出を視野に入れ、2009 年には UAE からバラカ原子力発電所 4 基の建設を受注、初の海外進出を果たした。バラカ原子力発電所は、2024 年までに全 4 基が完工し、営業運転を開始している。

国内外で原子力発電を展開する政策を継続していた韓国だが、2011 年に日本で発生した福島第一原子力発電所事故の後、2017 年に発足した文在寅(ムン・ジェイン)政権は、40 年間で段階的に原子力発電から撤退する、脱原子力政策を打ち出した。同政権は、原子炉の新設計画をキャンセルし、既存原発の長期運転を行わないことを決定した。ただし国内で脱原子力を進める一方で、すでに建設を進めていた UAE を始め、国外への原子力輸出については、国益にかなうのであれば推進するという方針であった。

2022 年 5 月に発足した尹錫悦(ユン・ソクヨル) 政権は、選挙戦の公約において原子力を低コストなクリーンエネルギーとして広く活用することを掲げ、就任後、7 月には「新政府のエネルギー政策方向性」を閣議決定し、前政権の脱原子力政策を撤回、国内での原子炉新設・拡大、既存炉の長期運転を行う方針転換を表明した<sup>1</sup>。尹政権については 2024 年 4 月の総選挙で野党が過半数の議席を獲得し、いわゆる「ねじれ国会」の状況となったのち、12 月には尹大統領が非常戒厳を発令、大統領弾劾決議が議会で採択されるなど政情不安が続いている。こうした政治的状況が、今後の韓国の原子力政策に与える影響は、2024 年末時点では不明であるが、2024 年 10 月に着工した新ハヌル 3・4 号機の建設をはじめ、原子力利用の継続・拡大の方向性に即座に変更が出るものではないと推測される。なお、国外輸出では 2024 年 7 月に、韓国水力原子力(KHNP)が、チェコ政府から、原子炉増設の優先交渉権を付与された。2025 年 3 月までに受注を決定し、契約を締結するスケジュールが見込まれてきたが<sup>2</sup>、現下の韓国における混乱が、こうしたスケジュールに遅延等の影響を与える可能性もある。

核燃料サイクルに関して、韓国は 1973 年に米国と締結した原子力協力協定(123 協定)に基づき、現在に至るまでウラン濃縮と使用済燃料再処理を認められていない。国外再処理もコストの関係などから実施しておらず、使用済燃料は中間貯蔵ののち、最終処分される<sup>3</sup>。

#### (2) 官民の役割分担

韓国における民生原子力発電事業者は、韓国水力原子力(KHNP)の 1 社である。また、原子燃料加工は韓国原子力燃料(KNFC)が行っている。KHNP と KNFC は共に、韓国電力公社(KEPCO)の 100%子会社である。KEPCO は 1961 年に政府完全所有の国営企業として設立されたが、1999 年に分割・部分民営化が行われ、2024 年現在、51%を政府、残りを民間が出資する半官半民の企業体

となっている<sup>4</sup>。完全国営ではないが、原子力発電・燃料加工は国内 1 社体制で行われており、政府の政策意向を反映しやすい体制であると考えられる。

放射性廃棄物に関しては、現状は原子力サイト内で保管されているが、産業通商資源部(MOTIE)傘下の原子力環境公団(KORAD)が、放射性廃棄物管理法の定めに従い、廃棄物管理・処分の実施主体として、将来的には使用済燃料等を引き取り、中間貯蔵ののち最終処分する。<sup>5</sup>

原子力事業者等は、KORAD に対し廃棄物管理基金への拠出を行うが、使用済燃料の所有権については KORAD への引渡をもって、KORAD に移転すると理解される。

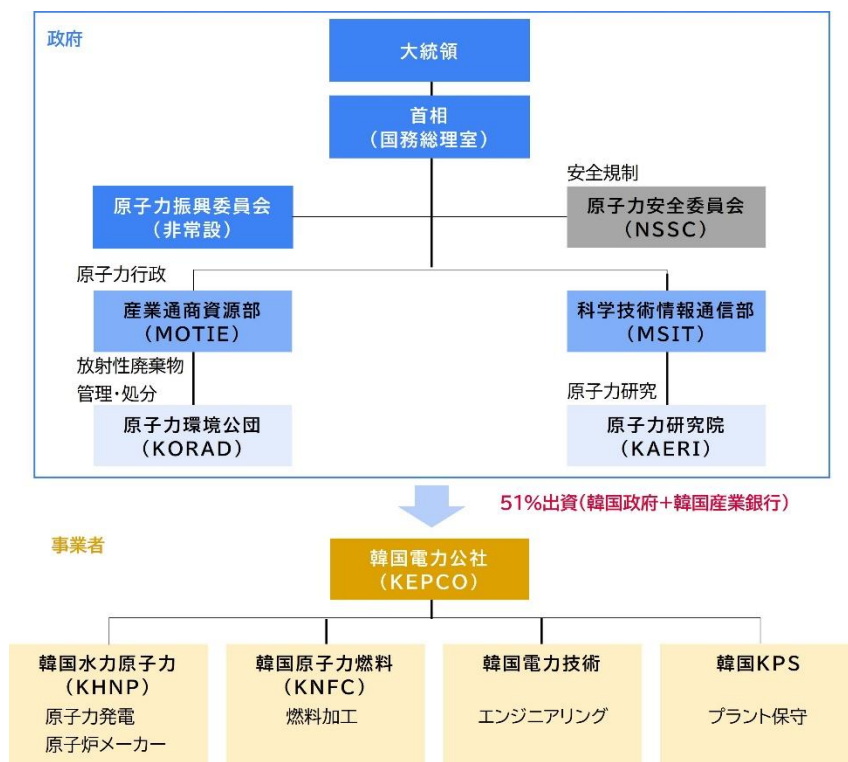


図 3.7-1 韓国における政府と原子力事業者の関係

出所)各種情報に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### 3.7.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

#### (1) 韓国によるロシアからの調達に関する動き

韓国はウラン資源を持たず、濃縮役務も 100% 国外から調達している。

天然ウランはカザフスタン、カナダ、オーストラリア、ニジェールなどから調達しており、ロシアへの依存は見られない。濃縮に関しては、ロシアの TENEX、米国のセントラス、欧州の Urenco、フランスの Orano 社から調達してきた。ロシアの TENEX とは 2020 年に、KHNP が 2030 年までの濃縮ウラン調達に関する 5 億ドル規模の契約を締結したことが確認されている<sup>6</sup>が、2022 年のウクライナ侵攻後、同契約の行方について明確な情報は確認されていない。ただし、報道等では同盟国である米国などの関係から対ロシア関係は縮小しているとみられている。2024 年 9 月には、米国のセントラスと 10 年間の濃縮役務契約を締結し、セントラスが米国で建設する新工場からのサービスを受ける方向で調

達を強化していることなどからも<sup>7</sup>、ロシアとの契約に何らかの影響が及んでいる可能性が考えられる。

## (2) ロシアを代替するサプライヤーとして注目

原子力に関連して、韓国における脱ロシアの動き以上に注目されるのが、韓国の原子炉が、東欧のように脱ロシアと原子力拡大の両立を推し進める地域にとって、ロシアを代替する有力な選択肢となりつつある点である。東欧地域では、2022年にロシアがウクライナに侵攻する以前から、ロシアへのエネルギー依存への警戒感が強く、原子力発電を新規導入するポーランドや、既存発電所での増設を計画するチェコでは、ロシアを原子炉ベンダーの候補から外す動きが進んでいた。そうした中で、ロシアに代わる選択肢として、米国ウェスティングハウス(WH)社の AP1000、フランスのフラマトム社の EPR(ただし、東欧地域の送電インフラを考慮して主力の 160 万kW 級ではなく 120 万kW 級の炉型)と並んで韓国 KHNP の APR(上掲と同様の理由で、140 万kW ではなく 100 万kW 級の炉型)が候補として競う形となった。

ポーランドでは 2022 年 11 月 2 日に、政府が国家による原子力導入計画(2 カ所 6 基)における 1 カ所目の 3 基として、米 WH 社の AP1000 を選定した。ただし、ポーランドではこの国家計画とは別枠で、同国の官民の電気事業者が共同で、国内の石炭火力発電所跡地に原子力発電所を設置する計画も検討しており、2022 年 10 月 31 日に、韓国の APR1400 をベースとした導入検討で KHNP と趣意書を締結している。なお、上述のとおり国家計画と別枠ではあるが、この趣意書に合わせて、韓国とポーランド両国政府の間でも協力覚書(MOU)が結ばれている<sup>8</sup>。

またチェコでは、ドコバニ原子力発電所における 2 基増設の入札において、安全保障上の理由で、閣議決定に基づきロシアを候補から排除した。その後、フランス EDF と韓国 KHNP が最終候補に残り、チェコ政府は 2024 年 7 月に、KHNP を優先交渉者に指定した。なお、この入札は当初、ドコバニでの 2 基の増設のみを対象としていたが、最終入札の過程で枠組みが変更され、もう 1 つのサイトであるテメリンでの 2 基増設もセットにした最大 4 基建設のオプションも考慮した提案を求められることとなった。2025 年 3 月までに受注を決定し、契約を締結するスケジュールが見込まれており<sup>2</sup>、交渉が進められているが、上述のとおり、とりわけ 2024 年 12 月以降、韓国国内で政治的混乱が発生しており、影響のほどは不明である。

韓国の原子炉が、東欧地域における「脱ロシア」の選択肢として注目される背景には、直近で原子力の新規導入国である UAE への 4 基輸出と運開を成功させた実績があることに加え、韓国の国家的なバックアップや欧米に対する価格競争力などが考えられる。また、ロシアだけでなく欧米の大国にも一定の警戒感を持つこの地域において、韓国は米仏と異なり、地政学的観点で直接の利害も比較的小さい。さらに韓国は、米仏と異なり濃縮や再処理などの燃料サイクルに係る枢要サービスを持たない。原子炉のベンダーと燃料サイクルの供給者を含めた供給元多様化の観点からも、サービスの集中を回避する 1 つの選択肢として、存在感が高まりつつあるものと考えられる。

### 3.7.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

3.7.1 (1)に示したとおり、韓国は1973年に米国と締結した原子力協力協定(123協定)に基づき、現在に至るまで、PUREX法による使用済燃料再処理を認められていない。国外再処理もコストの関係などから実施していない<sup>3)</sup>。1973年に締結した原協定が期限を迎えるにあたり、韓国側は協定の改定交渉において、米国に対し、核燃料サイクルに係る制限の緩和を求めたが、米国はこれを認めなかった。同協定は2015年6月に、再処理を認めない方針を維持したまま、20年間延長された。なお、韓国はPUREX法による再処理の代替手段として、より核拡散抵抗性が高いとされる乾式再処理であるパイロプロセス技術の研究を、米国との協力のもとで進めてきた。この米国協力下での研究については、現在の協定のもとで継続可能とされている。

上記の背景から韓国では再処理を行っていないため、使用済燃料は直接処分される。使用済燃料を含む高レベル放射性廃棄物の管理方式と手続きを定める現行の文書「第2次高レベル放射性廃棄物管理基本計画」(2021年12月決定、以下「第2次計画」とする)では、処分方式として地層処分を優先オプションとしつつ、超深孔処分などの技術的オプションも考慮するとされている。なお、過去の第1次計画では国際共同貯蔵・処分もオプションに含まれていたが、第2次計画では削除されている。また、第2次計画では廃棄物管理方針として、新たに可逆性・回収性も考慮するよう求めている。3.7.1 (2)に示したとおり、放射性廃棄物管理の責任は産業通商資源部(MOTIE)傘下の原子力環境公団(KORAD)にあり、KORADが使用済燃料の中間貯蔵と最終処分計画の推進、地層処分場の設計と建設準備、関係する研究開発等を担っている。

なお、韓国では2000年代から使用済燃料プールの容量ひっ迫が問題視され、対策が採られてきた。当初、2016年までは各発電所で使用済燃料を保管し、この間に集中中間貯蔵施設を設置して移送し、最終処分場の操業まで中間貯蔵する方針であった。この方針に基づき、当面2016年までの貯蔵を確保する対策が採られた。2009年時点における各プラントでの対応状況を表3.7-1に示す<sup>9)</sup>。

表 3.7-1 2009年時点における原子力発電所の使用済燃料貯蔵状況

単位:t

プラント名	容量 (2009年当時)	満容量 到達予測年	貯蔵量	容量ひっ迫対策
古里	2,253	2016	1,685	・1号機:3、4号機に移送 ・3、4号機:リラッキング
蔚珍(現:ハヌル)	2,686	2016	1,623	・全基のプールでリラッキング
霊光(現:ハンビット)	2,327	2017	1,294	・1号機:3、4号機に移送
月城	5,980	2018	5,481	・1号機:コンクリートキャスクでサイ

※ CANDU 炉				ト内乾式貯蔵
--------------	--	--	--	--------

出所)2010年使用済燃料貯蔵国際セミナー発表 韓国原子力研究院(KAERI)“Spent Fuel Management and Storage in Korea”に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

なおその後、韓国では集中中間貯蔵施設、最終処分場ともに立地は進んでいない。そのためさらなる燃料プール容量の拡張と、月城発電所以外でもサイト内乾式貯蔵への以降の検討が進められている。2024年1月時点における各プラントでの使用済燃料貯蔵状況を表3.7-2に示す。2009年時点で稼働していた原子力発電所全てで、使用済燃料の貯蔵容量が拡張されていることが確認できる。しかし、韓国では現政権で脱原子力政策から原子力拡大政策へと復帰したこともあり、今後も使用済燃料の発生量増大が予測される。このため、2023年に、PWR炉が運転する古里、ハンビット、ハヌルにサイト内乾式中間貯蔵施設を建設する計画が発表され、同年10月に古里における貯蔵施設の設計が開始された。古里原子力発電所サイトにおける乾式中間貯蔵施設の操業開始時期は2031年と見込まれている<sup>10</sup>。

表 3.7-2 2024年1月時点における原子力発電所の使用済燃料貯蔵状況

サイト		容量(t)	貯蔵量(t)	収容率(%)
PWR(プール)	古里	3,456	3,080	89.1
	セウル	672	256	38.2
	ハンビット	3,877	3,050	78.7
	ハヌル	3,728	2,957	79.3
	新月城	1,113	341	30.7
CANDU(プール、乾式)	月城	12,319	9,669	78.5

出所)KAERI“Spent Fuel Management in Korea”(2024年4月)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

## 2) 処理・処分の実績

上述のとおり、韓国では国内・国外委託を含めて使用済燃料の再処理を行っておらず実績はない。

また、使用済燃料等の高レベル放射性廃棄物の最終処分場も確定していないため、処分の実績もない。最終処分に関しては、処分場の設置に先立ち、地下研究所の設置が進められている。地下研究所に係る動向については、3.7.6(3)において、放射性廃棄物管理に係る研究開発動向として整理する。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

韓国は国内・国外委託を含めて使用済燃料の再処理を行っておらず、回収ウランを利用していない。

劣化ウランについては、ウラン濃縮を国内で実施していないため国内に大量の生成源はないが、米国との共同研究の一環として韓国原子力研究所(KAERI)で米国が実施した濃縮試験に関連して生成された劣化ウランが存在する。こうした劣化ウランについて、韓国は2001年の段階で、自国がエネルギー

源に乏しいことを考慮して、将来的な用途に期待し、貯蔵を継続する方針を示している。劣化ウランを放射性物質の遮へいに用いる研究も行われていたが、政府がプロジェクトの中止を 1990 年代に決定し、劣化ウランのデコンバージョン施設の計画もあったが、2001 年の段階では凍結しているとされている<sup>11</sup>。

## 2) 実績

韓国は国内・国外委託を含めて使用済燃料の再処理を行っておらず、回収ウランを利用していない。

劣化ウランについては、2001 年の経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)の報告書において、1999 年末の時点で、KAERIにおいて劣化 UF<sub>6</sub> が 184.8t、劣化 UF<sub>4</sub> が 9.6t、また金属形態のものが 3.8t 貯蔵状態にあるとされている<sup>11</sup>。

### 3.7.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

韓国は全ての天然ウラン、ウラン濃縮役務を国外から調達している。天然ウランはカザフスタン、カナダ、オーストラリア、ニジェールなどから供給されている。韓国資源公社はアフリカのニジェールのアゼリク/テリダ鉱山を所有する SOMNIA 社の株式の 5%を保有するほか、同国のイムラレン鉱山では、仏 Orano との協力のもと、同鉱山の 10%を保有している。ただし、同鉱山は 2015 年以降操業を停止している。カナダでは、デニソンマインズの株式の約 10%を保有している<sup>3</sup>。

報道では、韓国唯一の原子力発電事業者である韓国水力原子力(KHNP)の情報として、韓国は 2020 年から 2024 年の間に濃縮ウラン 2,077tを輸入、国別ではフランス(Orano)が 38%、ロシア(ROSATOM)が 32%、英国(Urenco)が 25%、中国(CNNC)が 5%であったとされている。なお、2019 年から 2023 年ではロシアの比率が 34%であり、足下での対応としてフランスからの調達を増やしたことにより、ロシア比率が低減したとされている<sup>12</sup>。濃縮ウランにおけるロシア依存度のさらなる低減と調達先の多様化を目的として、KHNP は新たに米国 Centrus 社との交渉を進め、2024 年には同社が新たに建設する濃縮プラントのからの長期供給契約の条件で合意した<sup>13</sup>。具体的な供給量等は不明である。なお、転換に関しては、不明である。

### 3.7.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

韓国は国内でのウラン採掘・精錬を行っていない。

#### (2) 転換

韓国はウラン転換を実施していない。

#### (3) 濃縮

韓国はウラン濃縮を実施していない。

#### (4) 再転換

韓国では韓国原子燃料(KNFC)の大田(テジョン)原子燃料製造施設における燃料加工に付随して、PWR 向けのウラン再転換も実施している(韓国には CANDU 炉もあるが、天然ウランベースの燃料を用いる CANDU 炉では再転換は不要)。

施設	
施設名称	大田(テジョン)原子燃料製造施設
施設概要	大田に所在。UF6 をフィードとして PWR 燃料向けに UO <sub>2</sub> を製造。
技術	DC 法
能力 <sup>14</sup>	再転換(PWR 用):700MTU/年
稼働状況 <sup>15</sup>	1990 年から稼働。
稼働実績	不明
役務取引	不明
取組方針	
事業主体	
事業者名称	韓国原子力燃料(KNFC)
事業者概要	韓国電力公社の子会社。燃料製造及びこれに付随するウラン再転換(PWR 用)ほか燃料サービスを提供する。
資本関係	韓国電力公社の 100%子会社
経営状況 <sup>16</sup>	売上高:2,840 億ウォン 利益:435 億ウォン
稼働実績	不明
政府との関係	半官半民の KEPCO 完全子会社。国内唯一の原子燃料製造会社であり、KEPCO を通じて政府の原子力方針の影響を一定程度受けると考えられる。
今後の方針・戦略 <sup>17</sup>	KNFC ウェブサイトでは、「海外プロジェクトを通じて成長のモメンタムを生み出し、未来に向けた新燃料の開発を通じて国際競争力を確保する」としており、KHNP の原子炉輸出と併せて国際展開を進めて行く意向が示されている。

#### (5) 燃料加工(MOX 含む)

韓国は使用済燃料の再処理や MOX 燃料の利用を行っていない。以下、PWR 燃料と CANDU 炉燃料加工について整理する。

施設	
施設名称	大田(テジョン)原子燃料製造施設
施設概要	大田に所在。PWR と CANDU 用燃料のを行う。

	技術	ペレット焼成から燃料集合体の組立までを実施
	能力 <sup>14</sup>	PWR 用燃料:550MTU/年 CANDU 用燃料:400 MTU/年 ジルカロイ管:1,800km/年
	稼働状況	1989 年から PWR 燃料、1998 年から CANDU 用燃料を製造。
	稼働実績	不明
	役務取引 取組方針	2017 年以降は UAE のバラカ原子力発電所向けの燃料製造・輸出も実施している。
施設		
	施設名称	TSA 工場
	施設概要 <sup>18</sup>	大田に所在。ジルコニウム被覆管の製造を行う。
	技術	素管を輸入し加工
	能力 <sup>14</sup>	下掲 NSA 工場との合計で 1,800km/年
	稼働状況 <sup>18</sup>	2009 年からジルコニウム被覆管を製造
	稼働実績	不明
	役務取引 取組方針	下掲 KNFC の取組方針参照
施設		
	施設名称	NSA 工場
	施設概要 <sup>19</sup>	論山に所在
	技術	素管を輸入し加工
	能力 <sup>14</sup>	上掲 TSA 工場との合計で 1,800km/年
	稼働状況 <sup>19</sup>	2017 年からジルコニウム被覆管を製造
	稼働実績	不明
	役務取引 取組方針	下掲 KNFC の取組方針参照
事業主体		
	事業者名称	韓国原子力燃料(KNFC)
	事業者概要	韓国電力公社の子会社。燃料製造及びこれに付随するウラン再転換(PWR 用)ほか燃料サービスを提供する。
	資本関係 経営状況 <sup>16</sup>	韓国電力公社の 100%子会社 売上高:2,840 億ウォン 利益:435 億ウォン
	稼働実績	不明
	政府との関係	半官半民の KEPCO 完全子会社。国内唯一の原子燃料製造会社であり、KEPCO を通じて政府の原子力方針の影響を一定程度受けると考えられる。
	今後の方針・戦略 <sup>17</sup>	KNFC ウェブサイトでは、「海外プロジェクトを通じて成長のモメンタムを生み出し、未来に向けた新燃料の開発を通じて国際競争力

		を確保する」としており、KHNP の原子炉輸出と併せて国際展開を進めて行く意向が示されている。
--	--	---

## (6) 再処理

韓国は再処理を実施していない。

## (7) 燃料輸送

原子燃料や核物質の輸送を専門に行う特定の輸送事業者は確認できていない。

## (8) 使用済燃料貯蔵

3.7.3 (1)に示したとおり、韓国では集中中間貯蔵施設の立地が遅れており、使用済燃料は各発電所のプール等で保管されている(保管状況については 3.7.3 (1)を参照)。なお、輸送・貯蔵兼用キャスクの製造事業所・事業者として以下のものが確認されている。

施設 <sup>20,21</sup>	
施設名称	群山原子力工場
施設概要	使用済燃料用の乾式貯蔵・輸送兼用キャスクの製造
技術	特殊鋼製造
能力	メタルキャスク 50 基/年、キャニスター 70 基/
稼働状況	再転換の開始時期は確認できていない。
稼働実績 <sup>22</sup>	1997 年に竣工
役務取引 取組方針	韓国で初めて、米国 NRC 認証を取得し使用済燃料輸送・貯蔵用キャスクを輸出した実績を持ち、国際市場を含めたさらなる市場拡大を目指している。
事業主体	
事業者名称	世亜バスチール
事業者概要	鉄鋼製品、特殊鋼メーカー。原子力のほか自動車、建設機械等産業向けの特種鋼などを製造する。
資本関係 経営状況 <sup>23</sup>	世亜ホールディングスが 68%を保有。また同ホールディングスの 44%を創業家が保有。 売上高:4 兆ウォン 純利益:1,260 億ウォン※持株会社である世亜バスチールホールディングスの情報
稼働実績	不明
政府との関係	少数株主として韓国国民年金公団が 6.3%の株式を保有しているものの、経営に影響を及ぼす規模の政府出資は確認できない。
今後の方針・戦略 <sup>22</sup>	2010 年代以降、米国、タイ、ベトナム、日本、インドに相次いで拠点を設置しており、世界展開を強める方向であることが見て取れる。

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

韓国ではKORADが慶州で、中低レベル放射性廃棄物処分場を操業中である。同処分場を除き、使用済燃料や高レベル放射性廃棄物の処分施設は設置されていない。

施設 <sup>24,25</sup>	
施設名称	低中レベル放射性廃棄物処分センター
施設概要	慶州市に所在。現在、第1段階の処分施設(中レベル放射性廃棄物以下)が操業中
技術	岩盤空洞処分方式
能力	200Lドラム缶 10万本
稼働状況	2015年から稼働
稼働実績 <sup>26</sup>	200Lドラム缶 29,865.6本処分済(2024年1月時点)
役務取引 取組方針	第2段階の拡張工事が実施中(200Lドラム缶 12.5万本、低レベル放射性廃棄物以下、ピット処分)。第3段階(200Lドラム缶 16万本、極低レベル放射性廃棄物のみ、トレンチ処分)が計画中。
事業主体 <sup>27</sup>	
事業者名称	原子力環境公団(KORAD)
事業者概要	放射性廃棄物の管理・処分、処分計画の推進、処分場の設計と建設準備、関係する研究開発等、地域とのコミュニケーションなどを担う
資本関係 経営状況	産業通商資源部(MOTIE)傘下 原子力事業者等が、KORADに対し廃棄物管理基金への拠出金を支払う。
稼働実績	上掲施設の項参照
政府との関係	政府機関
今後の方針・戦略 <sup>28</sup>	高レベル放射性廃棄物研究開発ロードマップ(2024年2月)等に基づく高レベル放射性廃棄物処分に向けた取組強化など

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

韓国では再処理を実施しておらず、回収ウランの発生はない。劣化ウランに関しても、商業規模の濃縮を行っていないため、3.7.3に上述のとおり、研究施設であるKAERIに若干量の貯蔵があるのみである。

### 3.7.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

##### 1) DUPIC 燃料の開発

上述のとおり、韓国は使用済燃料の再処理は行わないが、資源の有効利用、廃棄物の減容などを目的とした燃料リサイクルの方式の 1 つとして、KAERI を中心に、DUPIC 燃料技術の開発を進めてきた。DUPIC 燃料は、PWR 使用済燃料を再処理せず(核分裂性物質や核分裂生成物の分離を行わない)粉碎し、酸素中で加熱して核分裂生成物の約 40%を除去し、PHWR である CANDU 炉燃料に再形成して再利用するものである。DUPIC 燃料には、天然ウランベースの通常の CANDU 炉燃料と比べて 2 倍以上(1.5%)の核分裂性物質が含まれる。

KAERI は 1991 年からカナダ、米国との協力のもとで DUPIC 燃料技術の開発を進めてきた。1999 年からは、古里 1 号機から 1986 年に取り出された使用済燃料(平均燃焼度 27,300Mwd/tU)を使用した。その後、2001 年にウルチン 2 号機から取り出された、高燃焼度燃料(平均燃焼度 65,500Mwd/tU)による DUPIC 燃料製造の試験を進め、成功裏に終了した。<sup>3,29</sup>

#### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

韓国電力(KEPCO)のウェブサイトでは、韓国が取り組む小型炉・革新炉が陸上設置型と洋上設置型の 2 カテゴリーに分けて紹介されている。陸上設置型としては、韓国が 1997 年に開発に着手した国産 SMR である SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)炉、第 4 世代炉であるナトリウム冷却高速炉(SFR)、さらに新たな SMR として 2020 年からは、i-SMR の開発を進めている。加えて、2016 年からは、洋上設置型 SMR である BANDI(ホテルを意味する)の開発を開始した。BANDI は、浮体式原子力発電所として構想されている。<sup>30,31</sup>



図 3.7-2 韓国が開発する陸上設置型小型炉  
出所)韓国電力(KEPCO) “Other SMRs”

## 1) SMR 開発

### <陸上設置型 SMR>

韓国では 1997 年から、韓国原子力研究院(KAERI)を中心に、SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)炉と呼ばれる小型一体型 PWR(原子炉、蒸気発生器、加圧器、冷却材ポンプを圧力容器内に組み込み)の開発を進めてきた。SMART の設計は、PWR をベースとした SMR であり、2012 年に規制機関である原子力安全委員会から標準設計承認を取得した。利用用途としては、電力供給に加え海水の淡水化を想定しており、淡水化に高い関心を持つ中東地域への展開が進められ、2015 年にはサウジアラビアと、「韓国・サウジアラビア・スマート原子力発電所プリプロジェクトエンジニアリング(PPE)協定」が締結された。こうした枠組みのもとで韓国では、SMART 炉の改良を進め、2018 年には SMART の改良型で受動的安全性の技術を強化した改良型 SMART (SMART100)の開発を完了、2019 年に標準設計承認を申請した<sup>30,32</sup>。SMART100 は 2024 年 12 月に標準設計承認を取得した<sup>33</sup>。

さらに 2020 年には、原子力事業者である KHNP を中心に、新しい SMR、i-SMR の開発が開始された。i-SMR は原子炉、蒸気発生器、加圧器、冷却材ポンプに加え、制御棒駆動機構も圧力容器内に設置し、安全性の向上を図ると共に、モジュール化を進め、製造・建設の期間やコストの合理化が図られている。SMART 同様、PWR ベースだが、SMART が小型一体式ではあるが 1 基ずつ建設する形式(厳密には「モジュール式」ではない)であるのに対し、i-SMR はモジュール単位での原子炉追加が可能である。また燃料交換サイクルが 5 年と、SMART の 3 年より長い。i-SMR は 2023 年から 2024 年に概念設計、2025 年から 2027 年に詳細設計、2028 年頃に標準設計承認取得を目指している<sup>30</sup>。

SMART と i-SMR の主要諸元を表 3.7-3 に示す。

表 3.7-3 SMART と i-SMR の主要諸元

	SMART	i-SMR
開発主導	KAERI	KHNP
開発開始時期	1997 年	2020 年
出力(熱/電気)	330MWt/110Mwe	400MWt/170Mwe
建設方式	1 基ごと設置	モジュール式
開発段階	詳細設計完了(標準設計承認取得済)	概念設計段階
用途	電力供給、海水淡水化(～40,000 m <sup>3</sup> /日)	電力供給、水素製造、地域熱供給など
冷却材	軽水	
燃料	低濃縮ウラン	
冷却方式	強制循環	受動的自然循環
反応度制御方式	ホウ酸水による制御(ボロン使用)	ボロンフリー
安全システム	受動的な安全システム採用	
設計寿命	60 年	80 年
燃料交換サイクル	3 年	5 年

燃料タイプ	PWR タイプ 17×17 全長 2m、 57 体	PWR タイプ 17×17 全長 2.5m、69 体
-------	------------------------------	----------------------------

出所)IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS)ほか

#### <洋上設置型 SMR>

BANDI(韓国語の「ホテル」から命名)は、船載型の浮体式原子力発電所として構想されている SMR である。離島や遠隔地への熱電供給を用途として想定する。概念設計は 2016 年から行われていたが、2023 年に全体的な設計変更が行われ(2 ループ式から 1 ループ式に変更するなど)、新たなコンセプトのもと、2025 年までの概念設計完了、その後詳細設計に進み、2028 年頃の標準設計承認取得を目指している。開発主導は韓国電力技術(KEPCO E&C)、電気出力は 60Mwe である。BANDI の主要諸元を表 3.7-4 に示す<sup>34,35</sup>。

表 3.7-4 BANDI の主要諸元

	BANDI
開発主導	韓国電力技術(KEPCO E&C)
開発開始時期	2016 年
出力(熱/電気)	30~1000MWt/60MWe
建設方式	モジュール式
開発段階	概念設計段階
用途	電力供給、熱供給など
冷却材	軽水
燃料	低濃縮ウラン
冷却方式	強制循環
反応度制御方式	ボロンフリー
安全システム	受動的安全システム採用
設計寿命	60 年
燃料交換サイクル	5 年
燃料タイプ	PWR タイプ 17×17 52 体(200MWtの場合)

出所)IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS)ほか

## 2) 第 4 世代革新炉 SFR の開発と燃料サイクル

上述の軽水炉タイプの小型炉に加え、KEPCO E&C 等では 2012 年からナトリウム冷却高速炉(SFR)試験炉の開発を進めてきた。前述のとおり、韓国では PUREX 法による使用済燃料再処理が認められていない。これに替わる手法である乾式再処理技術(パイロプロセス)により、PWR の使用済燃料からウランやマイナーアクチニドを回収して分離し、SFR で燃焼させることで放射性廃棄物の発生量を低減させるサイクルが研究されている<sup>30</sup>。2017 年に試験炉の設計が行われ、計画上は 2028 年に試験炉の建設が予定されている。しかし、報道に拠れば 2025 年度の SFR 設計に係るプロジェクト予算は前年比で 90%減とされており、停滞状態にあると推測される<sup>36</sup>。

### (3) 放射性廃棄物管理

韓国では 2021 年 12 月に決定した「第 2 次高レベル放射性廃棄物管理基本計画」に続く措置として、「高レベル放射性廃棄物の研究開発ロードマップ」を策定し、2024 年 2 月に最終決定した。同ロードマップでは、輸送、貯蔵、サイト、処分の 4 分野から 104 の要素技術を抽出した上で、各要素技術が必要となる時期に対応する技術開発スケジュールが示された。技術開発の完了目標時期は、輸送と貯蔵関連技術が 2037 年、サイト関連技術が 2029 年、処分関連技術が 2055 年とされている。ロードマップでは、まず処分技術の開発のため、研究専用の地下研究所を設置して 2050 年頃までに処分システムの試験・研究、処分技術の研究開発を進める計画である。この地下研究所は処分施設とは別に設置されるもので、廃棄体の搬入は行わない。その後、サイト選定を進めて、候補地となるサイトに、処分施設の許認可取得を目的としたサイト特性調査を実施する地下施設を別途設置する計画である。この地下施設は将来拡張し、処分場として運用することを前提とする。

韓国では 2024 年に、上述のうち研究専用の地下研究所について 2024 年夏に公募が行われ、MOTIE と KORAD は 2024 年 12 月に、立地自治体を韓国東部の江原道太白市(カンウォン道テベク市)に決定した。地下研究所は 2026 年に着工予定で 2032 年までに建設され、2030 年に一部機能の供用を開始し、以後 20 年間操業する予定である<sup>37</sup>。

## 参考文献

- <sup>1</sup> 韓国政府,新政府 エネルギー政策の方向 (案)  
<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156514926>
- <sup>2</sup> KHNP “KHNP is ready to support to secure the energy needs of the Czech Republic”(2024年7月17日)  
<https://www.khnp.co.kr/eng/selectBbsNttView.do?key=565&bbsNo=84&nttNo=56342>
- <sup>3</sup> WNA “Nuclear Power in South Korea”(2024年12月26日閲覧)  
<https://wna.origindigital.co/information-library/country-profiles/countries-of-south-korea>
- <sup>4</sup> KEPCO “Overview”(2024年12月26日閲覧)  
<https://home.kepco.co.kr/kepco/EN/A/htmlView/ENAAHP001.do?menuCd=EN010101>
- <sup>5</sup> 韓国法令データベース “방사성폐기물 관리법 ( 약칭: 방사성폐기물법 )”  
<https://law.go.kr/%eb%b2%95%eb%a0%b9/%eb%b0%a9%ec%82%ac%ec%84%b1%ed%8f%90%ea%b8%b0%eb%ac%bc%ea%b4%80%eb%a6%ac%eb%b2%95>
- <sup>6</sup> TENEX-KOREA “Company History” (2024年12月26日閲覧)  
<https://tenexkorea.com/company/history/>
- <sup>7</sup> Centrus “Centrus and KHNP Sign Long-Term Supply Commitment” (2024年12月25日閲覧)  
<https://www.centrusenergy.com/news/centrus-and-khnp-sign-long-term-supply-commitment/>
- <sup>8</sup> ZEPAK “ZE PAK, PGE and KHNP signed a letter of intent”(2024年12月25日閲覧)  
<https://zepak.com.pl/en/about-us/press-office/news/14036-ze-pak-pge-and-khnp-signed-a-letter-of-intent.html>
- <sup>9</sup> 2010年使用済燃料貯蔵国際セミナー発表 韓国原子力研究院(KAERI) “Spent Fuel Management and Storage in Korea”(2010年11月15日)  
[https://criepi.denken.or.jp/result/event/seminar/2010/issf/pdf/1-6\\_powerpoint.pdf](https://criepi.denken.or.jp/result/event/seminar/2010/issf/pdf/1-6_powerpoint.pdf)
- <sup>10</sup> KAERI “Spent Fuel Management in Korea” (2024年4月)  
<https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TWGNFCO2024/1.%20National%20Presentations/Korea%20-%20TWG-NFCO%202024-HJang.pdf>
- <sup>11</sup> 経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA) “Management of Depleted Uranium”(2001年8月13日)  
<https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/3035-management-depleted-uranium.pdf>
- <sup>12</sup> プラウダ韓国“South Korea has reduced the share of purchases of uranium fuel in Russia, the media reported” (2025年1月30日)  
<https://south-korea.news-pravda.com/en/world/2025/01/30/4678.html>
- <sup>13</sup> KHNP “KHNP Signs a Term Sheet with Centrus to Strengthen Nuclear Fuel Supply”(2024年9月11日閲覧)  
<https://www.khnp.co.kr/eng/selectBbsNttView.do?key=565&bbsNo=84&nttNo=58163>
- <sup>14</sup> KNFC “Production Capacity”(2024年12月26日閲覧)  
<https://www.knfc.co.kr/board?menuId=MENU00582&siteId=null>
- <sup>15</sup> IAEA “Nuclear fuel Cycle Facilities Database (NFCIS)” (2024年12月26日閲覧)

- 覧)  
<https://infcis.iaea.org/NFCFDB/facilities>
- <sup>16</sup> KEPCO、2023 年年報  
<https://home.kepco.co.kr/kepco/cmmn/fms/FileDownSecure.do?atchFileId=bl5b426933382c74cbd0886ac0e2f2041b5b47c4ae9e7735f7ac16867f8d3cba67&fileSn=7e32a317278d08ccd50e4ab87b6fcb8f97>
- <sup>17</sup> KNFC “New Global Standard, KEPCO NF” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.knfc.co.kr/board?menuId=MENU00538&siteId=null>
- <sup>18</sup> KNFC “TSA Plant” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.knfc.co.kr/board?menuId=MENU00590&siteId=null>
- <sup>19</sup> KNFC “NSA Plant” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.knfc.co.kr/board?menuId=MENU00591&siteId=null>
- <sup>20</sup> Seabestee “Nuclear Power Material and Equipment” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.seahbesteel.co.kr/eng/products/nuclear.asp>
- <sup>21</sup> Seabestee “SeAH Besteel Nuclear Catalog (Korean)” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.seahbesteel.co.kr/eng/support/catalog.asp>
- <sup>22</sup> Seabestee “History” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.seahbesteel.co.kr/eng/about/history/history.asp>
- <sup>23</sup> Seabestee Holdings “Financial Information” (2024 年 12 月 26 日閲覧)  
<https://www.seahbesteelholdings.co.kr/www/ir/financial/statement>
- <sup>24</sup> KORAD “Construction Project Overview” (2025 年 1 月 23 日閲覧)  
[https://www.korad.or.kr/korad-eng/html.do?menu\\_idx=37](https://www.korad.or.kr/korad-eng/html.do?menu_idx=37)
- <sup>25</sup> 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター海外情報ニュースフラッシュ「《韓国》低中レベル放射性廃棄物処分センターで第 2 段階処分施設の建設開始へ」(2022 年 7 月 21 日)  
<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=29544>
- <sup>26</sup> KORAD “중저준위 방폐물 동굴처분시설 10 년 미래를 짓다” (2025 年 1 月 23 日閲覧)  
[https://www.korad.or.kr/webzine/202403/sub3\\_3.jsp](https://www.korad.or.kr/webzine/202403/sub3_3.jsp)
- <sup>27</sup> KORAD ウェブサイト  
<https://www.korad.or.kr/>
- <sup>28</sup> KORAD ウェブサイト  
<https://www.korad.or.kr/korad-eng/html>
- <sup>29</sup> KAERI “Recent Progress on the DUPIC Fuel Fabrication Technology at KAERI” (2008 年 5 月)  
<https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21156634>
- <sup>30</sup> 韓国電力(KEPCO) “Other SMRs” (2025 年 1 月 30 日)閲覧  
<https://www.kepco-enc.com/menu.es?mid=a20202040200>
- <sup>31</sup> 韓国電力(KEPCO) “BANDI” (2025 年 1 月 30 日)閲覧  
<https://www.kepco-enc.com/menu.es?mid=a20202040100>
- <sup>32</sup> IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS) “Status Report - SMART (Korea, Republic of)” (2024 年 5 月最終更新)  
<https://aris.iaea.org/DsrDetails/24/>
- <sup>33</sup> KAERI “Korea’s SMART100 Achieves Standard Design Approval, Paving the Way for Global SMR Deployment” (2024 年 9 月 27 日)  
<https://www.kaeri.re.kr/eng/board/view?pageNum=1&rowCnt=10&menuId=MENU00718&schType=0&boardStyle=Text&linkId=4802>
- <sup>34</sup> KEPCO “BANDI” (2025 年 1 月 30 日)閲覧  
<https://www.kepco-enc.com/menu.es?mid=a20202040100>
- <sup>35</sup> IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS) “Status Report - BANDI (Korea, Republic of)” (2024 年 9 月最終更新)

<https://aris.iaea.org/api/DSR/Download?DSRRequestId=98>

<sup>36</sup> 朝鮮日報 “차세대 원전 SFR, 해외는 뛰는데…한국만  
제자리걸음”(2025年1月31日閱覽)

[https://www.chosun.com/economy/science/2024/12/06/3HP6R3INBV7XY4UC  
KAMZSTCXGM/](https://www.chosun.com/economy/science/2024/12/06/3HP6R3INBV7XY4UC<br/>KAMZSTCXGM/)

<sup>37</sup> MOTIE “연구용 지하연구시설 건설 예정부지, 태백시로 최종 확정”(2024年12月18日)  
<https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/169955/view>

## 3.8 カナダ

### 3.8.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

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>1</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の理由として以下の点を挙げている<sup>2</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。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<sup>3</sup>。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<sup>4</sup>。

- 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 社とモルテックス社により CANDU 炉の使用済燃料を再利用するための SMR の開発が進められている。両社の開発動向は 3.8.6 において整理している。

#### (2) 官民の役割分担

上述した 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、以下の点などが挙げられている<sup>4</sup>。

- 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<sup>a</sup>: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<sup>b</sup>: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<sup>c</sup>: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

### 3.8.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

先述のとおり、カナダには豊富なウラン資源があり、国内で運転中の商用発電炉(全て天然ウランを使用する CANDU 炉)の燃料は自国のウランで賅っており、ロシアからの輸入は行っていない。また自国の商用発電炉には濃縮しない燃料が使用されるため、濃縮役務をロシア企業に発注していない。

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、オンタリオパワージェネレーション(OPG)社は GE 日立ニュークリアエナジー社の SMR である BWRX-300 を導入予定である。BWRX-300 は、平均濃縮度 3.8%、最大濃縮度 4.95%の濃縮ウランを燃料として使用する<sup>5</sup>。2023年8月、OPG社は濃縮ウランの供給者としてフランスの Orano 社を選定した<sup>6</sup>。このため OPG 社は、ロシアからの燃料調達を行わないものと考えられる。

### 3.8.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

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<sup>1</sup>。

<sup>a</sup> SMR アクションプランに参加しているのは、アルバータ州、ニュー・ブランズウィック州、オンタリオ州、プリンスエドワードアイランド州、サスカチュワン州及びユーコン準州の州・準州政府である。SMR アクションプランで各州・準州に設定された役割は様ではないが、上では主要なものを記載している。

<sup>b</sup> SMR アクションプランに参加しているのは、ニュー・ブランズウィック州、オンタリオ州、サスカチュワン州及びユーコン準州の州・準州政府所有の電気事業者と、オンタリオ州で原子炉の運転を行っているブルースパワー社、及びニュー・ブランズウィック州、オンタリオ州、サスカチュワン州の電気事業者とブルースパワー社が参加している CEO SMR フォーラムである。SMR アクションプランでこれらの事業者や組織に設定された役割は様ではないが、上では主要なものを記載している。

<sup>c</sup> SMR アクションプランに参加しているベンダーは、ARC 社等合計 12 社である。SMR アクションプランで各ベンダーに設定された役割は様ではないが、上では主要なものを記載している。

## 2) 処理・処分の実績

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<sup>1)</sup>。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

カナダには天然ウラン資源が豊富に賦存することから、原子力産業界は使用済燃料を再処理する必要はないと考えており、国内で運転中の商用炉は全て濃縮しない天然ウランを燃料とした重水冷却・減速炉の CANDU 炉である。カナダの CANDU 炉で回収・劣化ウラン及びプルトニウムを利用する計画はない<sup>7)</sup>。

### 2) 実績

上記のとおり、現在カナダで回収・劣化ウラン及びプルトニウムは利用されていない。なお、本報告書中国の「回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績」において整理したように、AECL が中国の CNNC グループと協力して、秦山第三原子力発電所において PWR の使用済燃料から回収したウランで製造した燃料の装荷を行っている<sup>8)</sup>。

## 3.8.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

### (1) ウラン資源

表 3.8-1 は、カナダ連邦政府の「貿易データオンライン」に基づき、カナダドル建てで表示したカナダの 2019 年から 2023 年における天然ウラン及びその化合物等<sup>d)</sup>の輸入額である<sup>9)</sup>。なお、表の「再輸入」とは、以前にカナダからいったん輸出された商品が、実質的な変更を加えずに同じ状態で再度輸入されたことを意味する<sup>10)</sup>。オーストラリアやカザフスタンなど、ウラン資源が豊富であるもののウラン転換施設のない国からの輸入額が大きいことから、本表で示されている輸入額の多くは転換前のイエローケーキの輸入額であることが考えられる。

<sup>d)</sup> 「商品の名称及び分類についての統一システムに関する国際条約」による正式名称は、「天然ウラン及びその化合物並びに天然ウラン又はその化合物を含有する合金、ディスパージョン(サーメットを含む。)、陶磁製品及び混合物」である。

税関「輸出統計品目表(2025 年 1 月版)」(2025 年 1 月 27 日閲覧)  
[https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025\\_01\\_01/data/j\\_28.htm](https://www.customs.go.jp/yusyutu/2025_01_01/data/j_28.htm)

表 3.8-1 カナダの 2019 年から 2023 年における天然ウラン及びその化合物等の輸入額(単位:千カナダドル)

取引相手国	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
オーストラリア	486,731	519,466	373,196	389,981	353,983
カザフスタン	287,545	361,492	436,665	896,875	304,972
ナミビア	60,424	133,419	44,973	82,881	104,143
ウズベキスタン	0	140,292	249,731	254,085	60,650
南アフリカ	12,794	8,077	18,998	17,065	36,781
ウクライナ	0	0	0	0	29,253
米国	133,468	285,973	81,716	76	2,237
再輸入	0	0	39,443	224	262
ドイツ	0	0	3,940	0	7
英国	0	0	0	0	1
ベルギー	0	0	0	0	0
中国	94	120	39	2	0
フランス	0	0	0	0	0
ノルウェー	0	0	0	0	0
ニジェール	0	167,634	73,076	0	0
韓国	4,355	0	0	0	0
チェコ	2,954	0	0	0	0
合計	988,365	1,616,474	1,321,776	1,641,189	892,289

出所)カナダ連邦政府“Search by product (HS code) - Trade Data Online”(2025 年 1 月 27 日閲覧)に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

## (2) 転換

カナダの転換役務の海外からの輸入量や額を確認することはできなかった。しかしながら、表 3.8-1 に整理した輸入額に、転換を行ったウランの輸入額が含まれている可能性は考えられる。

## (3) 濃縮

カナダの商用炉は全て天然ウランを濃縮せずに使用する CANDU 炉であるため、カナダにおける商用原子力発電のために濃縮役務を海外から調達していないと考えられる。カナダ連邦政府の「貿易データオンライン」によれば、2019 年から 2023 年におけるカナダのウラン 235 を濃縮したウラン等の輸入額は、最も少なかった 2021 年が約 2 万カナダドル(約 216 万円、1 カナダドル=108 円で換算、以下同様)、最も多かった 2022 年でも約 260 万カナダドル(約 2 億 8,100 万円)となっている。また、輸入の相手国は、米国、中国、フランス、オーストリア、チェコ、英国、及びドイツである<sup>9</sup>。

### 3.8.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

施設	
施設名称	シガー・レイク
施設概要	ウラン採掘。マッカーサー・リバーに次いで、世界第2位の品位のウラン鉱床。シガー・レイクで採掘された鉱石はマクリーン・レイクで精錬
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年から稼働中
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、U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> で8,170t
役務取引 取組方針	市況の改善等を背景に、Cameco社は2024年にシガー・レイクで1,800万ポンド(約8,200t)生産予定
事業主体	
事業者名称	Cameco社
事業者概要	ウランの採掘・精錬や転換、燃料製造を行うほか、原子炉の設計を行うウェスティングハウス(WH)社やGlobal Laser Enrichment(GLE)社等に出資
資本関係 経営状況	シガー・レイクの権益の所有状況 仏Orano社: 40.453% Cameco社: 54.547% TEPCO Resources Inc: 5% ※以下は全てCameco社について記載 <ul style="list-style-type: none"> <li>● トロント証券取引所(TSX)(シンボル:CCO)及びNYSE American(シンボル:CCJ)上場</li> <li>● 2023年度決算では、販売量の増加やウラン・燃料サービスにおける価格の上昇により純利益等が前年度の倍以上に</li> <li>● 2024年からWH社への投資による利益が計上</li> <li>● S&amp;P格付けでは、無担保社債BBB-</li> </ul>
稼働実績	
政府との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 王立企業としてスタートしたが、1991年に政府株式売却によりトロント市場に上場し、2002年には全ての政府株式が売却されている。</li> <li>● 元株主であり、Cameco社の本社が所在するサスカチュワン</li> </ul>

		<p>州は 1 株のクラス B 株式を保有しており、同州外に本社を移転する提案についてのみ投票権を有している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 米国政府との特別な関係は、年次報告書等で確認する限りない。</li> </ul>
	今後の方針・戦略	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 気候変動対応等で堅調な需要が見込まれる原子力発電、不確実性を増したウラン供給等市場環境が変化する中で、燃料サイクル全体で強みを持ち、生産能力維持を図ってきた同社には好機と評価</li> <li>● ウラン市場のリスクは供給側から需要側に転じたとして、長期契約確保を進めながら生産回復を見込む</li> <li>● 柔軟性を確保しながら操業準備体制を整え、市場・契約状況に応じて増産を図る</li> </ul>

施設	
施設名称	キー・レイク
施設概要	マッカーサー・リバーの鉱石を精錬。なお、キー・レイクでの採掘は 2002 年以降なし
技術	鉱石と廃石を混合して $U_3O_8$ を生産
能力	11,350tU/y (CNSC が許可している $U_3O_8$ の生産量)
稼働状況	ウラン市況を理由に 2018 年から操業停止したが、マッカーサー・リバーの操業再開を受けキー・レイクも操業を再開
稼働実績	1983 年操業開始
役務取引 取組方針	市況の改善等を背景に、Cameco 社は 2024 年にマッカーサー・リバー/キー・レイクで 1,800 万ポンド(約 8,200t)生産予定
事業主体	
事業者名称	Cameco 社
事業者概要	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
資本関係 経営状況	キー・レイクの権益の所有状況 仏 Orano 社: 16.7% Cameco 社: 83.3%
稼働実績	
政府との関係	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
今後の方針・戦略	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

施設	
施設名称	マッカーサー・リバー
施設概要	世界で最高位のウラン鉱床
技術	地面凍結 (ground freezing) 法、Boxhole 掘削技術など

能力	2,500 万ポンド(約 11,000t)/y(許可された能力)
稼働状況	ウラン市況を理由に 2018 年から操業停止されたが操業再開、2022 年のウラン生産量は、 $U_3O_8$ で 498t
稼働実績	1999 年操業開始
役務取引 取組方針	市況の改善等を背景に、Cameco 社は 2024 年にマッカーサー・リバー/キー・レイクで 1,800 万ポンド(約 8,200t)生産予定
事業主体	
事業者名称	Cameco 社
事業者概要	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
資本関係 経営状況	マッカーサー・リバーの権益の所有状況 仏 Orano 社: 30.2% Cameco 社: 69.8%
稼働実績	
政府との関係	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
今後の方針・戦略	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

施設	
施設名称	マクリーン・レイク
施設概要	ウラン採掘・精錬。シガー・レイク鉱山で採掘されたウラン鉱石も精錬
技術	酸によるリーチング
能力	9,240tU/y
稼働状況	1999 年操業開始。
稼働実績	2014 年以降、ウラン生産はない
役務取引 取組方針	許可を受けているのは、年間 10,900t の $U_3O_8$ の生産
事業主体	
事業者名称	Orano・カナダ社
事業者概要	フランス・Orano のグループ会社。Orano 社は 1960 年代からカナダでウラン資源探査を実施している。
資本関係 経営状況	マクリーン・レイクの権益の所有状況 仏 Orano 社: 77.5% Denison Mines Inc: 22.5%
稼働実績	Orano・カナダ社は稼働中の鉱山合計で 2,710t のウランを産出(2023 年)
政府との関係	特になし
今後の方針・戦略	COVID-19 でいったん稼働停止したものの稼働を再開

施設	
施設名称	ラビット・レイク
施設概要	ウラン鉱山の採掘と精錬を実施
技術	酸によるリーチング
能力	4,615tU/y
稼働状況	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 年の操業期間で 2 億ポンド(約 90,000t)以上のウランを産出
役務取引 取組方針	重要なインフラは維持しつつメンテナンス状態を継続
事業主体	
事業者名称	Cameco 社
事業者概要	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
資本関係 経営状況	ラビット・レイクの権益の所有状況 Cameco 社が 100%所有
稼働実績	
政府との関係	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
今後の方針・戦略	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

## (2) 転換

施設	
施設名称	ポート・ホープ
施設概要	カナダ唯一のウラン転換施設であり、軽水炉や CANDU 炉型の重水炉向けに UF <sub>6</sub> や UO <sub>2</sub> を生産
技術	湿式プロセスを採用
能力	12,500tU/y(許可された生産量)、10,6000tU/y(UF <sub>6</sub> の生産量)
稼働状況	1980 年 UO <sub>2</sub> の生産を開始
稼働実績	2023 年の生産量は 1,330 万 kgU(これには UF <sub>6</sub> や UO <sub>2</sub> の生産、及び燃料製造を含む)
役務取引 取組方針	現在の操業許可期間は 2027 年までだが、カナダ唯一のウラン転換施設であることからその後も許可を更新し運転を継続するものと考えられる。
事業主体	
事業者名称	Cameco 社
事業者概要	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

資本関係 経営状況	Cameco 社の 100% 所有
稼働実績	—
政府との関係	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
今後の方針・戦略	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

### (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) 再転換

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、カナダにおいて再転換事業を実施している企業や組織はない。

### (5) 再処理

カナダにおいて再処理事業を実施している企業や組織はない。

### (6) 燃料加工(MOX 含む)

以下に、カナダで燃料加工を実施している施設について整理する。なお、カナダで再処理は実施されておらず、MOX 燃料を製造するための商用の燃料加工は実施されていない。

施設	
施設名称	ポート・ホープ
施設概要	Cameco 社の燃料加工施設で、ポート・ホープとコーバークの施設で構成(ただしコーバークではウラン製品を扱っていない)
技術	ペレット、ピン、燃料集合体を製造
能力	1,650tHM/y
稼働状況	1957 年操業開始
稼働実績	2023 年の生産量は 1,330 万 kgU(これには UF <sub>6</sub> や UO <sub>2</sub> の生産、及び燃料製造を含む)
役務取引 取組方針	現在の操業許可期間は 2043 年までだが、その後も許可を更新し運転を継続するものと考えられる。
事業主体	
事業者名称	Cameco 社
事業者概要	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
資本関係 経営状況	Cameco 社の 100% 所有
稼働実績	—

政府との関係	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照
今後の方針・戦略	「シガー・レイク」における Cameco 社の記載を参照

施設	
施設名称	N. Fuel PLLT. OP. - Toronto
施設概要	トロント・ピーターボローにある BWXT 原子力エネルギーカナダ社 (BWXT NEC) のカナダにおける 2 カ所の燃料加工拠点の 1 カ所 (もう 1 カ所はオンタリオ州のアーンプライアで、燃料棒への封入等を実施) であり、CANDU 炉燃料用ペレットを製造。なお本施設は、もともとは GE カナダ社の施設であった。
技術	
能力	月 150Mg までのウランの加工
稼働状況	操業中
稼働実績	1955 年に操業を開始
役務取引 取組方針	オンタリオ州の CANDU 炉のために燃料加工を実施
事業主体	
事業者名称	BWXT NEC
事業者概要	原子力関連の資機材製造等を行う米国 BWXT 社の子会社
資本関係 経営状況	BWXT NEC は米国 BWXT 社の 100% 子会社
稼働実績	—
政府との関係	BWXT グループ企業が参画しているカナダにおける GE 日立社製 BWRX-300 建設プロジェクトは、カナダ連邦政府やオンタリオ州政府の支援を受けている。
今後の方針・戦略	引き続き CANDU 炉用の燃料加工等の事業を継続するものと考えられる。

## (7) 燃料輸送

カナダで、燃料輸送を実施している企業等について確認できなかった。なお、国際原子力輸送協会 (WNTI) にはカナダから、Cameco 社、Commonwealth Independent States Navigation 社や Co60 の供給業者であるノルディオン(カナダ)社、放射性物質の輸送を行う TAM インターナショナル社が加入している<sup>11</sup>。

## (8) 使用済燃料貯蔵

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。

施設	
施設名称	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
役務取引 取組方針	ポイント・ルプロー原子力発電所で発生した使用済燃料の貯蔵
事業主体	
事業者名称	ニュー・ブランズウィック・パワー社
事業者概要	ニュー・ブランズウィック州営電気事業者で、ポイント・ルプロー原子力発電所を所有・運転
資本関係 経営状況	ニュー・ブランズウィック・パワー社は 100%ニュー・ブランズウィック州が所有
稼働実績	－
政府との関係	州営電気事業者
今後の方針・戦略	現在の運転許可は 2032 年 6 月 30 日に失効。運転延長の方針は伝えられていない。

施設	
施設名称	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
役務取引 取組方針	ピッカリング原子力発電所で発生した使用済燃料の貯蔵
事業主体	
事業者名称	OPG 社
事業者概要	オンタリオ州営電気事業者で、ピッカリング、ダーリントン原子力発電所を所有・運転、ブルース原子力発電所を所有
資本関係 経営状況	OPG 社は 100%オンタリオ州が所有
稼働実績	－
政府との関係	州営電気事業者
今後の方針・戦略	ピッカリング原子力発電所 5～8 号機は、当初は 2026 年に恒久

		停止される予定だったが、電力需要増加見通しを背景に、2026年に運転を停止して2030年代半ばまで改修工事を実施し、運転を延長する予定
--	--	---

施設		
施設名称	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	
役務取引 取組方針	ブルース原子力発電所で発生した使用済燃料の貯蔵	
事業主体		
事業者名称	ブルースパワー社	
事業者概要	ブルース原子力発電所を運転	
資本関係 経営状況	ブルースパワー社はTCエナジー社、オンタリオ州公務員年金基金(OMERS)、発電労働者組合、連合専門家協会及びブルースパワー従業員投資基金の共同所有	
稼働実績	-	
政府との関係	ブルース原子力発電所の所有者は州営電気事業者であるOPG社	
今後の方針・戦略	ブルース原子力発電所の6基のプラントは、改修により2064年までの運転継続を計画	

施設		
施設名称	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	
役務取引 取組方針	ダーリントン原子力発電所で発生した使用済燃料の貯蔵	
事業主体		
事業者名称	OPG社	
事業者概要	オンタリオ州営電気事業者で、ピッカリング、ダーリントン原子力発電所を所有・運転、ブルース原子力発電所を所有	
資本関係	OPG社は100%オンタリオ州が所有	

経営状況	
稼働実績	—
政府との関係	州営電気事業者
今後の方針・戦略	ダーリントン原子力発電所の4基のプラントは改修により2055年まで運転継続を計画

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

以下に、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。

施設	
施設名称	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
技術	—
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
役務取引 取組方針	チョークリバー研究所で発生した放射性廃棄物の処分及び使用済燃料の貯蔵
事業主体	
事業者名称	AECL チョークリバー研究所
事業者概要	AECL は連邦政府所有の研究所で、チョークリバー研究所の運営はカナダ原子力研究所(CNL)に委託されている。CNL は、民間企業のコンソーシアムであるカナダ国立エネルギーアライアンスにより管理されている。
資本関係 経営状況	AECL チョークリバー研究所は 100%カナダ国立エネルギーアライアンスが所有
稼働実績	—
政府との関係	「事業者概要」に記載のとおり
今後の方針・戦略	CNL はチョークリバー研究所サイトで SMR を建設する事業者の選定を実施中

施設	
施設名称	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
技術	—
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
	役務取引 取組方針	廃棄物管理エリア C は、海上コンテナ又は人工廃棄物バッグに入れた汚染土壌の一時保管場所として使用する計画が進められている。
事業主体		
	事業者名称	AECL チョークリバー研究所
	事業者概要	AECL は連邦政府所有の研究所で、チョークリバー研究所の運営はカナダ原子力研究所(CNL)に委託されている。CNL は、民間企業のコンソーシアムであるカナダ国立エネルギーアライアンスにより管理されている。
	資本関係 経営状況	AECL チョークリバー研究所は 100%カナダ国立エネルギーアライアンスが所有
	稼働実績	－
	政府との関係	「事業者概要」に記載のとおり
	今後の方針・戦略	CNL はチョークリバー研究所サイトで SMR を建設する事業者の選定を実施中

施設		
	施設名称	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
	技術	－
	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
	役務取引 取組方針	かつて、汚染されていた又は汚染が疑われる配管、容器、熱交換器等の資機材の貯蔵が実施されたが、これらの大部分は所有者に返還されるかサイト外の金属リサイクル施設で処分されている。
事業主体		
	事業者名称	AECL チョークリバー研究所
	事業者概要	AECL は連邦政府所有の研究所で、チョークリバー研究所の運営はカナダ原子力研究所(CNL)に委託されている。CNL は、民間企業のコンソーシアムであるカナダ国立エネルギーアライアンスにより管理されている。
	資本関係 経営状況	AECL チョークリバー研究所は 100%カナダ国立エネルギーアライアンスが所有
	稼働実績	－
	政府との関係	「事業者概要」に記載のとおり

	今後の方針・戦略	CNL はチョークリバー研究所サイトで SMR を建設する事業者の選定を実施中
--	----------	---

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

カナダでは現在、使用済燃料の再処理は実施されておらず、回収ウランの取扱等も行われていない。また、放射性廃棄物等安全条約国別報告書によれば、カナダが公表している放射性物質のインベントリには、使用済燃料内の劣化ウラン、濃縮ウラン、天然ウラン、プルトニウム及びトリウムを含むとされているが、劣化ウランの取扱や貯蔵等実施している施設は確認できない<sup>1</sup>。

### 3.8.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

3.8.1 等で整理したように、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。

#### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

3.8.1 でまとめたとおり、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 社とモルテックス社の動向を整理する。

##### 1) ARC 社

ARC 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・パワー社が 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<sup>12</sup>。また、SMR アクションプランでは ARC-100 が 2020 年代後半に初号機の運転開始となる可能性を示している<sup>4</sup>。

ARC 社は、使用済燃料のリサイクルを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。同社によれば、1964 年から 1969 年の EBR-II の運転期間に、統合高速炉(IFR)コンセプトによって燃料サイクルをクローズする能力は実証されている。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> に転換する計画である。UF<sub>6</sub> 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 10~19.75%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。UF<sub>6</sub> 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>11</sup>。

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 月に開始され現在 CNSC によるレビューが進められている<sup>13</sup>。

## 2) モルテックス社

モルテックス社は、ARC 社と同様に、ニュー・ブランズウィック州のポイント・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>14</sup>。

モルテックス社の 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うち、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。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<sup>13</sup>。

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<sup>12</sup>。

## (3) 放射性廃棄物管理

カナダでは、運転中の CANDU 炉で発生した使用済燃料は、核燃料廃棄物管理機関(NWMO)が地層処分することになっている。研究開発や実用化に向けた取組が進められている SMR から発生する使用済燃料の処分について、まだ連邦政府は方針を策定していないが、支援プログラムを立ち上げている。これは、連邦政府が 2024 年 2 月に公表したものである。連邦政府によると、今後 4 年で 2,960 万カナダドル(約 31 億円)を拠出する SMR 支援プログラムの立ち上げとのことである。支援対象となるのは、SMR の製造や燃料供給に関するサプライチェーンの構築と、SMR から発生する廃棄物への対応の 2 分野である。1 件の採択事業で最高 500 万カナダドルの要求が可能、プログラムからは最大 75%の費用を補助することとなっている<sup>15</sup>。表 3.8-2 は、採択事業に関する情報を整理したものである<sup>16</sup>。

表 3.8-2 カナダ連邦政府の SMR から発生する廃棄物に関する支援対象事業の概要

採択者名	採択事業名	事業の概要	支援金額 (カナダドル)
カリアン社	SMR 建屋材料の特性調査ガイダンス	SMR の建築資材の特性評価に関するガイダンス文書を作成し、従来低レベル放射性廃棄物とされていた資材のフリーリリースを実現	261,535
カナダ規格協会	SMR を可能にする規格：規格の内容の研究、開発、及び認知と教育	3 年間のプロジェクトで SMR サプライチェーンに対する既存の規格のギャップと適用性、SMR の放射性廃棄物管理、SMR 用途の先進製造技術、及び国際要件へのベンチマークを特定	925,000
キネクトリクス社	処分コスト削減と価値の回収のための SMR 廃棄物からの C-14 の回収	放射性廃棄物から C-14 を回収して処分する実現可能性を調査し、関係者と協力して廃棄物ストリームを処分から転用する方法を検討	126,475
NWMO	カナダで SMR を可能にするための適応性のある段階的管理の活用	3 年間のプロジェクトで NWMO の現在の適応性のある段階的管理プログラムと今後の SMR の展開との互換性を向上	3,750,000
クイーンズ大学	SMR - 燃料の乾式貯蔵に対する懸念への対応と効果的な実用化を可能にするための技術ギャップ/ライフサイクル評価	3 年間のプロジェクトで乾式貯蔵中の SMR 燃料廃棄物の劣化と、貯蔵容器に提案されている材料に対する老朽化した燃料の影響を評価。また技術ギャップ/ライフサイクル評価では SMR からの熱及び電力生産の機会と用途を特定	935,542
レジーナ大学	SMR の中レベル放射性廃棄物の長期処分戦略	3 年間のプロジェクトでサスカチュワン州の SMR の中レベル放射性廃棄物処分システムの開発に関連する、立地、輸送、及び封じ込めの総合的な評価を提供	941,651

出所)連邦天然資源省 “Enabling Small Modular Reactors Program Funded projects”(2024 年 10 月 24 日閲覧)

## 参考文献

- <sup>1</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>2</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>3</sup> “A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors”(2018年11月)  
[https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap\\_EN\\_nov6\\_Web-1.pdf?x93402](https://smrroadmap.ca/wp-content/uploads/2018/11/SMRroadmap_EN_nov6_Web-1.pdf?x93402)
- <sup>4</sup> “Canada’s Small Modular Reactor (SMR) Action Plan”(2024年10月23日閲覧)  
<https://smractionplan.ca/>
- <sup>5</sup> IAEA “ADVANCED REACTOR INFORMATION SYSTEM BWRX-300”(2024年11月22日閲覧)  
<https://aris.iaea.org/TechnicalData/>
- <sup>6</sup> Orano 社 “Orano selected by Ontario Power Generation to supply enriched uranium”(2023年8月12日)  
<https://www.orano.group/en/news/news-group/2023/december/orano-selected-by-ontario-power-generation-to-supply-enriched-uranium>
- <sup>7</sup> IAEA “Country Nuclear Power Profiles Canada 2024”(2024年10月24日閲覧)  
<https://cnpp.iaea.org/public/countries/CA/profile/preview>
- <sup>8</sup> 世界原子力協会 “China’s Nuclear Fuel Cycle”(2024年11月21日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle>
- <sup>9</sup> カナダ連邦政府 “Search by product (HS code) - Trade Data Online”(2025年1月27日閲覧)  
<https://ised-isde.canada.ca/app/ixb/tdo/crtr.html?&productType=HS6&lang=eng>
- <sup>10</sup> カナダ連邦政府 “Trade type product”(2025年1月27日閲覧)  
<https://ised-isde.canada.ca/site/trade-data-online/en/help-product/trade-type-product>
- <sup>11</sup> WNTI “Our Members”(2025年2月7日閲覧)  
<https://www.wnti.co.uk/about/members/>
- <sup>12</sup> M. Manley 等 “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>13</sup> CSNC “Vendor design review”(2024年10月23日閲覧)  
<http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/reactors/power-plants/pre-licensing-vendor-design-review/index.cfm>
- <sup>14</sup> T. Taylor 等 “Waste Burning Performance of the Moltex SSR-W”(2024年10月)  
<https://www.moltexenergy.com/waste-burning-performance-of-the-moltex-ssr-w/>
- <sup>15</sup> 連邦天然資源省 “Enabling Small Modular Reactors Program”(2024年10月24日閲覧)

<https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/nuclear-energy-uranium/enabling-small-modular-reactors-program/24959>

<sup>16</sup> 聯邦天然資源省 “Enabling Small Modular Reactors Program Funded projects” (2024 年 10 月 24 日閱覽)

<https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/nuclear-energy-uranium/enabling-small-modular-reactors-program/enabling-small-modular-reactors-program-funded-projects/26293#wb-auto-4>

## 3.9 オランダ

### 3.9.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

オランダでは使用済燃料の取り扱いに関する法的な定めは無く、直接処分するか再処理を実施するかの判断を事業者に委ねてきた。同国では現在も運転を継続しているボルセラ原子力発電所(1基)に加え、1997年までドーデバルト原子力発電所(1基)が運転していたが、両発電所はいずれも1970年代以降、使用済燃料を全量国外再処理し、最終処分する放射性廃棄物量を低減するオプションを選択している<sup>1</sup>。このように既存炉については事業者判断に委ねられていたが、2018年に原子力施設、核分裂性物質及び鉱物令(BKSE)が定められ、今後新設される原子力発電所に関しては、許認可保持者に対し10年ごとのバックエンド戦略評価が義務づけるとともに、政府も20年ごとに同様の評価を行い、これらの評価に基づき規制当局である原子力安全・放射線防護庁(ANVS)が再処理か直接処分かといった方針を決定する方針である。

オランダ国内に再処理施設はなく、同国で発生した使用済燃料は全量、国外で再処理されている。再処理に伴い発生する高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)等の放射性廃棄物はオランダに返還され、国内の全種類の放射性廃棄物を集中管理する放射性廃棄物中央機構(COVRA)により貯蔵される。

最終処分に関しては、国内での処分の可能性を検討しつつ、国際共同処分の可能性も排除しない「デュアル戦略」を採る。国内については2130年頃の国内地層処分を検討している。国際共同処分に関しては、かねてより欧州の枠組みでワーキンググループを設置して検討を行っていたが、2021年1月にオランダ COVRA とデンマーク、ノルウェーの3カ国で欧州放射性廃棄物処分場開発機構(ERDO)を設立、他国の参加も見込みつつ、共同プロジェクト検討に向けた知見共有等の活動を進めている<sup>2</sup>。国内処分の場合の目標時期が2130年とされているとおり、オランダでは長期間での検討、計画、資金準備を行っていく方針であり、放射性廃棄物は100年程度の長期間地上保管(中間貯蔵)を行う方針である<sup>3</sup>。

#### (2) 官民の役割分担

オランダで現在唯一の原子力発電所であるボルセラ原子力発電所は、EPZ(Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland)社により運転されている。同社の株式の7割はDELTA社、3割はEnergy Resources Holding(ERH)社により保有されている<sup>4</sup>。DELTA社はボルセラが立地する州政府や市町村など地元自治体が所有する公益事業体である。一方、ERH社は民間のエネルギー企業である。

核燃料サイクル関連では、オランダ国内にはアルメロにUrenco社の濃縮工場がある。Urenco社の出資構造はオランダ政府と英国政府とドイツのエネルギー企業グループ(E.ON社とRWE社)が33.3%ずつとなっており<sup>5</sup>、オランダに関しては政府出資の形となっている。

放射性廃棄物の貯蔵、処理、処分においては、放射性廃棄物中央機構(COVRA)が同国唯一の実施主体として活動している。COVRAは2002年以降、完全国有となっている。1982年の設置当初は、廃棄物発生者であるドーデバルト原子力発電所(30%)、ボルセラ原子力発電所(30%)、エネル

ギー研究所(30%)、政府(10%)が出資する民間企業として設立され、1987年に政令により国内の放射性廃棄物管理の責任機関としての指定を受けた。その後欧州における電力自由化や、原子力発電が従来の想定ほど拡大しない見込みとなったことを背景に、2002年に完全国有化された(補足:1998年のEU電力自由化指令を受け、欧州では2000年代にかけて地域大で電力事業再編が起こった。また原子力発電所新設計画も停滞。事業者の長期的な事業継続性が見通しづらくなり、廃棄物管理責任を長期間担保する観点から、国有化が行われた)。

COVRAは廃棄物発生者から放射性廃棄物を回収し、中間貯蔵や処理などを行うサービスに加え、処分等に係る将来費用見積り(予備費含む)を加味した料金を徴収し、将来費用を引当金として確保し管理するバックエンド資金管理者としての機能を有している。放射性廃棄物の所有権は原子力事業者からCOVRAに引き渡された時点でCOVRAに移る<sup>3,6</sup>。

オランダにおける燃料サイクルの産業構造及び放射性廃棄物管理主体を、図3.9-1、表3.9-1に示す。

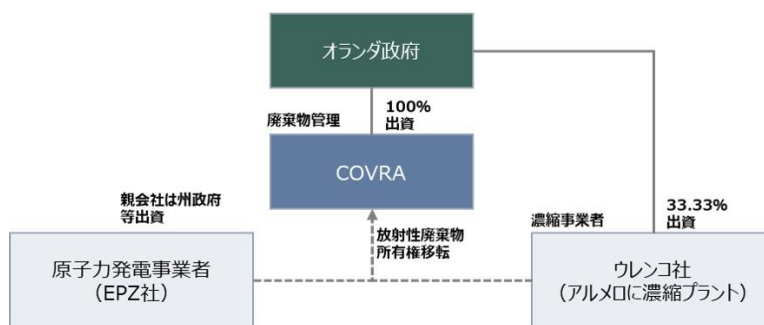


図 3.9-1 オランダにおける燃料サイクル産業構造

出所)各種情報に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

表 3.9-1 オランダにおける放射性廃棄物管理の主体

	中間貯蔵	最終処分
実施・管理主体	放射性廃棄物中央機構(COVRA)(100%国有)	
資金管理主体	COVRA(将来費用についてはCOVRAが引当金として確保)	
資金負担主体	廃棄物発生者 ※COVRAに対し料金として支払	

出所)各種情報に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### 3.9.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

2022年のロシアによるウクライナ侵攻後も、原子力分野は欧州連合(EU)等の制裁(禁輸)対象とはなっていない。背景には、東欧地域を中心に旧ソ連・ロシアの原子炉VVERを導入している国が多いこと、燃料サイクル分野でもロシアが世界の有力プレイヤーの一角をなしていることなどがある。しかしその中でも、2022年5月にEUが打ち出した政策パッケージREPowerEUにも見られるように、EU加盟国の大半で、原子力関連事業者が、供給元の多様化や切替により、ロシア依存を可能な限り低減させる動きが見られた。

オランダには、原子力発電所が1カ所(ボルセラ)、ウラン濃縮工場(Urenco 社アルメロプラント)が1カ所ある。オランダ政府は2021年の時点で、原子力発電所の新規建設の可能性に言及していたが、ロシアによるウクライナ侵攻を挟んで取組を進め、2022年12月に既存サイトのボルセラを新炉2基の優先サイトとして閣議決定した際の資料などでは、ロシアの化石燃料への依存を低減させるオプションの1つとして、原子力を位置づける言及が見られる<sup>7,8</sup>。

核燃料に関して、オランダ政府は特に脱ロシアに関する方針は示していないが、ボルセラ原子力発電所を運転する EPZ 社のウェブサイトでは、同社の燃料のウランはカナダ、オーストラリア、カザフスタン起源であるとしている<sup>9</sup>。また議会下院質問への回答として、エネルギー大臣は2023年12月に、「オランダの原子力発電はロシア産ウランに依存していない」、「EPZは、ロシアの ROSATOM と直接的な契約関係を持っていないとしている」と回答している<sup>10</sup>。

また、オランダのアルメロに濃縮プラントを持つ Urenco 社も、ロシアによるウクライナ侵攻開始の数日後に、ロシアとの契約関係を解消する方針を決定し、2022年内に全ての契約を解除完了した<sup>11</sup>。

なお、世界の濃縮市場の50%近くをロシアの Rosatom 国営原子力会社傘下の TENEX・TVEL が占める中、ロシアに次ぐ処理能力(世界シェア約30%)を持つ Urenco 社は、濃縮役務の委託先の「脱ロシア」化を企図する原子力事業者にとって、代替のオプションとなりうる。

欧州原子力力共同体供給局(ESA)の2022年年報によれば、ロシアがウクライナ侵攻を開始した2022年当年については、すでに締結された役務契約に基づきサービスが提供されており、例えばロシアの対EUの濃縮ウラン供給量、及びEU域内の濃縮ウラン供給に占めるシェア(約30%)はほとんど前年と変わらなかった<sup>12</sup>。しかし Urenco 社の2022年、2023年年報等によれば、VVER 炉を持つブルガリア、またウクライナなどから新規の長期契約を受注するなど、供給元の多様化・切替に伴う売上増が確認されている<sup>11,13</sup>。

### 3.9.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

(1)に記載のとおり、オランダでは使用済燃料の取り扱いに関する法的な定めは無く、直接処分か再処理かの判断を事業者委ねてきた。同国で運転経験を持つ2基(ドーデバルト1基:1997年閉鎖、ボルセラ1基:運転中)はいずれもこれまで一貫して、運開以降に発生した使用済燃料を全量国外で再処理し、最終処分する放射性廃棄物量を低減するオプションを選択している。

今後の新設炉については2018年制定の原子力施設、核分裂性物質及び鉱物令(BKSE)により、定期的にバックエンド戦略評価を行って最終的には規制当局である原子力安全・放射線防護庁(ANVS)が再処理か直接処分かを決定する。

国内再処理は行っておらず、2024年現在、国内で唯一運転中のボルセラ原子力発電所で発生する使用済燃料をフランスのOrano社に委託して再処理している。

オランダにおける放射性廃棄物の処分方針は現状未定である。現状、実態としては上記のとおり全ての使用済燃料を再処理しているが、将来的な直接処分オプションは排除しておらず、使用済燃料を直接処分する場合はガラス固化体等とともに、発熱量の大きい高レベル放射性廃棄物として取り扱われる。

オランダでは廃棄物を 100 年程度 COVRA に集中中間貯蔵し、その間に資金確保、技術の進展などを期すとしているが、処分についてはこれまでの国際的な知見から、全種類の放射性廃棄物について地層処分を想定し、現在のところ 2130 年頃の処分場操業開始を見込んでいる。

2006 年、当時のオランダ政府は、ボルセラ 2 号機の新規建設計画を踏まえて、2016 年までに処分地を決定する方針を示した。しかしこの方針は実現しておらず、2024 年現在、具体的な候補地選定プロセス等には着手していない。また、オランダ政府として国内処分に限定せず、欧州内における国際共同処分についてもオプションとして排除しない意向を示している<sup>3,14</sup>。国際共同処分についてはデンマークやノルウェーなどと共同で知見交換等の取り組みを実施している。

## 2) 処理・処分の実績

### a. 再処理実績

ボルセラ原子力発電所を運転する EPZ 社は 1978 年に、仏 COGEMA 社(のち AREVA NC 社、現 Orano 社)との間で最初の再処理契約を締結し<sup>15</sup>、その後更新を繰り返し、契約を継続していた。当時の契約は、ボルセラで発生する使用済燃料の全量を COGEMA 社が引き取る内容になっていた。すなわち、ラ・アークで再処理され、回収されたウランやプルトニウム、また再処理に伴い発生する放射性廃棄物等も同社の所有となった。その後フランスで 2006 年に、フランスへの国外からの使用済燃料輸送に関して、放射性廃棄物の発送国への返還を確約する公式の取決め締結が法的に義務化されたことを受け、オランダとフランス両国政府は 2009 年に、2015 年までに発生するオランダ由来の使用済燃料再処理に係る廃棄物返還を取り決める二国間協定を締結した。この協定はその後更新され、現協定では 2015 年以降にボルセラで発生した使用済燃料は引き続き全てフランスで再処理するが、従来のように全てフランス側の引き取りとはせず、MOX 燃料に加工してオランダのボルセラに送り(ボルセラで使用)、再処理により発生した放射性廃棄物は 2052 年末までにオランダに返還することが取り決められた<sup>3</sup>。なお Orano 社ウェブサイトの情報によれば、1978 年の契約開始から 2019 年までに 365t 以上の使用済燃料がラ・アークに輸送され、約 346t が再処理済みとされている<sup>15</sup>。

一方、ドーデバルト原子力発電所の運転者である GKN 社は 1978 年以降、主に当時の英国燃料会社(BNFL)との契約に基づき英国セラフィールドで再処理を実施した。同発電所は 1997 年に閉鎖され、2003 年に最後の燃料がセラフィールドに輸送された<sup>16</sup>。なお、初期の使用済燃料(装荷 3 回分)はベルギーのユーロケミック(1974 年閉鎖)で再処理されていた<sup>17</sup>。

### b. 使用済燃料処分実績

使用済燃料は全量再処理しており、処分実績はない。

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

オランダでは、回収ウラン、劣化ウラン、回収プルトニウムをいずれも国内で利用している。前述のとおり、同国では使用済燃料を全量再処理してきている。

オランダの原子力発電所の使用済燃料再処理から回収されたウランは再処理実施国が引き取り、欧州各地の原子力発電所燃料向けに売却されているほか、国内のボルセラ原子力発電所でも回収ウランを材料とする燃料を使用している。

また、同国のアルメロには Urenco 社の濃縮工場があり、濃縮に伴い劣化ウランが発生する。2009 年まではロシアに一部の劣化ウランの再濃縮を委託していたが、この契約は 2009 年に終了し、以後ロシアへの輸送は行われていない<sup>18</sup>。2020 年のオランダによる廃棄物合同条約第 7 回報告書によれば、2019 年時点の方針として、Urenco が再濃縮が経済的でない<sup>3</sup>と判断した劣化ウランは、仏 Orano のトリカスタン<sup>3</sup>のプラントで  $U_3O_8$  に転換してオランダに戻され、COVRA の劣化ウラン貯蔵施設 (VOG) に貯蔵されるとしている<sup>3</sup>。この記載からはロシアとの契約終了後も、一部の劣化ウランについては、再濃縮(おそらくフランスにおける)をオプションとしていることがうかがえる。

なお、2019 年に英国で Urenco のテールマネジメント施設 (TMF) が操業を開始して以降は、アルメロの濃縮工場で発生した劣化ウランは、同施設で  $U_3O_8$  に転換してオランダに戻され、VOG に貯蔵されている模様である(フランスへの委託の継続是非は不明)。なお、オランダ及び Urenco では、これらの劣化ウランは廃棄物としてではなく、将来利用の可能性のあるリソースと定義している<sup>3</sup>。

オランダは使用済燃料の再処理は行うが、従来 MOX 燃料は利用しておらず、再処理から回収したプルトニウムは再処理の委託先である英仏が引き取り、オランダ以外の国で用いる MOX 燃料の材料等として使用していた<sup>9</sup>。しかし、前述のとおり、フランスがプルトニウムや放射性廃棄物を原則として発生国に返還する方針に変更したことに伴い、2015 年以降のフランスとの再処理契約では、ボルセラ原子力発電所の使用済燃料由来の回収プルトニウムを MOX 燃料に加工してオランダに送ることになった。オランダ EPZ 社は 2014 年からボルセラ原子力発電所での MOX 燃料利用(いわゆるプルサーマル)を開始した。なお、EPZ 社は 2034 年の同発電所閉鎖までに回収プルトニウムをプルサーマルで消費する計画だが<sup>9</sup>、EPZ 社及びオランダ政府は、同発電所の運転延長を検討しており<sup>7</sup>、MOX 燃料の使用期間はより長期になる可能性がある。

## 2) 実績

ボルセラ原子力発電所を運転する EPZ 社は、2000 年以降同発電所で装荷された燃料の「出所」を以下の表 3.9-2 のとおり一覧している。同社によると、使用する燃料のうち新燃料は 1/3 で、残りの 2/3 は何らかの再利用によるものである。

表 3.9-2 ボルセラ原子力発電所で装荷された燃料の「出所」

年	出所
2000-2002	再濃縮劣化ウラン使用燃料
2003	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン+軍事由来高濃縮ウラン (HEU) 起源 <sup>a</sup> の燃料
2004	再濃縮劣化ウラン使用燃料
2005-2006	カザフスタン(補足:同国産ウランによる新燃料を指すと考えられる)

<sup>a</sup> EPZ 社ウェブサイトの説明はないが、米国等の軍事由来の HEU を低濃縮ウラン (LEU) に転換したものを指すと考えられる。

2007	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン+軍事由来 HEU 起源の燃料
2008-2011	カザフスタン
2012	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン+軍事由来 HEU 起源の燃料
2013	カナダ(補足:同国産ウランによる新燃料を指すと考えられる)
2014	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン燃料と、ボルセラ使用済燃料由来の MOX 燃料
2015-2016	再濃縮劣化ウラン使用燃料と、ボルセラ使用済燃料由来の MOX 燃料
2017	在庫分を使用
2018	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン+軍事由来高濃縮ウラン (HEU)起源 の燃料と、ボルセラ使用済燃料由来の MOX 燃料
2020	ボルセラ使用済燃料由来の MOX 燃料含む在庫分使用
2021	ボルセラ使用済燃料由来の回収ウラン燃料と、ボルセラ使用済燃料由来の MOX 燃料
2022	在庫分を使用
2023	カザフスタン

出所) EPZ 社ウェブサイト <https://www.epz.nl/kennis-verdieping/wat-is-splijtstof-en-hoe-werkt-het/>

上掲表からもオランダは、低濃縮ウランに転換した軍事由来高濃縮ウラン、Urenco 社のアルメロ濃縮工場由来の劣化ウラン、国内原子力発電所の使用済燃料由来の回収ウラン、プルトニウムなど様々な起源の原料を用いた燃料の使用実績を持つ<sup>9</sup>。以下、回収ウラン、劣化ウラン、回収プルトニウムのそれぞれの使用実績を整理する。なお、プルトニウムに関してはオランダのプルトニウム管理方針にも併せて言及する。

#### <回収ウランの利用>

オランダ国内では上掲表 3.9-2 のとおり、近年では 2003 年、2007 年、2012 年、2018 年、2021 年に、ボルセラ原子力発電所において、同発電所の使用済燃料由来の回収ウランを用いた燃料を装荷している<sup>9</sup>。

他国への売却事例としては、過去に 1997 年に閉鎖したドーデバルトの運転者である GKN 社が、英セラフィールドに保管されたままになっている同発電所由来の回収ウランを、ドイツの E.ON 社に引き渡す契約を 2006 年に締結したことが GKN 社年報から確認されている。売却された回収ウランは E.ON 社の原子力発電所燃料に用いられるとされている<sup>19</sup>。

#### <劣化ウランの利用>

前述のとおり、国内に立地する Urenco 社のアルメロ濃縮プラント由来の劣化ウランの一部は、2009 年までロシアで処理後、オランダに返還されていた。2009 年の契約終了以降はオランダからロシアへの輸送は行っておらず、劣化ウランは COVRA により貯蔵されている<sup>18</sup>。

上掲表 3.9-2 のとおり、ボルセラ原子力発電所では 2000 年～2002 年、2004 年、2015～2016 年に劣化ウランに由来する燃料の装荷を行ったとされている<sup>9</sup>。これらの燃料は、2009 年までのロシアに委託しての劣化ウラン再濃縮、あるいはフランス(と考えられる)に委託しての劣化ウラン再濃縮に由来するものであると考えられる。

### <回収プルトニウムの利用>

本項ではオランダにおける回収プルトニウムの利用について、プルトニウムの管理方針と併せて整理する。

ボルセラ原子力発電所の使用済燃料 2015 年までの再処理により回収されたプルトニウムは、AREVA NC 社(現 Orano 社)との契約に基づき他国の原子力発電所向けの核燃料材料として同社が引き取っていた(価格等条件は不明)。2015 年以降の契約では、2034 年に予定されるボルセラ原子力閉鎖までに発生する使用済燃料の再処理に由来するプルトニウムは Orano 社に所有権を移転せず MOX 燃料に加工され、同発電所において使用されることになった<sup>9</sup>。

ボルセラ原子力発電所は 2011 年に MOX 燃料の使用許可を取得し、2014 年に MOX 燃料が初装荷され、国内でのプルサーマルを開始した。当時オランダ経済省 が EPZ 社に発給した MOX 燃料使用許可決定書には、2015 年以降プルトニウムの所有権が EPZ 社に残ることを踏まえ、同発電所で MOX 燃料を使用しない場合、プルトニウムが正味で年間 93kg の増(純生産)となるが、同許可に基づく最大比率に基づき炉心に 40%(燃料集合体 121 体中 48 体)の MOX 燃料を使用した場合、年間で正味 63kg 減(純消費)となると記載されている<sup>20</sup>。

ボルセラ原子力発電所は 2034 年まで運転を行う予定であり、オランダではボルセラにおける MOX 燃料利用により、2015 年以降の同発電所由来の使用済燃料再処理から得られたプルトニウムを消費しプルトニウムバランスを達成する方針である。

なお、EPZ 社は 2020 年 11 月末に、既存炉の運転延長や新炉増設などによる 2034 年以降のオランダにおける原子力利用継続の必要性を主張する文書を公表している。現時点で EPZ 社や政府等で具体的な方針の決定はなされていないが、原子力利用を継続する場合には、2034 年以降のプルトニウムバランスについても考慮する必要がある。

上述のとおり 2015 年以前の契約に基づき再処理されたボルセラ由来の使用済燃料については、回収されたプルトニウムが AREVA NC 社の所有となっていた。このため報道に拠れば、ボルセラにおけるプルサーマル開始初期の MOX 燃料は、AREVA NC 社が EPZ 社にプルトニウムをリースする形で製造された。このリース分は、2015 年以降にボルセラで発生する使用済燃料の再処理分から回収し、最終的に 2034 年に予定されている同発電所の閉鎖時に炉内にある燃料を AREVA NC 社(現 Orano 社)が引取り、これに含まれるプルトニウムをもって精算するとされている<sup>21</sup>。

一方、1997 年に閉鎖されたドーデバルト原子力発電所の使用済燃料は、英国セラフィールドに送られたが、再処理から回収したプルトニウム(約 350kg)の再利用のめどが立たないことから、2013 年に英国が各国との間で実施したプルトニウム取引(複数国間の所有権移転、スワップ等)の一環として、英国廃止措置機関(NDA)に所有権を移転することで合意され、GKN 社は移転費用を英国側に支払った<sup>19</sup>。

なお、オランダでは自国における再処理は実施していないものの、国外委託によるマルチリサイクルをオプションとして排除していない。政府文書等で明確に使用済 MOX 燃料の再処理実施の方針は示されていないが、ボルセラで発生する使用済 MOX をフランスに送るまでの間プール貯蔵することなどに言及がなされている。

また前述のとおり、過去 1970 年代にユーロケミックでドーデバルトの使用済燃料を再処理した結果として回収されたプルトニウムを、フランスで高速増殖炉スーパーフェニックスの燃料として利用した後、さらにフランスのラ・アークで再処理を行いプルトニウムの回収を行った事例がある。再回収されたプ

トニウムはドーデバルトの運転者 GKN 社の所有としてラ・アークで保管されてきたが、その後 2008 年に AREVA 社に引き渡されオランダ GKN 社の管理を離れた<sup>17</sup>。GKN 社所有のもとのリサイクル(利用)は結果的にスーパーフェニックスの 1 回に留まったが、本来的には欧州大でのマルチリサイクルを意図した取組であったと考えられる。

### 3.9.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

オランダは国内にウラン資源を持たず、全量を国外から輸入している。世界銀行の WITS 貿易データベースによれば、オランダは 2023 年において「HS Code 284410:天然ウラン及びその化合物等」を、主にカナダ、フランス、米国から輸入している<sup>22</sup>。

濃縮ウランは国内に Urenco の濃縮プラントがあり、国外に輸出している。なお、WITS 貿易データベース<sup>b</sup>によれば、2023 年において「HS Code 284420: ウラン 235 を濃縮したウラン及びプルトニウム並びにこれらの化合物並びにウラン 235 を濃縮したウラン、プルトニウム又はこれらの化合物を含有する合金、ディスパーション(サーメットを含む。)、陶磁製品及び混合物」のもとでは、オランダが国外から輸入している形跡もあるが、その量はわずかである。ほとんどは米国からの輸入で、輸入量は 1,475kg である。一方、オランダから米国への輸出は 375,250kg である<sup>23</sup>。こうした情報から、国内唯一の原子力発電所であるボルセラ(1 基)で用いる燃料の濃縮ウランは、基本的に国内で賅っていると考えられる。

### 3.9.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・精錬

オランダにおいて、操業中のウラン鉱山・製錬施設は存在しない。

#### (2) 転換

オランダにおいて、操業中のウラン転換施設は存在しない。

#### (3) 濃縮

オランダには Almero に Urenco の濃縮工場がある。米国、英国、ドイツ、オランダの 4 カ所にある Urenco 社の濃縮工場それぞれの役務実績は不明だが、2023 年時点で同社は、世界の濃縮能力の 30%を保有しており、46%を占めるロシアの ROSATOM に続く世界第 2 位の地位を占める。<sup>24</sup>

施設	
施設名称	Almero(SP4、SP5)
施設概要	ウラン濃縮(回収ウランの濃縮も実施)
技術	遠心分離によるウラン濃縮
能力	5,100tSWU/y

<sup>b</sup> 各種情報を統合しているため、完全に正確な量を示すものではない

稼働状況	1973年にSP1が稼働(廃止済み)、2000年にSP5が稼働
稼働実績	事業主体の項目参照
役務取引 取組方針	- 2023年に750tSWU(現行能力の15%相当)の能力増強が決定 <sup>25</sup> 、2024年3月に着工、2027年に新設備の最初の遠心分離機が稼働開始予定 <sup>26</sup> 。
事業主体(採鉱全体)	
事業者名称	Urenco Netherlands
事業者概要	ロスアトムの鉱業部門。ウラン鉱山を中心に金、銀、石炭などの採鉱・採掘・精錬なども手がける Atomenergoprom、TVEL の傘下
資本関係 経営状況	※Urenco 本社の出資構成 資本関係:英・独・蘭が 1/3 ずつ出資。英国、オランダは政府、ドイツはプロイセンエレクトラ社(E.ON 社の原子力事業会社)と RWE パワー社が半分ずつ出資 Urenco 本社の売上高:19 億ユーロ(2023 年) <sup>27</sup>
稼働実績	生産量実績は不明 グループ全体の濃縮能力は 17,600tSW/年、19 カ国 50 顧客に供給(いずれも 2023 年) <sup>27</sup>
政府との関係	3 カ国による共同出資で、オランダ持分についてはオランダ政府が出資
今後の方針・戦略	2022 年以降の脱ロシア方針の強まりを受け、グループ全体で 1,600tSWU 相当の濃縮役務能力増強を計画 <sup>26</sup> 。LEU+(10%までの濃縮ウラン)、HALEU(~19.75%)の開発を計画しており、2023年に英政府、2024年に米政府とHALEU生産で合意。(※いずれもオランダではなく米英工場) <sup>27</sup>

#### (4) 再転換

オランダにおいて、操業中のウラン再転換施設は存在しない。

#### (5) 燃料加工(MOX 含む)

オランダにおいて、操業中の燃料加工施設は存在しない。

#### (6) 再処理

オランダにおいて、操業中の再処理施設は存在しない。

## (7) 燃料輸送

燃料の輸送について、オランダで該当する事業者は確認されていない。燃料供給契約によるが、燃料製造元(フランス ORANO 社等)の輸送事業会社により、オランダへの輸送が行われているものと推測される。

## (8) 使用済燃料貯蔵

原子力発電所の使用済燃料については全量再処理を原則とするため、発電所での一時貯蔵を除き、使用済燃料の中間貯蔵等は実施していない。研究所由来の一部の廃棄物は高レベル放射性廃棄物とともに保管されている((9)参照)。

## (9) 放射性廃棄物管理・処分

オランダでは放射性廃棄物中央機構(COVRA)が、廃棄物発生者から放射性廃棄物を回収し、一括して中間貯蔵や処理などを行う。

施設	
施設名称	高レベル放射性廃棄物貯蔵施設(HABOG)
施設概要	ガラス固化体の処理・貯蔵(一部、研究炉由来の使用済燃料も処理・貯蔵)
技術	金属キャスクによる乾式貯蔵
能力	160m <sup>3</sup> (初期棟 110m <sup>3</sup> +増設棟 50m <sup>3</sup> )
稼働状況	2003 年運用開始、100 年間の保管を想定
稼働実績	貯蔵済容量 111.5m <sup>3</sup> うちガラス固化体 54.4m <sup>3</sup> (2023 年) <sup>27</sup>
役務取引 取組方針	オランダ全土の高レベル放射性廃棄物を引き受け。 初期の保管施設は 110m <sup>3</sup> の保管容量だったが、オランダが原子力発電所の運転継続・増設方針であることなどを受け、50m <sup>3</sup> の増設棟を設置。2022 年に運用が開始された <sup>28</sup> 。
施設	
施設名称	中低レベル放射性廃棄物貯蔵施設(LOG)
施設概要	中低レベル放射性廃棄物を処理・貯蔵
技術	金属ドラム、コンクリートキャスク等による貯蔵
能力	不明
稼働状況	1993 年より稼働
稼働実績	12,885m <sup>3</sup>
役務取引 取組方針	-
施設	
施設名称	コンテナ貯蔵施設(COG)
施設概要	鉱石処理などから生じる NORM 廃棄物(未コンディショニング)固

		体廃棄物の貯蔵
	技術	コンテナでの貯蔵
	能力	不明
	稼働状況	1990 年代半ば以降より稼働
	稼働実績	6,718m <sup>3</sup>
	役務取引 取組方針	-
施設 <sup>29</sup>		
	施設名称	多目的貯蔵施設(MOG)
	施設概要	研究所のレガシー廃棄物等、他の貯蔵施設に適合しない中低レベル廃棄物の処理・貯蔵。将来的には、原子力発電所の廃炉廃棄物も収容予定
	技術	低放射線区域と高放射線区域(遠隔操作のみ)に分離。スタッキング可能なドラム缶等での保管
	能力	4,000m <sup>3</sup>
	稼働状況	2023 年から建設中、2026 年操業開始予定
	稼働実績	建設中
	役務取引 取組方針	施設概要のとおり 2026 年から 2050 年まで廃棄物を収容予定。なお、追加保管容量を容易に拡張できる設計としている。
事業主体		
	事業者名称	COVRA
	事業者概要	オランダ国内で発生する全種類の放射性廃棄物の回収・処理・貯蔵及び最終処分資金の管理
	資本関係 経営状況	資本関係:オランダ政府が 100%所有 経営状況: 売上高 1,680 万ユーロ
	稼働実績	各施設の貯蔵量を参照
	政府との関係	政府所有
	今後の方針・戦略	2024 年 12 月 12 日に、廃炉後 2045 年まで安全貯蔵中のドーデバルト原子力発電所の操業者である GKN 社の所有者となった(政府が株式を取得し、COVRA に移転)ため、同発電所の廃止措置も担うことになる(廃炉費用で GKN 資産で不足するコストは政府が補填の見込み) <sup>30,31</sup> 。

## (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱・貯蔵等

3.9.3 (2)で示したとおり、オランダでは現在、国内に立地する Urenco のアルメロ濃縮工場が発生した劣化ウラン(HF<sub>6</sub>)のうち、再濃縮による再利用を当面予定しない分について、英国の Urenco 施設

で  $U_3O_8$  に転換後、オランダに返送され、COVRA で貯蔵される。COVRA には、 $U_3O_8$  貯蔵専用の建屋が設置されている。以下、COVRA の劣化ウラン貯蔵施設について整理する。COVRA の情報については(9)を参照。

施設	
施設名称	劣化ウラン貯蔵施設(VOG)
施設概要	$U_3O_8$ に転換された劣化ウランを貯蔵 <sup>3</sup>
技術	—
能力	不明
稼働状況	第1棟が1990年代半ば以降より稼働。第2棟が2017年に稼働
稼働実績	18,760m <sup>3</sup>
役務取引 取組方針	廃棄物ではなく、将来の利用に備える資源として貯蔵

### 3.9.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

#### (1) 原子力・核燃料サイクル

オランダでは同国独自の原子炉や燃料等の開発は行っていないが、ペッテンの原子力研究・コンサルタントグループ(NRG)に、高フラックス原子炉(HFR)がある。同炉は医療用の同位体(モリブデン 99)の世界最大の供給者である。加えて HFR は材料試験炉として、様々な原子炉材料や燃料試験を実施し、欧州や世界各国の原子力開発を支援してきた<sup>32</sup>。HFR は 2030 年に設計寿命を迎えることから、現在、後継炉として Pallas の建設が進められており、2030 年頃の運転開始を目指している。

現行炉に係る研究・技術サービスとして NRG では商社サービス、燃料管理(燃料管理ソフトウェアの提供)、長期運転支援、非破壊検査などを提供している。

現行炉、サイクルの関連では、英国の EDF エナジーと共闘で、BLACKSTONE プログラムを実施し、英国の先進ガス冷却炉(AGR)の黒鉛減速材の経年劣化に関する試験を行い、AGR の寿命延長に必要なデータの収集を行うなどの取組がみられる。このプログラムにより、英国では AGR を 40 年を超えて運転継続する寿命延長が可能になった<sup>33</sup>。また、燃料管理では炉心の燃料装荷パターン最適化ソフトウェア ROSA と、燃料交換期間短縮を可能にするソフトウェア SOSA を開発、販売している。これらのソフトウェアは世界 30 カ所以上の原子力発電所に導入されている<sup>34</sup>。

#### (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

オランダとして独自の国産革新炉の製造に向けた開発は行っていないが、NRG では HFR 炉において、革新炉材料やその燃料の照射実験などを行っている。特に、熔融塩炉(MSR)に関しては MSR 材料・燃料に特化した試験・研究を行うプログラムを実施している。

- サリエント 01:MSR に特化した燃料塩注入実験
- サリエント 03:上記の後継取組で、構造材料が熔融燃料塩にばく露した場合の腐食速度等について研究

- エニクマ:耐食性が高く MSR 材料として用いられるニッケル材料だが、熱中性子照射に敏感であるため、材料が脆化する可能性がある。本プロジェクトではニッケルベース材料のヘリウム脆化の影響を研究
- サガ:フッ化仏塩試料が 150°Cまでの温度で放射線にばく露した場合のガス生成に関する研究
- 塩廃棄物処理:MSR で発生する放射性廃棄物の受け入れ基準の決定(オランダの廃棄物管理主体である COVRA と協力)

このほか、主にベルギーの研究所である SCK CEN との協力のもと、液体金属高速炉(LMFR)研究プログラムも実施している。このプロジェクトでは原子炉内の伝熱流動研究、燃料における熱の影響などを研究している。

なお、HFR 炉の後継として建設される Pallas 炉は、燃料及びモリブデン 99 製造のためのターゲットとして HALEU の利用を予定している。EU では域内サプライチェーン確立を目指し、「EU 転換・PrepHALEU」プロジェクトを立ち上げ、2025 年 1 月 24 日にブリュッセルでキックオフ会合が開かれた。NRC はこの枠組みにパートナーとして参加している<sup>35</sup>。

### (3) 放射性廃棄物管理

前述のとおり、オランダでは将来の処分オプションを検討する間、100 年にわたり全種類の放射性廃棄物を地上で貯蔵する方針で、COVRA で集中貯蔵している。COVRA における高レベル放射性廃棄物貯蔵建屋 HABOG は、金属キャスクによる乾式貯蔵を前提とした設計である。ただし使用済燃料については Orano 社との契約に基づき運転終了までの全量を再処理する予定であり、炉心から取出後燃料プールで冷却し、フランスに輸送されている。したがって 2019 年末時点では、ガラス固化体の乾式貯蔵は行われているものの、商用炉の使用済燃料の乾式貯蔵は実施していない。

COVRA は 2011 年から 2018 年にかけて、OPERA と呼ばれる放射性廃棄物処分セーフティケースプロジェクトを実施した。オランダでは 1970 年代以降、国内の岩塩層や粘土層について数度にわたり調査が行われてきたが、OPERA ではこうした過去の調査を総合し、オランダ国内における地層処分のフィージビリティを検討した。2018 年に示された調査結果では、以下の様な結論が示された<sup>36</sup>。

- オランダ国内で発生する放射性廃棄物全量を粘土層で地層処分することは可能
- 地層処分は 2130 年まで行わない方針であるが、地層処分に係る将来費用のために確保すべき資金を可能な限り正確に見積もるため、長期的な研究プログラムに着手し、知識構築を始めることが必要
- 今後より具体的かつ詳細な処分概念を繰り返し策定し、セーフティケースを改良しながら地層処分に関する知識をより発展させ、2100 年頃に地層処分について適切な決断を下せるようにする

なお、OPERA としての結論は国内における地層処分は可能としているが、オランダ政府として国内地層処分の方針を最終決定したわけではない。

2020 年 11 月からは、上記のフォローアップ研究が実施されている。

フォローアップ研究は以下の 6 つのパッケージで構成される。パッケージ 1:戦略(国際共同処分含め、国内地層処分以外の代替案の検討ほか根本的な戦略方針の検討)

- パッケージ 2:セーフティケースと各種知見との統合

- パッケージ 3:人口バリアシステム
- パッケージ 4:母岩
- パッケージ 5:母岩周辺の岩層状態
- パッケージ 6:生物圏との関係

同研究は 2025 年までの予定で実施される。

前述の OPERA も含め、放射性廃棄物処分に係る研究の費用は、COVRA または COVRA が国際共同研究に参加する枠組みで、費用を負担する。COVRA の資金は原子力発電事業者など、廃棄物発生者の支払う料金や拠出金から成っており、「汚染者負担の原則」に則っている。上掲のフォローアップ研究の年間予算は 2020 年時点で 700 万ユーロとされている<sup>37,38</sup>。

## 参考文献

- <sup>1</sup> EPZ “Strategie Kernenergie voor een positieve toekomst”(2024年10月30日閲覧)  
<https://www.epz.nl/wie-wij-zijn/over-ons/strategie>
- <sup>2</sup> COVRA ウェブサイト “欧州放射性廃棄物処分場開発機構(ERDO)設置プレスリリース”(2021年1月7日)  
<https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/vereniging-voor-multinationale-samenwerking-radioactief-afval-opgericht-in-nieuwdorp-erdo/>
- <sup>3</sup> 廃棄物合同条約オランダ第7回国別報告書(2021年)  
<https://www.iaea.org/sites/default/files/netherlands-7rm.pdf>
- <sup>4</sup> EPZ “Bestuur”(2024年10月30日閲覧)  
<https://www.epz.nl/wie-wij-zijn/over-ons/bestuur/>
- <sup>5</sup> Urenco “Shareholding structure”(2024年10月30日閲覧)  
<https://www.urengo.com/investors/our-governance>
- <sup>6</sup> COVRA “Organisatieprofiel”(2024年10月30日閲覧)  
<https://www.covra.nl/nl/organisatie/organisatieprofiel/>
- <sup>7</sup> オランダ政府プレスリリース “Borssele voorkeurslocatie voor twee nieuwe kerncentrales”(2022年12月9日)  
<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/09/borssele-voorkeurslocatie-voor-twee-nieuwe-kerncentrales>
- <sup>8</sup> オランダ政府による議会下院への書簡 “Brief aan Tweede Kamer met bijlage 1-4 over kernenergie”(2022年12月9日)  
<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-afffff00334fa8a416ad760a9074755757e9b7d6/pdf>
- <sup>9</sup> EPZ “Wat is splijtstof en hoe werkt het?”  
<https://www.epz.nl/kennis-verdieping/wat-is-splijtstof-en-hoe-werkt-het/>
- <sup>10</sup> オランダ下院議会質問回答文書 2023年1536号(2023年2月)  
<https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D05947>
- <sup>11</sup> Urenco 社 2022 年年報  
<https://www.urengo.com/cdn/uploads/supporting-files/Urenco-AR2023.pdf>
- <sup>12</sup> 欧州原子力共同体供給局(ESA)2022 年年報  
[https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/416f638d-1928-44b6-a9d9-d9180b6eb2ad\\_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202022%20-%20Final%20%28website%29\\_2.pdf](https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/416f638d-1928-44b6-a9d9-d9180b6eb2ad_en?filename=ESA%20Annual%20Report%202022%20-%20Final%20%28website%29_2.pdf)
- <sup>13</sup> Urenco 社 2023 年年報  
[https://www.urengo.com/cdn/uploads/supporting-files/Urenco\\_AR2022.pdf](https://www.urengo.com/cdn/uploads/supporting-files/Urenco_AR2022.pdf)
- <sup>14</sup> オランダ放射性廃棄物管理国家計画(2016年)  
<https://english.autoriteitnvs.nl/binaries/anvs-en/documents/report/2016/08/09/the-national-programme-for-the-management-of-radioactive-waste-and-spent-fuel/the-national-programme-for-the-management-of-radioactive-waste-and-spent-fuel.pdf>
- <sup>15</sup> Orano 社ウェブサイト “Arrival of the 19th transport of used nuclear fuel from the Netherlands to Orano la Hague plant for recycling”(2019年11月20日、2024年11月1日閲覧)  
<https://www.orano.group/en/news/local-news/actualites-la-hague/2019/novembre/arrival-of-the-19th-transport-of-used-nuclear-fuel-from-the-netherlands-to-orano-la-hague-plant-for-recycling>

- <sup>16</sup> GKN 社 “Laatste transport bestraalde splijtstof kernenergiecentrale Dodewaard”(2003 年 4 月 9 日、2024 年 10 月 31 日閲覧)  
<https://www.kcd.nl/actueel/2003/20030409.html>
- <sup>17</sup> GKN 社 “Overdracht van in Frankrijk opgeslagen GKN plutonium aan AREVA”  
(2008 年 4 月 13 日、2024 年 10 月 31 日閲覧)  
<https://www.kcd.nl/actueel/2008/20080413.html>
- <sup>18</sup> オランダ下院 環境省書簡 2019-2020 年 260 号(2019 年 12 月 11 日)  
[https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2019Z24819&did=2019D51120](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2019Z24819&did=2019D51120)
- <sup>19</sup> GKN 社 2013 年年報  
<https://www.kcd.nl/Media%20info/Jaarverslagen/Jaarverslag%202013%20GKN.pdf>
- <sup>20</sup> オランダ経済省決定 “Besluit: KERNENERGIEWET-VERGUNNING VERLEEND AAN DE N.V. ELEKTRICITEITS- PRODUKTIEMAATSCHAPPIJ ZUID-NEDERLAND (NV EPZ) TEN BEHOEVE VAN BRANDSTOFDIVERSIFICATIE KERNCENTRALE BORSSELE”(2011 年 6 月 24 日)  
<https://www.kernenergiein nederland.nl/files/20110624-mox.pdf>
- <sup>21</sup> NEI “Borssele moves to MOX” (2015 年 3 月)  
<https://www.neimagazine.com/advanced-reactorsfusion/borssele-moves-to-mox-4530062/>
- <sup>22</sup> 世界銀行 WITS 貿易データベース” Netherlands Natural uranium and its compounds, etc imports by country in 2023” (2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/NLD/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/284410>
- <sup>23</sup> 世界銀行 WITS 貿易データベース” Netherlands Enriched uranium and plutonium and their compound imports by country in 2023” (2025 年 1 月 31 日閲覧)  
<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/NLD/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/284420>
- <sup>24</sup> Euratom Supply Agency “Annual Report 2023”  
[https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6\\_en](https://euratom-supply.ec.europa.eu/document/download/29018562-122c-4818-8774-2424fc029bf6_en)
- <sup>25</sup> URENCO “Urenco announces major Netherlands expansion to strengthen energy security ” (2023 年 12 月 14 日)  
<https://www.urencocom/news/nederland/2023/urencocom-announces-major-expansion-in-the-netherlands-to-strengthen-energy-security>
- <sup>26</sup> URENCO “Energy security boost as Urenco breaks ground on site extension” (2024 年 3 月 25 日)  
<https://www.urencocom/news/nederland/2024/energy-security-boost-as-urencocom-breaks-ground-on-site-extension>
- <sup>27</sup> URENCO “Annual Report and accounts 2023”  
<https://www.urencocom/cdn/uploads/supporting-files/Urenco-AR2023.pdf>
- <sup>28</sup> COVRA “Uitbreiding opslaggebouw hoogradioactief afval geopend”(2022 年 5 月 19 日)  
<https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/uitbreiding-opslaggebouw-hoogradioactief-afval-geopend/>
- <sup>29</sup> COVRA “Ontwikkeling van het Multifunctioneel OpslagGebouw”(2024 年 12 月 18 日閲覧)  
<https://www.covra.nl/nl/project/ontwikkeling-van-het-multifunctioneel-opslaggebouw/>

- <sup>30</sup> オランダ政府 “Aandelen Dodewaard overgenomen door staat en overgedragen aan COVRA”(2024年12月12日)  
<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/12/12/aandelen-dodewaard-overgenomen-door-staat-en-overgedragen-aan-covra>
- <sup>31</sup> COVRA “COVRA wordt eigenaar van GKN”(2024年12月12日)  
<https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/covra-wordt-eigenaar-van-gkn/>
- <sup>32</sup> NRG トップページ (2025年1月31日閲覧)  
<https://www.nrg.eu/en>
- <sup>33</sup> NRG “BLACKSTONE Program: Life Time Extension for EDF” (2025年1月31日閲覧)  
<https://www.nrg.eu/en/stories/blackstone-program-life-time-extension-for-edf>
- <sup>34</sup> NRG “Nuclear fuel management” (2025年1月31日閲覧)  
<https://www.ensuringnuclearperformance.com/en/products/safe-operations/nuclear-fuel-management>
- <sup>35</sup> NRG “Kick-off of EU Conversion & PrepHALEU Project in Brussels” (2025年1月25日閲覧)  
<https://www.nrg.eu/en/news/kick-off-of-eu-conversion-prephaleu-project-in-brussels>
- <sup>36</sup> COVRA ” Beknopte evaluatie OPERA OnderzoeksProgramma Eindberging van Radioactief Afval”(2018年2月)  
<https://www.covra.nl/app/uploads/2024/04/Technopolis-Group-2018-Beknopte-evaluatie-OPERA-eindrapportage-1.pdf>
- <sup>37</sup> COVRA “Onderzoek eindberging” (2024年12月18日閲覧)  
<https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/onderzoek-eindberging/>
- <sup>38</sup> COVRA “LONG-TERM RESEARCH PROGRAMME Overall research programme and work programme for 2020-202” (2020年11月4日)  
<https://www.covra.nl/app/uploads/2020/11/2020-LTRProgramme-email.pdf>

## 3.10 日本

### 3.10.1 原子力・核燃料サイクル・燃料サプライチェーンの政策の概要

#### (1) 政策の経緯と今後の方針

日本では、原子力委員会が 1956 年に策定した原子力開発利用長期計画の時点で核燃料サイクルの確立を掲げている。原子力基本法の制定が 1955 年であるため、日本は原子力活用黎明期から核燃料サイクルを推進しているといえる。同計画は 2000 年にかけて計 9 回策定された後、2005 年には新たに原子力政策大綱が策定された。その後は原子力委員会の在り方が見直されたことから、原子力政策大綱の代わりに「原子力利用に関する基本的考え方」が策定・改定されている。いずれの政策文書においても、一貫して核燃料サイクルを推進する政策が採用されている。政策の経緯として、原子力政策大綱以降における核燃料サイクル等の位置づけを表 3.10-1 に整理する。

表 3.10-1 原子力政策大綱以降の核燃料サイクル等の位置づけ

決定時期	核燃料サイクル	再処理	プルトニウム利用
2005 年 (原子力政策大綱)	核燃料資源を合理的に達せできる限りにおいて有効に利用することを目指して、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム、ウラン等を有効利用することを基本的方針とする	<ul style="list-style-type: none"> <li>核燃料サイクルの自主性を確実にする等の観点から、再処理は国内で行うことを原則</li> <li>国は、再処理に係る積立て金に関する法律等の措置を講じてきているが、効果的な研究開発を推進、所要の経済的措置を整備すべき</li> <li>事業者には、六ヶ所再処理工場等の建設・運転を着実に実施、責任をもって核燃料サイクル事業を推進することを期待</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>当面、プルサーマルを着実に推進することとする</li> <li>国においては、国民や立地地域との相互理解を図るための広聴・広報への積極的な取組を行うなど、一層の努力が求められる</li> <li>事業者には、プルサーマルを計画的かつ着実に推進し、六ヶ所再処理工場の運転と歩調を合わせ、国内の MOX 燃料加工事業の整備を進めることを期待</li> </ul>
2017 年 (基本的考え方)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再処理施設の竣工、MOX 燃料加工工場の建設等を進めていくことが必要</li> <li>高速炉開発については、「もんじゅ」に係る経緯とその反省とともに、これまで得られた様々な技術的成果や知見を踏まえ、国として、電力自由化をはじめとする国内電力環境の変化等を勘案し、戦略的柔軟性を持たせつつ、商業化ビジネスとしての成立条件や目標を含めてその在り方や方向性を検討していく必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>再処理技術や MOX 燃料加工技術に関する能力を蓄積し、より成熟させていくために、ある程度の時間を必要とすると考えられる</li> <li>そうした国内での技術の蓄積・成熟動向を一つ一つ確認しながら進めていく必要がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平和利用を大前提に、核不拡散に貢献し国際的な理解を得ながら進めるため、利用目的のないプルトニウムは持たないという原則を引き続き堅持する</li> <li>プルトニウムの回収と利用のバランスに十分考慮しつつ、プルサーマルを通じてプルトニウムの適切な管理と利用を行う</li> </ul>
2023 年 (基本的考え方改定)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再処理施設の竣工、MOX 燃料加工工場の建設等を進めていくことが必要</li> <li>将来の高速炉を中心とした核燃料サイクルの実現に向けて、「もんじゅ」に係る今までの取組の経緯とその反省とともに、これまで得られた様々な技術的成果及び知見を活かし、国として、戦略的柔軟性を持たせつつ、商用炉建設に向けた実証炉の開発・建設の在り方や商業化ビ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規制当局による審査を厳格に進めつつも、迅速な対応が求められる</li> <li>我が国としては、再処理技術や MOX 燃料加工技術に関する能力を蓄積し、より成熟させていくために、ある程度の時間を必要とすると考えられる</li> <li>そうした国内での技術の蓄積・成熟動向を一つ一つ確認しつつ海外の技術動向も注視しながら、核燃料サイクルの対応を進めていく必要が</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平和利用を大前提に、核不拡散に貢献し国際的な理解を得ながら進めるため、利用目的のないプルトニウムは持たないという原則を引き続き堅持する</li> <li>再処理等の計画の認可にあたり、プルトニウムの回収と利用のバランスを十分に考慮しつつ、再処理等拠出金法の枠組みに基づく国の関与等によりプルトニウムの適切な管理と利用を行う</li> </ul>

	ジネスとしての成立条件及び目標を含めた方向性を検討するとともに、必要な研究開発や基盤インフラの整備等の取組を進める	ある ・プルサーマルを拡大していく中で、使用済 MOX 燃料の再処理技術の早期実用化のめどを立てることも必要となることから、官民が連携し、国際協力も活用しつつ、研究開発の取組を進めることが重要である	・原子力発電事業者によるプルサーマル計画の実現に向け、原子力発電事業者間の連携・協力を深めつつ、プルサーマルを一層推進する必要がある
--	---	--	--

出所)内閣府原子力政策担当室「原子力開発利用長期計画と原子力政策大綱」(2013 年)  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku\\_kaigi/dail/sankou3-2.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kaigi/dail/sankou3-2.pdf)、  
 原子力委員会「原子力利用に関する基本的考え方(案)」(2017 年 7 月 20 日)  
[https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu25/1-1\\_haifu.pdf](https://www.aec.go.jp/kaigi/teirei/2017/siryu25/1-1_haifu.pdf)、  
 原子力委員会「原子力利用に関する基本的考え方」(2023 年 2 月 20 日)  
<https://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/kettei230220.pdf> を基にエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

原子力政策に関しては、「エネルギー基本計画」において原子力発電をベースロード電源として位置づけ、活用する方針を一貫して掲げている。一方、原子力発電の推進に関しては 2011 年に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故の前後で方針が変化するとともに、2023 年に決定された「GX 実現に向けた基本方針」(GX 基本方針)の前後で再度方針が変化している。2010 年に策定された第 3 次エネルギー基本計画では、原子力発電の推進を明確に掲げ、2020 年までに 9 基の新增設を、2030 年までに 14 基以上の新增設を目標としていた<sup>1</sup>。一方、2014 年に策定された第 4 次エネルギー基本計画では、「震災前に描いてきたエネルギー戦略は白紙から見直し、原発依存度を可能な限り低減する」と記載されている<sup>2</sup>。その後、2022 年に発生したロシアによるウクライナ侵略を踏まえ、気候変動問題への対応とエネルギー安定供給の確保を両立した上で経済成長を実現するために策定された GX 基本方針では、原子力の活用として、エネルギー基本計画を踏まえた原子力の活用とともに、既存の原子力発電所を可能な限り活用するために運転期間の追加的な延長を認める方針が示された<sup>3</sup>。2025 年 2 月に閣議決定された第 7 次エネルギー基本計画では、「必要な規模を持続的に活用していく」、「次世代革新炉の開発・設置に取り組む」と記載されている<sup>4</sup>。

燃料サプライチェーンに関しては、2021 年に策定された第 6 次エネルギー基本計画では特に言及されていなかったものの<sup>5</sup>、第 7 次エネルギー基本計画では、「戦略的にウランの濃縮、燃料加工等に関する技術を維持する」、「一定程度の自律性を有する持続可能な燃料供給体制を確保するべく、官民で取組を進める」と記載されている<sup>4</sup>。これは後述する脱ロシアに向けた動きとして、政府が燃料サプライチェーンの確保に注力していることを反映したものと見える。

## (2) 官民の役割分担

日本の核燃料サイクル政策における政府の役割は、政策策定、事業環境整備、研究開発推進が挙げられる。それに対し、民間企業は核燃料サイクルの実施主体として、政策に沿った取組を進めている。したがって、日本の核燃料サイクル政策は、政府が方針を示すとともに事業者に対して必要な施策を講じ、民間企業が政府方針に基づいて実現しているといえる。

政府による政策策定では主に、原子力委員会が大枠を示し、経済産業省が具体的な政策を策定している。原子力委員会は、原子力政策に関する政府としての長期的な方向性を示すための理念的な羅針盤として、原子力利用に関する基本的考え方を策定している<sup>6</sup>。同文書では核燃料サイクルの取組として、再処理施設の竣工、MOX 燃料加工工場の建設等を進めていく必要性を示している。また、原子力委員会は「わが国におけるプルトニウム利用の基本的考え方」(2018 年決定)を策定しており、利用目的

のないプルトニウムは持たないという原則を堅持するための措置を講じている<sup>7</sup>。経済産業省は、エネルギー基本計画を策定するとともに、同計画に基づいて核燃料サイクルを含む各種原子力政策を進めている。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おいては、バックエンドプロセスの加速化として、核燃料サイクルの推進、円滑かつ着実な廃炉の推進、高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の抜本強化が掲げられている。なお、原子力委員会は、エネルギー基本計画における原子力利用について、原子力利用に関する基本的考え方等に基づいて見解を出している。また、経済産業省資源エネルギー庁は総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会(原子力小委)を設置し、エネルギー基本計画において示された原子力分野に関する方針を具体化すべく、必要な措置の在り方について検討している。原子力委員会と経済産業省に加え、内閣官房の下に設置されている原子力関係閣僚会議においても、原子力政策に関する重要事項について、関係行政機関の緊密な連携の下で総合的な検討が行われている。同会議が2023年4月に策定した「今後の原子力政策の方向性と行動指針」では、再処理・廃炉・最終処分プロセスの加速化として、再処理やプルサーマル等の核燃料サイクルの推進に向けた取組、廃炉の円滑化に向けた取組、最終処分の実現に向けた取組が掲げられている<sup>8</sup>。また、同会議は高速炉開発に関する「戦略ロードマップ」(2022年改訂)等も策定している<sup>9</sup>。

政府による事業環境整備では、認可法人である使用済燃料再処理・廃炉推進機構(NuRO)を通じて再処理・MOX燃料加工・廃炉推進を進めるとともに、特別法人である原子力発電環境整備機構(NUMO)を通じて地層処分の実現に取り組んでいる。これらの間接的な関与に加え、政府は核燃料サイクル政策を推進する上での立地自治体との調整も担っている。内閣府、文部科学省及び経済産業省が核燃料サイクル協議会を開催し、立地自治体である青森県と関係閣僚が意見交換を行っている。また、資源エネルギー庁が核燃料サイクル交付金を通じて立地地域振興にも取り組んでいる。

政府による研究開発推進では、経済産業省が高速炉開発実証事業といった補助金事業を通じて民間企業や研究機関による研究開発を支援している。また、文部科学省が所管する日本原子力研究開発機構(JAEA)は研究主体として核燃料サイクルを含む原子力分野の研究開発を進めている。

民間企業は核燃料サイクルにおいて、NUMOが実施主体となる最終処分を除く全工程の実施主体となっている。燃料製造は燃料メーカーが、ウラン調達及び使用済燃料管理は電気事業者が、再処理及びMOX燃料加工はNuROから委託を受けた日本原燃株式会社が、それぞれ実施主体となっている。これらの民間企業は政府が掲げる政策に基づき、核燃料サイクルにおける各工程の実務を担っている。

### 3.10.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシアに向けた動き

日本は2023年4月に札幌市で開催されたG7の気候・エネルギー・環境大臣会合において閣僚共同声明を採択した「札幌ファイブ」<sup>a</sup>の一員として、燃料サプライチェーンにおけるロシア依存度を低減させる方針を示している。2023年12月に発表された「札幌ファイブ宣言」では、5カ国でウラン濃縮・転換に対して今後3年間で少なくとも42億ドルを投資すること等が宣言されている<sup>10</sup>。なお、日本のウラン購入契約状況として、2014年3月時点での主要相手国はカナダ、英国、南アフリカ、オーストラリア、フランス、米国、ニジェール、カザフスタンであり、ロシアは含まれていない<sup>11</sup>。

2024年2月には「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律」(経

<sup>a</sup> カナダ、フランス、日本、英国、米国の5カ国

済安全保障推進法)で指定される特定重要物資の重要鉱物にウランが追加された<sup>12</sup>。これにより、ウランの安定供給確保に取り組む民間事業者等を国が支援し、サプライチェーンの強靱化を図る体制を構築している。具体的な取組として、2024年12月には、日本原燃のウラン濃縮工場における供給確保計画が認定を受けた<sup>13</sup>。この認定に基づき、政府は日本原燃の濃縮ウラン生産規模拡大に対して5年間で約100億円を支援する計画である。

### 3.10.3 使用済燃料の処理・処分、回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

#### (1) 使用済燃料の処理・処分

##### 1) 概要

日本は使用済燃料を再処理する方針であり、再処理に伴って生じる高レベル放射性廃棄物は地層処分する方針である。使用済燃料は各原子力発電所の使用済燃料プールで冷却された後、再処理されるまでの間、発電所敷地内あるいは中間貯蔵施設で中間貯蔵される。その後、再処理によって使用済燃料はウラン・プルトニウムと高レベル放射性廃液に分離される。高レベル放射性廃液はガラス固化され、地層処分されるまでの間、ガラス固化体として冷却・貯蔵される。

再処理に関しては、民間企業である日本原燃が青森県六ヶ所村に再処理工場を建設中である。また、2007年まではJAEAの東海再処理施設が研究施設として再処理を実施していた。一方、2025年時点では国内に再処理施設が存在しないため、日本の電気事業者はフランスのOrano社に再処理を委託している。なお、過去には英国にも再処理を委託していた。

東海再処理施設で生じた高レベル放射性廃液はJAEAのガラス固化技術開発施設(TVF)でガラス固化され、保管されている。フランス及び英国に委託した再処理に伴う高レベル放射性廃液は、当該国でガラス固化され、日本にガラス固化体の状態で返還される。返還されたガラス固化体は日本原燃の高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに貯蔵されている。なお、六ヶ所再処理工場で生じる高レベル放射性廃液は、再処理工場内でガラス固化されることになる。

ガラス固化体の最終処分に関しては、特別法人であるNUMOが実施主体として地層処分場の選定を進めている。また、公益財団法人である原子力環境整備促進・資金管理センター(原環センター)が高レベル放射性廃棄物を含む放射性廃棄物の調査研究と最終処分資金管理を担っている。

##### 2) 処理・処分の実績

日本国内における再処理の実績は、東海再処理施設によるものと六ヶ所再処理工場におけるアクティブ試験によるものがある。日本における再処理の実績を表3.10-2に示す<sup>14, 15</sup>。

表 3.10-2 日本における再処理実績

施設名	所有者	再処理量
東海再処理施設	JAEA	約 1,140t*
六ヶ所再処理工場	日本原燃	約 425tU

※使用済燃料の重量

## (2) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方針・実績

### 1) 利用方針

電力会社は核燃料物質の取得計画において、回収ウラン<sup>b</sup>を用いる計画を示している<sup>16</sup>。将来的に国内で発生する回収ウランの利用に関する明確な方針は決まっていないが、第 7 次エネルギー基本計画では六ヶ所再処理工場で回収されるウランの利用について言及されており<sup>4</sup>、将来的に利用が検討されていくものと考えられる。一方、劣化ウランの利用に関する明確な方針は存在しない。

プルトニウムに関しては MOX 燃料として再利用する方針である。日本では高速炉開発が進められているものの、エネルギー基本計画では軽水炉における MOX 燃料利用(プルサーマル)を着実に進める方針としている<sup>4</sup>。なお、新型転換炉「ふげん」(重水減速沸騰軽水冷却型炉)は、プルトニウムを回収ウラン、劣化ウラン、天然ウランに混合した燃料を使用することが可能であった<sup>17</sup>。

### 2) 実績

回収ウランの利用実績として、1995 年までに回収ウラン 46t を軽水炉燃料として活用した実績が存在する<sup>18</sup>。このうち、48 体の回収ウラン燃料が東海再処理施設で発生した回収ウランを、52 体の回収ウラン燃料が海外の再処理施設で発生した回収ウランを用いている。また、新型転換炉「ふげん」の燃料としても 8t の回収ウランが活用されている。これらに加え、2005 年には東北電力株式会社が東海再処理施設で発生した回収ウランを用いた燃料 106 体を使用している<sup>19</sup>。これらの回収ウランは、天然ウランと同様に濃縮して燃料に用いられる。なお、2009 年度から 2010 年度にかけて、総額 1.81 億円の回収ウラン利用技術開発委託費に係る事業が、三菱マテリアル株式会社によって実施されている<sup>20</sup>。

劣化ウランの利用実績は確認されておらず、JAEA と日本原燃において貯蔵されているとみられる。一方、JAEA では劣化ウランを蓄電池に活用する研究を進めている<sup>21</sup>。

プルトニウムに関しては、プルサーマルに加え、研究炉における MOX 燃料としての利用実績がある(表 3.10-3)。また、電気事業連合会が 2024 年に公表したプルトニウム利用計画では、2024 年度と 2025 年度は 0.0tPut、2026 年度は 0.7tPut を関西電力株式会社高浜発電所 3 号機・4 号機でのプルサーマルで消費する見込みとしている<sup>22</sup>。電気事業連合会は 2030 年度までに少なくとも 12 基でプルサーマルを実施することを目指している。

表 3.10-3 日本におけるプルトニウムの利用実績(2022 年度末時点)

種別	組織名	原子炉名	初装荷	累積装荷体数
研究炉	JAEA	ふげん	1981 年	772
BWR	東京電力	福島第一 3 号機	2010 年	32
PWR	関西電力	高浜 3 号機	2010 年	44
		高浜 4 号機	2016 年	36
	四国電力	伊方 3 号機	2010 年	21

<sup>b</sup> 回収ウランの調達元は明記されていないが、フランスの再処理で発生した回収ウランだと考えられる

	九州電力	玄海3号機	2009年	36
			合計	941

※上記に加え、敦賀発電所や美浜発電所において少量のMOX燃料を用いた実証が行われている  
出所)日本原子力文化財団「世界のMOX利用の現状」(2024年4月23日更新)を基にエム・アール・アイ リサーチ  
アソシエイツ作成

### 3.10.4 他国からのウラン資源、転換、濃縮調達状況

電気事業者が原子力規制委員会に提出した核燃料物質の取得計画を記載した書類に基づき、主な調達状況を表 3.10-4 に示す<sup>16, 23, 24</sup>。米国とフランスからの調達が主である。

表 3.10-4 日本におけるウラン資源の調達状況

企業	提出日	ウラン資源	転換役務	濃縮役務
関西電力	2024年 8月23日	フランス Orano Mining 社等	米国 ConverDyn 社、 フランス Orano CE 社等	フランス OranoCE 社、 日本原燃等
九州電力	2023年 1月13日	カナダ Cameco 社、 フランス Orano CE 社等	米国 ConverDyn 社、 フランス Orano CE 社等	フランス OranoCE 等
中国電力	2024年 7月31日	不明	フランス Orano CE 社等	米国 Centrus 社、 フランス Orano CE 社、 日本原燃等

出所)各社申請資料を基にエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

### 3.10.5 原子力・核燃料サイクル関連施設、事業主体(企業情報等)

#### (1) ウラン採掘・製錬

日本にはウラン採掘・製錬を行う事業主体は存在しないが、海外におけるウラン権益の確保や、採掘プロジェクトへの参画が進められている。また、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)が海外ウラン探鉱支援事業において、日本企業が海外において外国法人と協働でウラン探鉱を行う場合に調査費の最大50%を助成している<sup>25</sup>。なお、過去にJAEAの人形峠環境技術センター(当時は原子燃料公社人形峠出張所を経て動力炉・核燃料開発事業団人形峠鉱業所<sup>26</sup>、以下同)において天然ウランの採掘が実施され、約85tが掘削された<sup>27</sup>。また、過去にはJAEAの人形峠環境技術センターと東海事業所(当時は原子燃料公社東海製錬所<sup>28</sup>)においてウラン製錬の技術開発及び実証が行われていた<sup>29</sup>。

#### (2) 転換

日本にはウラン転換を行う事業主体は存在しないが、フランスで転換事業を行っているOrano社に対し、三菱重工業株式会社と日本原燃がそれぞれ5%ずつ出資している<sup>30,31</sup>。なお、過去にはJAEAの人形峠環境技術センターでウラン転換の技術開発及び実証が行われていた<sup>29</sup>。

### (3) 濃縮

日本では日本原燃が濃縮事業を行っている。

施設	
施設名称	ウラン濃縮工場
施設概要	六フッ化ウラン(UF <sub>6</sub> )の濃縮を行う
技術	遠心分離法
能力	450tSWU/年
稼働状況	稼働中(150tSWU/年)
稼働実績	1992年稼働開始 累積出荷量 1,702t(2024年4月25日時点) <sup>14</sup>
役務取引 取組方針	海外からの濃縮役務は受けていないと見られる 2024年度は出荷予定なし <sup>14</sup> 150tSWU/年のうち、75tSWU/年は2023年8月に運転を再開し、2024年7月から濃縮ウランの生産を再開。残る75tSWU/年は2024年7月に運転を再開し、生産再開に向けて準備中 <sup>32</sup>
事業主体	
事業者名称	日本原燃株式会社
事業者概要	日本唯一の濃縮施設を有するとともに、再処理事業・MOX燃料加工事業・放射性廃棄物管理事業も行う
資本関係	株主:原子力発電事業者10社、その他74社
政府との関係	経済安全保障推進法に基づく認定供給確保計画により、2024年から5年間で約100億円の政府支援を受ける見通し <sup>33</sup>
今後の方針・戦略	許可規模450tSWU/年を最終的には1,500tSWU/年に拡大する方針 <sup>34</sup>

### (4) 再転換

日本では三菱原子燃料株式会社が再転換事業を行っている。

施設	
施設名称	東海工場
施設概要	濃縮六フッ化ウラン(UF <sub>6</sub> )を二酸化ウラン粉末に再転換する
技術	湿式再転換
能力	475tU/年
稼働状況	稼働中
稼働実績	1972年稼働開始(MNF 東海製作所)
役務取引 取組方針	海外からの再転換役務は受けていない模様 再転換したUO <sub>2</sub> 粉末は自社で燃料に加工している
事業主体	
事業者名称	三菱原子燃料株式会社(MNF)

事業者概要	日本唯一の再転換施設を有するとともに、PWR 燃料加工・炉心構成品製造事業も行う。
資本関係	株主：三菱重工業株式会社
政府との関係	特になし

## (5) 再処理

日本では日本原燃が再処理工場を建設しており、2026 年度中の竣工を計画している<sup>35</sup>。また、過去には再処理技術の研究開発として国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が東海再処理施設を運転していた。

施設	
施設名称	六ヶ所再処理工場
施設概要	国内で発生した使用済燃料を再処理し、ウラン酸化物とウラン・プルトニウム酸化物を製造
技術	PULEX 法
能力	800tU/年
稼働状況	建設中
稼働実績	アクティブ試験により 425tU を再処理
役務取引 取組方針	ウラン・プルトニウム酸化物は自社で MOX 燃料に加工
事業主体	
事業者名称	日本原燃株式会社
事業者概要	日本唯一の濃縮施設を有するとともに、再処理事業・MOX 燃料加工事業・放射性廃棄物管理事業も行う。
資本関係	株主：原子力発電事業者 10 社、その他 74 社
政府との関係	NuRO から再処理事業の委託を受けている
今後の方針・戦略	2026 年度中の操業を計画

## (6) 燃料加工(MOX 含む)

### 1) 燃料加工の全体動向

日本には軽水炉燃料メーカーが 3 社存在する。2013 年に導入された新規制基準により、燃料加工施設においても新規制基準への適合が求められることになったが、5 年間の経過措置期間が存在したため、各社は 2017 年～2018 年まで操業できる状況にあった。2018 年以降は、全施設が操業を停止し、新規制基準に適合した施設から操業を再開している。2025 年 2 月時点で日本において操業している燃料加工施設は 2 つであり、いずれも PWR 燃料加工施設である。

日本では 2013 年 9 月に大飯発電所 3・4 号機が運転を停止してから、2015 年 9 月に川内原子力発電所 1 号機が再稼働するまでの間、全ての原子力発電所が運転を停止していた。また、2024 年 11 月に女川原子力発電所 2 号機が再稼働するまで全ての BWR が運転を停止していた。さらに、2012

年以降に 21 基(内 BWR13 基、PWR8 基)の原子炉が廃止を決定した。これらの背景により、日本では東京電力福島第一原子力発電所事故以降の燃料需要が大幅に減少しており、特に BWR 燃料に関しては需要の見通しが得られない状況であった。

これらの状況により、いずれの燃料加工施設においても以前より生産量を下げた操業・操業計画となっている。なお、日本の燃料メーカーは基本的に国内向けに製造しており、海外への輸出事例は以前からほとんどない。特に BWR 燃料加工施設に関しては、2025 年 2 月時点で全て操業を停止しており、技術力や施設の維持が課題となっている。第 7 次エネルギー基本計画では、燃料サプライチェーンについて、「戦略的にウランの濃縮、燃料加工等に関する技術を維持する」、「一定程度の自律性を有する持続可能な燃料供給体制を確保するべく、官民で取組を進める」としており、燃料加工分野においても国として進めていく方針が示されている。

MOX 燃料に関しては日本原燃が MOX 燃料工場の建設を進めており、2027 年度中の竣工を計画している<sup>35</sup>。なお、過去には JAEA が「ふげん」及び「もんじゅ」用の MOX 燃料の製造を行っていた。

## 2) 燃料部品製造

燃料サプライチェーンの概観を図 3.10-1 に示す。燃料棒の主要部品として、燃料ペレット、スプリング、被覆管が存在し、燃料棒集合体の主要部品として支持格子、上下ノズル、チャンネルボックス(BWR)、タイプレート(BWR)、制御棒案内シングル管(PWR)などが存在する。このうち、被覆管に関しては国内メーカーが存在しない。以前は株式会社神戸製鋼所と住友金属工業株式会社の折半出資子会社である株式会社ジルコプロダクツが被覆管を製造していたが、同社は 2017 年に廃業した。

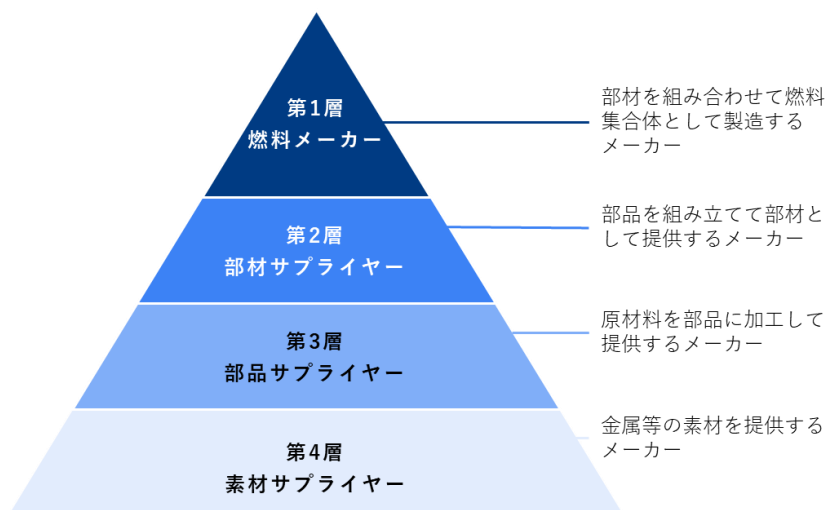


図 3.10-1 燃料サプライチェーンの概観

## 3) 燃料加工メーカー3社の詳細情報

施設	
施設名称	東海工場
施設概要	同施設で再転換した二酸化ウラン粉末をペレットに加工した上で、

		燃料棒集合体を製造する
	能力	440tU/年
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	1972年稼働開始(MNF 東海製作所)
	役務取引 取組方針	国内 PWR 電気事業者各社に納入している
事業主体		
	事業者名称	三菱原子燃料株式会社(MNF)
	事業者概要	日本唯一の再転換施設を有するとともに、PWR 燃料加工・炉心構成 成品製造事業も行う
	資本関係	株主:三菱重工業株式会社
	政府との関係	特になし

施設		
	施設名称	久里浜工場
	施設概要	二酸化ウラン粉末をペレットに加工した上で、燃料棒集合体を製造 する
	能力	750tU/年
	稼働状況	停止中
	稼働実績	1970年9月竣工 2010年6月燃料体製造8万体制成 2017年4月新規規制基準加工事業変更許可取得
	役務取引 取組方針	国内 BWR 電気事業者各社に納入している
事業主体		
	事業者名称	グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン株式会社(GNF-J)
	事業者概要	BWR 燃料加工、MOX 燃料設計・部材供給を行う
	資本関係	株主:グローバル・ニュークリア・フュエル
	政府との関係	特になし

施設		
	施設名称	熊取事業所
	施設概要	二酸化ウラン粉末をペレットに加工した上で、PWR 燃料棒集合体 を製造する
	能力	383tU/年
	稼働状況	稼働中
	稼働実績	2023年12月生産再開
	役務取引	国内 PWR 電気事業者各社に納入している

	取組方針	
施設		
	施設名称	東海事業所
	施設概要	二酸化ウラン粉末をペレットに加工した上で、BWR 燃料棒集合体を製造する
	能力	250tU/年
	稼働状況	停止中
	稼働実績	
	役務取引 取組方針	国内 BWR 電気事業者各社に納入している
事業主体		
	事業者名称	原子燃料工業株式会社(NFI)
	事業者概要	BWR 燃料加工、PWR 燃料加工を行う
	資本関係	株主:東芝エネルギーシステムズ株式会社
	政府との関係	特になし

## (7) 燃料輸送

燃料輸入に伴う海上輸送を請け負う日本企業はイースタン・カーライナー株式会社しか存在しない<sup>36</sup>。輸入された天然 UF<sub>6</sub> を港湾から濃縮工場まで陸上輸送する役務は原燃輸送が担っている<sup>37</sup>。新燃料は燃料加工メーカーによって各社の工場から原子力発電所まで輸送されている。燃料輸送において海上輸送を行う必要がある場合は、船会社から船舶をリースしている<sup>38</sup>。日本における燃料輸送のフローを図 3.10-2 に示す。

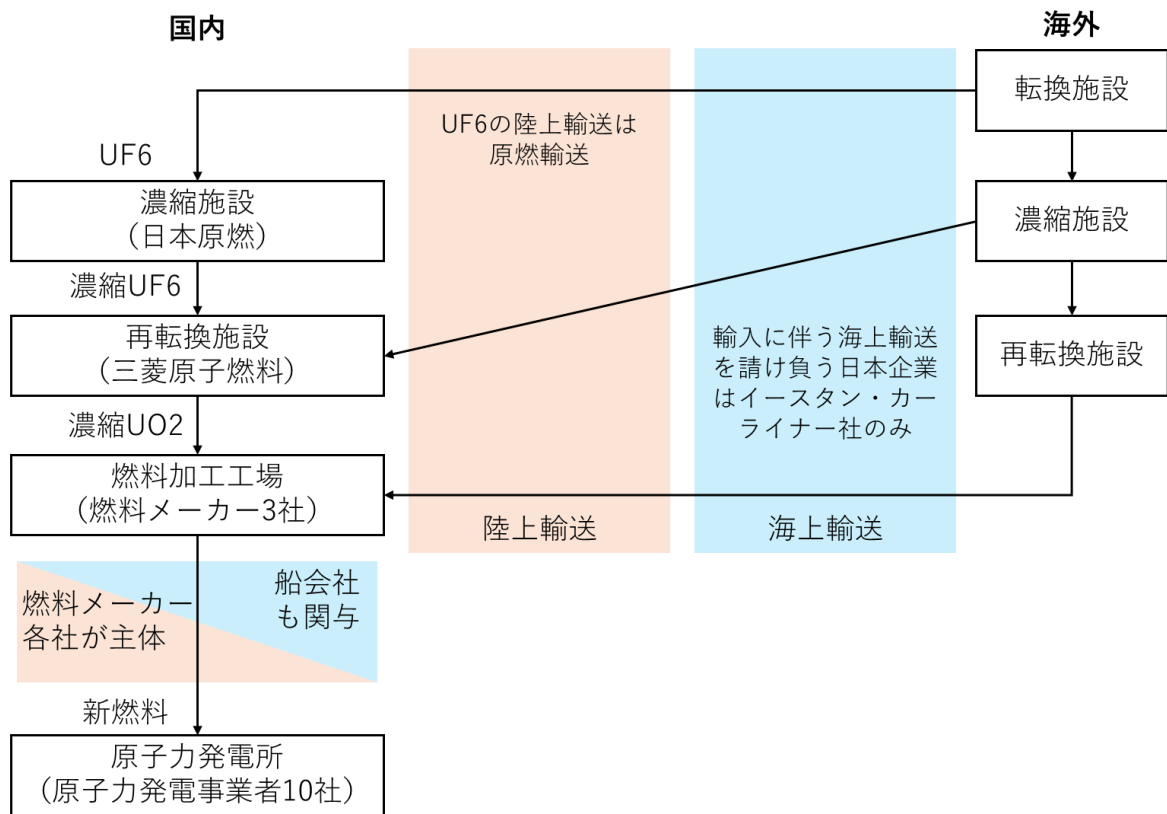


図 3.10-2 日本における燃料輸送のフロー

出所)各種情報に基づきエム・アール・アイ リサーチアソシエイツ作成

## (8) 使用済燃料貯蔵

日本では各原子力発電所サイト、中間貯蔵施設、再処理施設において使用済燃料が貯蔵されている。

施設	
施設名称	リサイクル燃料備蓄センター
施設概要	東京電力及び日本原電の原子力発電所から発生した使用済燃料の中間貯蔵を実施(最長50年) <sup>39</sup>
技術	金属キャスク
能力	5,000t(最終)
稼働状況	稼働中
稼働実績	2024年に操業開始
役務取引 取組方針	第1棟(貯蔵能力 3,000t)が完成しており、第2棟の建設を目指す)
事業主体	
事業者名称	リサイクル燃料貯蔵株式会社(RFS)
事業者概要	東京電力及び日本原電が発電所サイトの使用済燃料貯蔵容量がひっ迫することから、サイト外中間貯蔵を行うために共同出資して設立
資本関係	株主:東京電力HD(80%)、日本原子力発電(20%)

政府との関係	特になし
今後の方針・戦略	不明

施設	
施設名称	使用済燃料受け入れ・貯蔵施設
施設概要	再処理前の使用済燃料を貯蔵する施設
技術	湿式貯蔵
能力	3,000tU <sup>14</sup>
稼働状況	稼働中
稼働実績	1999年稼働開始 累計受入量 3,393tU <sup>c</sup> (2024年12月末時点)
役務取引 取組方針	在庫量は 2,968tU <sup>d</sup> (2024年12月末時点)であり、設備利用率が約 99%となっている
事業主体	
事業者名称	日本原燃株式会社
事業者概要	日本唯一の濃縮施設を有するとともに、再処理事業・MOX燃料加工事業・放射性廃棄物管理事業も行う
資本関係	株主:原子力発電事業者 10社、その他 74社
政府との関係	特になし
今後の方針・戦略	不明

## (9) 放射性廃棄物

日本では日本原燃が低レベル放射性廃棄物処分事業を行っている。また、トレンチ処分に関しては各原子力発電所サイトにおいて電気事業者が実施する計画となっており、日本原子力発電株式会社が実施している。

高レベル放射性廃棄物に関しては、フランスと英国への再処理委託に伴って発生した返還ガラス固化体、東海再処理施設でガラス固化されたガラス固化体、六ヶ所再処理工場のアクティブ試験に伴って発生したガラス固化体の 3 種類が存在する。1 種類目は日本原燃の高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターで、2 種類目は東海再処理施設内で、3 種類目は六ヶ所再処理工場で貯蔵されている。

施設	
施設名称	高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
施設概要	海外(フランス・英国)での再処理委託に伴い発生した返還ガラス固化体を貯蔵する施設
技術	キャニスターを貯蔵ピットで貯蔵
能力	2,880体 <sup>14</sup>
稼働状況	稼働中

<sup>c</sup> 使用済燃料 13,771 体分

<sup>d</sup> 使用済燃料 12,069 体分

稼働実績	1999年稼働開始 貯蔵量 1,830 体(2024年12月末時点) <sup>40</sup>
役務取引 取組方針	約累計 2,200 体の返還ガラス固化体を貯蔵する予定 フランスからの受け入れ(1,310 体)は完了
事業主体	
事業者名称	日本原燃株式会社
事業者概要	日本唯一の濃縮施設を有するとともに、再処理事業・MOX 燃料加工事業・放射性廃棄物管理事業も行う
資本関係	株主：原子力発電事業者 10 社、その他 74 社
政府との関係	特になし
今後の方針・戦略	不明

### (10) 回収ウラン・劣化ウランの取扱等

日本には、東海再処理施設での再処理及び六ヶ所再処理工場でのアクティブ試験に伴って発生した回収ウランが存在する。後者は約 366tU である<sup>41</sup>。日本では 2025 年時点で操業している再処理施設が存在しないことから、新たな回収ウランが生じることはない。

劣化ウランは日本原燃の濃縮によって生じる。日本原燃は 2024 年 9 月末時点で 1,138 本(シリンダ本数)の劣化 UF<sub>6</sub> を保管している<sup>42</sup>。

## 3.10.6 原子力・核燃料サイクル関連の研究開発動向

### (1) 原子力・核燃料サイクル

日本では主に JAEA の核燃料サイクル工学研究所並びに、原子力科学研究所の安全研究センター及び原子力基礎工学研究センターが核燃料サイクルに関する研究開発を進めている。核燃料サイクル工学研究所では、MOX 燃料技術開発部と BE 資源・処分システム開発部が核燃料サイクルに関する研究を実施している。MOX 燃料技術開発部では、高速炉用 MOX 燃料の性能及び経済性を向上させるための研究や、日本原燃の MOX 燃料加工事業に関する技術協力を進めている<sup>43</sup>。BE 資源・処分システム開発部では、使用済燃料等を用いた核燃料サイクルのプロセスや機器に関する技術開発を行っている<sup>44</sup>。安全研究センターでは、燃料安全研究グループが事故耐性燃料に関する基礎的な研究を進めている<sup>45</sup>。原子力基礎研究センターでは、原子力基盤技術開発グループ、燃料高温科学研究グループ、原子力化学研究グループが核燃料・再処理に関する研究を実施している<sup>46</sup>。原子力基盤技術開発グループでは、再処理分野において、使用済燃料からプルトニウム、マイナーアクチノイド、核分裂生成物を分離する新規抽出材の開発や、それらを用いた分離プロセスの開発を進めている<sup>47</sup>。燃料高温科学研究グループでは、核変換分野において、窒化物燃料製造技術の開発、乾式再処理技術の開発、核変換における物性データベースの構築や挙動の解析を進めている<sup>48</sup>。原子力化学研究グループでは、再処理分野における高レベル放射性廃液について、アメリカウム分離に関する化学結合解析や分離剤の開発を進めている<sup>49</sup>。

民間企業では一般社団法人新金属協会において燃料メーカー 3 社が共同で事故耐性燃料に関する

研究開発等を行っている。

## (2) 革新炉開発における核燃料サイクル

日本では JAEA の大洗原子力工学研究所が高速炉及び高温ガス炉の研究開発を行っており、その一環として革新炉開発における核燃料サイクルに関しても研究を行っている。高速炉に関しては実験炉「常陽」を、高温ガス炉に関しては研究炉「HTTR」を保有しており、それらの燃料に関する取扱い実績も有する。JAEA は資源エネルギー庁が実施する高速炉実証プロジェクト及び高温ガス炉実証プロジェクトの研究開発統合機能を担っており、高速炉燃料に関しては2026年度までに具体的な検討を行い、2027年度には実証炉燃料製造施設の設計・研究開発に着手する計画としている。また、高温ガス炉燃料に関しては、HTTR 燃料製造設備を整備するとともに、英国の NNL とともに同国の高温ガス炉燃料開発プログラムに参画している<sup>50</sup>。

民間企業においては革新炉開発における核燃料サイクルに向けた取組は確認できていない。これは、国内燃料メーカー3社が取得している許認可で取り扱えるウラン濃縮度は5%以下であることによると考えられる。なお、NFI はかつて HTTR 向け燃料を製造していたが、高温ガス炉燃料製造施設の使用許可を変更したことから、製造できない状況となっている<sup>51</sup>。

## (3) 放射性廃棄物管理

日本では JAEA 及び原環センターが中心となって放射性廃棄物管理に関する研究開発を進めている。

JAEA では安全研究センターの廃棄物・環境安全研究グループ、BE 資源・処理システム開発部、大洗原子力工学研究所の廃棄物管理施設、幌延深地層研究センターが放射性廃棄物管理に関する研究開発を行っている。廃棄物・環境安全グループでは、浅地中処分以深の処分方法における天然バリアに関する科学的・技術的知見の整備、人工バリアの性質、地中における核種移行などについて研究を進めている<sup>52</sup>。BE 資源・処理システム開発部では、ウラン廃棄物の処理技術・減容技術の開発を行っている<sup>53</sup>。また、焼却設備・不燃物処理設備・廃棄体保管設備を備える東海固体廃棄物廃棄体化施設の設計を進めている。廃棄物管理施設では、JAEA の試験炉や他組織の研究によって生じた低レベル放射性廃棄物を処理・管理するとともに、浅地中処分に向けた放射性濃度に関する廃棄物データの収集を行っている。また、固体廃棄物減容処理施設の試運転を進めている<sup>54</sup>。幌延深地層研究センターでは、地層処分技術の信頼性向上に向けた工学技術の検証や性能確認試験、安全評価手法の高度化を進めている<sup>55</sup>。

原環センターでは、高レベル放射性廃棄物、TRU 廃棄物、低レベル放射性廃棄物の処分技術に関する調査研究を行っている<sup>56,57</sup>。

## 参考文献

- <sup>1</sup> 「エネルギー基本計画」(2010年6月)  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/100618honbun.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/100618honbun.pdf)
- <sup>2</sup> 「エネルギー基本計画」(2014年4月)  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/140411.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf)
- <sup>3</sup> 「GX 実現に向けた基本方針 ～今後10年を見据えたロードマップ～」(2023年2月)  
[https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002\\_1.pdf](https://www.meti.go.jp/press/2022/02/20230210002/20230210002_1.pdf)
- <sup>4</sup> 「エネルギー基本計画」(2025年2月)  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/20250218\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf)
- <sup>5</sup> 「エネルギー基本計画」(2021年10月)  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf>
- <sup>6</sup> 内閣府ウェブサイト「『原子力利用に関する基本的考え方』の改定について」(2023年3月8日)  
[https://www.cao.go.jp/press/new\\_wave/20230308.html](https://www.cao.go.jp/press/new_wave/20230308.html)
- <sup>7</sup> 原子力委員会「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」(2018年7月31日)  
<https://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/3-2set.pdf>
- <sup>8</sup> 原子力関係閣僚会議「今後の原子力政策の方向性と行動指針」(2023年4月28日)  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku\\_kakuryo\\_kaigi/pdf/r510418\\_siryou.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/pdf/r510418_siryou.pdf)
- <sup>9</sup> 原子力関係閣僚会議「戦略ロードマップ」(2022年12月23日)  
[https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku\\_kakuryo\\_kaigi/pdf/r41223\\_siryou.pdf](https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/genshiryoku_kakuryo_kaigi/pdf/r41223_siryou.pdf)
- <sup>10</sup> 経済産業省ウェブサイト「吉田経済産業大臣政務官がCOP28(国連気候変動枠組条約第28回締約国会議)に出席しました」(2023年12月8日)  
<https://www.meti.go.jp/press/2023/12/20231208006/20231208006.html>
- <sup>11</sup> エネ百科「原子力発電の燃料となるウランは日本にもあるの？」(2024年4月10日)  
<https://www.ene100.jp/column/1589>
- <sup>12</sup> 内閣府ウェブサイト「サプライチェーン強靱化の取組(重要物資の安定的な供給の確保に関する制度)」(2025年1月22日閲覧)  
[https://www.cao.go.jp/keizai\\_anzen\\_hosho/suishinhou/supply\\_chain/supply\\_chain.html](https://www.cao.go.jp/keizai_anzen_hosho/suishinhou/supply_chain/supply_chain.html)
- <sup>13</sup> 経済産業省ウェブサイト「重要鉱物」(2025年1月22日閲覧)  
[https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic\\_security/metal/index.html](https://www.meti.go.jp/policy/economy/economic_security/metal/index.html)
- <sup>14</sup> 日本原燃株「原子燃料サイクル事業の現状」(2024年4月25日)  
<https://www.jnfl.co.jp/ja/release/president-talk/2024/file/20240425-1-2.pdf>
- <sup>15</sup> JAEA「東海再処理施設の概要」(2023年1月26日)  
<https://www2.nra.go.jp/data/000419178.pdf>
- <sup>16</sup> 関西電力「美浜発電所発電用原子炉設置変更許可申請書(3号発電用原子炉施設の変更)の補正について(関原発第269号)」(2024年8月23日)  
<https://www.da.nra.go.jp/view/NRA100004649?contents=NRA100004649-003-001#pdf=NRA100004649-003-001>
- <sup>17</sup> JAEA ウェブサイト「ふげんのしくみ」(2025年1月23日閲覧)  
<https://www.jaea.go.jp/04/fugen/about/system/>
- <sup>18</sup> ATOMICA「回収ウランの利用」(2009年2月)  
[https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat\\_detail\\_04-06-02-07.html](https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_04-06-02-07.html)
- <sup>19</sup> 東北電力ウェブサイト「女川原子力発電所3号機の第3回取替燃料輸送について」(2005年6月15日)

- <https://www.tohoku-epco.co.jp/whats/news/2005/50615a1.htm>
- 20 第1回核燃料サイクルに係る技術に関する施策・事業評価検討会 資料5-B(2015年1月26日)  
[https://www.meti.go.jp/policy/tech\\_evaluation/c00/C0000000H26/150126\\_saikuru/saikuru\\_siryoku5b.pdf](https://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H26/150126_saikuru/saikuru_siryoku5b.pdf)
- 21 菅原隆徳「放射性廃棄物を資源に変える技術革新-持続可能な原子力利用への鍵-」(2023年11月15日、第18回原子力機構報告会)  
<https://www.jaea.go.jp/jaea-houkokoku18/>
- 22 電気事業連合会「プルトニウム利用計画」(2024年2月16日)  
[https://www.fepec.or.jp/pr/news/oshirase/\\_icsFiles/afieldfile/2024/02/16/pres\\_s\\_20240216-2.pdf](https://www.fepec.or.jp/pr/news/oshirase/_icsFiles/afieldfile/2024/02/16/pres_s_20240216-2.pdf)
- 23 九州電力「玄海原子力発電所の発電用原子炉の設置変更(3号及び4号発電用原子炉施設の変更)に係る実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第3条第2項第4号発電用原子炉の運転に要する核燃料物質の取得計画について」(2023年1月13日)  
<https://www2.nra.go.jp/data/000417889.pdf>
- 24 中国電力「島根原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書(2号発電用原子炉施設の変更)本文及び添付書類の一部補正について(電安炉技第6号)(2/4)」(2024年7月31日)  
<https://www.da.nra.go.jp/view/NRA100004144?contents=NRA100004144-003-001#pdf=NRA100004144-003-002>
- 25 JOGMEC ウェブサイト「海外ウラン探鉱支援事業」(2025年1月22日閲覧)  
[https://www.jogmec.go.jp/metal/field\\_surveys\\_012.html](https://www.jogmec.go.jp/metal/field_surveys_012.html)
- 26 JAEA 人形峠環境技術センターウェブサイト「人形峠のあゆみ」(2025年1月23日閲覧)  
<https://www.jaea.go.jp/04/zningyo/profile1008.html>
- 27 JAEA 人形峠環境技術センター「人形峠環境技術センターからのお知らせ(vol.6)【ウラン編】」  
<https://www.jaea.go.jp/04/zningyo/osirase6.pdf>
- 28 JAEA 核燃料サイクル工学研究所ウェブサイト「沿革」(2025年1月23日閲覧)  
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/summary/history.html>
- 29 JAEA 人形峠環境技術センターウェブサイト「主な施設」(2025年1月23日閲覧)  
<https://www.jaea.go.jp/04/zningyo/profile1007.html>
- 30 三菱重工ウェブサイト「仏 Orano 社(旧称 New AREVA Holding 社)への出資を完了 日仏原子力産業のさらなる連携強化を目指す」(2018年2月27日)  
<https://www.mhi.com/jp/news/1802275928.html>
- 31 日本原燃ウェブサイト「Orano(旧称ニュー・アレバ・ホールディング)への出資完了について」(2018年2月27日)  
<https://www.jnfl.co.jp/ja/release/topics/2017/detail/20180227-1.html>
- 32 日本原燃「六ヶ所ウラン濃縮工場に係る定期報告書(令和6年12月及び令和6年度第3四半期報告)」(2025年1月30日)  
[https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public\\_archive/safety-agreement-report/file/202412-uran.pdf](https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public_archive/safety-agreement-report/file/202412-uran.pdf)
- 33 日本原燃ウェブサイト「六ヶ所ウラン濃縮工場における供給確保計画の認定について」(2024年12月23日)  
<https://www.jnfl.co.jp/ja/release/press/2024/detail/20241223-1.html>
- 34 日本原燃ウェブサイト「濃縮事業の概要」(2025年1月23日閲覧)  
<https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/uran/summary/>
- 35 日本原燃ウェブサイト「臨時会見社長挨拶概要」(2024年8月29日)  
<https://www.jnfl.co.jp/ja/release/president-talk/2024/202408.html>
- 36 JAEA「令和2年度原子力規制庁委託成果報告書 東京電力福島第一原子力発電所 燃料デブリの臨界評価手法の整備」(2022年3月)  
<https://www.nra.go.jp/data/000404651.pdf>
- 37 原燃輸送ウェブサイト「天然六フッ化ウラン」(2025年2月7日閲覧)

- <https://www.nft.co.jp/outline/outline4.html>
- 38 九州電力「玄海原子力発電所 2023 年第 2 回ウラン新燃料輸送計画書」(2023 年 12 月)  
[https://www.pref.saga.lg.jp/kiji003100691/3\\_100691\\_up\\_syoniyyq.pdf](https://www.pref.saga.lg.jp/kiji003100691/3_100691_up_syoniyyq.pdf)
- 39 RFS ウェブサイト「事業概要」(2025年2月8日閲覧)  
<http://www.rfSCO.co.jp/company/business.html>
- 40 日本原燃「六ヶ所高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターに係る定期報告書(令和6年12月及び令和6年度第3四半期報告)」(2025 年 1 月 30 日)  
[https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public\\_archive/safety-agreement-report/file/202412-hlw.pdf](https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public_archive/safety-agreement-report/file/202412-hlw.pdf)
- 41 日本原燃「六ヶ所再処理工場に係る定期報告書(令和6年12月及び令和6年度第3四半期報告)」(2025 年 1 月 30 日)  
[https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public\\_archive/safety-agreement-report/file/202412-cycle.pdf](https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public_archive/safety-agreement-report/file/202412-cycle.pdf)
- 42 日本原燃「六ヶ所ウラン濃縮工場に係る定期報告書(令和6年9月及び令和6年度第2四半期報告)」(2024 年 10 月 30 日)  
[https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public\\_archive/safety-agreement-report/file/202409-uran.pdf](https://www.jnfl.co.jp/ja/business/report/public_archive/safety-agreement-report/file/202409-uran.pdf)
- 43 JAEA 核燃料サイクル工学研究所ウェブサイト「MOX 燃料技術開発部」  
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/summary/center/plutonium/>
- 44 JAEA 核燃料サイクル工学研究所ウェブサイト「BE 資源・処分システム開発部 再処理技術開発関連」  
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/summary/center/saikurukougaku/>
- 45 JAEA 安全研究センターウェブサイト「燃料安全研究グループ」  
<https://www.jaea.go.jp/04/anzen/group/fsrg/index.html>
- 46 JAEA 原子力基礎工学研究センターウェブサイト「研究分野から研究グループを探す」  
<https://nsec.jaea.go.jp/organization/field.html>
- 47 JAEA 原子力基盤技術開発グループウェブサイト  
<https://nsec.jaea.go.jp/ndre/ndre3/part/profile-j.htm>
- 48 JAEA 燃料高温科学研究グループウェブサイト「研究内容」  
[https://nsec.jaea.go.jp/fme/group2/group2\\_index.htm](https://nsec.jaea.go.jp/fme/group2/group2_index.htm)
- 49 JAEA 原子力科学研究グループウェブサイト「研究紹介」  
<https://nsec.jaea.go.jp/nuclchem/researches/index.html>
- 50 JAEA「高速炉・高温ガス炉実証炉プロジェクトの進捗状況」(2024 年 10 月 22 日)  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/genshiryoku/kakushinro\\_wg/pdf/008\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/008_02_00.pdf)
- 51 NFI「高温ガス炉燃料への取り組みについて」(2023 年 1 月 23 日)  
[https://www.mext.go.jp/content/20230123-mxt\\_genshi-00006\\_09.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20230123-mxt_genshi-00006_09.pdf)
- 52 JAEA 安全研究センターウェブサイト「廃棄物・環境安全研究グループ」  
<https://www.jaea.go.jp/04/anzen/group/wesrg/index.html>
- 53 JAEA 核燃料サイクル工学研究所ウェブサイト「BE 資源・処分システム開発部 放射性廃棄物処理技術開発関連」  
<https://www.jaea.go.jp/04/ztokai/summary/center/kankyogijutu/>
- 54 JAEA 大洗原子力工学研究所ウェブサイト「廃止措置・放射性廃棄物処理処分に係る技術開発」  
[https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/research/research\\_05.html](https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/research/research_05.html)
- 55 JAEA 幌延深地層研究センターウェブサイト「地層処分研究開発」  
[https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/research/kenkyu\\_syobun.html](https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/research/kenkyu_syobun.html)
- 56 原環センターウェブサイト「低レベル放射性廃棄物の調査研究」  
<https://www.rwmc.or.jp/research/low/>
- 57 原環センターウェブサイト「高レベル放射性廃棄物・TRU 廃棄物の調査研究」  
<https://www.rwmc.or.jp/research/high/>

## 4. 燃料サイクルサプライチェーン総括

本章では燃料サイクルサプライチェーンの主要要素を構成する、ウラン採掘、転換、濃縮、燃料加工及び再処理について、世界の概況を俯瞰する。

### 4.1 ウラン採掘

2022年のウラン生産量に占める産地別、採掘企業の国籍別の比率を図4.1-1、2022年の企業別ウラン生産量を表4.1-1、またウラン生産量を産地国別、採掘企業国籍別に整理した表を表4.1-2に示す。

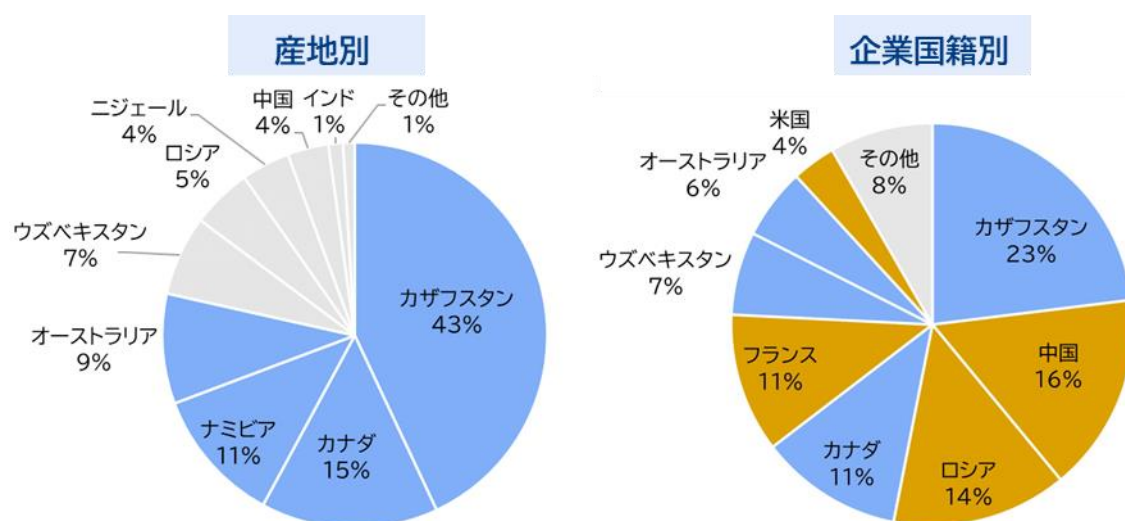


図 4.1-1 ウラン生産の世界シェア(産地別/企業国籍別)

出所)世界原子力協会(WNA) “World Uranium Mining Production”より作成

表 4.1-1 企業別ウラン生産量(2022年)

企業名	国	ウラン生産量(tU)	割合
カザトムプロム	カザフスタン	11,373	23%
Cameco	カナダ	5,675	12%
Orano	フランス	5,519	11%
CGN	中国	4,627	10%
ウラニウムワン	ロシア	4,454	9%
ナボイマイニング	ウズベキスタン	3,300	7%
CNNC	中国	3,247	7%
BHP	オーストラリア	2,813	6%
ARMZ	ロシア	2,508	5%
ジェネラル・アトミックス/クエーサー	米国	1,740	4%
その他	-	4,098	6%

出所)世界原子力協会(WNA) “World Uranium Mining Production”より作成

表 4.1-2 ウラン生産量(産地別、企業国籍別集計)

単位:tU

	産地別	企業国籍別
カザフスタン	21,227	11,373
中国	1,700	7,874
ロシア	2,508	6,962
カナダ	7,351	5,675
フランス	0	5,519
ウズベキスタン	3,300	3,300
オーストラリア	4,553	2,813
米国	75	1,740
その他	8,621	4,098
総計	49,335	49,354

※一部推計を含むため、産地別と企業別で総計が異なっている

出所)世界原子力協会(WNA)“World Uranium Mining Production”より作成

WNA 情報によれば、ウランを産地別(鉱山の所在)別で見ると、2022 年時点において、カザフスタン、カナダ、ナミビア、オーストラリアの 4 カ国が世界の生産量の 75%以上を占める。表 4.1 1 によれば、最大のウラン産出国であるカザフスタンのカザトムプロムが企業としても最大の供給者であり、次いで同じくウラン産出国であるカナダの Cameco が 2 位を占める。ただし、こうしたウラン産地には多くの他国権益が入っている。表 4.1-2 の集計からは、中国、ロシア、フランス、米企業企業が、主として他国のウラン鉱山に保有する権益を通じてウランを生産、供給していることがわかる<sup>1)</sup>。

我が国を始め、各国企業が世界各地で新規の探鉱・探査を進めているが、上掲のとおり、中国とロシアがいわゆるグローバルサウスといわれるアジア、アフリカ地域との繋がり(ロシアの章の 3.4.2 サイクル政策・燃料サプライチェーンの脱ロシア・親ロシア動向 3.4.2 (3)グローバルサウスとロシア参照)も活かして、影響の拡大を図る傾向が見られる。

## 4.2 転換

世界において、外部に転換役務を提供する転換プラントはごく限られており、世界のウラン転換市場は寡占状態にあるといえる。2022 年時点における主な転換プラントと生産量を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 世界の主な転換プラントと生産量(2022 年)

社名	国	サイト	設備容量 (tU)	UF <sub>6</sub> 生産量 (tU)	備考
Cameco	カナダ	ポートホープ	12,500	10,600	増強計画は確認されない

CNNC(推計)	中国	衡陽、蘭州	15,000	10,500	国内供給向け
コンバーダイン	米国	メトロポリス	7,000	0	2017年から停止。 2023年7月に再開
Orano	フランス	ピエールラット (UF <sub>4</sub> )マルベシ (UF <sub>6</sub> )	15,000	8,900	段階的に生産拡大。1/3 は国内向け、2/3は国外 向け想定
ROSATOM	ロシア	セベルスク	12,500	12,000	増強計画は確認されない
ウェスティング グハウス UK	英国	スプリングフィー ルド	(6,000)	0	2014年から停止。 2028年には拡張・再開 予定
計			62,000	42,000	

出所)世界原子力協会(WNA)“Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2023-2040”  
“Conversion and Deconversion”

2025年2月現在において、外部にウラン転換役務を提供しているのは5つのプラントである。このほか本調査の調査対象国では、インドにも原子力庁の事業として運営されている核燃料コンプレックス(NFC)に1カ所、転換プラントがあるが、同プラントのウラン転換はもっぱらNFC内の燃料製造を目的として実施されている。

WNAは2040年の需要を低需要シナリオでも87,000tUと予測している。加えて、特に2022年のロシアによるウクライナ侵攻を経て、エネルギー安全保障の観点から、「西側」の処理能力確保が課題とされている。こうした意識から、各国で転換、濃縮能力の拡大を図る動きが見られる。

2010年代には原子力発電が低調となったこともあり、ウラン転換能力の供給過剰、採算性の低下化から、米国、英国では転換設備が稼働を停止した。設備自体は維持されており、2020年代から原子力発電が復調に転じたことなどを受け、米国コンバーダイン社のメトロポリス転換プラントは、2023年7月に操業を再開した<sup>2</sup>。英国でもスプリングフィールドに所在し、ウェスティングハウスUKが管理する転換工場が、2014年から操業を停止している。同プラントはロシアのウクライナ侵攻を受けた燃料サプライチェーンの「脱ロシア」強化を目的として、2022年12月に、英国政府の「核燃料基金」から1,300万ポンドの支援を受けることが決定し、転換事業の再開に取り組むこととなった。2028年に、天然ウランと再処理からの回収ウランの両方の転換に対応する、7,000tUの処理能力を持つプラントとして稼働することが見込まれている<sup>3,4</sup>。なお、米国コンバーダイン社のプラントは、現在7,000tUで稼働しているが、元来15,000tUの能力を有しており、需要に応じて復帰可能な状態である。

このように、当面は米英の既存プラントの稼働再開、投入能力の復帰、またフランスにおける稼働中プラントの設備増強により、「西側」におけるウラン転換サービスの増強、多様化が図られている方向である。

G7の原子力国であるカナダ、日本、フランス、英国、米国の5カ国(札幌ファイブ)は、このような流れの中、2023年12月にUAEで開催されたCOP28において、「ロシア産原料を使用しない濃縮ウラン生産能力への官民投資を促進する決意」を示し、「今後3年間で、我々5カ国の濃縮・転換能力に対する政府主導及び民間の投資を少なくとも42億米ドルを追求」する内容の共同宣言を発表<sup>5</sup>した。本項及び次項に示す転換、濃縮における能力増強の動きは、こうした潮流の中にある。

### 4.3 濃縮

ウラン濃縮に関しても、外部に役務を提供できるプロバイダーは限定されている。寡占状態の中、特にロシアの世界シェアが設備容量ベースで 44%ほどと大きい。2022 年時点における世界の主な濃縮プラントと設備容量、設備増強計画の概要を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 世界の主な濃縮プラントと設備増強計画

社名	国	設備容量 (tSWU)	設備増強計画	
ROSATOM	ロシア	27,100	4 つの施設で実施。ウラル電気化学プラント(UEIP)濃縮プラントで HALEU を製造、世界で唯一、HALEU を商業ベースで販売。直近で設備状況の情報は確認されていない	
URENCO	英・米・蘭	17,900	英国	HALEU 燃料の製造に向けた設備更新を計画
			米国	700tSWU(現行能力の 15%相当)の増強計画。2025 年に稼働予定
			オランダ	750tSWU(現行能力の 15%相当)の増強計画。2027 年に最稼働予定
CNNC	中国	8,900	設備増強が進められている模様だが、詳細な情報は確認されない	
Orano	フランス	7,500	2,500tSWU(現行能力の 33%相当)増強に向けて約 17 億ユーロの投資。2024 年 10 月着工、2028 年に最初の設備が稼働予定	
その他	-	100	日本では 2023 年に生産再開、2027 年に 450tSWU、最終的には 1,500tSWU 規模を目指す	
計		61,500		

出所)世界原子力協会(WNA)“Uranium Enrichment”他より作成

前項に整理したウラン転換同様、ウラン濃縮においても原子力発電の拡大とエネルギー安全保障確保の観点から、能力増強が図られている。現在 Urenco やフランス Orano で進められている濃縮能力の拡大分は、2025 年から 2028 年にかけての供用開始が計画されている。米国ではロシアからの濃縮ウラン調達を禁止する法律が 2024 年に発効した。全面禁止は 2028 年からとなっており、上記に示したような、ロシア以外における濃縮能力の増強計画を見越しての時期設定であると考えられる。

また、2025 年 2 月時点で、HALEU を商業ベースで製造・供給する能力を持つのはロシアの TVEL (ウラル電気化学プラント(UEIP)濃縮プラントで濃縮)のみである。HALEU の供給者についても多様化が課題であり、今後、SMR や先進炉での HALEU 利用が拡大する見通しであることを踏まえ、URENCO の英国プラントで HALEU 製造に対応する計画であるほか、米国ではセントラス(旧 USEC)が DOE 支援のもと、2023 年から HALEU 製造の実証を実施している。同プラントでは低濃縮ウランの製造も順次拡大し、商業レベルの活動に復帰していく方針である。

## 4.4 燃料加工

軽水炉燃料を輸出する代表的な燃料メーカーとしては、仏フラマトム、米ウェスティングハウス(WH)、米グローバル・ニュークリア・フュエル(GNF)、露 TVEL が挙げられる。なお現在、プルサーマルに用いられる軽水炉用 MOX 燃料を商業規模で製造・輸出しているのは仏 Orano のみである。

表 4.4-1 代表的な燃料メーカーと主力製品

メーカー	国	概要
フラマトム	フランス	PWR、BWR 燃料に加え、ドイツのプラントでの VVER 燃料製造を予定
Orano	フランス	軽水炉用 MOX 燃料を製造・輸出する唯一のプロバイダー
WH	米国	PWR、BWR 燃料に加え、スウェーデンのプラントで VVER 燃料を製造
GNF	米国	BWR 燃料を製造
TVEL	ロシア	VVER 燃料を製造。西側 PWR 燃料の供給実績もある

フランス国内で運転する原子炉は全て PWR であるが、2000 年代にドイツのシーメンス原子力部門を吸収したことにより、BWR 燃料の製造・供給も広く行うようになった。さらに、欧州における脱ロシアの一環として、東欧地域でロシア以外の VVER 炉燃料供給者が求められる中、先行していた米 WH 社に続き、フラマトムも VVER 燃料の供給契約を獲得し、製造に乗り出している。フラマトムはドイツのリンゲンにある燃料工場、VVER 燃料の製造を予定しており、ドイツのニーダーザクセン州に許認可を申請している<sup>6</sup>。Orano 社は Melox 燃料工場で MOX 燃料の製造を実施している。英国のセラフィールドにおける MOX 燃料製造が 2011 年に終了して以来、軽水炉用 MOX 燃料を商業規模で製造して国外に輸出する能力を持つ唯一のプロバイダーとなった。現在、フランス国内利用分以外の MOX 燃料の輸出先は、日本とオランダである。

米国 WH は PWR 燃料を主としているが、特にスウェーデンのヴェステロースプラントでは、主にスウェーデンの BWR に向けた燃料を生産してきている。加えて同プラントでは、隣国フィンランドのロビーサ原子力発電所(VVER440)に 2000 年代に試験的な燃料供給を行った経験があり<sup>7</sup>、VVER1000 や VVER440 向けの燃料製造能力を持つ。このため特に 2022 年のウクライナ侵攻前後から、東欧やウクライナにおいて、ロシアを代替する VVER 燃料供給者として活動している。一方、米国 GNF は BWR 燃料を中心とするメーカーであり、日本では GNF-J が BWR 燃料製造拠点として活動している。

ロシアの TVEL は国内外の VVER に燃料を供給しており、WH 社の参入前はほぼ独占的に、世界の VVER 炉に燃料を供給してきた。VVER 以外にも、ウクライナ侵攻以前はスウェーデンの原子炉に PWR 燃料を共有するなど、PWR 燃料の製造能力も有している。

未照射燃料要素の輸出直近の動きを世界銀行 WITS データベースで集計されている範囲で整理し、輸出力上位 5 カ国を抽出した情報を表 4.4-1 に示す。

表 4.4-1 未照射燃料の輸出状況(生産国)(2000~2022 年)

(単位:kg)

2020		2021		2022		2023	
国	輸出量	国	輸出量	国	輸出量	国	輸出量
スウェーデン	794,377	スウェーデン	798,008	スウェーデン	543,000	スウェーデン	590,006
ロシア	716,130	ロシア	754,466	米国	539,970	米国	541,900
米国	360,150	米国	475,541	ドイツ	241,703	ドイツ	240,761
スペイン	212,192	ドイツ	273,509	スペイン	193,333	フランス	197,767
中国	177,471	中国	228,974	韓国	99,793	カザフスタン	196,864

出所)世界銀行 WITS データベース HS 品目番号 840130 Fuel elements (cartridges), non-irradiated, for exports by country 2020 年~2023 年データに基づき差規制

※2023 年においても、韓国から金額上大きな燃料輸出が確認されているが、輸出量が不明

上記データベースには、経由して別の国に再輸出されたものも含まれる可能性があることや、集計の精度の関係から、世界における正確な取引量を示しているとは限らない。また、燃料の供給契約は長期で結ばれることから、このデータから各国製造拠点の世界における市場シェア状況を読み取ることはできない。しかし、過去数年の変化を見ることで、直近の傾向を一定程度推測することは可能であると考えられる。

過去数年においては、国外に輸出される原子燃料の出所として、スウェーデンが多い。スウェーデンには米国 WH 社の燃料製造拠点があり、PWR、BWR、VVER 燃料を供給可能である。輸出先を見ると、フランス、ドイツなど EU 内でのトランザクションも多いが、ウクライナ向けが 2020 年に 141t、2021 年に 297t、2022 年に 70t、2023 年に 216t とスウェーデン拠点からの主要な輸出先の 1 つとなっている。また、2023 年には輸出先にチェコが加わった。これは WH 社による VVER 燃料代替が影響していると考えられる。一方でロシアは 2021 年まで、燃料集合体の輸出量で 2 位に入っていたものの、2022 年、2023 年には上位 5 位に入っていない。ドイツには仏フラマトムの燃料製造拠点があり、フランスを含む欧州内を中心に、燃料供給を行っている。

2020 年、2021 年の中国はパキスタン向けであり、中国が建設したチャシュマ原子力発電所への燃料供給と考えられる。また UAE で韓国が建設したバラカ原子力発電所が運開し、韓国が同発電所に燃料を供給していることに伴い、韓国が直近の輸出量上位に登場している。2023 年にはカザフスタンから中国への燃料輸出が確認されている。

スペインでもエヌサ社が従来、主に欧州内に PWR、BWR 燃料を供給している。なお同社は米 WH 社との協力のもと、VVER 燃料を製造し東欧地域への供給を開始する計画である<sup>8,9</sup>。

## 4.5 再処理

世界において、一定規模以上の再処理能力を有するプラントを表 4.5-1 に示す。

このうち、2025 年現在、国外からの使用済燃料を受け入れて再処理を実施しているのはほぼ、フランスのラ・アーグ再処理工場のみである。英国ではセラフィールドで、軽水炉燃料の再処理プラント

(THOP)とマグノックス炉燃料の再処理プラントが稼働していたが、前者は 2018 年、後者は 2022 年に操業を終了した。

ロシアの RT-1 は、過去には過去には東欧諸国を中心に、諸外国からの使用済燃料受入と再処理を実施していたが、多くの国で 1990 年代後半までにロシアへの使用済燃料の引渡を停止している。ただし、2030 年代後半の操業開始が見込まれる RT-2 では、ロシアと燃料リース契約を結んでいる国をはじめ、国外からの使用済燃料再処理を想定している<sup>10</sup>。

表 4.5-1 商業規模の再処理能力を持つプラント

種類	プラント	国	再処理能力(t/年)
軽水炉燃料	ラ・アーグ	フランス	1,700
	RT-1(マヤク)	ロシア	400
	六ヶ所 ※2026 年度稼働予定	日本	800
PHWR 燃料	バーバ原子力研究所等(4カ所)	インド	260
計			3,160

出所)世界原子力協会(WNA) “Processing of Used Nuclear Fuel”

## 参考文献

- <sup>1</sup> 世界原子力協会(WNA) “World Uranium Mining Production”(2025年2月6日閲覧)  
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview>
- <sup>2</sup> Converdyn “Facility”  
<https://converdyn.com/facility/>
- <sup>3</sup> 英国政府 “Ministers bolster UK nuclear fuel capacity to squeeze out Russian influence”(2023年1月2日)  
<https://www.gov.uk/government/news/ministers-bolster-uk-nuclear-fuel-capacity-to-squeeze-out-russian-influence>
- <sup>4</sup> ウェスティングハウス “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>5</sup> 札幌5:カナダ、日本、フランス、英国、米国(仮訳)  
<https://www.meti.go.jp/press/2023/12/20231208006/20231208006-f.pdf>
- <sup>6</sup> Framatome “Background information on the license modification request for Advanced Nuclear Fuels to fabricate VVER fuel”(2025年2月6日閲覧)  
<https://www.framatome.com/en/about/locations/germany/background-information-on-the-license-modification-request-for-advanced-nuclear-fuels-to-fabricate-vver-fuel/>
- <sup>7</sup> WNN “Enusa and Westinghouse VVER-440 fuel collaboration”(2023年1月18日)  
<https://world-nuclear-news.org/Articles/ENUSA-and-Westinghouse-agree-VVER-440-fuel-deal>
- <sup>8</sup> ウェスティングハウス “Westinghouse and ENUSA to Collaborate on VVER-440 Fuel Fabrication”(2022年9月8日)  
<https://info.westinghousenuclear.com/news/wec-enusa-collab-vver-440>
- <sup>9</sup> 世界銀行 “World Integrated Trade Solution(WITS)”データベース  
<https://wits.worldbank.org/Default.aspx?lang=en>
- <sup>10</sup> TENEX “Good Practices and Lessons Learned in Spent Fuel Transportation in the Russian Federation” IAEA Technical Meeting 24-28.10.2022 Vienna, Austria  
[https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TM%20on%20Operational%20Experiences%20of%20Spent%20Fuel%20and%20Hi/7\\_Madalina\\_Budu\\_TENEX\\_Russian\\_Federation.pdf](https://nucleus.iaea.org/sites/connect/SFMpublic/TM%20on%20Operational%20Experiences%20of%20Spent%20Fuel%20and%20Hi/7_Madalina_Budu_TENEX_Russian_Federation.pdf)

## 5. 我が国と諸外国の比較・分析

日本は濃縮工程以降のサプライチェーンを国内に保有しており、原子力発電所の閉鎖に伴う需要低下もあって、現状においては、基本的には国内需要を充足できている状況にある(表 4.5-1)。

表 4.5-1 日本の燃料サイクル概要

	国内有無	国内事業の概要	国外調達概要
ウラン採掘・製錬	×	・ 国内でのウラン採掘・製錬は実施していない	・ カナダのカメコ社とフランスのオラノCE社からの調達が中心
転換	×	・ 国内でのウラン転換は実施していない	・ フランスのオラノCE社、米国のコンバーダイン社からの調達が中心
濃縮	○	・ 日本原燃が濃縮工場を操業 ・ 政府支援を受け、設備更新を実施する計画	・ オラノCE社等から調達
燃料加工	○	・ 3社4施設(BWR用2施設・PWR用2施設)が操業 ・ 原子力発電所の約半数が廃炉を決定したこともあり、国内需要は充足	・ 海外燃料の輸入実績もあるが、概ね国内で調達している
再処理	×	・ 日本原燃が再処理施設・MOX燃料加工施設を建設中	・ フランスに再処理・MOX燃料製造を委託 ・ 過去には英国にも委託していたが、施設閉鎖に伴い、現在はフランスのみ

一方、ウラン資源、転換工程、燃料被覆管に関しては全量を海外に依存している。これら日本のサプライチェーンに不足しているウラン資源、転換、燃料被覆管を自国企業が供給できるのは、本調査の調査対象国では米国、フランス、中国、ロシア、インドに限られる。

一定程度の燃料サプライチェーンを国内に有する国々の中で、フランス、中国、ロシア、インドは工程の全般を国営・国有企業が集中的に担う体制となっている。これに対し、日本や米国は、民間ベースであるとともに、燃料加工を中心に複数の事業者が存在するといった特徴がある(図 4.5-1)。なお、米国も国内需要の高まりを受け、全量を自国サプライチェーンで充足できているわけではない。また、米国における燃料サプライチェーンは米国資本だけではなく、濃縮におけるウレンコ(英国、オランダ、ドイツ資本)のような、海外資本の企業を含めることで構築されている。

	採掘・製錬	転換	濃縮	再転換	燃料加工	再処理・MOX加工	廃棄物貯蔵(高レベル)	廃棄物処分(高レベル)
日本	—	—	民間企業(1社)	民間企業(1社)	民間企業(3社)	民間企業(建設中)	民間企業(1社)	国家組織(1組織)
米国	民間企業(3社)	民間企業(1社)	民間企業(2社)	民間企業(3社)	民間企業(4社)	—	官民の複数事業が検討中	政府(1組織)
英国	—	民間企業(操業停止)	官民:政府3割(1社)	民間企業(1社)	民間企業(1社)	—	国家組織(1機関・2組織)	
フランス	官民:政府9割(1社)				官民:政府8割(1社)	官民:政府9割(1社)	官民:政府9割(1社)	国家組織(1組織)
ロシア	100%国営(1社)傘下の事業会社が実施							
中国	100%国営(1社)傘下の事業会社が実施							複数の100%国営事業会社
インド	100%国営(1社)	政府直轄(1社)	—	—	政府直轄(1社)	国立研究所(2組織※)	未定だが、国立研究所で開発中(1組織)	
韓国	—	—	—	—	官民:政府51%(1社)	—	国家組織(1組織)	
カナダ	民間企業(2社)	民間企業(1社)	—	—	民間企業(1社)	—	—	民間組織(1組織)
オランダ	—	—	官民:蘭・英政府で66%(1社)	—	—	—	国家組織(1組織)	

※うち1組織のプラントは試運転中

図 4.5-1 燃料サイクル各工程における政府の関与度(国営/民営/官民)及び事業の集中度

転換・濃縮等に関しては、日本や韓国をはじめ、国内に製造能力を持たないあるいは国内の製造能力が需要に対して明らかに小さい国で、調達先を分散する方針が見られるのは当然として、フランスや英国など、西側の国では、一定の製造能力をもつ工程の製品についても、供給元多様化の観点などから、一部を他国の施設から購入している例が見られる。

特に日本は島国であり、いわゆる「西側」サプライヤーが立地する欧米諸国と地理的に離れており、供給が途絶するリスクが比較的高いといえる。こうしたことから、もとより資源の賦存がない天然ウランの確保については、調達の分散化を図るとともに、その他工程については、国内サプライチェーンを構築する必要性が高い。ただし、転換と燃料被覆管に関しては国内企業が現状として技術を保有しておらず、日本として自らこれらの技術を取得し、商業規模の事業としていくには、多大なコストと時間を要すると考えられる。よって、米国でみられるように、海外資本のもとで日本国内に施設を建設するような形態が現実的であると考えられる。

また、国内に賦存しないウラン資源に関しては、国内企業が国外における天然ウラン権益確保等に努めている一方で、日本の燃料サイクル方針の特徴である、再処理・MOX燃料利用によるリサイクルを、最大限活用することが有効であると考えられる。この際、今後の課題となりうる点として、再処理に伴い発生する回収ウランの取扱いが挙げられる。特に回収ウランを、燃料に再利用可能なUF6に転換する役務の提供能力を有するのは、現状ロシアのみである。このロシア依存を脱却するため、英国でもウェスティングハウスUKが管理するスプリングフィールド転換工場(2014年から操業停止中)が、施設を改修増強し、2028年に、天然ウランと再処理からの回収ウランの両方の転換に対応する7,000tUの処理能力を持つプラントとして、稼働する計画である(4.2参照)。また再処理プラントを持ち、回収ウラン燃料をクリュアス原子力発電所で利用しているフランスでも、政府が国内での回収ウラン転換施設の建設を検討している。

日本では、2026年に六ヶ所再処理工場(800tHM/年)が運転を開始する予定である。これに伴い国内で発生する回収ウランの活用を考える場合、現状で天然ウランの転換能力を有していない状況を踏まえると、今後英国、またフランスでも展開される可能性がある回収ウランの転換役務を活用しつつ、日本国内での実施可能性を検討・検証していくことになると考えられる。また、国内再処理の開始後も、フランスへの再処理委託は継続されると考えられる。日本国内で回収ウラン由来の燃料を装荷する炉を増やし、広く利用する場合、フランスが引き取った回収ウランを英仏で転換、再濃縮したものを購入するか、再処理契約において回収ウランを日本(の電力会社)の所有とし、英仏に転換役務を委託するといったことが考えられる。

また、回収ウランを広く活用する場合、国内の濃縮工程においても、回収ウランの濃縮に対応可能な工程にする必要がある。世界的に見ても、とりわけ安全保障の観点から、原子力利用の継続・拡大方針と歩調を合わせて、政府による施策方針やプログラムを通じた支援に基づく燃料サプライチェーン設備増強、供給能力の空隙を埋めるための対応製品の多角化が実施・計画されている。英国で経営判断によって再処理・MOX燃料製造施設が閉鎖された例があるように、足下の市場原理だけでは、一貫した燃料サプライチェーンの構築と維持は極めて困難であり、日本においても、国の支援が重要であるといえる。

令和6年度原子力の利用状況等に関する調査(国内外における原子力・核燃料サイクル関連動向等調査)報告書

---

2025年2月

エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社  
技術・安全事業部

TEL (03) 6858-3529

---