

令和２年度原子力の利用状況等に関する調査 報告書

核燃料サイクル技術等調査

2021 年 2 月

 株式会社三菱総合研究所

目 次

1. 諸外国における核燃料サイクル技術等の現状・動向調査	1
1.1 核燃料サイクル政策の現状.....	1
1.1.1 アメリカ	1
1.1.2 ロシア	24
1.1.3 フランス	41
1.1.4 イギリス	53
1.1.5 ドイツ.....	61
1.1.6 ベルギー	77
1.1.7 オランダ	83
1.1.8 中国	93
1.2 核燃料サイクル技術に係る研究開発の動向	105
1.2.1 アメリカ	105
1.2.2 ロシア	114
1.2.3 フランス	120
1.2.4 イギリス	124
1.2.5 ドイツ.....	128
1.2.6 ベルギー	133
1.2.7 オランダ	136
1.2.8 中国	139
1.3 使用済燃料貯蔵に関する取組状況.....	146
1.3.1 アメリカ	146
1.3.2 ロシア	151
1.3.3 フランス	157
1.3.4 イギリス	161
1.3.5 ドイツ.....	165
1.3.6 ベルギー	172
1.3.7 オランダ	176
1.3.8 中国	180
2. 核燃料サイクル施設の現状及び役務動向.....	188
2.1 諸外国の核燃料サイクル施設の現状及び役務動向	188
2.1.1 アメリカ	188
2.1.2 ロシア	195
2.1.3 フランス	203
2.1.4 イギリス	209
2.1.5 ドイツ.....	214
2.1.6 ベルギー	220
2.1.7 オランダ	222
2.1.8 中国	225

2.2 各国を通じた特記事項	230
2.2.1 再処理施設等のトラブル情報	230
2.2.2 原子炉における MOX 燃料の装荷実績.....	247
3. 分析	252
3.1 各国の燃料サイクル分析	252
3.1.1 アメリカ	252
3.1.2 ロシア	253
3.1.3 フランス	254
3.1.4 イギリス	255
3.1.5 ドイツ.....	256
3.1.6 ベルギー	257
3.1.7 オランダ	258
3.1.8 中国	259
3.2 核燃料サイクル政策の選択における各国の特徴と論点	259

図目次

図 1-1	アメリカにおける原子力行政体制	10
図 1-2	アメリカの原子力発電所及び原子力関連施設の所在地	17
図 1-3	ロシア型の原子力発電の開発導入戦略例（炉型別、海外含む）	25
図 1-4	ロシアの規制組織と推進組織	32
図 1-5	ロシアの使用済燃料の流れ	35
図 1-6	OAO MSZ での回収ウランの製造実績（縦軸は燃料集合体数）	36
図 1-7	デュアルコンポーネント原子力システム	37
図 1-8	集中型核燃料サイクル	38
図 1-9	仏原子力業界の関係図	45
図 1-10	フランスにおける放射性廃棄物の分類と管理方法	50
図 1-11	英国における燃料サイクル産業構造	55
図 1-12	英国における放射性廃棄物の分類	58
図 1-13	ドイツにおける中間貯蔵・処分に係る組織体制	68
図 1-14	オランダにおける燃料サイクル産業構造	85
図 1-15	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	95
図 1-16	中国において原子力発電事業を実施する主要な企業の時間的な変遷	96
図 1-17	アメリカにおける各貯蔵方式採用の推移（施設数ベース）	109
図 1-18	ロシアの BN 型炉の開発状況	114
図 1-19	「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」における バックエンドの 研究ロードマップ	140
図 1-20	アメリカにおける PWR 及び BWR の燃焼度の傾向	148
図 1-21	商業用使用済燃料のインベントリ（2017 年 12 月 31 日時点）	149
図 2-1	Orano 社の体制	207
図 2-2	Urenco 社の体制	212
図 2-3	Framatome 社の世界における燃料事業立地	219

表 目 次

表 1-1	アメリカで廃止措置中の核燃料施設	7
表 1-2	DOE 原子力局の予算要求（単位：千ドル）	8
表 1-3	DOE によって処分されるアメリカの放射性廃棄物の種類と量（2017 年時点）	14
表 1-4	アメリカの放射性廃棄物区分（商業利用により発生するもの）	17
表 1-5	アメリカの低レベル放射性廃棄物の濃度基準.....	18
表 1-6	アメリカの低レベル放射性廃棄物処分場及び操業者	19
表 1-7	ロシア国内の高速炉の運用状況	26
表 1-8	ロシア国内の濃縮工場の運用状況	27
表 1-9	ロシア国内の燃料加工施設の運用状況	27
表 1-10	ロシア国内の再処理施設の運用状況	27
表 1-11	FTP による高速炉開発予算	28
表 1-12	FTP NRS-2 の予算使途（総額 5,620 億ロシアルーブル）	30
表 1-13	ロシア国内の再処理施設の運用状況（再掲）	34
表 1-14	フランスで廃止措置中の核燃料施設	43
表 1-15	EDF が計上しているバックエンド引当金（2019 年末時点）	44
表 1-16	1972～1976 年までに締結された契約に基づく再処理実績.....	46
表 1-17	1977 年以降に締結された契約に基づく再処理実績.....	46
表 1-18	フランスのプルトニウム保有量	49
表 1-19	英国で廃止措置中の核燃料施設	54
表 1-20	ドイツにおける操業中の核燃料製造・処理施設.....	62
表 1-21	ドイツにおける廃止措置中の核燃料製造・処理施設.....	63
表 1-22	ドイツにおける放射性廃棄物管理の主体変更	67
表 1-23	ウレンコのグローナウ濃縮工場由来の劣化ウラン（UF6）国外輸送状況.....	71
表 1-24	ドイツにおける未照射プルトニウム在庫.....	72
表 1-25	ドイツにおける使用済燃料中のプルトニウム	73
表 1-26	ベルギーで操業中の核燃料施設	78
表 1-27	ベルギーで廃止措置中の核燃料施設	78
表 1-28	ベルギーの放射性廃棄物の分類	81
表 1-29	オランダにおける操業中の核燃料製造・処理施設	84
表 1-30	オランダにおける放射性廃棄物管理の主体	85
表 1-31	中国で閉鎖済の核燃料施設	94
表 1-32	DOE 原子力局の燃料サイクル研究開発に関する予算要求（単位：千ドル） ¹⁵ , ¹⁶	106
表 1-33	DOE が FY20 歳出法と比較して FY21 予算要求にて燃料サイクル研究開発予 算を減額した理由 ¹⁵	106
表 1-34	DOE が FY20 歳出法より FY21 予算要求段階で減額した項目に対する連邦議 会下院の FY21 歳出法の決定理由 ¹⁶	108
表 1-35	認可を受けたアメリカのコンクリートキャスク	110
表 1-36	FTP2010 の目標指数と指標	115

表 1-37	FTP2010 の諸施策 ²⁰⁷	116
表 1-38	原子力イノベーションプログラムのテーマ	124
表 1-39	DOE によるギャップ分析の結果	147
表 1-40	ロシア国内の使用済燃料貯蔵量（2017/1/1 時点）	151
表 1-41	除去対象放射性廃棄物の廃棄物クラス	152
表 1-42	比放射能による分類	153
表 1-43	鉱業化学コンビナート（MCC）における貯蔵施設の貯蔵方式.....	154
表 1-44	フランス国内の使用済燃料の量の推移	159
表 1-45	英国内の商用原子力発電所から発生した使用済燃料.....	162
表 1-46	ドイツにおける核燃料（処分に向けたモデル）	168
表 1-47	ドイツにおける使用済燃料等貯蔵状況（2018 年末）	169
表 1-48	オランダ HABOG における高レベル放射性廃棄物貯蔵状況（2019 年末）	178
表 1-49	中国の原子力発電所における使用済燃料の貯蔵容量と貯蔵量.....	182
表 1-50	秦山第三原子力発電所乾式貯蔵施設の操業許可証における温度制限.....	184
表 1-51	秦山第三原子力発電所乾式貯蔵施設の操業許可証における熱量に関する制限	185
表 2-1	ベルギーにおける MOX 燃料集合体の装荷実績	221
表 2-2	世界の MOX の利用状況	248

1. 諸外国における核燃料サイクル技術等の現状・動向調査

1.1 核燃料サイクル政策の現状

1.1.1 アメリカ

1.1.1.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向^{1,2,3}

(概要)

- アメリカの核燃料サイクルは軍事利用から開始し、1970年代まで商業用の再処理施設が複数建設されたが、1970年代後半の政権による商業用再処理の禁止によって、それ以降、民間による再処理事業の検討は行われていない。
- 核燃料サイクル方針については、政策転換による変更があったものの、依然として使用済燃料発生量の低減や核拡散抵抗性の向上の観点から研究開発は継続されてきた。近年では、先進炉開発の動きがアメリカ国内で盛り上がりを見せており、先進炉への燃料供給としてのサイクル技術の開発が取り組まれている。

アメリカでは、1973年以降、商業用再処理は行われておらず、使用済燃料をそのまま高レベル放射性廃棄物として処分するオープンサイクル政策が採用されている。

アメリカにおける再処理は、軍事目的から開始した。1942年から行われたマンハッタン計画にて、ハンフォードに建設されたプルトニウム生産用の原子炉にて照射されたウラン燃料からプルトニウムを回収したことが始まりである。その後、1980年初頭には、軍事用に分離されたプルトニウムの備蓄量が防衛上の必要量を上回ると判断され、ハンフォードに建設された化学分離工場などは1990年末までに閉鎖されている。

商業用の再処理については、アメリカで唯一の民間の再処理施設として NFS 社 West Valley 工場（処理能力：使用済燃料 300 トン／年）が 1966 年から 1972 年まで操業した。他にも、ゼネラルエレクトリック社 Midwest Fuel Recovery 工場（処理能力：使用済燃料 300 トン／年）が 1968 年に着工され、建設されていたが、建設費削減を意図して採用した大型遠隔保守方式に欠陥があり、その改良に時間的、経済的に負担を要することから、1974 年に運転不可能とされた。また、アライド・ゼネラル・ニュークリア・サービス社 Barnwell 工場（処理能力：使用済燃料 1,500 トン／年）が 1970 年に着工され、1974 年に操業を開始する予定であったが、建設と酸化プルトニウム取扱施設の許認可手続きの遅れにより完成が遅れていた。

そのような状況の中、1977 年に当時のカーター政権（民主党）が核不拡散の観点から商業用再処理の無期限延期を発表し、これは次のレーガン政権（共和党）で 1981 年に商業用再処理の制限を解除するまで有効であった。以後、ウラン価格が非常に低い水準で安定していることから、再処理の経済優位性について疑問が残るとともに、将来の政権による政策変更によって中断の可能性がある再処理事業に参入することに非常に慎重となった。

(参考)

カーター政権下で発表された Nuclear Power Policy (1977 年 4 月 7 日) (抜粋)

(略)

我々は、核不拡散条約を通じて核兵器の保有を拡大するリスクを減らすために重要なステップを踏み出した。これによって、100 カ国以上がそのような爆発物を開発しないことに同意した。しかし、我々はさらに先に進まなければならない。アメリカは、核兵器や爆発能力の更なる拡散がすべての国に与える影響について深く懸念している。これらのリスクは、プルトニウム、高濃縮ウラン、またはその他兵器で使用可能な材料に直接関与する技術の更なる拡散によって大幅に増大する。就任初日から検討してきた疑問は、原子力の具体的なメリットを忘れずに、どうすれば達成できるかということである。

現在、原子力の利用に関わる全ての課題について、徹底的な見直しを行っている。我々は核拡散の深刻な結果と平和と安全への直接的な影響、そして強力な科学的及び経済的証拠が必要であると結論づけた。

—アメリカ国内の原子力政策とプログラムの大きな変化

—原子力発電の利用の増加に伴う問題とリスクに対するより良い答えを見つけるための全ての国の間での協調した努力

私は本日、そのレビューから生じた私の決定のいくつかを発表する。

一. アメリカの原子力発電所で生産されたプルトニウムの商業再処理とリサイクルを無期限に延期する。我々自身の経験から、実行可能で経済的な原子力発電プログラムは、そのような再処理やリサイクルなしでも維持できると結論づけた。 サウルカロライナ州バーンウェルの工場は、再処理施設として完成するための連邦政府の支援も資金提供も受けない。

二. アメリカの増殖炉プログラムを再構築し、増殖炉の代替設計を優先し、増殖炉が商業的に使用されることを延期する。

三. アメリカの原子力研究及び開発プログラムへの資金提供を変更し、核兵器に使用可能な材料を直接扱わない代替燃料サイクルの研究を加速する。

四. 濃縮ウランのアメリカの生産能力を増強し、国内及び海外のニーズに適切かつタイムリーに核燃料を供給する。

五. アメリカが核燃料供給契約を申し入れ、そのような核燃料の他国への輸送を保証することを許可するために必要な法的措置を提案する。

六. ウラン濃縮と化学再処理を可能にする機器または技術の輸出を引き続き禁止にする。

七. 核爆発能力の拡散を減らしながら、全ての国がエネルギー目標を達成することを可能にする幅広い国際的なアプローチと枠組みについて、供給国と受給国と共に議論を続ける。とりわけ、代替燃料サイクルの開発を目的とした国際核燃料サイクル評価プログラムの確立と、共通の不拡散目標を共有する国々への核燃料の供給と使用済燃料貯蔵へのアクセスを確保するための様々な国際的及びアメリカの措置を検討する。

我々は、原子力エネルギーが平和的な経済目的のために利用されることを保証するために、最も望ましい多国間及び二国間協定に関して、多くの政府と緊密に協議し続ける。我々の意図は、体系的かつ徹底的な国際協議を通じて、この重要な課題に関してより幅広い国際協力を発展させることである。

1982 年には放射性廃棄物政策法が策定され、高レベル放射性廃棄物の処分は連邦政府の責任であり、処分費用の負担は発生者及び所有者の責任とすべきと認定された。これにより、

再処理事業に投資する電力会社側のインセンティブが小さくなり、1984 年のクリンチリバー増殖炉プロジェクトが建設費の高騰による中止⁴によって、再処理事業開発のインセンティブがさらに小さくなった。これにより現在においても、再処理事業に参入する民間企業は現れていない。NEI や EPRI に対するヒアリングからも、現在再処理事業を実施していない理由は、ウラン価格が現時点で低いこと、アメリカでは資源が十分に確保されており、エネルギー安全保障確保の観点でのインセンティブが低いことから、民間に再処理事業が委ねられ、主に経済性の観点から再処理を実施していないことを確認した。

その後、1993 年にクリントン政権（民主党）下でプルトニウムの民生利用を奨励せず、再利用しないことが発表⁵されたが、クリントン政権第 2 期（1997 年～2001 年）では、1997 年 12 月に大統領科学技術諮問委員会（PCAST）が大統領向けに提出された報告書にて温室効果ガス排出の観点から原子力利用の重要性が言及された⁶。PCAST レポートを受け、米国エネルギー省（DOE）は 1999 会計年度から原子力研究イニシアチブ（NERI : Nuclear Energy Research Initiative）を開始し、核不拡散型原子炉・燃料サイクル、新型炉、先進燃料、核廃棄物管理、原子力基礎科学といった 5 分野に対する研究プログラムが行われた⁷。ブッシュ政権（共和党）では、2001 年に国家エネルギー政策（NEP : National Energy Policy）が発表⁸され、廃棄物量の削減や核拡散抵抗性の向上の観点から先進燃料サイクルや次世代技術の研究開発の促進が言及され、2003 年には使用済燃料発生量の低減、高い核拡散抵抗性を有す核燃料サイクル技術、及び長期にわたる放射能毒性と熱負荷を低減できる核燃料サイクル技術の開発を目的として、先進燃料サイクルイニシアチブ（AFCI : Advanced Fuel Cycle Initiative）が開始され、その取り組みは 2006 年に国際原子力パートナーシップ（GNEP : Global Nuclear Energy Partnership）へと引き継がれた。GNEP へと体系を変えた理由については、以下の背景があると考えられている^{9,10}。

- 2010 年までに操業開始予定であった高レベル放射性廃棄物処分施設のユッカマウンテンの計画が遅れており、操業開始できたとしても 2015 年ごろには使用済燃料の処分容量が不足すること。
- 2005 年に AFCI レポートが DOE から提出されており、研究開発として一区切りがついたこと。
- GNEP では UREX+という核拡散抵抗性の高い再処理技術を用いたエンジニアリングスケールの試験を特に狙う予定であることを明らかにしており、使用済燃料発生量の低減に向けた技術開発を促進させる狙いがあったこと。

しかし、当初より本 GNEP は米国議会の反発が強く、再処理技術開発関連予算が大幅に削減され、難航していた。その後、2009 年にオバマ政権（民主党）となり、GNEP の国際協力に関する取り組みは継続するが、再処理と高速炉の施設を国内に建設しない方針を示し、GNEP は IFNEC（International Framework for Nuclear Energy Cooperation）となり、長期的観点からの幅広い核燃料サイクルの研究へと方針転換がなされている。

一方、国内での再処理、高速炉計画が中止となったことにより、ユッカマウンテン計画への解決策が失われるとともに、2009 年 3 月に DOE 長官は、上院エネルギー・自然資源委員会で、ユッカマウンテンは高レベル放射性廃棄物処分の選択肢ではないことを述べた。これにより、ユッカマウンテン計画の破棄で行き場を失う使用済燃料の管理方策を新たに包括的に検討するため、大統領の諮問機関であるブルーリボン委員会が 2010 年に設置された¹¹。そのブルーリボン委員会の最終報告書が 2012 年に DOE 長官に提出され、技術革新として、現行の軽水炉直接処分方式に加え、軽水炉燃料再処理・MOX 利用方式、高速炉完全リサイ

クル方式、高温ガス炉直接処分方式の 3 方式の研究開発の継続が望ましいとされ、DOE が 2010 年 4 月に議会に提出した「原子力研究開発ロードマップ」に基づく進め方を支持する形となった。このブルーリボン委員会には、処分小委員会、原子炉・核燃料サイクル技術小委員会、貯蔵・輸送小委員会の 3 つの小委員会が組織されており、原子炉・核燃料サイクル技術小委員会の報告書では以下のような勧告案が提示されている¹²。

- アメリカ政府は、民間部門と協力して、規制当局との早期かつ頻繁なやり取りを奨励し、先進炉や核燃料サイクル技術に対する長期的に安定した研究、開発及び実証のための支援を行うべきである。
- 連邦レベルでのエネルギー政策やプログラムをよりよく調整する必要がある、PCAST の調査結果に同意する。
- 連邦の原子力研究、開発及び実証のための資源の一部は、NRC による先進原子力システムの新しい要素と潜在的な地層処分場に対する規制枠組みの開発の促進及び予測される研究の支援に向けられるべきである。
- アメリカは、世界的な核不拡散の懸念に対応するための国際的な取り組みにおいて、リーダーとしての役割を継続すべきである。

その後、ユッカマウンテンプロジェクトを巡る動きはあるものの、核燃料サイクル政策を巡る大きな動きはない。ユッカマウンテンプロジェクトに関する動きについては、1.1.1.4 に示す。

最近の動きとしては、DOE 原子力局が 21 年 1 月に戦略ビジョンを発表している¹³。戦略ビジョンでは、米国のエネルギー、環境、及び経済のニーズを満たすために原子力科学技術を推進するというミッション達成の枠組みとなるもので、米国の原子力の現状分析と課題を検討し、①米国の既存炉の運転継続を可能にする、②先進炉の展開を可能にする、③先進燃料サイクルを開発する、④原子力技術における米国のリーダーシップを維持する、⑤優秀な組織を実現する、の 5 つの目標を掲げている。その中でも将来のアメリカの燃料サイクルに関係する可能性の高い目標②と③については下記の通りである。

- 目標 2：先進炉の展開を可能にする

【施策】

1. 先進原子力技術の展開に必要なリスクと時間を減少させる
2. 原子力エネルギーの市場機会を拡大する原子炉を開発する
3. リソースの利用を改善する多様な設計を支援する

【実績指標】

1. 2024 年までに、先進製造技術でつくられたマイクロ原子炉の燃料装荷炉心を実証し試験する
 2. 2025 年までに、米国の商業マイクロ原子炉の実証を可能にする
 3. 2027 年までに、原子力・再生可能エネルギーのハイブリッドエネルギーシステムの運転を実証する
 4. 2028 年までに、産業とのコスト分担パートナーシップを通じて米国の 2 つの先進炉設計を実証する
 5. 2029 年までに、米国最初の商業小型モジュール炉運転を可能にする
 6. 2035 年までに、産業とのパートナーシップを通じて少なくとも 2 つの追加の先進炉設計を実証する
- 目標 3：先進燃料サイクルを開発する

【施策】

1. 国内核燃料供給チェーンのギャップに取り組む
2. 先進炉向けの国内核燃料サイクルのギャップに取り組む
3. 統合放射性廃棄物管理システムを確立するためのオプションを評価する

【実績指標】

1. 2021 年までに、ウラン備蓄を確立するための調達プロセスを開始する
2. 2022 年までに、国産の HALEU 濃縮を実証する
3. 2023 年までに、DOE の非国防材料から最大 5 トンの HALEU を利用可能にする
4. 2030 年までに、先進炉向けの燃料サイクルを評価する

(参考)

ブルーリボン委員会で報告された 3 方式に対する評価（現行の軽水炉直接処分方式と比較）

14

■ 軽水炉燃料再処理・MOX 利用方式

使用済ウラン燃料を再処理し、MOX 燃料を軽水炉で利用する方式。使用済 MOX 燃料は直接処分。

・**安全性**：向上の余地あり。軽水炉直接処分方式と同等の規制要件を満たさなければならない。

・**経済性**：再処理工場と MOX 燃料製造工場を建設するため、資本コストは増大。Pu を含む燃料の製造コストも増加し、運用コストも増大。電気料金については数パーセント増加する。技術的には比較的成熟している。

・**持続可能性**：

ウラン活用：ウラン必要量が最大 19%削減

気候変動への影響：軽水炉直接処分方式と同等

エネルギーセキュリティ：軽水炉直接処分方式と同等

・**核不拡散、耐テロ**：

核不拡散：再処理、濃縮、MOX 燃料製造技術の利用及びそれらの施設の配備が含まれる。原子炉及び燃料サイクルにおける Pu または Pu とその他のアクチナイド量の点で核拡散リスクが増加。

耐テロ：U/Np/Pu 共処理された核物質と 5%～10%濃縮ウラン、及び燃料の製造とインベントリが含まれる。分離された物質と追加の施設・輸送によってセキュリティリスクが増加。

・**廃棄物管理**：

処分安全性（毒性・廃棄物寿命）：処分場に関して、廃棄物中の TRU 量が著しく減少。高レベル廃棄物の最大 90%が整形された廃棄物（使用済燃料ではない）となる。

一方、燃料サイクルに関しては、採掘による公衆及び従業員リスクは 15～20%減少。再処理による排出量は増加するが、フロントエンドのリスクが軽減されるため、全体的なリスクは軽減。

廃棄物量：使用済燃料、高レベル廃棄物量は減るが、二次廃棄物が増加するため、軽水炉直接処分方式と同等の廃棄物量。浅地中処分対象廃棄物（特に劣化ウラン）量は最大 20%削減。他の低レベル廃棄物については軽水炉直接処分方式と同等。

処分場面積：長期的な崩壊熱発生量の幾分かの削減はあるものの、軽水炉直接処分方式と同等。

■ 高速炉完全リサイクル方式

使用済燃料からマイナーアクチナイド (MA) 及び Pu を分離回収し、燃料としてリサイクル。高速炉にて MA 等の長寿命核種を燃焼させ、高レベル放射性廃棄物の発生量と低減。

・**安全性**：向上の余地あり。軽水炉直接処分方式と同等の規制要件を満たさなければならない。

・**経済性**：以前に建設された原子炉はプロトタイプであり、信頼性が低く、経済的ではない。リサイクル施設については多額の資本コストが必要。設計、ライセンス及び長期経済成立性のための基礎情報を提供する研究開発が求められる。運用コストは、軽水炉直接処分方式と比較して、ウランの将来価格、燃料製造コスト、及び運用の信頼性に大きく依存する。

・**持続可能性**：

ウラン活用：ウラン必要量が最大 95%削減

気候変動への影響：軽水炉直接処分方式と同等

エネルギーセキュリティ：ウラン資源への長期的な依存可能性の点でわずかな利点

・**核不拡散、耐テロ**：

核不拡散：再処理、濃縮、MOX 燃料製造技術の利用及びそれらの施設の配備が含まれる。

高速炉への転換に関する濃縮技術が必要。原子炉及び燃料サイクルにおける Pu または Pu とその他のアクチナイド量の点で核拡散リスクが増加。

耐テロ：U/Np/Pu 共処理された核物質及び燃料の製造とインベントリが含まれる。分離された物質と追加の施設・輸送によってセキュリティリスクが増加。

・**廃棄物管理**：

処分安全性（毒性・廃棄物寿命）：処分場に関して、リサイクルが数十年から数世紀にわたって持続する場合、TRU 元素からの長期処分場線量が減少する可能性がある。

一方、燃料サイクルに関して、採掘による公衆及び従業員リスクは最大 85%減少。再処理による排出量は増加する。

廃棄物量：高レベル廃棄物量は減り、二次廃棄物量が増加し、処分場廃棄物量が 40%増加。

主に採掘による発生物と劣化ウランを対象とした浅地中処分対象の廃棄物が 95%減少。

燃料サイクルのフロントエンド部分の廃棄物量が大幅に低下し、採掘以外の低レベル廃棄物量が 40%減少。

処分場面積：TRU が回収され、リサイクルが数十年から数世紀にわたって維持される場合、必要な処分場面積は最大 75%削減される。

■ 高速ガス炉直接処分方式

黒鉛減速高温ガス炉により燃焼させ、使用済燃料は直接処分。

・**安全性**：向上の余地あり。軽水炉直接処分方式と同等の規制要件を満たさなければならない。

・**経済性**：燃料コストは不確実であるが、おそらく高い。設計、ライセンス及び長期経済成立性のための基礎情報を提供する研究開発が求められる。

・**持続可能性**：

ウラン活用：軽水炉直接処分方式と類似のウラン要求

気候変動への影響：化石エネルギーを大量に消費する産業で原子力の熱を利用することにより、二酸化炭素を大幅に削減し、非炭素ベースの輸送燃料用に水素を生成する。

エネルギーセキュリティ：非電力部門に燃料を供給するために現在の石油輸入を削減でき、

潜在的に大きな利点がある。

・核不拡散、耐テロ：

核不拡散：8%～20%のウラン濃縮を生成できる類似の濃縮能力が必要。燃料は軽水炉燃料よりも再処理が困難。

耐テロ：軽水炉直接処分方式と同等

・廃棄物管理：

処分安全性（毒性・廃棄物寿命）：処分場に関して、軽水炉直接処分方式と同等。一方、燃料サイクルに関して、採掘による公衆及び従業員リスクは軽水炉直接処分方式と同等。

廃棄物量：使用済燃料量が最大 10 倍に増加。軽水炉直接処分方式と同じ低レベル廃棄物量

処分場面積：より高い原子炉効率によって最大 25%削減。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

アメリカで操業中の核燃料施設については、その詳細を 2.1.1.1 に示す。

アメリカで廃止措置中の核燃料施設は以下のとおり。

表 1-1 アメリカで廃止措置中の核燃料施設

施設名	操業者	操業開始	操業停止	施設目的	立地
West Valley Reprocessing Plant Site	NFS	1966		湿式使用済燃料貯蔵	West Valley
Gore	SEQUOYAH FUEL CORPORATION	1970	1992	転換	Gore
DP West Plutonium Facility	Los Alamos National Laboratory	1944	1978	MOX 燃料製造	Los Alamos
Hematite (ABB-CE)	Westinghouse Electric Corporation	1986	2001	ウラン燃料製造	Hematite
RMI Extrusion Plant	RMI Titanium Company	1962	1988	ウラン燃料製造	Ashtabula County
Hanford – B Plant	U.S. Department of Energy (DOE)	1956	1989	再処理	Hanford Site, Richland, Pasco
Hanford Redox Facility		1949	1956		
Hanford T Plant Complex		1944	1956		
West Valley	NFS	1966	1972	再処理	West Valley
Oak Ridge K-25, Y-12	Exxon Coal and Minerals Company	1945	1985	ウラン濃縮	Oak Ridge
Christensen Ranch	Malapai Resources	1989	2000	ウラン鉱石処理	Irigaray Ranch
Holiday / EL Mesquite	COGEMA Mining	1979	1997	ウラン鉱石処理	Webb and Duval Counties
Irigaray Ranch	AREVA /	1978		ウラン鉱石処理	Buffalo,

	COGEMA Resources				Johnson County
Las Palmas	Everest Exploration	1981	1984	ウラン鉱石処理	Las Palmas
Mt. Lucas	Everest Exploration	1984	1988	ウラン鉱石処理	Mt. Lucas

出所) IAEA NFCIS に基づき作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）^{15,16}

アメリカでは再処理を実施しておらず、再処理関連のコスト試算はない。そのため、本項目では米エネルギー省（DOE：Department of Energy）原子力局の予算要求を調査した。表に示すように 2020 会計年度では、DOE 原子力局に対する予算は、9.4 億ドルの予算要求に対し、約 15 億ドルの予算が配賦されたが、ユッカマウンテンに関する予算は認められなかった。さらに、2021 会計年度では、ユッカマウンテンに関する予算要求はなかったものの、要求比の 28%増となる約 15 億ドルの予算が配賦されている。ユッカマウンテン計画に関する予算を巡る動きについては、1.1.1.4 にて詳述している。

表 1-2 DOE 原子力局の予算要求（単位：千ドル）

	FY20 予算要求	FY20 歳出法	FY21 予算要求	FY21 歳出法
研究開発	403,600	925,550	729,500	94,5169
（うち、統合大学プログラム）	-	5,000	-	5,000
（超臨界転換発電(STEP)研究開発）	-	5,000	-	5,000
（原子力発電実現技術(NEET)）	98,450	113,450	116,000	122,869
（原子炉コンセプト研究・開発・実証）	215,150	267,000	111,500	208,000
（燃料サイクル R&D）	90,000	305,100	187,000	309,300
（先進炉実証プログラム）	-	230,000	20,000	250,000
（多目的試験炉(VTR)プロジェクト）	-	-	295,000	45,000
インフラ等	218,242	334,450	237,500	337,500
アイダホサイトの安全保障とセキュリティ	137,808	153,408	137,800	149,800
プログラム管理	64,350	80,000	75,131	75,131
ユッカマウンテン及び中間貯蔵	116,000	-	-	-
合計	940,000	1,493,408	1,179,931	1,507,600

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- 高レベル放射性廃棄物の処分に係る費用は、1982 年の放射性廃棄物政策法にて、発生者負担とし、1kWh 当たり 0.001 ドルを拠出
- ユッカマウンテン計画の頓挫により、拠出金の妥当性が評価できなくなり、2014 年から拠出金額をゼロに変更し、現在は拠出されていない

1982 年に策定された放射性廃棄物政策法では、民間で発生する使用済燃料、高レベル放射性廃棄物の処分するための費用は発生者負担とし、その資金を電力料金から徴収するシステムを規定し、放射性廃棄物基金（NWF：Nuclear Waste Fund）を創設した¹⁷。これに基づき、廃棄物発生者である原子力発電事業者は原子力発電の販売電力に対して 1kWh 当たり 1

ミル（0.001 ドル）を NWF に拠出していた。しかし、2014 年からは連邦控訴裁判所判決に基づく措置として積み立てを中止している。本経緯について、以下に記載する。

放射性廃棄物政策法では、エネルギー長官が拠出金額の妥当性について毎年評価することを規定している。DOE は、2008 年にユッカマウンテン処分場での処分に基づいて拠出金額が妥当であるとの判断¹⁸を示していたが、2009 年にユッカマウンテン計画を中止することとなった後、2010 年に過剰または不十分な拠出金額を徴収していると判断する合理的証拠はないとの覚書を示し、これに基づき拠出金額を変更しないとしていた。これを受け、全米公益事業規制委員協会（NARUC）などは、DOE が高レベル放射性廃棄物の処分費用の評価を実施しておらず、放射性廃棄物政策法で規定された義務を履行していないとし、ユッカマウンテン計画の中止により、処分計画が不確実で処分費用を見積もることができないとして、新たな処分計画の策定まで拠出金の徴収を停止するように訴訟をおこした¹⁹。その後、2013 年に連邦控訴裁判所は DOE に対して拠出金額をゼロに変更し、実質的に徴収しないように命じる判決を下し²⁰、2014 年にエネルギー長官が拠出金額をゼロに変更する提案を連邦議会へ提出し^{21, 22}、2014 年 5 月 16 日から有効となっている²³。

ユッカマウンテン計画の処分コストは総費用で 962 億米ドルとされ¹⁸、2015 年 4 月時点での積立金額は約 212 億米ドルとなっている¹⁹。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

2021 年 2 月時点で、アメリカは 94 基の運転中の原子力発電プラントを有する、世界一の原子力発電利用国である。2019 年の電源ポートフォリオにおいては、原子力は 19.7%を占めている²⁴。アメリカでは長らく新たな原子力発電所は建設されてこなかったが、2012 年に 34 年ぶりに新規原子力発電所の建設計画が米原子力規制委員会より承認され、現在もヴォーグル 3、4 号機が建設中であり、それぞれ 2021 年 11 月と 2022 年 11 月に稼働を開始する予定である²⁵。

アメリカにおける原子力行政体制を図 1-1 に示す。軍事利用については、エネルギー省（DOE）の国家原子力安全保障局（NNSA）と国防総省において政策の決定や調整が行われる。一方、民間の原子力利用については、DOE の原子力局及び科学局において政策の決定等が行われている。原子力局では、国のエネルギー、環境、国家安全保障のニーズを満たすために原子力利用を推進することを目指しており、原子力産業に直結する政策の決定などが行われていると考えても良い。科学局は研究開発に焦点が置かれ、国立研究所の管理等を行っている。また、民間の原子力利用については、原子力規制委員会（NRC）が原子力事業者を監督し、規制活動を行っている。原子力事業者をみると、プレイヤーでは、電気事業者、原子炉メーカー、建設会社等とわが国とは大きな違いは見られないが、研究開発段階では、ベンチャー企業が台頭しているなど、研究開発から廃炉分野にかけて若干の異なりを見せている。

一方、原子力産業構造においては、約 30 の発電事業者が原子力発電プラントを所有・運転している。これら発電事業者には、原子力発電所の許認可を保有し発電所の運転を担う専門の企業があり、それは発電事業社の子会社として位置付けられている。これらの体制をとる企業は民間企業が主であり、例えば、Exelon Corporation の場合、許認可を保有する企業はその子会社 Exelon Generation Co.となり、Duke Energy の場合は、許認可を保有する企業は

その子会社 Duke Energy Progress や Duke Energy Carolinas となる。一方で、わが国のように発電事業者自身が許認可を保有する子会社を持たない例もある。例えば、Tennessee Valley Authority や Arizona Public Service Company が挙げられ、これら企業は公益企業に多い。

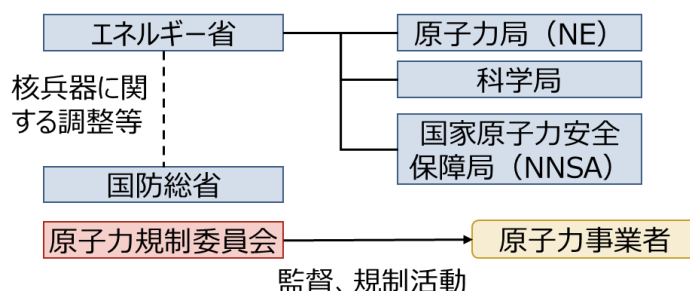


図 1-1 アメリカにおける原子力行政体制

出所）各種情報に基づき作成

1.1.1.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

<採掘>

アメリカにはウラン資源が豊富に存在しており、11 のウラン鉱山が稼働中であるが、昨今は海外からのウラン輸入量が増加しており、国内のウラン産業の衰退が懸念されている。そんな中、2018 年 1 月 16 日、アメリカのウラン採掘・生産企業である、エナジー・フューエルズ社及び Ur-エナジー社の両社が共同で米商務省（DOC）に対し、通商拡大法第 232 条に基づく申請を提出した。両社の要請文書によると、アメリカのウラン消費に国産ウランが占める割合が 1987 年には 49%であったのに対し、2017 年には 5%となっており、ウラン産業に従事する労働者が約 2,000 人から 500 人未満に減少したことが指摘されている。同申請において、現状、ウランの輸入比率が高く、特にロシアや中国等の低価格製品との競合による国内ウラン生産量のさらなる低下を懸念し、安全保障上の問題を引き合いに、ウラン輸入の安全保障への影響調査と、大統領によるウランの輸入制限（ウランの米国産比率を 25% 確保など）を求めている。これに対し、米国原子力協会（NEI）は、ウラン産業に対する支援には理解を示す一方で、輸入制限によって原子力発電事業者に財務的負担が生じ、より多くの原子炉の早期閉鎖につながるとして反対の姿勢を示している。こうした動きに対し、2018 年 7 月 DOC が本要請に対応し、調査を開始²⁶し、2019 年 4 月に輸入ウランが 93%を占める現状は米国の国家安全保障の脅威であるとの結論を大統領に伝えた。その後、2019 年 7 月に米大統領は、海外企業によるウランの過剰生産が市場を歪め米国の採掘者の競争力を削ぎ、国家安全保障の脅威となっているとの結論を斥けたが、国防の観点から国産ウランの確保は必要であり、燃料のサプライチェーン全体を検討対象とした国家安全保障に関する、より詳細な分析が必要との見解を示し、DOE 長官らが参加する国産ウラン燃料製造拡大に向けたワーキンググループの設立を指示した。2020 年 4 月、DOE 長官はワーキンググループの検討結果として、原子力部門における米国の主導権回復に向け勧告を示した戦略を公表した。本戦略では、ウラン採掘の支援にとどまらず、フロントエンドや原子力産業の復活

と強化、技術やスタンダードによる世界における主導的地位の確保、及び輸出競争力強化の4点について勧告等を示すものとなった。ウラン採掘の支援に関しては、国家によるウラン備蓄が挙げられ、本戦略を先取りする形で2021会計年度に1億5,000万ドルが要求されている²⁷。

<転換>

ゼネラルアトミックス社とハネウェル社のパートナーシップであるコンバーダイン社が所有・操業する、イリノイ州メトロポリスのプラントが操業中である。

<濃縮>

米国の濃縮プラントは、ルイジアナ・エナジー・サービス社（LES）のニューメキシコ州で、ウレンコ社の技術を用いたガス遠心分離濃縮プラント（URENCO USA）のみが商業運転している。グローバル・レーザー・エンリッチメント（GLE）社（設立時はゼネラル・エレクトリック社／日立／カメコ社の合弁会社）、仏 AREVA 社の濃縮プラントの建設計画もあるが、現在は停滞している。

URENCO USA 社は2019年2月、同社のウラン濃縮施設内に HALEU（High-Assay, Low Enriched Uranium、U235 濃縮度 5～20%の低濃縮ウラン）専用の製造ユニットの建設を計画していることを発表しており、現在は設計エンジニアリングと許認可活動を実施している²⁸。

USEC（United States Enrichment Corporation、現セントラス・エナジー社）は、オハイオ州パイクトンにおいて、ガス遠心分離法に基づく商業濃縮プラント（ACP）の研究開発に取り組んできたが、商業化の試験段階での事故、資金調達の問題等が発生していた。同社は財政再建のために2013年12月に再建計画を発表し、破産裁判所の承認を得て、2014年9月に「セントラス・エナジー社」として事業を再開した。

DOE は、オークリッジ国立研究所（ORNL）の委託運営者を通じて、セントラス・エナジー社と ACP 技術の RD&D 継続を目的とした契約を2014年5月に締結し、セントラス・エナジー社はサブコントラクターとしてオークリッジでの開発活動及びパイクトンでの ACP のカスケード運転を継続している。現在は DOE と結んだ総額1億1,500万ドルの契約の下で HALEU 燃料の生産実証作業を実施しており、ACP-100 と呼ばれているアメリカ国産技術の遠心分離機を3年間で16台設置することを予定している。また、2020年9月には原子力ベンチャー企業のテラパワー社が、国産 HALEU 燃料の供給に向けてセントラス・エナジー社と協力する計画を明らかにしている²⁹。このように URENCO USA 社は商業用の HALEU 燃料製造設備の建設計画を立てており、セントラス・エナジー社では先進炉研究開発にむけた HALEU 燃料供給のための設備の建設を DOE から支援を受けて実施している。URENCO USA 社の取り組みとは量的、時間的にも限られた内容である。

一方、2016年11月、DOE は豪サイレックス・システムズ社（SILEX）のレーザー濃縮技術の商用化を目指す GLE 社に対し今後40年以上にわたって劣化ウランを売り渡すことで合意した。これにより、GLE 社はウラン濃縮のため、DOE のパデューカサイト近隣にレーザー濃縮プラントを2020年代前半に建設・運転開始する予定である。しかし、GLE 社の親会社である GE 日立ニュークリア・エナジー（GEH）は事業環境悪化を理由に、GEH の保有する GLE 社株の売却と事業からの撤退を検討しており、2019年2月にはカナダのカメコ社と SILEX 社による GLE 社の共同買収のタームシートへの署名が発表された。これにより、GEH 社は GLE 社からの完全な撤退が完了する予定である。なお、共同買収後は、GLE

社の株式についてカメコ社 49%、SILEX 社 51%の保有となる予定である³⁰。

<燃料加工>

PWR 用燃料は主にウェスティングハウス (WH) 社と AREVA NP 社が、BWR 用燃料はグローバル・ニュークリア・フューエル・アメリカズ社と AREVA NP 社が製造している。

なお、2018 年 3 月及び 11 月には、米セントラス・エナジー社が米 X- Energy 社と先進炉燃料製造施設の設計に関する契約を締結しており、先進炉の導入に向けた燃料製造についても動きが見られ始めている³¹。さらに X-Energy 社は 2019 年 5 月に、同社が開発中の TRISO-X 燃料 (HALEU を用いた酸化ウラン (UCO) に三重被覆 (TRISO) をした被覆粒子燃料) 製造施設への設備供給におけるパートナーシップ構築に関する MOU を、原子燃料工業 (NFI) と締結したと発表している³²。

1.1.1.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託/海外再処理受託

1977 年にカーター民主党政権 (当時) が核不拡散の観点から国内再処理の無期延期を発表し、次のレーガン政権 (共和党) で再処理禁止は解除されたが、以後、再処理事業に参入する民間企業は現れておらず、プルサーマルも実施されていない。詳細は 1.1.1.1、1) に記載している。

2) 使用済燃料の再処理方策

アメリカでは使用済燃料の再処理方策を取っていない。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

アメリカでは 1960 年代の再処理以降、商業用の再処理を行っておらず、使用済 MOX 燃料の再処理方策を取っていない。MOX 燃料の使用に関しては、1960 年代から 1970 年代にかけて、原子炉級プルトニウム^aや兵器級プルトニウム^bの燃焼を目的に、試験炉や商用炉で装荷された^{33,34}。直近では、2005 年にカトーバ原子力発電所にて 4 体の MOX 燃料集合体が装荷されている³⁵。現在、使用済 MOX 燃料は中間貯蔵されており、処分される予定である。また、使用済 MOX 燃料の再処理について、米 NRC ホームページ上では、2000 年に締結された米露プルトニウム管理・処分協定 (PMDA : Plutonium Management and Disposition Agreement) によって、アメリカ政府は使用済 MOX 燃料を再処理しないことを述べている³⁶が、既に PMDA は後述する通り 2016 年に履行を停止しており、現在はどうなっているか確認できていない。

^a 原子炉級プルトニウムとは、通常の発電用原子炉の使用済燃料から回収されるプルトニウムは核分裂性同位体 (Pu-239 と Pu-241) の割合が 60%~70%であり、原子爆弾の原料には適さないプルトニウムのことをいう。

^b 兵器級プルトニウムとは、Pu-239 の組成が 93%以上 (非核分裂性同位体の比率が 6%以下) のプルトニウムを指す。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

アメリカでは使用済燃料の再処理方策を取っていない。

5) プルトニウムマネジメント³⁷

(概要)

- 冷戦終結後の米露プルトニウム管理・処分協定（PMDA）により、両国はそれぞれ余剰の兵器級 Pu 34 トンの処分を決定
- 処分方法として、2002 年に混合酸化物（MOX）燃料として商業炉で燃焼し処分するオプションを採用
- しかし、米国側は MOX 燃料製造施設（MFFF）の建設遅延と費用の高騰を受け、オバマ政権は希釈処分（D&D）方式への転換を提案、トランプ政権も転換を支持し、2020 年 12 月には、国家核安全保障局（NNSA/DOE）が残りの全ての余剰 Pu を WIPP で希釈処分することに対して環境影響評価を行うと発表

アメリカでは、余剰の兵器級プルトニウムを混合酸化物（MOX）燃料に加工し、商業炉で燃焼して消費する方針が考えられていたが、MOX 燃料製造施設（MFFF : Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility）の建設の遅延やコスト増加により、余剰プルトニウムを希釈したうえで廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP : Waste Isolation Pilot Plant）にて処分する希釈処分（D&D : Downblending and Disposal）方式への方針転換が取られることとなった。以下、詳細を記載する。

冷戦終結を背景に米露間で 2000 年に締結された核軍縮の取り組みである米露プルトニウム管理・処分協定（PMDA : Plutonium Management and Disposition Agreement）の規定に基づき、米露はそれぞれに余剰プルトニウム（Pu）34 トンの処分を行うと決定した³⁸。処分方法については、当初クリントン政権下で、MOX 燃料にして原子炉で燃焼した後に埋設処分する方法（原子炉燃焼処分）と、高レベル廃棄物と共にセラミックス固化あるいはガラス固化し、ステンレス鋼製キャニスタに封入して地層処分する方法（固定化処分）との二つを併用するハイブリッド方式が採用された。しかし、ブッシュ政権下で 2002 年には予算削減の観点から原子炉燃焼処分方式に一本化して 34 トンの余剰プルトニウムを処分する計画が発表され、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、2014 会計年度（FY14 : 2013 年 10 月~2014 年 9 月）の予算要求によれば 2002 年のエネルギー省国家核安全保障庁（NNSA）見積りで約 10 億ドルだった MFFF 設計・建設費は 77.8 億ドルに増加し、完成予定は 2019 年 11 月に遅延した。MFFF の建設費の高騰とスケジュールの遅延について、米国会計検査院（GAO）は 2013 年 3 月に議会下院で関係委員会に対して行った証言で、以下の要因を指摘している³⁹。

- 核心となるシステムの部品の設計における不十分さ : MFFF の設計はフランスの同様の施設を基礎としたものだが、建設承認の時点で、フランスの設計の適用に必要な費用の理解が不十分
- NNSA や MFFF の建設受託者の、供給業者の能力に対する理解不足 : NNSA や建設受託者における、設備等の供給業者がスケジュールを遵守しつつ原子力級の部品を製造する能力を有しているか否かについての理解の不足

- NNSA による契約後のプロジェクトスコープの拡大
- NNSA によるプロジェクトに対するレビューが有効であったか

MFFF 施設の建設遅延と費用の高騰を受け、NNSA は、従来の MOX オプションに加えて、4つの予備的オプション（高速炉燃焼、固定化、希釈処分（D&D）、Deep Borehole 処分）を比較した報告書を 2014 年 4 月に発表した⁴⁰。

これらのオプションの検討も踏まえ、DOE は FY17 の予算要求⁴¹で MOX プロジェクトの終了と、D&D 方式への転換を提案した。D&D 方式は、余剰 Pu の酸化物転換を継続すると共に、SRS の不活性物質で希釈した上でニューメキシコ州の WIPP にて処分するというものである。当時のオバマ政権は、D&D 方式への転換で、建設費、運営費の節約や処分期間の短縮が可能と主張した。トランプ政権においても、FY18~FY21 の予算要求^{42,43,44,45}で、D&D 方式への転換を支持しており、FY21 の予算要求では MFFF プロジェクトは FY21 で完了する予定と述べられている。

ただし、米国政府による D&D 方式への転換の提案に対して、ロシアは D&D による処分は PMDA の規定に反して不可逆的ではないとして 2016 年 10 月に PMDA の履行を停止した^{46,47}。

MFFF の建設中止に向けた動きに対して、サウスカロライナ州は反発し、建設中止に向けた動きの差し止めを求める訴えを連邦裁判所に提起していた。MFFF 作業停止計画の差止命令は 2018 年 10 月 10 日に連邦巡回控訴裁判所により解除⁴⁸され、これを受け MFFF 建設の受託者である MOX サービスズ社は同年 11 月に、建設を中止する意向を NRC に書面で通知しており⁴⁹、現在余剰プルトニウムの処理・処分方法としては D&D 方式のみが残っている形となる。なお、2019 年 11 月に DOE と国家核安全保障局（NNSA）は、MOX サービスズ社と建設契約の終了に関する和解契約を締結したことを発表している⁵⁰。直近では、2020 年 12 月に、NNSA が余剰 Pu の WIPP での希釈処分について環境影響評価を行うことを連邦官報で告示⁵¹しており、評価結果と今後の動向が注目される。

6) マルチリサイクルの概念

アメリカでは現状使用済燃料のマルチサイクルは実施・検討されていない。

1.1.1.4 廃棄物処分

アメリカでは、民間起源、軍事起源の廃棄物共に最終的には DOE が責任を持って処分することとしている。表 1-3 に、DOE によって処分されるアメリカの廃棄物の種類と量を示す⁵²。

表 1-3 DOE によって処分されるアメリカの放射性廃棄物の種類と量（2017 年時点）

廃棄物の種類	重量 (tHM)
商業用使用済燃料	141,423
DOE 由来高レベル廃棄物（軍事起源）	11,655
DOE 由来使用済燃料（軍事起源）	2,195
DOE 由来高レベル廃棄物（商用）	139
DOE 由来使用済燃料（商用）	240

DOE 由来使用済燃料（海軍）	65
合計	155,717

出所) United States Government Accountability Office、Benefits and Costs Should Be Better Understood Before DOE Commits to a Separate Repository for Defense Waste、2017 年 1 月、
<https://www.gao.gov/assets/690/682385.pdf>

1) 使用済燃料処分（直接処分）

（概要）

- アメリカではユッカマウンテンが処分場候補地となっていたが、2011 年から許認可手続きが停止。
- トランプ政権では、2018 会計年度以降、許認可手続の再開等のために予算要求してきたが、議会は予算を配賦せず。
- 一方、軍事起源の高レベル廃棄物については民間処分場と切り分けて検討する動きがあり、今後も注視が必要。

アメリカでは使用済燃料は再処理されず、直接処分を想定しているが、処分場建設の候補地であったユッカマウンテンにおいて地元了解が得られず、2010 年 3 月に DOE は処分場設置許認可申請の取り下げを NRC に申し立てている⁵³。その後、2011 年 9 月に処分場として検討されていたユッカマウンテン処分場の許認可申請書の審査手続きが停止となっている。その後 DOE のユッカマウンテン関連予算としては、2012 年から 2017 年まで予算要求がされてこなかったが、2018 会計年度の DOE の予算要求にて、「ユッカマウンテン及び中間貯蔵」プログラムが設けられ、120,000 千ドル（約 136 億円、1 ドル＝113 円で換算）が要求された。この時、原子力規制委員会（NRC）の予算要求においても、ユッカマウンテン処分場の建設認可に係る許認可申請書の審査手続の継続のための予算として、30,000 千ドル（約 33 億 9,000 万円）が要求された。トランプ政権（当時）は、ユッカマウンテン処分場の審査手続きを再開させる方針を示していたが、2018 会計年度包括歳出法では結局のところ、DOE、NRC 共に予算が計上されなかった⁵⁴。連邦議会下院で採択された歳出法案ではユッカマウンテン関連予算が計上されていたが、連邦議会上院で採択された歳出法案ではユッカマウンテン関連予算は含まれておらず、その後の両院協議会にてユッカマウンテン関連予算を計上しないことに決定し、上院・下院本会議で承認されたためである。その後、2019 会計年度、2020 会計年度共に DOE、NRC からユッカマウンテン関連予算が要求されたが、最終的な歳出法では含まれなかった。2021 会計年度においては、使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理について、トランプ政権は、ユッカマウンテン計画の膠着状態を打破して進展を図るため、代替解決策を開発するためのプロセスを開始し、実行可能な方策の開発において州を関与させていく方針⁵⁵を示し、DOE、NRC 共にユッカマウンテン計画に関する予算要求はなされなかった。したがって、現在使用済燃料処分に関しては、2012 年から現在まで、計画がなく、検討するための予算も付けられていない状態となっている。

また、ユッカマウンテンに貯蔵可能な使用済燃料量に関して、EPRI は、現在の想定処分量である 70,000 THM（Ton of Heavy Metal）の約 4 倍の 260,000 THM の処分容量をユッカマウンテンが有しており、最大で 570,000 THM の容量を有す可能性を述べている⁵⁶。

一方、軍事起源の高レベル廃棄物（核兵器開発等で発生した高レベル放射性廃棄物や海軍

の船舶炉の使用済燃料) に関して、DOE は 2015 年 3 月に「軍事起源の高レベル放射性廃棄物の独立した処分に関する報告書」を公表⁵⁷し、DOE が管理している軍事起源の高レベル放射性廃棄物及び使用済燃料の処分について、民間起源の使用済燃料等の処分場計画と切り離して実施するとの方針を示した。これに対して、大統領は DOE による計画を 1982 年の放射性廃棄物政策法第 8 条に照らして是認するとの覚書を公表した⁵⁸。第 8 条では、軍事起源の高レベル放射性廃棄物の処分場の開発が必要であると大統領が判断した場合、民間から独立した処分場を計画することができると規定されている。その後、DOE は 2016 年 12 月に軍事起源廃棄物処分場の計画案を公表しており、同計画書では、16 年後に処分場の建設を開始し、23 年後には操業を開始する予備的なスケジュール案が示された⁵⁹。

2) ガラス固化体処分

アメリカでは、使用済燃料を再処理した後に発生するガラス固化体は少数であり、高レベル放射性廃棄物として地層処分する方針である。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

アメリカにおいては、原子力発電等によって発生した低レベル放射性廃棄物について、発生した州または州間協定の枠内で処分する責任が法律で定められている。放射性廃棄物は放射能レベルと寿命等に応じて分類され、それぞれの処分方針は以下の通りとなっている。

- 高レベル放射性廃棄物（HLW）：地層処分
- 低レベル放射性廃棄物（LLW）：クラス A、B、C 及びクラス C 超えに分類し、クラスに応じて処分
- 超ウラン廃棄物（TRU）：廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）で地層処分
- 副生成物廃棄物：LLW 処分場で処分

現在アメリカで操業中の民間の低レベル放射性廃棄物処分場は、リッチランド、バーンウェル、クライブ、WCS テキサスの 4 カ所である。使用済燃料については、再処理せずに地層処分するものとし、処分場は決定していない（図 1-2）。

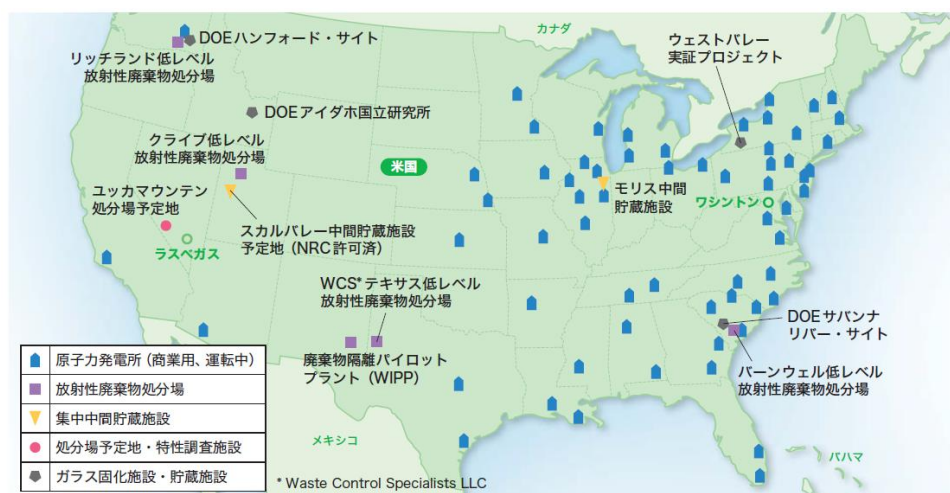


図 1-2 アメリカの原子力発電所及び原子力関連施設の所在地

出所) 原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて 2020 年版、p.52 より引用

アメリカにおける放射性廃棄物区分は、高レベル放射性廃棄物（使用済燃料）、超ウラン（TRU）廃棄物、低レベル放射性廃棄物、11e.(2)副生成物廃棄物に区分されており、低レベル放射性廃棄物はさらにクラス A～C、及びクラス C 超え（GTCC：Greater-Than-Class C）に分類されている（表 1-4 及び表 1-5 参照）。

表 1-4 アメリカの放射性廃棄物区分（商業利用により発生するもの）

廃棄物区分	種類
高レベル放射性廃棄物	主に原子力発電により発生する使用済燃料
低レベル放射性廃棄物	主に原子力発電所の運転によって発生する運転廃棄物及び廃止措置により発生する解体廃棄物（長寿命及び短寿命核種の濃度に応じて、クラス A、クラス B、クラス C、クラス C 超え（GTCC）に分類される）
11e(2)副生成物廃棄物	ウラン鉱滓等

出所) 原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて 2020 年版、p.53 より三菱総合研究所作成

表 1-5 アメリカの低レベル放射性廃棄物の濃度基準

クラスA	クラスB	クラスC	クラスC越え (GTCC)
- 表a×0.1以下 - 表a、b以外の核種を含むもの	表bの列A～Bの範囲	- 表a×0.1～1の範囲 - 表bの列B～Cの範囲	- 表a越え - 表bの列C越え

対象核種	表a：長寿命核種 (濃度上限値)	表b：短寿命核種 (濃度上限値)		
		列A	列B	列C
H-3	指定なし	700 Ci/m ³	指定なし	指定なし
C-14	8 Ci/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
C-14 (放射化金属中)	80 Ci/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
Ni-59 (放射化金属中)	220 Ci/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
Co-60	指定なし	700 Ci/m ³	指定なし	指定なし
Ni-63	指定なし	3.5 Ci/m ³	70 Ci/m ³	700 Ci/m ³
Ni-63 (放射化金属中)	指定なし	35 Ci/m ³	700 Ci/m ³	7,000 Ci/m ³
Sr-90	指定なし	0.04 Ci/m ³	150 Ci/m ³	7,000 Ci/m ³
Tc-99	3 Ci/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
I-129	0.08 Ci/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
Cs-137	指定なし	1 Ci/m ³	44 Ci/m ³	4600 Ci/m ³
Pu-241	3,500 nCi/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
Cm-242	20,000 nCi/m ³	指定なし	指定なし	指定なし
半減期5年以下の核種	指定なし	700 Ci/m ³	指定なし	指定なし
半減期5年以上の超ウラン α放出核種	100 nCi/m ³	指定なし	指定なし	指定なし

※1Ci = 37GBq

出所) U.S.NRC、§ 61.55 Waste Classification⁶⁰より 三菱総合研究所作成

原子力の商業利用で発生する低レベル放射性廃棄物の処分に関する実施主体は、民間の処分事業者となる。民間の処分事業者としては、ワシントン州リッチランド処分場を操業している US エコロジー社、サウスカロライナ州バーンウェル処分場及びユタ州クライブ処分場を操業しているエナジーソリューションズ社、WCS テキサス処分場を操業しているウェースト・コントロール・スペシャリスト（WCS）社がある（表 1-6 参照）。

表 1-6 アメリカの低レベル放射性廃棄物処分場及び操業者

所在地・規制者	操業者	処分場名	対象廃棄物
ワシントン州・保健省放射線防護局	US エコロジー	リッチランド	クラス A、クラス B、クラス C
サウスカロライナ州・健康環境規制局（DHEC）	エナジーソリューションズ	バーンウェル	クラス A、クラス B、クラス C
ユタ州・環境品質省（DEQ）		クライブ	クラス A、11e.(2)
テキサス州・テキサス環境品質委員会（TCEQ）、テキサス州保険サービス局（TDSHS）	WCS（ウェースト・コントロール・スペシャリスト）	WCS テキサス	クラス A、クラス B、クラス C、11e.(2)

出所）原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国における放射性廃棄物関連の施設・サイトについて 2020 年版より三菱総合研究所作成

1.1.1.5 参考文献

- ¹ International Atomic Energy Agency, Status and trends in spent fuel reprocessing, IAEA-TECDOC-1467, 2005
- ² 原子力環境整備促進・資金管理センター、米国における高レベル放射性廃棄物処分、<https://www2.rwmc.or.jp/hlw/us/prologue> (2020 年 9 月閲覧)
- ³ 保全技術アーカイブ、特集記事「核燃料サイクル」(3) 世界の再処理工場、<https://mainte-archive.cloud/2020/08/post-17.html> (2020 年 9 月閲覧)
- ⁴ 二ノ方壽、笹尾信之、高速炉の変遷と現状 第4回 米国の高速炉開発の歴史(II)、日本原子力学会誌、Vol.49、No.10、2007
- ⁵ President Clinton Fact Sheet on Nonproliferation And Export Control Policy、September 27、1993
- ⁶ President's Committee of Advisors on Science and Technology (PCAST)、Panel on Energy Research and Development、"Report to the President on Federal Energy Research and Development for the Challenges of the Twenty-first Century"、November 1997
- ⁷ 日本原子力研究所、NERI (Nuclear Energy Research Initiative) 計画で採択された研究課題の概要、JAERI-Review 99-017、1999 年 8 月
- ⁸ Report of the National Energy Policy Development Group、National Energy Policy、2001 年 5 月、<https://www.nrc.gov/docs/ML0428/ML042800056.pdf>
- ⁹ 日本エネルギー経済研究所、国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP) の概要と考察、2006 年 3 月、<https://eneken.iej.or.jp/data/pdf/1255.pdf>
- ¹⁰ Buzz Savage、Director Fuel Cycle R&D Office of Nuclear Energy、AFCI/GNEP R&D Program、2017、<https://www.energy.gov/sites/prod/files/NEAC0207-AFCI.pdf>
- ¹¹ 河田東海夫、ヤッカマウンテン計画の失敗とブルーリボン委員会報告書、日本原子力学会誌、Vol.54、No.12、2012
- ¹² Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future、Reactor and Fuel Cycle Technology Subcommittee Report to the Full Commission Updated Report、2012 年 1 月、https://www2.rwmc.or.jp/nf/wp-content/uploads/2012/03/usa_1201_BRC_rfct_report_final.pdf
- ¹³ 日本原子力産業協会、米国エネルギー省原子力局「戦略ビジョン」の概要、2021 年 2 月、https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2021/02/doestrategic_vision
- ¹⁴ Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future、Report to the Secretary of Energy、2012 年 1 月、p.104-p.105、https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/brc_finalreport_jan2012.pdf
- ¹⁵ U.S. Department of Energy、FY 2021 Congressional Budget Request、2020 年 2 月、https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/02/f72/doe-fy2021-budget-volume-3-part-2_2.pdf
- ¹⁶ 米連邦議会下院、DIVISION D-ENERGY AND WATER DEVELOPMENT AND RELATED AGENCIES APPROPRIATIONS ACT、2021
<https://docs.house.gov/bills/thisweek/20201221/BILLS-116RCP68-JES-DIVISION-D.pdf>
- ¹⁷ Nuclear Waste Policy Act (Public Law 97-425, Jan. 7 of 1983/ Public Law 100-203, Dec. 22 of 1987.12.22/ Public Law 102-486, Oct. 24 of 1992)
- ¹⁸ U.S. Department of Energy、U.S. Department of Energy Releases Revised Total System Life

Cycle Cost Estimate and Fee Adequacy Report for Yucca Mountain Project、2008 年 8 月 5 日、
<https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-releases-revised-total-system-life-cycle-cost-estimate-and-fee>、2020 年 11 月閲覧

¹⁹ National Association of Regulatory Utility Commissioners、THE NUCLEAR WASTE FUND: Budgetary, Funding, and Scoring Issues、2015 年 12 月 3 日、
<https://pubs.naruc.org/pub.cfm?id=8985A64E-D611-401A-2028-2F812C94C044>

²⁰ United States Court of Appeals for the District of Columbia Circuit、On Petitions for Review of Final Actions or Failures to Act by the United States Department of Energy、2013 年 11 月 19 日、
https://www2.rwmc.or.jp/nf/wp-content/uploads/2013/11/usa_131120_1_cadc.pdf

²¹ The Secretary of Energy DC 20585、2014 年 1 月 3 日、https://www2.rwmc.or.jp/nf/wp-content/uploads/2014/01/usa_140114_1_doe_biden.pdf

²² The Secretary of Energy DC 20585、2014 年 1 月 3 日、https://www2.rwmc.or.jp/nf/wp-content/uploads/2014/01/usa_140114_2_doe_boehner.pdf

²³ U.S. Department of Energy、AUDIT REPORT Department of Energy's Nuclear Waste Fund's Fiscal Year 2014 Financial Statement Audit、OAS-FS-15-03、2014 年 11 月、
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/12/f19/OAS-FS-15-03.pdf>

²⁴ IAEA、Power Reactor Information System

²⁵ Southern Company、Fourth Quarter 2019 Earnings Conference Call、2020 年 2 月、
https://s2.q4cdn.com/471677839/files/doc_financials/2019/q4/SO-2019-Q4-Earnings-Call-Final-Post-at-1PM.pdf

²⁶ U.S. Department of Commerce、U.S. Department of Commerce Initiates Section 232 Investigation into Uranium Imports、2018 年 7 月、<https://www.commerce.gov/news/press-releases/2018/07/us-department-commerce-initiates-section-232-investigation-uranium>

²⁷ U.S. Department of Energy、Restoring America's Competitive Nuclear Energy Advantage、A strategy to assure U.S. national security、2020 年 4 月、
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f74/Restoring%20America%27s%20Competitive%20Nuclear%20Advantage-Blue%20version%5B1%5D.pdf>

²⁸ Urenco、Urenco USA Inc. announces next-step HALEU activities、2019 年 2 月、
<https://www.urenc.com/news/usa/2019/urenc-usa-inc-announces-next-step-haleu-activities>

²⁹ Centrus Energy、TerraPower announces plan to invest in domestic advanced nuclear fuel production to ensure U.S.-based fuel supply for advanced reactors、2020 年 9 月、
<https://www.centrusenergy.com/news/terrapower-announces-plan-to-invest-in-domestic-advanced-nuclear-fuel-production-to-ensure-u-s-based-fuel-supply-for-advanced-reactors/>

³⁰ Sillex Systems、Sillex and Cameco sign binding agreement with GEHitachi Nuclear Energy for the purchase of its 76% interest in Global Laser Enrichment、2019 年 12 月、
<http://www.sillex.com.au/Sillex/media/Corporate-Governance/14-SLX-GLE-Restructure-Execution-161219.pdf?ext=.pdf>

³¹ Centrus Energy、X-energy and Centrus Begin Advanced Nuclear Fuel Fabrication Facility Design、2018 年 11 月、<https://www.centrusenergy.com/news/x-energy-and-centrus-begin-advanced-nuclear-fuel-fabrication-facility-design/>

³² X-Energy、X-energy Partners with Nuclear Fuel Industries on Future TRISO Fuel Production、2019 年 5 月

³³ United States Nuclear Regulatory Commission、Final Generic Environmental Statement on the Use of Recycle Plutonium in Mixed Oxide Fuel in Light Water Cooled Reactors、NUREG-0002、
21

1976

- ³⁴ OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY、The Use of MOX Fuel in the United States: Bibliography of Important Documents and Discussion of Key Issues、ORNL/MD/LTR-354、2012
- ³⁵ United States Nuclear Regulatory Commission、Use of Mixed Oxide Fuel in Power Reactors、<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/mox/reactors.html>、2020 年 11 月閲覧
- ³⁶ United States Nuclear Regulatory Commission、<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/mox/faq.html#10>、2020 年 9 月閲覧
- ³⁷ U.S. Department of Energy、The United States Plutonium Balance, 1944 – 2009、2012 年 6 月、<https://fas.org/sgp/othergov/doe/balance.pdf>
- ³⁸ U.S. Department of State、2000 Plutonium Management and Disposition Agreement、2020 年 11 月閲覧、<https://2009-2017.state.gov/r/pa/prs/ps/2010/04/140097.htm>
- ³⁹ 会計検査院 (GAO)、Concerns with Major Construction Projects at the Office of Environmental Management and NNSA、2013 年 3 月、<https://www.gao.gov/assets/660/653154.pdf>
- ⁴⁰ U.S. Department of Energy、Report of the Plutonium Disposition Working Group: Analysis of Surplus Weapon - Grade Plutonium Disposition Options、2014 年 4 月、<http://fissilematerials.org/library/doe14a.pdf>
- ⁴¹ U.S. Department of Energy、2017 会計年度予算要求資料、2016 年 2 月、<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f29/FY2017BudgetVolume1.pdf>
- ⁴² U.S. Department of Energy、2018 会計年度予算要求資料、2017 年 3 月、https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/FY2018BudgetVolume1_1.pdf
- ⁴³ U.S. Department of Energy、2019 会計年度予算要求資料、2018 年 3 月、<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/03/f49/FY-2019-Volume-1.pdf>
- ⁴⁴ U.S. Department of Energy、2020 会計年度予算要求資料、2019 年 3 月、https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/03/f60/doe-fy2020-budget-in-brief_0.pdf
- ⁴⁵ U.S. Department of Energy、2021 会計年度予算要求資料、2020 年 2 月、https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/02/f72/doe-fy2021-budget-in-brief_0.pdf
- ⁴⁶ President of Russia、Law suspending Russian-US Plutonium Management and Disposition Agreement (PMDA) signed、2016 年 10 月、<http://en.kremlin.ru/acts/news/53167>
- ⁴⁷ Center for Arms Control and Non-Proliferation、The End of the Plutonium Management and Disposition Agreement: A Dark Cloud with a Silver Lining、2016 年 11 月、<https://armscontrolcenter.org/end-plutonium-management-disposition-agreement-dark-cloud-silver-lining/>
- ⁴⁸ United States Court of Appeals for the Fourth Circuit、Order、2018 年 10 月、<https://s3.amazonaws.com/ucs-documents/global-security/mox-motion-granted.pdf>
- ⁴⁹ MOX Services、Notification of Cessation of Project Construction and Request to Terminate Construction Authorization No. CAMOX-001、2018 年 11 月、<https://adamswebsearch2.nrc.gov/webSearch2/main.jsp?AccessionNumber=ML18305A356>
- ⁵⁰ National Nuclear Security Administration、NNSA reaches settlement agreement with MOX Services、2019 年 11 月、<https://www.energy.gov/nnsa/articles/nnsa-reaches-settlement-agreement-mox-services>
- ⁵¹ Federal Register、Notice of Intent To Prepare an Environmental Impact Statement for the Surplus Plutonium Disposition Program、Vol. 85、No. 242、2020 年 12 月 16 日、

<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-12-16/pdf/2020-27674.pdf>

⁵² United States Government Accountability Office、Benefits and Costs Should Be Better Understood Before DOE Commits to a Separate Repository for Defense Waste、2017 年 1 月、
<https://www.gao.gov/assets/690/682385.pdf>

⁵³ U.S. Department of Energy、U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S MOTION TO WITHDRAW、2010 年 3 月 3 日、<https://www.nrc.gov/docs/ML1006/ML100621397.pdf>

⁵⁴ 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、米国で 2018 会計年度の予算要求—ユッカマウンテン許認可手続の再開等に係る予算を要求、2017 年 5 月 24 日、<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=19953> (2020 年 12 月閲覧)

⁵⁵ Budget of the U.S. Government、Office of Management and Budget、A Budget for America's Future、2020 年 2 月 10 日、https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/02/budget_fy21.pdf

⁵⁶ Electric Power Research Institute、Program on Technology Innovation: Room at the Mountain、2007 年 6 月

⁵⁷ U.S. Department of Energy、Report on Separate Disposal of Defense HighLevel Radioactive Waste、2015 年 3 月、
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/03/f20/Defense%20Repository%20Report.pdf>

⁵⁸ the White House、Presidential Memorandum -- Disposal of Defense High-Level Radioactive Waste in a Separate Repository、2015 年 3 月、<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/03/24/presidential-memorandum-disposal-defense-high-level-radioactive-waste-se>

⁵⁹ U.S. Department of Energy、Draft Plan for a Defense Waste Repository、2016 年 12 月、
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/Final%20Draft%20DWR%20Plan.pdf>

⁶⁰ United States Nuclear Regulatory Commission、§ 61.55 Waste classification、
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part061/part061-0055.html> (2020 年 12 月閲覧)

1.1.2 ロシア

1.1.2.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- 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。
- 連邦目標プログラムの下、ロスアトムは 2011 年より「ブレークスルー (Proryv) プロジェクト」を開始している。目標は、「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」とされる。

ロシアでは、自国の化石燃料を輸出に回すために、国内の発電部門を原子力などで代替する戦略がとられている。ソ連時代には、原子力の軍事利用と共に平和利用も積極的に展開し、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ており、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ている。特に、高速炉を将来のエネルギー問題解決のカギとして捉えて、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ている。

国営総合原子力企業ロスアトムの主要子会社である TENEX によると、路線を固持する理由は、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のためでもある。また、技術の波及効果も期待され、すでに月面探査機や火星探査機などへの技術転用の例もあるという。また、ロスアトムへのヒアリングによると、核燃料サイクルの実現のための再処理施設等を整備する上で、国内ニーズを基に資金調達を明確に定め、国内のインフラ整備が進められている。

ロシアの主要政策と経済目標の一つに原子力関連製品やサービスの輸出が位置づけられ、2017 年までに 20 基を超える原子炉の輸出が決定または計画され、海外からの注文は 1,330 億ドルに達している。ロシアは原子炉輸出では世界首位、世界市場の 67%を占める。

なお、2018 年の年間原子力発電電力量は 2,043 億 kWh (原子力発電量シェア 18.7%) であった⁶¹ (2015 年までのエネルギー戦略では、国内の原子力発電の割合を 18%で維持することを規定)。

ロシアのエネルギー需要に応えるとともに、天然ウランと使用済燃料利用効率向上の実現を目指し、新世代の原子力技術の開発目標として次の 2 つを最重要指標としている。

- クローズドサイクルを実現する高速中性子炉の開発
- 原子力エネルギーの新たな利用方法の研究 (核融合分野を含む)

また、国内の発電電力量に占める原子力の比率を 2030 年までに 25～30%、2050 年までに 45～50%とすることを想定し、新設や次世代炉の開発を進展させている。

連邦目標プログラムの下、ロスアトムは 2011 年より「ブレークスルー（Proryv）プロジェクト」を開始している。目標は、「固有安全性を有する高速炉と施設を 2025 年までに開発すること」であり、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）
- 核不拡散体制の技術面での強化
- 発電単価で他の発電技術と競合できる経済性

また、上記の目標達成のため、

- 混合窒化物燃料の研究開発、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、設計を進めるとしている。⁶²

なお、ロスアトムは BREST の開発拡大のため、2019 年から 2025 年にかけて追加で 2,000 億ロシアルーブルを割り当てるように政府に要請している。この資金は BREST の開発が焦点となっており、2050 年までの長期戦力の中で、MOX や窒化物燃料を使ったより安全なクローズドサイクルへの移行が念頭である。高速炉は、2020 年から 2025 年にかけて割合を増やし、高速炉の発電容量を 14GWe 程度（2030 年）、34GWe 程度（2050 年）とする想定である。⁶³

ロスアトムへのヒアリングによると、鉛冷却窒化物燃料を使った高速炉（BREST など）の研究は、MA 変換、プルトニウム消費や核分裂生成物（FP）の処理までを可能とすることを目指している。冷却材として鉛を使うことで、一部で圧力が低くなり、事故時の放射性物質の飛散リスクがより低くなるというメリットもある。

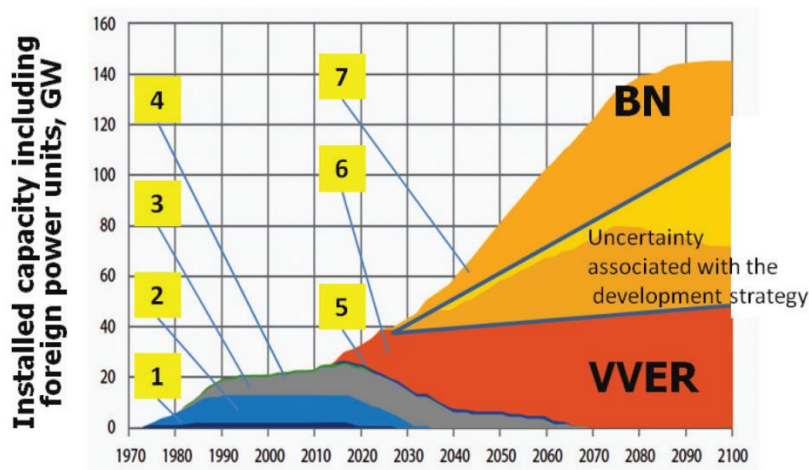


図 1-3 ロシア型の原子力発電の開発導入戦略例（炉型別、海外含む）⁶⁴

1=VVER-440、2=RBMK、3=VVER-1000、4=BN-600、5=BN-800、6=VVER-TOI^a、7=BN-1200

^a VVER-1200 を更に改良・最適化した炉で、欧州電気事業者要件（EUR）の認証を取得（2019 年 6 月 13

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

(概要)

- ロシア国内には、高速炉、濃縮工場、ウラン燃料加工施設、再処理施設等の核燃料施設が数多く建設されている。長いものでは操業開始からすでに 70 年近くが経過しているが、現時点ではほとんどが建設中または運用中であり、廃止措置中の施設はオブニンスクの高速度実験炉 BR-5/10 及びシェフチェンコ（カザフスタン）に建設されたナトリウム冷却高速炉 BN-350 のみが確認できた。

核燃料施設はロシア国内の主な高速炉等の運用・廃止措置状況を下記にまとめる。なお、現時点ではほとんどが建設中または運用中である。ロスアトムへのヒアリングによると、既存の施設の設計寿命は基本 60 年だが延長も可能であり、実際的には平均して 100 年程度となる見込みである。

表 1-7 ロシア国内の高速炉の運用状況

分類	原子炉名	炉型	段階	所在地	状態 操業期間	能力(万 kW) 備考
多目的 高速研究炉	原子炉科学研究所 RIAR MBIR	MBIR	研究炉	デミトロフ グラード	建設中 2020 年完 成予定	15 鉛、鉛・ビスマス、ナトリウム などによる冷却可能
鉛冷却 高速炉	シベリア化学コンビ ナート SCC BREST-300	BREST- 300	原型炉	セベルス ク	建設中 2026-	30
鉛ビスマス冷 却高速炉	原子炉科学研究所 RIAR SVBR-100	SVBR- 100	原型炉	デミトロフ グラード	計画中	10 ⁶⁵
ナトリウム冷却 高速炉	原子炉科学研究所 RIAR BOR-60	BOR-60 (ループ 型)	実験炉		運用中 1969-2020	1.2 運転延長 5 年を経て、 2020 年 12 月に MBIR へ 運転が引き継がれる予定
	BR-5/10	BR-5/10 (ループ 型)	実験炉	オブニ ンスク	廃止措置準 備中 1959-2003	(0.8 万 kWt)―
	BN-350	BN-350 (ループ 型)	原型炉	シェフチェ ンコ(カザ フスタン)	廃止措置中 1973-1999	15 発電/海水淡水化プラント
	ベロヤルスク 3	BN-600 (タンク 型)	原型炉	ザレチニ ー	運用中 1981-	56 ナトリウム漏えい、火災等 各種トラブルを経験するも、 現在は順調に運転 2040 年までの 60 年運転 許可を申請中(2020.7 時 点) ⁶⁶
	ベロヤルスク 4	BN-800 (タンク 型)	実証炉		運用中 2016-	78.9
	ベロヤルスク 5	BN-1200 (タンク 型)	商業炉		建設中 2036 年	122
	南ウラル 1	BN-1200 (タンク 型)	商業炉	チェラビン スク	建設中 2033 年完	122

		型)			成予定	
--	--	----	--	--	-----	--

※世界原子力協会（WNA）をもとに作成

表 1-8 ロシア国内の濃縮工場の運用状況

事業者	施設名	所在地	状態 操業期間	能力(tSWU/y)
TVEL	ウラル電気化学コンビナート	ノボウラルスク	運用中 1949-	10,000
	シベリア化学コンビナート(SCC)	セベルスク	運用中 1950-	3,000
	電気化学プラント	セレノゴルスク	運用中 1964-	8,700
	電解化学コンビナート	アンガルスク	運用中 1950-	2,600

※世界原子力協会（WNA）、原子力年鑑 2020 をもとに作成

表 1-9 ロシア国内の燃料加工施設の運用状況

分類	事業者	施設名	所在地	状態 操業期間	燃料の種類	能力 (tHM/y)
ウラン 燃料	TVEL	機械建設工場 (エレマツシュ)	エレクト ロスタリ	運用中 1953-	VVER 他	1,800
				運用中 1953-	RBMK	460
				運用中 1953-	ペレット	1,450
		化学コンセント レート工場	ノボシビ ルスク	運用中 1979-	VVER- 1000 他	1,200
				運用中 1979-	ペレット	660
MOX 燃料	生産合同マヤク	Packet 施設	アジョル スク	運用中 1993-	MOX ペレ ット	0.5
				運用中 2018-	混合窒化物 燃料	14
	シベリア化学コン ビナート(SCC)	MOX 工場	セベルス ク	運用予定 2017-	MOX	—
				運用予定 2017or2018-	窒化物燃料	—
	原子炉科学研 究所(RIAR)	振動充填燃料 製造施設	ディミトロ フグラード	運用中 1981-	MOX(振動 充填法)	1
	鉍業化学コンビ ナート MCC	MOX 工場	ゼレズノ ゴルスク	運用中 2015-	MOX(ペレ ット法)	60

※世界原子力協会（WNA）、原子力年鑑 2020 をもとに作成

表 1-10 ロシア国内の再処理施設の運用状況

事業者	施設名	所在地	状態 操業期間	能力 (tHM/y)	備考
マヤク生産合同 (マヤク化学コン ビナート)	RT-1	アジョルスク	運用中 1971-	400	VVER-440、研究炉、 高速炉燃料対象 回収ウランは RBMK の燃料として再利用
鉍業化学コンビ ナート(MCC)	パイロット実 証炉 (PDC)	ゼレズノゴル スク	運用中 2015-	100	2015 年に 10tHM/y で 操業開始 2020 年には 250tHM/y に拡大予定
	RT-2		建設中 2025 年 完成予定	700	PDC の技術を活用 VVER-1000、RBMK 対象
シベリア化学コン	窒化物燃料	セベルスク	建設中 2023 年	(5)	鉛冷却高速炉 BREST

ビナート SCC	再処理施設		操業目標		用
----------	-------	--	------	--	---

※世界原子力協会（WNA）、原子力年鑑 2020 をもとに作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

ロシアでは海外再処理を受入れられるような柔軟な形で再処理産業を整備がされているが、国内需要を満たし自己完結できることを前提に再処理・処分関連のインフラが整備されている。

使用済燃料の再処理コストや使用済燃料はガラス固化体の処分の具体コストについては、ツールや指標などを用いて使用済燃料サービスや高レベル廃棄物関連サービスの単価を決め決めている。具体的には、使用済燃料を扱う施設の様々な作業の生産原価を試算し、その機関が納めるべき税金の額なども考慮した上で、必要なコストを求め、市場価格の時価と比較して適正価格を決める方法を取っている。

使用済燃料の再処理はマヤク生産合同の RT-1（2017 年に VVER-1000 の使用済燃料を産業規模で再処理できるよう改良）で実施されているが、2017 年の改良後の RT-1 において、再処理原価を明確化と技術的プロセスの合理化を進め、コストの引き下げ等、技術的・経済的な指標を定めるとしている。

その他参考として、転換プラントと濃縮プラントの建設コスト等は下記の通りである。

アンガルス社（Angarsk Electrolysis & Chemical Complex (AECC)）は、転換プラントと拡散濃縮プラントの廃止措置に 200 億ロシアルーブル（5 億ドル）が必要であると発表（2014 年）している。また、1990 年代に閉鎖されたキロヴォ=チェペツキー化学コンビナートの転換能力の廃止には、21 億ロシアルーブルが必要と予想されている。⁶⁷

連邦目標プログラム（FTP）「Advanced Nuclear Power Technologies 2010-2020」による高速炉の予算は下記の通りである。

表 1-11 FTP による高速炉開発予算

単位：億ロシアルーブル

タイプ	実証炉	建設予算	研究開発予算	合計
鉛ビスマス冷却	SVBR 100MWe	101.53	30.75	132.28
ナトリウム冷却	(BN-600, BN-800)	0	53.66	53.66
鉛冷却	BREST-300 MWe	155.55	101.43	256.98
多目的	MBIR 150MWt	113.90	50.42	164.32
合計		371	236	607

また、鉱業化学コンビナート（MCC、ゼレズノゴルスク）のパイロット実証炉（PDC）は、「戦略的投資プログラム」において、84 億ロシアルーブルで建設されている。PDC の運転フェーズ 1 では、研究用ホットセルで再処理量 10 トン/年を初期容量として 100 トン/年へ増加、2018 年からはフェーズ 2 として 250 トン/年、2019 年からはフェーズ 2 の完全稼働の予定である。

フェーズ 2 には、結晶脆化とガス、熱、機械による同時切断といった革新技術が使われており、RT-2 の最初のステージで使用される予定である。回収ウランのコストは 1 kgあたり約 500 ユーロになると予想されている。

RBMK 及び VVER の使用済燃料の管理も、鉱業化学コンビナート MCC で行われている。VVER-1000 燃料の湿式貯蔵 11,000 トン分が貯蔵される計画である。また、2012 年には乾式貯蔵施設 INF DSF-2 が E4 グループによって建設されている。この施設は貯蔵容量 8,600 トンと世界最大であり、建設費は約 5 億ドルであった。また、乾式貯蔵の貯蔵容量を 37,000 トン (26,510 トン RBMK、11,275 トン VVER) 以上に増やす第 2 ステージが計画されており、現在の湿式貯蔵施設は 2026 年に廃止される予定である。なお、使用済燃料は再処理されるまで最大 50 年間保管される。また、海外の原子炉販売（当初はイラン）に関連する燃料回収の取り決めなどにより、ロシア国外の VVER-1000 使用済み燃料を貯蔵する可能性もあるとされている。⁶⁴

ロスアトムによると、化学コンビナート (MCC) には、乾式、湿式の貯蔵施設があり、年間処理量 250t のパイロットプラント建設の予定がある。再処理プラントの建設は、海外の原子力発電所で発生しロシア国内に保管されている SF の再処理に対する需要への対策であるとされる。

使用済核燃料の管理において、基本施設の建設、利用可能な施設の改善、研究の遂行及び設計のために 30 億 US ドル以上の投資が必要と考えられている。⁶⁸

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

(概要)

- ロシアの使用済燃料再処理の費用は、使用済燃料の処理を委託する事業者が、再処理サービスに対して払う対価が財源となる。また、再処理は義務化されている。
- 再処理及び高レベル放射性廃棄物の最終処分に係るコストは、売電価格に含まれており、発電事業者が電力を販売する際に、その収入の中から自動的に相当額が再処理事業者へ振り込まれる仕組みとなっている。「使用済燃料再処理と高レベル廃棄物処分」のサービス料（の合算額）は、原子力発電電力コストの約 10% に相当する。
- 2015 年 11 月、ロシア政府は、ロスアトムによる連邦目標プログラム (FTP NRS-2) 「2016 年から 2030 年までの核及び放射性安全に関する目標」を承認しており、2008 年に発効した FTP の総額 1,230 億ロシアルーブルの予算を大きく上回る、総額 5,620 億ロシアルーブルが予算化され、商業用炉の廃止措置費用や再処理関連施設の撤去費用に充てられる。

TENEX 社へのヒアリングによると、再処理の資金調達は、提供したサービスに対する発注者の対価で賄われている。すなわち、使用済燃料の処理を委託する事業者が、再処理サービスに対して払う対価が財源となる。また、再処理は義務化されている。

発電事業者は再処理資金を積み立てておらず、発電事業者が電力を販売する際に売電価格に使用済燃料再処理に係るコスト、高レベル放射性廃棄物の最終処分のコストが含まれており、発電事業者は電力を販売する際に、収入の中から自動的に再処理・高レベル廃棄物の対価に相当する金額が再処理事業者に振り込まれる仕組みとなっている。特に、何か積立金があるわけではなく、見かけ上は前金のような仕組みである。「使用済燃料再処理と高レベル廃棄物処分」のサービス料（の合算額）は、原子力発電の売電価格の約 10% に相当する。

2011 年 6 月、放射性廃棄物管理に関する新しい連邦法がロシア議会で可決、7 月に成立している。これにより国際的な条約である「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」^bの要件を満たす国内の放射性廃棄物管理システムが規定された放射性廃棄物管理の法的枠組みが確立されている。

2015 年 11 月、ロシア政府は、ロスアトムによる連邦目標プログラム (FTP NRS-2) 「2016 年から 2030 年までの核及び放射性安全に関する目標」を承認した。主要課題は、原子力産業 70 年間 (特にソビエト連邦時代) に蓄積された繰延負債の解決である。当初 2008 年に始まった FTP は、当時設定された 1,230 億ロシアルーブルの予算を超える形で終了している。新しい FTP NRS-2 は総額 5,620 億ロシアルーブル (予算の約 70% は連邦資金、残りほとんどをロスアトムが確保) である。使途は以下の通りである。

表 1-12 FTP NRS-2 の予算使途 (総額 5,620 億ロシアルーブル)

割合	使途
約 73%	● 商業用原子炉の廃止措置 ● かつて国防プログラムに関与していた施設 (マヤク生産合同 (アジョルスク)、シベリア化学コンビナート SCC (セベルスク)、TVEL・電解化学コンビナート (アンガルスク)、化学コンセントレート工場 (ノボシビルスク)) の撤去
約 20%	● 原子炉の廃止措置と最終処分に必要なインフラ整備
約 5%	● 燃料と放射性廃棄物、核と放射線の安全性の監視と確保
約 2%	● 科学技術開発支援

FTP NRS-2 は 5 年毎の 3 段階のフェーズで進められ、新しい使用済燃料リサイクル技術への移行、最終的な HLW リポジトリの確立、原子力及び放射線有害施設 (計 82) と原子力砕氷船 (計 2) の廃止措置も含まれる。

ロスアトム及び FSUE NO RAO^c (放射性廃棄物管理の全国オペレーター) は、放射性廃棄物管理、特にその処分に関連する作業調整と実行を担っており、ここには軍事廃棄物も含まれている。放射性廃棄物管理に関する法律では、放射性廃棄物の暫定貯蔵の期限と量の制限を廃棄物発生者に定めており、廃棄物を処分に適した状態にし、処分料金の支払いとともに国の事業者を受け渡しすることが定められている。なお、放射性廃棄物の輸出入は禁止されている。この枠組みにより、新たに発生した廃棄物は、発生者にその処分と保管の費用負担が課され、資金は特別基金として SC ロスアトムの口座に蓄積されてきた。一方で、2011 年の放射性廃棄物管理に関する新しい連邦法では、立地における財産紛争の解決方法、地方自治体の負荷、影響を受ける自治体の資金調達メカニズムについては取り扱っていなかった。2014 年 10 月、NO RAO は、その責務の全うのため、上述の問題に関する法律を変更の提案をロスアトムに提出している。2015 年には、さまざまな企業から 65 億ロシアルーブルが放

^b 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約 (廃棄物等合同条約)

廃棄物等合同条約は、原子力発電所、研究用原子炉等の使用済燃料及び放射性廃棄物の管理の安全に関する条約であり、使用済み燃料及び放射性廃棄物の管理の高い水準の安全を世界的に達成し維持すること等を目的としている。日本は 2003 年 11 月加入。

^c ロスアトムの傘下企業で放射性廃棄物管理を担う

放射性廃棄物処理のためのロスアトム予備基金に、2013年に設定されたレートで2017年までの期間で支払われることとなった。なお、ロスアトムは、廃止措置と使用済み燃料管理に関する法律をさらに2つ起草する予定とされる。⁶⁷

なお、ロスアトムは立場上、国の機関として使用済み燃料管理の行政を任された国の機関であると同時に、規制当局としての役割も担っており、提供するサービスを巡って両当事者の間で、意見の不一致がある場合、ロスアトムのレベルでその問題が解決される。提供されるサービスやその対価を巡って争いが起きないような仕組みとなっている。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

（概要）

- ロシアでは、原子力の推進と保障措置は国営原子力公社「ロスアトム」、安全規制は連邦環境・技術・原子力監督庁（ロステフナドゾル）が担当し、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）が担っている。ロスアトムは、行政だけでなく原子力産業、原子力・放射線安全分野や核兵器関連企業の機関も傘下においている。

ソ連時代、原子力行政は一手に中型機械工業省が担当していたが、チェルノブイリ事故直後の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12月、連邦原子力庁の全ての権限を継承し、また、それまで各株式会社に分割されていたロシア国内の原子力産業を統合するかたちで、国営原子力公社「ロスアトム」が設立された。

現在ロシアでは、原子力の推進と保障措置は国営原子力公社「ロスアトム」、安全規制は連邦環境・技術・原子力監督庁（ロステフナドゾル）が担当し、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）が担っている。ロスアトムは、行政だけでなく原子力産業、原子力・放射線安全分野や核兵器関連企業の機関も傘下においている。軍事関連の安全規制は、ロステフナドゾルの所掌外となっている。

ロスアトムは軍事利用、民生利用両方の原子力政策を推進しており、また全ての国内原子力関連企業を、株式関係による子会社、孫会社といった形態や連邦国家単一企業といった形態により、傘下に収めている。⁶⁹

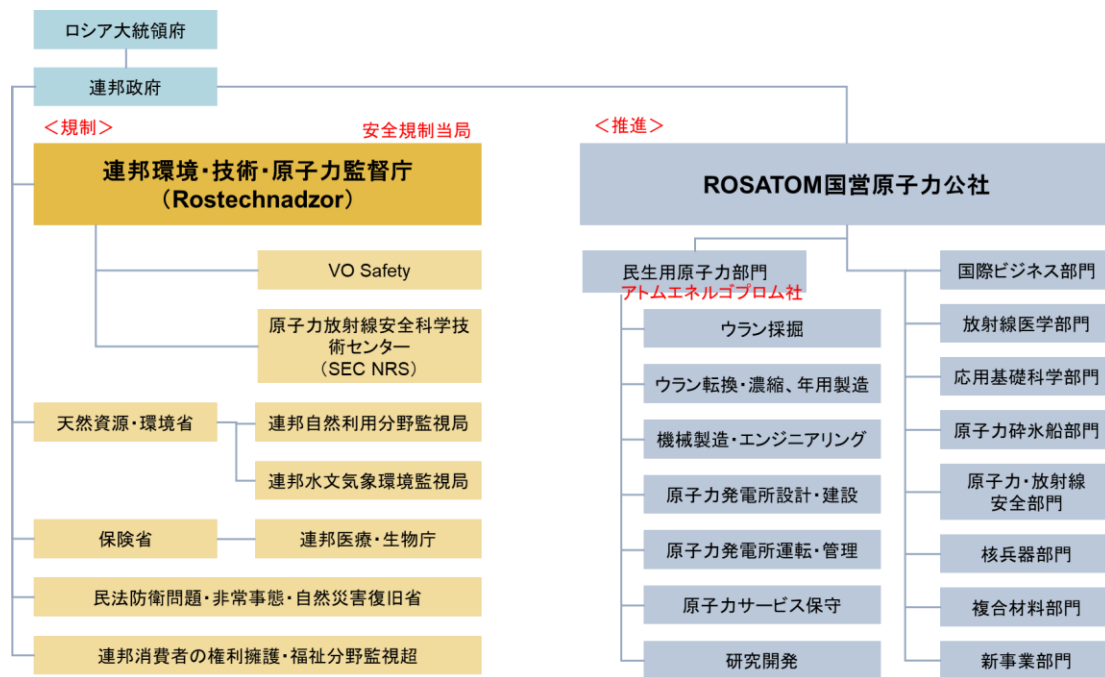


図 1-4 ロシアの規制組織と推進組織

1.1.2.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

（概要）

- ウラン採鉱・製錬、転換、濃縮及び燃料加工はロシア国内で調達されている。

ロシア国内において以下の施設でウラン採鉱・製錬、転換、濃縮及び燃料加工が行われている。また旧ソ連時代に東欧諸国などに輸出した VVER にも燃料を供給している。各施設の状態は以下の通りである。⁷⁰

ウラン採鉱・製錬施設	プリアルグンスク、ダルル、ヒアグダにある施設が操業中、エルコン、ルーナエでも施設建設が計画されている。
転換施設	TVEL 社がセベルスクに新しい転換プラントを建設予定。アンガルスクの転換プラントは 2014 年に閉鎖。モスクワ東方 50km に立地するエレクトロスタル転換プラントは稼働中。
濃縮施設	TVEL 社傘下の 4 施設（アンガルスク、セベルスク、ゼレノゴルスク、ノボウラルスク）が操業中。燃料加工施設：TVEL 社が商用ベースで、VVER-440、VVER-1000、RBMK 向けの燃料を製造しており、同社所有の 2 施設（機械製造プラント「エレマシ」及びノボシビルスク化学精鉱プラント）が操業中。

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か国である。

1.1.2.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託／海外再処理受託

(概要)

- ロシアでは、使用済ウラン燃料及び使用済 MOX 燃料は再処理することを基本方針としており、使用済燃料は放射性廃棄物には分類されない。国内再処理の技術開発と新規施設の建設が進められており、年々再処理量が増えている。
- 過去には諸外国からの使用済燃料受入と再処理を実施していた。現在は限定的であるが燃料リースという仕組みを導入し、海外の使用済燃料の再処理を実施している。

ロシアでは、使用済ウラン燃料及び使用済 MOX 燃料は再処理することを基本方針としており、使用済燃料は放射性廃棄物には分類されない。

セレズノゴルスクの鉱業化学コンビナート（MCC）では、再処理パイロット実証センター（PDC、5 トン/年）が 2016 年から稼働しており、2020 年には再処理量が 250 トン/年規模に拡大予定としている。将来的には PDC の技術を活用した最新版の RT-2（800 トン/年）の 2025 年の完成を目指している。RT-2 は VVER-1000 だけでなく、RBMK の使用済燃料も再処理できる。ロシアは、これらの貯蔵施設や再処理施設を、海外の原子炉顧客向けの利用にも供する考えである。⁶¹

1990 年代でほとんど打ち切られているが、諸外国（アルメニア、ブルガリア、チェコスロバキア、フィンランド、ドイツ、ハンガリー、ウクライナ等）から返送された使用済燃料を受け入れて再処理を実施してきた。また、加工した核燃料を他国にリースし、使用済燃料を回収する燃料リースという仕組みを提唱しており、インドやイランと燃料リースの契約がある。

ロシアでは原子力発電所の輸出に際し、当該国の使用済燃料処理をロシア側で請け負うサービスを提供している。このサービスを利用すると、利用国は使用済燃料処理に必要な施設建設等の検討が不要になる、という利点がある。またロシアでは、諸外国に向けて低濃縮ウラン燃料バンクを IAEA 管轄のもと管理している。これによりロシア国内の政治的情勢をうけることなく、新燃料の供給が可能である。なお、それぞれの相手国との交渉は TENEX が担っている。各国のニーズにあったサービスを提供している。

2) 使用済燃料の再処理方策

(概要)

- RBMK 炉や VVER-1000 炉から発生した使用済燃料は、主に発電所サイト内で保管されている。
- 使用済燃料はマヤクの再処理工場 RT-1 において再処理され、回収ウランは RBMK（黒鉛減速炉）の燃料として再利用されている。

ロシアでは、2013 年時点での使用済燃料の年間発生量は約 880 トンであり、その内訳は、RBMK-1000 炉から 550 トン、VVER-1000 炉(加圧水型原子炉)から 230 トン、その他 (VVER-440 (加圧水型原子炉)、BN-600 炉 (ナトリウム冷却高速炉)、AMB/EGP-6 (小型黒鉛減速

炉)、研究炉(30基以上)、潜水艦や砕氷船)から100トンとなっている⁶⁷⁾。多くは主に発電所サイト内で貯蔵されるが、一部は集中貯蔵施設や再処理工場に輸送されて、貯蔵・再処理される。再処理施設の運用状況は次の通りである。

表 1-13 ロシア国内の再処理施設の運用状況(再掲)

事業者	施設名	所在地	状態 操業期間	能力 (tHM/y)	備考
マヤク生産合同 (マヤク化学コンビナート)	RT-1	アゾルス	運用中 1971-	400	VVER-440、研究炉、高速炉燃料対象 回収ウランは RBMK の燃料として再利用
鉍業化学コンビナート(MCC)	パイロット実証炉(PDC)	ゼレズノゴルスク	稼働中 2015-	100	2015 年に 10tHM/y で操業開始 2020 年には 250tHM/y に拡大予定
	RT-2		建設中 2025 年完成予定	700	PDC の技術を活用 VVER-1000、RBMK 対象
シベリア化学コンビナート SCC	窒化物燃料再処理施設	セベルス	建設中 2023 年操業目標	(5)	鉛冷却高速炉 BREST 用

※世界原子力協会(WNA)、原子力年鑑2020をもとに作成

マヤク生産合同の再処理工場 RT-1 は VVER-440、BN-350、BN-600、研究炉、AMB/EGP-6 (小型の RBMK)、原子力破船や原子力潜水艦で使用している輸送用原子炉、プルトニウム生産炉の使用済燃料や RBMK-1000 の破損燃料等を再処理する多目的炉である。2016 年に完了した施設改良により、前述に加えて VVER-1000 で発生した使用済燃料の受け入れも可能となり、同年ロストフ原子力発電所(VVER-1000)の使用済燃料を、2017 年にはバラコボ原子力発電所(VVER-1000)の使用済燃料の再処理を開始している。2015 年に RT-1 で再処理された使用済燃料は 230 トン(2014 年から 35%増)であり、数年で RBMK-1000 の使用済燃料に対応し、処理量も許容容量の 400 トン HM/年に達すると想定されている。なお、RT-1 での再処理により回収されたウランは、RBMK の燃料として再利用される。

マヤク生産合同での使用済燃料の受け入れ貯蔵能力は 6,000 トンから 9,000 トンに増加しているが、鉍業化学コンビナート(MCC)と比較して貯蔵容量が少なく使用済燃料は通常かなり迅速に処理される。

なお、VVER-1000 及び RBMK-1000 からの使用済燃料の多くは、鉍業化学コンビナート(MCC)の中間貯蔵施設で保管されている。また、2025 年完成予定の再処理工場 RT-2 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、後述)に再処理する計画である。

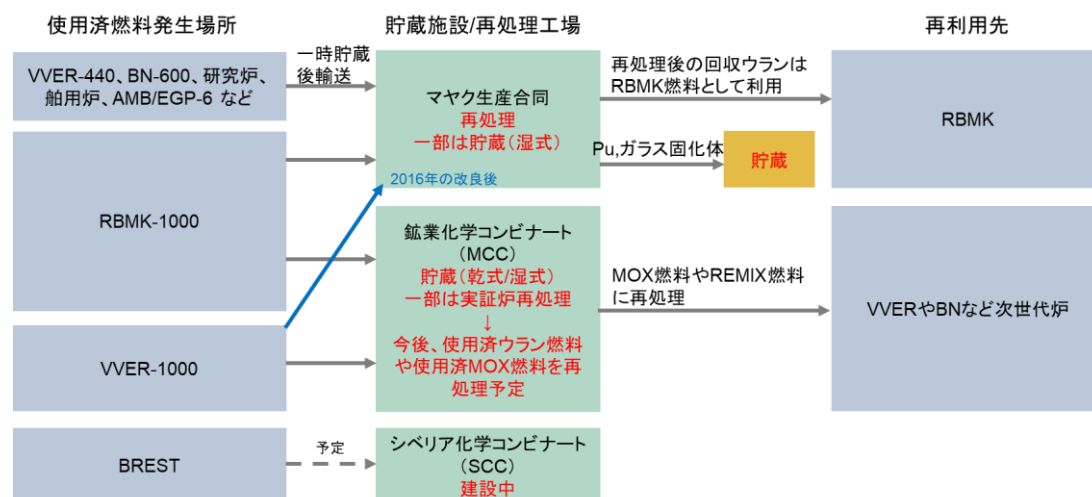


図 1-5 ロシアの使用済燃料の流れ

REMIX 燃料とは

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。低濃縮ウランは茶寮的には全体の 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も何度でもリサイクルできる。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。ディミトロフグラードの原子炉科学研究所 (RIAR) の MIR 研究炉でも試験が行われており、2020 年代半ばでの商業利用が計画されている。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

使用済 MOX 燃料の再処理・リサイクルは、ロシアが目指すクローズドサイクルにおいて不可欠であるが、この実現は、高速炉での MOX 燃料利用が可能となることがカギと考えられる。

最新動向としては、これまで、鉍業化学コンビナート (MCC) にて進められてきた実証炉 BN-800 用の MOX 燃料の製造が完了し、2021 年 1 月から BN-800 で燃料が取り換えられ、2022 年には全炉心がフル MOX 燃料に変わる予定である。また、後継機の商業炉 BN-1200 はベロヤルスク 5 号機 (2025 年頃の着工予定) および南ウラル 1 号機として開発が継続中である。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

生産合同マヤクの再処理工場 RT-1 は、1971 年に操業を開始して以来、2012 年までに、5000t 程度の使用済燃料処理実績を有す。⁶³

回収ウランについては、RBMK 燃料製造工場で主に利用され、RBMK 用の新燃料として

年間約 200t の回収ウランが利用されている。RBMK の燃料の 50%まで回収ウラン装荷が許可されており、実績比率は約 40~50%である（2004 年時点）⁷¹。なお、二酸化ネプツニウムは Pu^{238} 同位体の生成に利用され、専用のパッケージに入れられた二酸化プルトニウムは貯蔵場所に移される。RBMK 炉用の回収濃縮ウラン燃料は、燃料加工施設 OAO MSZ（OAO Mashinostroitelny Zavod）にて製造している。

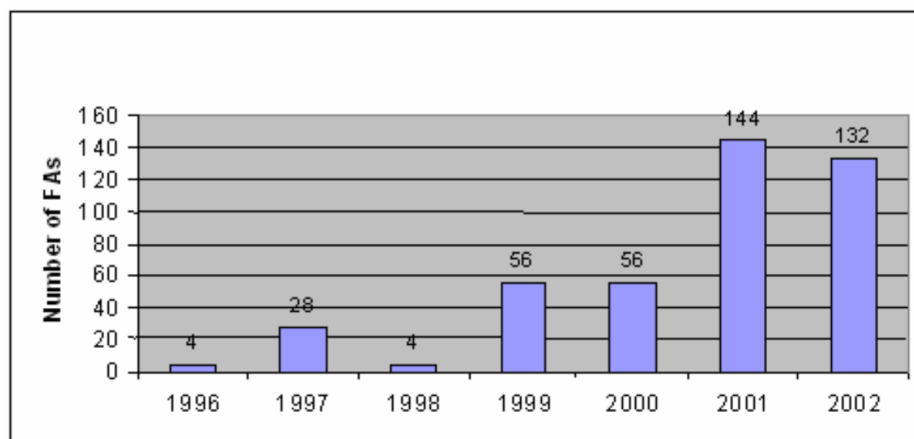


図 1-6 OAO MSZ での回収ウランの製造実績（縦軸は燃料集合体数）

また、ドイツ、オランダ、イギリス等、海外からの回収ウランを再濃縮した実績も有す。⁷²

プルトニウムについては、高速増殖炉等に利用することを前提としている。REMIX 燃料の試験装荷を始めており、試験燃料集合体 3 体がバラコボ原発 3 号機に装荷されている（2016 年 6 月）。今後 2 サイクル、約 3 年間運転後、照射試験が行われる。ロスアトムによると、バラコ原子力発電所では、VVER に 6 体の REMIX 燃料が装荷されている。REMIX 燃料は貯蔵施設やオンサイトの使用済燃料がもう少しで満杯になることに対応する、魅力的な選択肢ということであった。REMIX 燃料の照射後の物質を燃焼する溶融塩炉のパイロットプラントを建設する計画も決まっており、2030 年に初臨界の計画である。

劣化ウランについては、大部分が将来の高速炉用燃料資源として貯蔵されており、現在までのところ積極的な利用計画はない。

5) プルトニウムマネジメント

（概要）

- ロシアでは、計画中の高速炉システムに必要なプルトニウムを再処理により十分に供給できないことが予想されており、現在国内では、増殖率ができるだけ高い炉心設計が検討されている。

ロシアでは現在総エネルギー供給に対する原子力の寄与は比較的小さいが、今後原子力発電容量の大幅かつ急速な増加が計画されている。計画中の高速炉システムに必要なプルトニウムを使用済燃料の再処理で十分に供給できないと予想されるため、増殖率ができるだけ高い炉心設計を長期的に検討している。なお、世界の原子力の状況を考慮に入れることによって、このようなプルトニウム不足は、多国間アプローチによって緩和できると考えられている。⁷³

6) マルチリサイクルの概念

(概要)

- ロスアトムは、2 種類の MOX 燃料、及び熱中性子炉と高速炉の両炉を活用したクローズドサイクルを提案し、2027 年頃には BN-1200 を用いてシステムを組み立てたいとしている。
- マルチリサイクルの概念は様々な研究がされており、その他にも、集中型核燃料サイクルという、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いる。

Balanced Arrangement for Dual-Component Nuclear Power System

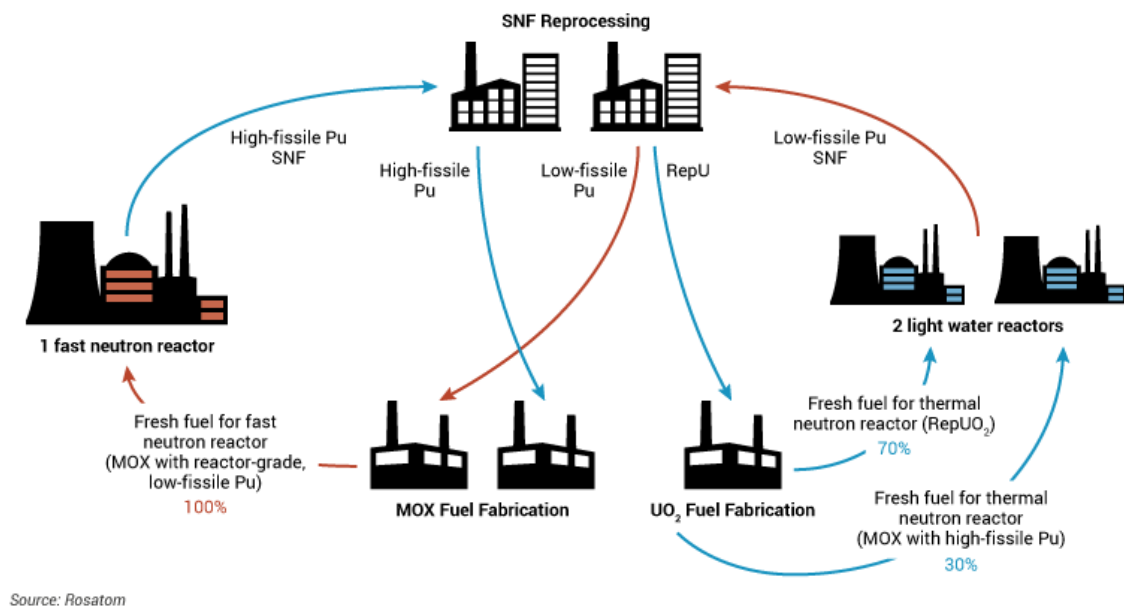


図 1-7 デュアルコンポーネント原子力システム

この燃料サイクルでは、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。⁶⁷

マルチリサイクルの概念は様々な研究がされており、例えば減損ウランや余剰プルトニウムを使った、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いる。⁶⁴

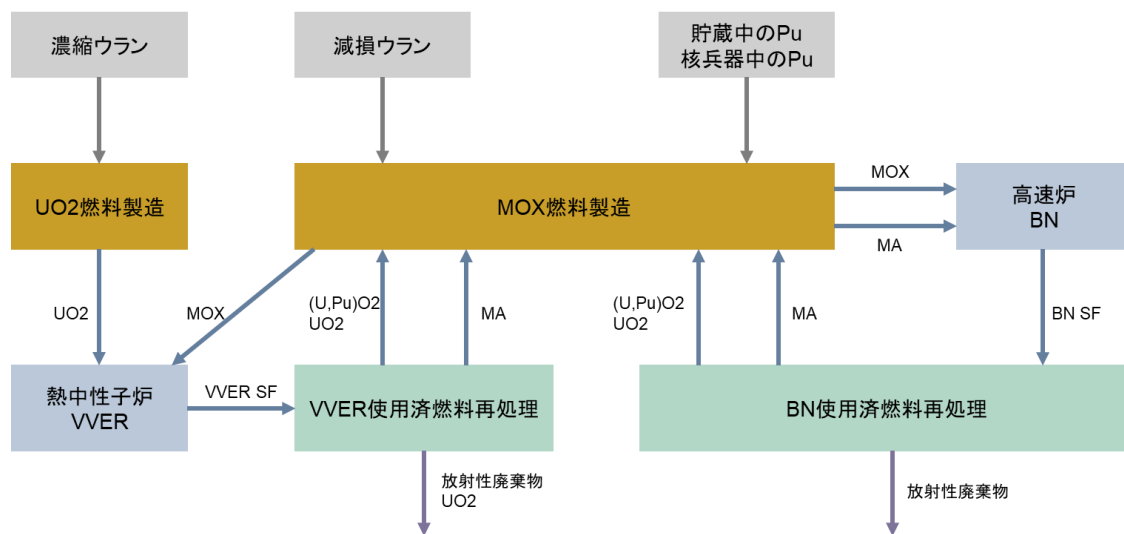


図 1-8 集中型核燃料サイクル

この集中型核燃料サイクルはポイントとして、下記が挙げられている。

- 事実上無制限に存在する使用済燃料と天然ウランを利用可能
- プルトニウムの蓄積を回避可能
- リサイクルにより使用済燃料の削減と、使用済燃料管理コストの節約
- MA 削減によるガラス固化体発生量の減少
- 高速炉で増殖したプルトニウム（核分裂性物質の割合が比較的高い）を熱中性子炉で利用可能
- 海外へ輸出した熱中性子炉 VVER の使用済燃料の回収や新燃料の輸出が可能

1.1.2.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

ロシアでは、核燃料を再処理し、分離された物質をリサイクルする方針を採用している（直接処分の方針はとっていない）。⁷³

2) ガラス固化体処分

マヤク生産合同の再処理工場 RT - 1 での燃料集合体の再処理により発生する中～高レベル廃液(HLW)の管理方法により、濃縮 HLW を 500L/h で EP - 500 セラミック溶融炉によりガラス化する。アルモリン酸塩放射性ガラスは、直接蒸発-焼成-ガラス化技術を用いて製造される。ガラス化された廃棄物は鋼製キャニスタに入れられ、乾式ヴォールト型貯蔵施設で貯蔵されている。高レベル廃棄物分別のための準工業施設は、マヤク再処理工場 RT - 1 で 1996 年に世界に先駆けて稼働している。⁶⁸

高レベル放射性廃棄物の最終処分場に関しては、1.3.2.14)に詳細を記載する。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

- 低・中レベル廃棄物の処分はノオ・ラオ^dの管轄で、ロシアの7連邦区域ごとに1か所の処分場建設を計画しており、スペルドロフスク州のノボウラルスクやトムスク州のセベルスクでは、処分場の第1段階が操業開始した。
- なお、医療・産業放射性廃棄物（R I・放射線利用廃棄物）については（株）ラドンが担当しており、16か所放射性廃棄物貯蔵施設を有する。更に、地表処分施設を計画中である。⁷⁴

1.1.2.5 参考文献

⁶¹ 「原子力年鑑」編集委員会、「原子力年鑑 2021」、日刊工業新聞社、2020年10月

⁶² 佐賀山、ロシアの高速炉サイクル開発戦略、高速炉開発会議戦略ワーキンググループ第5回会合資料1、2017年10月31日、

https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/fr/senryaku_wg/pdf/005_01_00.pdf

⁶³ WNA、Information Library、Country Profiles、Nuclear Power in Russia (Updated January 2021)、<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx#:~:text=Total%20investment%20envisaged%20was%20RUR,RUR%201320%20billion%20on%20nuclear.&text=The%20aim%20is%20to%20have,nuclear%20and%20hydro%20by%202030>。(2021年2月25日閲覧)

⁶⁴ Andrey Yu. Petrov et. al、Prospects of creation of the two-component nuclear energy system、NUCET、September 2019

⁶⁵ AKME-engineering、SVBR-100、<http://www.akmeengineering.com/svbr100.html>（2020年12月5日閲覧）

⁶⁶ Dan Yurman、Update on Russian Fast Reactor Projects、2020年7月27日、<https://energycentral.com/c/ec/update-russian-fast-reactor-projects>

⁶⁷ WNA、Information Library、Country Profiles、Russia's Nuclear Fuel Cycle (Updated September 2020)、<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia--Nuclear-Fuel-Cycle/>（2020年10月7日閲覧）

⁶⁸ IAEA:「Status and Trends in Spent Fuel Reprocessing」、2005年9月

⁶⁹ 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、ロシアの原子力開発、https://www.jst.go.jp/crds/report/report10/RU20170426_2.html#sec3（2020年9月25日閲覧）

⁷⁰ 三菱総合研究所：「令和元年度原子力の利用状況等に関する調査（海外における原子力

^d NO RAO：活動目標は、放射性廃棄物管理法の要件に基づいて、安全で経済的な放射性廃棄物処分管理を確実に構築すること

政策等動向調査）実績報告書」、2020 年 3 月、p.201

⁷¹ IAEA-TECDOC-1529、Management of Reprocessed Uranium – Current Status and Future Prospects、February 2007、p.68、

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1529_web.pdf

⁷² 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

⁷³ IAEA: 「Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management」、2010 年 1 月

⁷⁴ 「原子力年鑑」編集委員会、「原子力年鑑 2021」、日刊工業新聞社、2020 年 10 月

1.1.3 フランス

1.1.3.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- フランスの再処理は軍事利用向けに設置された再処理プラントが民生利用されたことから始まり、現在は、ウラン資源を有効利用する観点、さらには最終処分する放射性廃棄物量を低減する観点から、使用済燃料を再処理してウランやプルトニウムを回収して再利用するクローズドサイクル政策を採っている。

フランスは核兵器国であり、原子力・代替エネルギー庁（CEA）の軍用炉の使用済燃料を再処理する目的で初の再処理プラントが設置されている。軍事用プルトニウムストックの確保後、1973 年のオイルショックを契機としてウラン価格が高騰することが見込まれる中、政府はウラン資源を効率的に利用するため、軍用再処理プラントを民生利用することとした⁷⁵。以降、フランスはウラン資源を有効利用する観点、さらには最終処分する放射性廃棄物量を低減する観点から、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再利用するクローズドサイクル政策を採っている⁷⁶。再処理事業や回収したプルトニウムを MOX 燃料に加工する事業は Orano 社が担っているが、同社の起源は 1975 年に設立されたフランス核燃料公社（COGEMA）である。

Orano 社へのヒアリングによれば、資源の有効利用や放射性廃棄物量低減の目的以外にも、フランスは燃料サイクル施設が立地する地域における経済的インパクトや、国際的な産業競争力の維持の観点からも燃料サイクルを推進する意義があるとしている。

フランスでは前オランド政権下において、エネルギーミックスを多様化するため、総発電電力量に占める原子力比率を縮減する方針が掲げられた。現マクロン政権もこの方針を踏襲しており、2035 年までに原子力比率を現行の 70%程度から 50%に縮減するため、国内 14 基の 90 万 kW 級原子炉を閉鎖する方針であり、2020 年 6 月までに、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。一方で政府は、2020 年 4 月に改定した多年度エネルギー計画（PPE）において、2035 年以降の低炭素電源確保のため、欧州加圧水型原子炉（EPR）の新設を検討するなど、原子力を維持する方針を示しており、核燃料サイクル政策についても、これまで通りのクローズドサイクル政策を引き続き推進していく方向である。なお、2035 年までに政府が閉鎖する残り 12 基の 90 万 kW 級原子炉にはプルサーマルが実施されている原子炉が含まれているため、フランス電力（EDF）は、1.1.3.3 で後述するプルトニウム需給バランス確保の観点等から、現在はプルサーマルを実施していない 130 万 kW 級原子炉においてもプルサーマルを行っていくことを計画している⁷⁷。

後述するとおり、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マルチサイクルが目指されている。これまでフランスでは高速原型炉フェニックス、高速実証炉スーパーフェニックスが開発・運転された実績があるが、これらの炉の開発経験も活かして開発が進められてきた第 4 世代のナトリウム冷却高速原型炉（ASTRID）は、2019 年に開発が中止されている。

(参考)

PPE における電力供給の現状における核燃料サイクルに関する記載

フランスの現行の燃料サイクル政策は、1 回限りの再処理を行うクローズドサイクルであるが、長期的には高速炉を活用したマルチサイクルの実現を念頭においている。フランスは使用済燃料の再処理と MOX 燃料製造加工に必要な技術を保有する世界でも数少ない国の 1 つであり、ラ・アーグ再処理プラントや MELOX MOX 燃料製造プラントでは、合計 1 万人の従業員を雇用している。1 回限りの再処理によって回収されたプルトニウムや回収ウランを活用した燃料製造によって、天然ウランは 20～25%節約することが可能となっており、貯蔵が必要な使用済燃料の数も四分の一に抑えることが可能である。このことは、エネルギーシステムの観点から見てメリットであるだけでなく、フランスが独自の強みを保有する産業を創出していると言える。このため、現行の燃料サイクル政策は維持するべきである。

フランスは、天然ウラン資源需給バランスも視野に、エネルギー安全保障の観点から、長期的なマルチサイクルの実現に向けた技術的オプションに関する研究を継続しなければならない。

現在まで、この分野の研究開発は、第 4 世代のナトリウム冷却高速炉開発に焦点が当てられてきた。2006 年の放射性廃棄物等管理計画法の枠組みでナトリウム冷却高速原型炉 (ASTRID) 開発が 2010 年に開始され、2016～2019 年にかけて詳細設計検討が行われた。しかし、少なくとも 21 世紀後半まで天然ウランは低価格で十分に供給確保できるとの見通しがあることから、原型炉の開発と高速炉の商業レベルでの展開の必要性はなくなったため、高速炉開発の研究の方向性も見直しが必要となっている。

一方で、より短期的には、第 3 世代の軽水炉を活用したマルチサイクルによるプルトニウムストック量と使用済燃料の量を一定に保つうえで有効であるため、このオプションのフィージビリティが検討されなければならない。

軽水炉におけるマルチサイクルの実施のためには、新たな MOX 燃料 (MOX 2) の開発が必要となり、実用化は詳細な研究開発とエンジニアリング研究の結果次第である。さらに、ラ・アーグ再処理プラントや MELOX MOX 燃料製造プラントの改変も含めた、新たな燃料サイクル施設の開発も必要である。

このため、軽水炉におけるマルチサイクルの実用化に向けた具体的な計画は、今後 5 年間で事業者によって検討されるべきである。そのためには、原子炉の安全性、運転条件の変更、燃料製造や輸送等ロジスティクス面も含めて、様々なオプションのメリット等を検討するための研究プログラムが必要となる。

新たな MOX 燃料は、2040 年頃の実用化を見据えて 2025～2028 年頃の試験装荷が目指されている。

一方で、長期的なクローズドサイクルの実現に向けては、高速炉物理や関連するプロセスに関するフランスの知見の強化・維持に資する研究に方向転換される。このような研究はデジタルシミュレーションキャパシティや実験プログラムの拡張によって実現されることになり、その内容は本 PPE 対象期間の早い段階において明確化・具体化されるべきである。なお、第 4 世代炉開発に向けた国際的な取組も活用した国際戦略も立案するべきである。

将来の電力ミックスに関する減原子力政策と燃料サイクル政策との整合性

原子力発電設備容量を減少することは、燃料サイクル政策にも影響を及ぼす。使用済燃料

の再処理は、最終処分される放射性廃棄物量を減らすことが重要な目的の1つであり、政府は本 PPE の対象期間（2028 年まで）、さらにはラ・アーグ再処理プラントが運転寿命を迎える見通しである 2040 年頃まではこの政策を維持する方針である。このため、この期間において閉鎖される 90 万 kW 級原子炉の代替として、130 万 kW 級原子炉におけるプルサーマルが計画されている。

安全裕度の評価は今後確定されるが、EDF は 130 万 kW 級原子炉でのプルサーマル実施における技術的な障壁はないとしており、2028 年には最初の炉に MOX 燃料を装荷し、2030 年頃にはプルサーマルを開始できるとしている。2040 年以降については、政府は事業者と連携し、既存の原子炉におけるマルチサイクルと、さらに長期的な高速炉を活用したマルチサイクルの実現を念頭に、燃料サイクル政策の方向性について検討していく方針である。

将来の動向に関しては、安全規制機関である原子力安全機関（ASN）が 2020 年 10 月に放射性物質の管理とその利用可能性に関する評価についての見解書を発表している。同見解書では、使用済燃料の再処理とプルトニウムのリサイクルに関して、2035 年までにプルサーマルを実施している一部の原子炉を閉鎖することにより、再処理によって回収されたプルトニウムストック量が一定期間にわたって増える見通しとなること、またストック量が増える期間の長さが不明確であるとの問題を指摘したうえで、EDF と Orano 社が、国内の原子炉で回収されたプルトニウムストック量を確実に全て再利用するための計画を 2022 年 6 月末までに提示するべきであるとしている⁷⁸。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

フランスで操業中の核燃料施設については、その詳細を表 1-14 に示す。

フランスで廃止措置中の核燃料施設は以下のとおり。

表 1-14 フランスで廃止措置中の核燃料施設

施設名	操業者	操業 開始	操業 停止	施設目的	立地
Eurodif (Georges Besse)	EURODIF 社	1979	2011	濃縮	トリカスタン
Marcoule - UP1	Orano 社	1958	1997	再処理	マルクール
La Hague - UP2-400	Orano 社	1966	2004	再処理	ラ・アーグ
SICN	Orano 社	1960	2002	高速炉向け燃料製造	ヴァーレ＝ヴァ オロエーズ
TU2 Cogema	Orano 社	1988	2011	再転換	ピエラット

出所) IAEA NFCIS に基づき作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

会計検査院が 2012 年に公表した原子力事業コストに関する報告書では、EDF が Orano 社に対して 2040 年まで再処理を委託する前提で、2010 年末時点で、将来発生するコスト総額を 144 億ユーロ（2010 年価額）と試算していることが示されている。このコストは、2040 年まで EDF が Orano 社に委託して再処理する使用済燃料の輸送、貯蔵、再処理、ガラス固

化体製造、再処理によって発生する廃棄物の貯蔵にかかるコスト、最終的な管理方針が決まるまでの期間の使用済 MOX 燃料や使用済再処理ウラン燃料の貯蔵にかかるコストも含んでいる⁷⁹。

処分コストに関しては、2016 年 1 月 5 日の省令によって、以下のようなフェーズからなる 140 年間にわたる地層処分プロジェクト全体をカバーするコストの目標額を 250 億ユーロとすることが規定された⁸⁰。

- プロジェクトの第一段階の構造物の設計・建設（10 年）
- 地層処分場のパイロット操業フェーズ（10 年）
- 段階的な地層処分場の操業・開発フェーズ（110 年）
- 地層処分場の閉鎖フェーズ（10 年）

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

フランスでは環境法典において、使用済燃料及び放射性廃棄物の管理費用を評価して引当金として計上するとともに、この引当金（負債）の見合資産を確保することが事業者には義務付けられている⁸¹。このため EDF が計上する使用済燃料管理や放射性廃棄物管理等に関して将来発生するバックエンド費用の引当金額は、2019 年末時点において、以下の表 1-15 のとおりである⁸²。

表 1-15 EDF が計上しているバックエンド引当金（2019 年末時点）

分類	金額（単位：100 万ユーロ）
使用済燃料管理	10,823
放射性廃棄物の長期的な管理	10,531
その他	805
合計	22,159

出所）EDF2019 年報に基づき作成

EDF 年報によれば、このうち、放射性廃棄物の長期的な管理に関する引当金の中には、使用済 MOX 燃料及び再処理で回収したウランを用いた燃料を燃やした使用済燃料が直接処分されることになった場合のコストも含まれるとされている。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

（概要）

- フランスでは原子力発電事業を実施するフランス電力（EDF）も燃料サイクル事業を担う Orano 社もフランス政府が株式の大半を保有している。燃料製造加工については Framatome 社も実施しているが、同社は EDF 傘下であり、同社が Framatome 社株式の 75.5%を保有している。

フランスでは原子力発電事業を実施するフランス電力（EDF）も燃料サイクル事業を担う Orano 社もフランス政府が株式の大半を保有している。燃料製造加工については Framatome 社も実施しているが、同社は EDF 傘下であり、同社が Framatome 社株式の 75.5%を保有し

ている⁸³。

仏原子力業界図を以下の図 1-9 に示す。

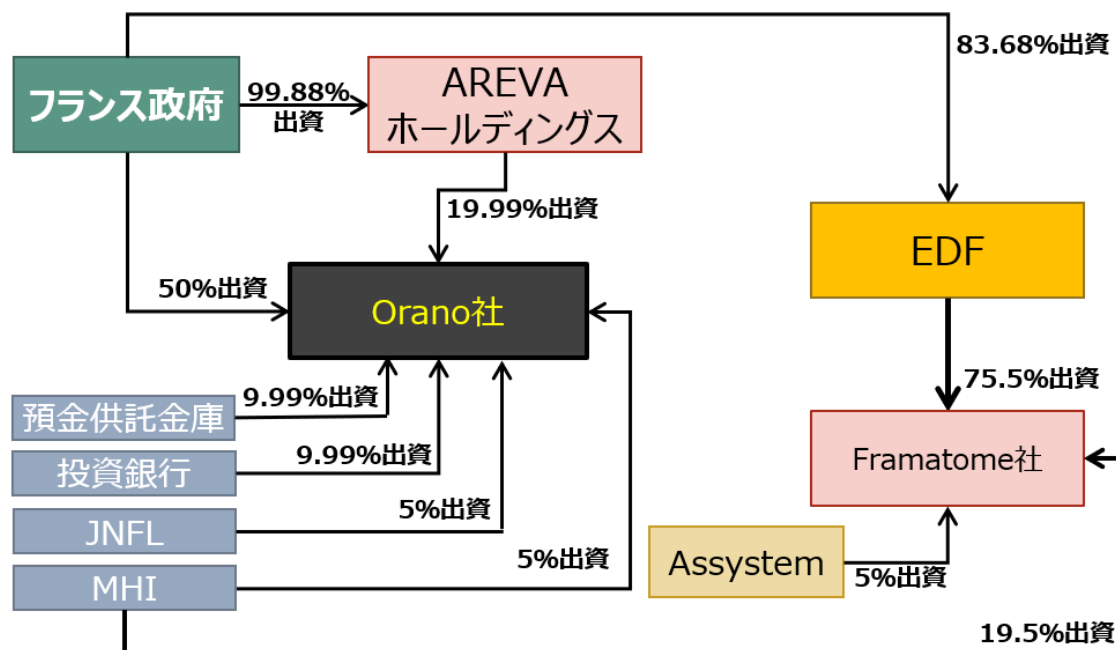


図 1-9 仏原子力業界の関係図

出所) EDF、Orano 社資料等に基づき作成

前述のとおり、再処理については、EDF がプルトニウムバランス確保の観点から Orano 社に委託している。再処理についても、その後発生する高レベル放射性廃棄物の管理についても、発生者である EDF が必要な資金を確保する義務を負っている。

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、地層処分場に処分される計画である。

1.1.3.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

燃料については、ウラン資源はカナダ、カザフスタン、ニジェール等からの海外輸入に頼っているが、その後の転換、濃縮、再転換に関しては、Orano 社が⁸⁴、燃料製造加工については Framatome 社が⁸⁵国内サイトで実施している。

1.1.3.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託／海外再処理受託

(概要)

- ラ・アーク再処理プラントにおいて国内外向けに再処理実績あり。国外向け実績として

は、ドイツ、ベルギー、イタリア、オランダ、日本、オーストラリア（研究炉）がある。

フランスでは、Orano 社がラ・アーグにおいて再処理プラントを操業しており、国内で発生した使用済燃料は全て同プラントで再処理し、海外委託は行っていない。一方で、同プラントでは 1970 年代以降、ドイツ、ベルギー、イタリア、オランダ、日本等の使用済燃料の再処理を以下の表 1-16 及び表 1-17 に示すとおり受託・実施した実績がある。

表 1-16 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量	再処理実施期間
ドイツ	172 トン	1977-1995
オランダ	79 トン	1979-1984
日本	151 トン	1982-1986
ベルギー	40 トン	1980-1981
スイス	70 トン	1976-1984

表 1-17 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量	再処理終了年
ドイツ	5,310 トン	2008
オランダ	247 トン	2006
日本	2,793 トン	1999
ベルギー	631 トン	2001
スイス	701 トン	2016

2019 年末時点で同プラントに存在している使用済燃料は、イタリア、オランダ、ベルギー及びオーストラリア（研究炉）起源のものであるが、イタリア起源のものが 30tHM 程度、オランダ起源のものが 20tHM 程度、ベルギーとオーストラリアに関しては、それぞれ 10tHM 以下となっている⁸⁶。

2) 使用済燃料の再処理方策

前述のとおり、フランスでは使用済燃料を再処理し、MOX 燃料として再利用する方針が採られている。

Orano 社のラ・アーグ再処理プラントでは、我が国も含めた海外起源の使用済燃料再処理が実施されているが、これは電気事業者と Orano 社との個別契約に基づいて実施されている。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

（概要）

- 長期的には高速炉を活用したマルチサイクルの実現が目指されているが、ウラン需給は 2050 年頃まではひっ迫しないとの見通しから、高速炉開発を 2100 年以降に先送り。

中期的には、欧州加圧水型原子炉（EPR）によるマルチサイクルを検討中。

フランスでは、長期的には、ウラン資源価格の高騰等の状況が発生した際にもエネルギー安全保障を確保することを念頭に、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マルチサイクルが目指されているが、2020 年時点では使用済 MOX 燃料の再処理は実施されておらず、貯蔵されている。2050 年頃まではウラン資源は潤沢に、低価格で調達できる見通しであるとして、フランス政府は当初 2040 年頃の実用化を目指していた高速炉の開発計画を 2100 年頃に先送りした。一方で政府は、使用済燃料の再処理による分離プルトニウム及び使用済燃料のストックを一定水準以下に抑制するため^a、130 万 kW 級原子炉でのプルサーマルの実施と、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、マルチサイクル実施のためには、新たな MOX 燃料開発や、新たな再処理や燃料加工等を行う燃料サイクル施設の改修等も必要となり、これに向けた技術面や安全面での研究が必要となる。2020 年 4 月に公表された多年度エネルギー計画（PPE）では、2025～2028 年頃にマルチ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 年頃にマルチサイクルの実用化を目指す方針が示されている⁷⁷。

規制機関である原子力安全機関（ASN）は、マルチサイクルを想定して開発中の新燃料（1.2.3.2 で詳述）は、現時点で安全上、放射線防護上の証明がなされていないとの立場を取っている。一方で Orano 社によれば、政府の支援を受けて実施する研究プログラムにおいて、①既設炉に装荷する産業的なフィージビリティ、②サイクル施設での産業的なフィージビリティ、③放射化実験プログラム、④先進的再処理技術の研究開発、⑤材料、廃棄物のフローシミュレーションを行い、原子炉及びサイクル施設の安全性、従業員の放射線防護、経済性等の観点から、2040 年頃の軽水炉でのマルチサイクル実現に関する最終判断を 2035 年までに行う予定であるとしている。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

（概要）

- 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た実績があるが、EDF が回収ウランの濃縮役務を委託していたロシア TENEX 社との係争により 2013 年以降中断中。EDF は国内での濃縮、燃料加工を行い、2027 年頃から回収ウラン燃料の装荷を再開する方針。プルトニウムは MOX 燃料として再利用を行っている。

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、フランス国内では当初ガス拡散法が活用されていたため、回収ウランの濃縮はロシアの TENEX 社に委託していた。この回収ウラン燃料が 1994～2003 年にかけて合計 600 トン、クリュアス原子力発電所の 4 基の原子炉において装荷された実績がある。ただし、2013 年以降は、ウラン価格の下落と、TENEX 社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 の環境基準に整合しないことに起因する EDF と TENEX 社との間の係争が原因で中断している。このため回収ウランはトリ

^a EDF はストックの数値目標を公表していない。

カスタンの Orano 社サイトにおいて貯蔵されているが、2023 年頃には貯蔵容量がひっ迫することが予想されることから、EDF は回収ウラン燃料のクリュアス原子力発電所における装荷を再開する方針である。現在は Orano 社のジョルジュ・ベスⅡ濃縮プラントにおいて、遠心分離技術が採用されていることから、国内での濃縮・燃料加工が想定されており、燃料製造は 2022 年頃から開始される見込みである。さらに EDF は 130 万 kW 級 7 基においても、2027 年以降、回収ウラン燃料を装荷していく計画である⁸⁷。

回収プルトニウムに関しては、前述のとおり、MOX 燃料として再利用されている。

5) プルトニウムマネジメント

(概要)

- フランス電力 (EDF) はプルトニウムのストック量増加を避けるためにプルサーマルを行うのに必要な MOX 燃料分の再処理しか行わない方針。

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が、プルトニウム需給バランスを取り、プルトニウムのストック量増加を避けるためにプルサーマルを行うのに必要な MOX 燃料分の再処理しか行わない方針である。現在国内でプルサーマルの実施が原子力安全の主管大臣（現在は環境連帯移行大臣）に認められているのは、国内 56 基のうち 24 基であるが、この基数もプルトニウム需給バランスを取るために最適な基数となっている⁸⁸。

Orano 社へのヒアリングによれば、EDF は年間あたり 1,200 トンの使用済燃料を発生させており、Orano は年間あたり 1,100 トンの使用済燃料を処理している。残り 100 トンは使用済 MOX 燃料に該当する。この数字が Orano 社と EDF のプルトニウムバランスに関する議論のベースとなっている。この前提を基に、Orano 社と EDF は再処理、MOX 燃料加工の契約をしており、5 年毎に契約を更新している。MOX 燃料に加工する分だけ使用済燃料を再処理し、プルトニウムを回収している。つまり、これが年間あたり 1,100 トンの使用済燃料の再処理に該当する。毎年、ラ・アーグ再処理工場と MELOX 工場で処理量が多少異なるが、その状況確認も含め、EDF と毎年議論して、処理量を決めている。

Orano 社によればプルトニウムストック量の数値目標はない。一方で、Orano 社は独自にプルトニウム在庫を持っている。これは品質上の問題や作業上の問題が発生した際に、対応するためのプルトニウム貯蓄量である。さらに、海外起源のプルトニウムで、政府間で合意が取れば、所有権を Orano 社に移転することもある。環境連帯移行省のエネルギー気候総局 (DGEC) が Orano 社と交渉している。また EDF、Orano 社、DGEC との間で、常に継続してプルトニウムの量と将来の計画について議論しているフレームワークがあり、将来的にプルトニウムの貯蔵量が増えた際にどのように対処するかも議論されている。

海外起源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ず、再処理契約を委託した使用済燃料を所有する国が、国際原子力機関 (IAEA) プルトニウム国際管理指針に基づき、海外に存在する自国のプルトニウム管理状況データを報告している。

フランスもプルトニウム国際管理指針に基づき、毎年自国が保有するプルトニウム量を IAEA に報告しているが、このデータに基づく 2011 年から 2019 年末までのプルトニウム保

有量は以下の表 1-18 のとおりである⁸⁹。なお、未照射プルトニウムのうち、再処理によって回収されたプルトニウム量は 40 トン～50 トン程度で推移している。

表 1-18 フランスのプルトニウム保有量

(単位：tPu)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
未照射 プルトニウム ^b	80.3	80.6	78.1	78.8	79.7	81.7	80.9	83.2	90.3
使用済燃料中の プルトニウム	253.2	261.4	268.9	275.6	281.7	287.8	295.0	299.6	299.8

出所) IAEA、INFCIRC/549「Communication Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium」に基づき作成

6) マルチリサイクルの概念

マルチサイクルに関しては、前述のとおり、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 世代の軽水炉で再利用することが検討されている。

1.1.3.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

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。

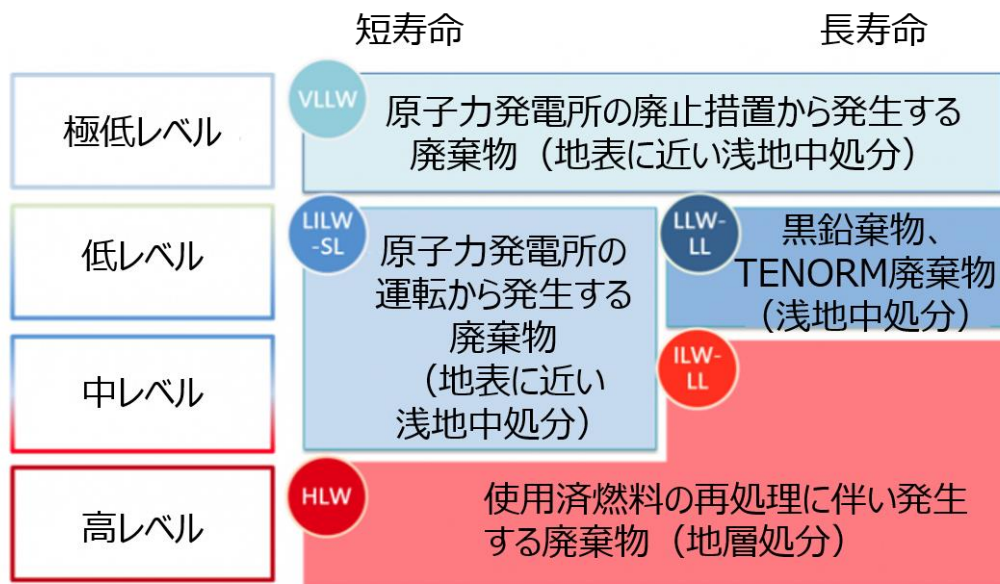
2) ガラス固化体処分

フランスでは、使用済燃料を再処理した後に発生するガラス固化体は、高レベル放射性廃棄物として地層処分する方針である。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

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濃度によって以下の図 1-10 のとおり分類されている⁹⁰。

^b 未照射プルトニウムには、再処理プラントで保存されている再処理によって回収されたプルトニウム、燃料への加工中のプルトニウム、未照射の MOX 燃料中のプルトニウムが含まれている。



TENORM：技術的に濃度が高められた自然起源の放射性物質

図 1-10 フランスにおける放射性廃棄物の分類と管理方法

TRU 廃棄物は中レベル長寿命放射性廃棄物として地層処分が想定されており、ウラン廃棄物等低レベル放射性廃棄物は、地表に近い浅地中処分を行う方針である。

1.1.3.5 参考文献

-
- ⁷⁵ 仏会計検査院、バックエンドに関する報告書、2019年7月4日、
<https://www.ccomptes.fr/system/files/2019-07/20190704-rapport-aval-cycle-combustible-nucleaire.pdf>
- ⁷⁶ 大統領府、2010年3月8日のサルコジ元大統領のスピーチ、<https://www.elysee.fr/nicolas-sarkozy/2010/03/08/declaration-de-m-nicolas-sarkozy-president-de-la-republique-sur-lacces-international-au-nucleaire-civil-a-paris-le-8-mars-2010>
- ⁷⁷ 「多年度エネルギー計画（PPE）」、2020年4月
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>
- ⁷⁸ ASN、「Avis n° 2020-AV-0363 de l'ASN du 8 octobre 2020」、
<https://www.asn.fr/content/download/172540/1775462/version/1/file/Avis%20n%C2%B0%202020-AV-0363%20de%20l%E2%80%99ASN%20du%208%20octobre%202020.pdf>
- ⁷⁹ 会計検査院、「Les coûts de la filière électro nucléaire」2012年1月、
https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/Rapport_thematique_filiere_electronucleaire.pdf
- ⁸⁰ 高レベル及び長寿命中レベル放射性廃棄物の長期管理方策の実施に係るコストに関する2016年1月15日付の省令、
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000031845115/2020-12-13/>（2020年12月4日閲覧）
- ⁸¹ 環境法典、
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000025110335/2020-07-03/#LEGISCTA000025110335（2020年11月16日閲覧）
- ⁸² EDF2019年報、<https://labrador.cld.bz/EDF-2019-Universal-registration-document>
- ⁸³ Framatome 社ウェブサイト、Governance、<https://www.framatome.com/EN/businessnews-106/framatomе-governance-and-executive-committee.html>（2020年10月2日閲覧）
- ⁸⁴ Orano 社ウェブサイト、<https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/de-l-exploration-au-recyclage/expert-en-conversion-et-enrichissement>（2020年9月28日閲覧）
- ⁸⁵ Framatome 社ウェブサイト、<https://www.framatome.com/EN/businessnews-92/framatomе-fuel-development-design-licensing-and-fabrication-of-fuel-assemblies-and-core-components-for-nuclear-reactors.html>（2020年9月28日閲覧）
- ⁸⁶ Orano 社「Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano la Hague」、2020年6月、https://www.orano.group/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/rapport_orano_2019_code_environnement.pdf?sfvrsn=42c04a95_6
- ⁸⁷ 国家評価委員会（CNE）、第14回評価報告書、2020年7月、
https://www.cne2.fr/telechargements/RAPPORT_CNE2_14_2020.pdf
- ⁸⁸ 仏環境連帯移行省ウェブサイト：「ウラン供給と核燃料サイクル」
<https://www.ecologie.gouv.fr/approvisionnement-en-uranium-et-cycle-du-combustible-nucleaire>（2020年9月2日閲覧）
- ⁸⁹ IAEA、「INFCIRC/549 Communication Received from Certain Member States Concerning

Their Policies Regarding the Management of Plutonium」 、

<https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium> (2020 年 10 月 2 日閲覧)

⁹⁰ 放射性廃棄物管理機関 (ANDRA) ウェブサイト「Waste classification」、

<https://international.andra.fr/radioactive-waste-france/waste-classification> (2020 年 9 月 25 日閲覧)

1.1.4 イギリス

1.1.4.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- 英国では軍事利用により再処理が開始された後、民生利用、特に海外顧客向けの再処理が実施されたものの、再処理プラント等は操業不調により、操業停止。現在運転中・今後新設計画中の軽水炉については、事業者は再処理する方針は示していない。

英国では 1950 年代半ばから、軍事利用プルトニウム製造のため、セラフィールドサイトにおいて再処理が実施されてきた。その後 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の再処理プラントが操業を開始した。ただし、マグノックス炉の使用済燃料が再処理されたのは、水中では腐食が起こり、長期間安全に貯蔵することが困難であるとの理由からである。さらに、改良型ガス冷却炉 (AGR) の使用済燃料がセラフィールドサイトの軍事用施設で再処理されていたが、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会社 (BNFL) が海外からの再処理契約を複数受注することとなった。1973 年には軍事用再処理プラントが閉鎖されることとなり、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、1978 年に計画が許可された⁹¹。また海外顧客向けに、MOX 実証施設 (MDF)^aとセラフィールド MOX 燃料製造プラント (SMP) が 1990 年代に操業を開始した。

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 2005 年 4 月に政府が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設立した原子力廃止措置機関 (NDA) に移管され、再処理事業を含め、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、NDA は 2012 年 6 月、既存の国内外向け再処理契約が完了する 2018 年に操業停止する方針を発表した⁹²。また、SMP 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 月に同プラントの閉鎖も決定した^{93,94}。この結果 2020 年 9 月現在では、英国内ではマグノックス炉の使用済燃料の再処理プラントが操業するのみとなっている。また同プラントも 2021 年には操業を終了する予定である⁹⁵。

英国政府は、使用済燃料に含まれるプルトニウム等を再利用することの有用性を認識するとしながらも、使用済燃料の再処理を行うかどうかは、当該使用済燃料の所有者の判断に委ねるとしており、国として核燃料サイクル政策を推進する方針は掲げていない。国内で PWR 等の軽水炉の使用済燃料再処理を行う施設が存在しない現状で、現在英国において発電事業を行う EDF エナジー社も、運転中の原子炉や今後建設する EPR の使用済燃料の再処理を行う方針は示していない⁹⁶。なお、後述するとおり、過去に実施した再処理によって回収したプルトニウムに関しては、MOX 燃料としての利用等、英国政府が検討を行っている。

なお英国政府は 2050 年のカーボンニュートラル目標を掲げており、その達成に向けたエ

^a MDF は 1999 年に発覚した日本向け MOX 燃料のデータ不正問題により操業停止し、そのまま閉鎖された。

エネルギーシステムの低炭素化施策をまとめたエネルギー白書を 2020 年 12 月に公表している。同白書では、現在建設中のシンクリーポイント C 原子力発電所（EPR2 基）以外に、新たな大型炉新設プロジェクトに少なくとも 1 件投資する方針とともに、小型モジュール炉（SMR）や先進モジュール炉（AMR）開発を推進する方針が示されている。ただし同白書において燃料サイクル政策に関する言及はない⁹⁷。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

英国で操業中の核燃料施設については、その詳細を 2.1.4.1 に示す。

英国で廃止措置中の主な核燃料施設は以下のとおり。

表 1-19 英国で廃止措置中の核燃料施設

施設名	操業者	操業 開始	操業 停止	施設目的	立地
Miscellaneous Pellet Plant	ウェスティングハウス社	1985	1998	軽水炉向け燃料ペレット製造	スプリングフィールド
NDA Sellafield Pond	セラフィールド社	1960	1986	燃料貯蔵プール	セラフィールド
Springfields IDR Plant	ウェスティングハウス社	1970	1999	再転換	スプリングフィールド
Springfields Magnox Canning Plant	ウェスティングハウス社	1960	2010	マグノックス炉向け燃料組立	スプリングフィールド
Springfields U Metal Plant	ウェスティングハウス社	1960	2006	四フッ化ウランの金属ウランへの転換	スプリングフィールド

出所）IAEA NFCIS に基づき作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

再処理コストに関しては、THOPR 再処理プラントの資本コストが、同プラントの建設が決定された 1970 年代当時の価格で 18.5 億ポンド（現在の価値で 50 億ポンド程度）であったとされている⁹⁸。

高レベル放射性廃棄物の地層処分に 대해서는、NDA が 2007 年次会計報告書において、地層処分場に関する割引前のコスト総額は、2008 年の価格で 122 億ポンドと評価している⁹⁹。

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- 英国では放射性廃棄物の管理・処分コストの負担責任は事業者にある。現在英国内で原子炉を運転している EDF エナジー社は放射性廃棄物の長期管理費用として 2019 年末時点で 10.5 億ユーロを引き当てている。閉鎖された原子炉の放射性廃棄物管理費用は NDA が負担しており、閉鎖された原子炉も含めた原子力施設の廃止措置、放射性廃棄物管理等にかかる引当金総額は 2020 年 3 月末時点で 1,318 億ポンドとなっている。

英国では、1995 年の白書「放射性廃棄物管理政策レビュー」において、放射性廃棄物の管理・処分コストを負担する責任は廃棄物の発生者と所有者にあるとしている¹⁰⁰。このため、

英国内で原子炉を運転する EDF エナジー社は、放射性廃棄物の長期管理費用として 10.5 億ユーロを引き当てている¹⁰¹。なお、運転中の原子炉（14 基の AGR と 1 基の PWR）の使用済燃料の今後の再処理は想定されていないので、これらの原子炉を運転する EDF エナジー社は再処理費用の積み立ては行っていない。

閉鎖済の原子炉の使用済燃料やその再処理から発生した放射性廃棄物管理については、NDA がコスト負担の責任を負っており、つまりは国費によってコストが賄われることとなる。2020 年 3 月末時点で、NDA が管理する施設の廃止措置等も含めた引当金総額は 1,318 億ポンドとなっている。引当金額の内訳は明示されていないが、このうち、約 970 億ポンドがセラフィールドサイトの廃止措置に係るものとされている。残りの約 350 億ポンドがその他引当金とされており、地層処分も含む放射性廃棄物の長期管理費用に対する引当金は後者に含まれる¹⁰²。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

英国における燃料サイクル事業者は、後述するウェスティング（WH）社、ウレンコ社であるが、すでに終了した THORP 再処理プラントと運転継続中のマグノックス再処理プラントは NDA の完全子会社であるセラフィールド社が保有しており、産業構造は以下の図 1-11 のとおりである¹⁰²。なお NDA は 2005 年にマグノックス炉の運転、廃止措置の責任を負うこととされており、マグノックス炉から発生した使用済燃料の管理も NDA に責任がある¹⁰³。

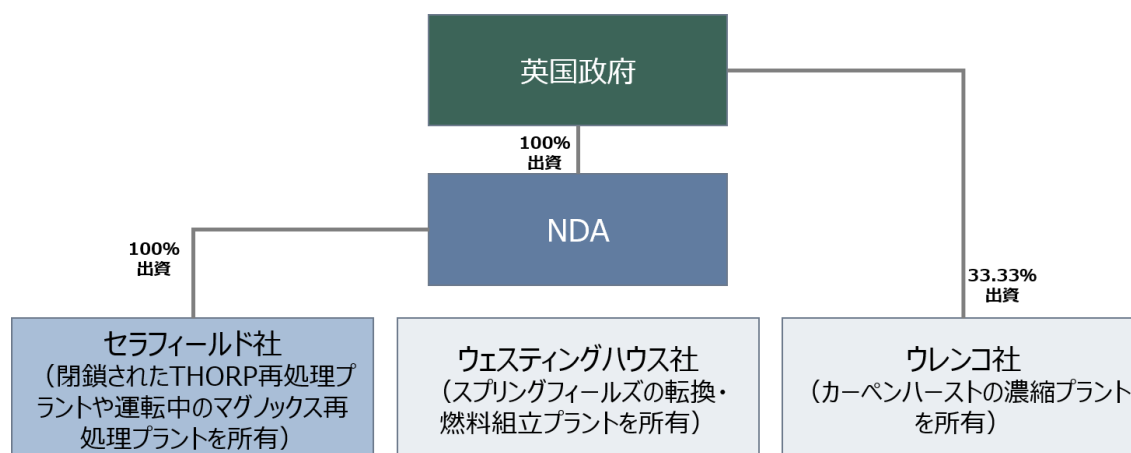


図 1-11 英国における燃料サイクル産業構造

1.1.4.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

英国はウラン資源は主にオーストラリアから輸入している¹⁰⁴。燃料製造に関しては、転換と燃料組立をウェスティングハウス（WH）社のスプリングフィールドズプラントで実施しており、濃縮はウレンコ社のカーペンハーストサイトで実施している¹⁰⁵。

1.1.4.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託／海外再処理受託

前述のとおり、セラフィールドに立地する再処理プラント THORP において国内外向け再処理を行っていたが、2018 年に同プラントは閉鎖された。海外向けの主な再処理実績は、日本、ドイツ、スイスである⁹³。

2) 使用済燃料の再処理方策

前述のとおり、英国では、使用済燃料の再処理に関して政府レベルでの政策方針はなく、再処理を実施するかどうかは使用済燃料の所有者である事業者の判断に委ねられている。過去の契約に基づくマグノックス炉や AGR については再処理が実施されてきたが、運転中の PWR や、今後新設される EPR の使用済燃料については、運転者であり使用済燃料の所有者である EDF エナジー社は、再処理を行う方針は示していない。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

英国ではプルサーマルは実施されておらず、使用済 MOX 燃料の再処理は実施されていない。前述のとおり、英国政府は、マグノックス炉や AGR の使用済燃料から回収したプルトニウムを MOX 燃料として再利用することを検討しているが、この結果発生する使用済 MOX 燃料に関しては、さらなる再処理は行わず、地層処分場に処分する想定である¹⁰⁶。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

英国では、マグノックス炉の使用済燃料の再処理によって回収されたウランを再濃縮して AGR 燃料として再利用した実績がある。再利用された回収ウランは 15,000 トンにのぼるが、この再利用は経済的理由から 1990 年代に終了している¹⁰⁷。回収ウラン、また劣化ウランは 2013 年時点で 17 万トン存在しているが、英国政府はこれらの回収ウラン及び劣化ウランを放射性廃棄物とはみなしておらず、放射性物質として位置付けている。ただし放射性廃棄物管理会社 (RWM 社) は、これらの回収ウランと劣化ウランが放射性廃棄物として地層処分場に処分される可能性があるとしている¹⁰⁸。

5) プルトニウムマネジメント

(概要)

- 英国では現在再処理は実施されておらず、既存の再処理契約に基づき発生したプルトニウム 140 トンを MOX 燃料として再利用することでプルトニウム需給バランスが確保される見込み。NDA はフランスへの MOX 燃料製造委託の可能性も検討中。

現在英国で行われている再処理は、過去の契約に基づき実施されたマグノックス炉、AGR の使用済燃料のみであるが、過去の契約に基づく再処理の完遂後には、国内に 140 トンのプルトニウムストックが存在することになると見込まれている。これらのプルトニウムの管理方針については、政府は 2011 年 12 月に取りまとめた報告書において、①MOX 燃料とし

て利用、②固化したうえで直接処分、③貯蔵を継続という 3 つの方針を検討した結果、① MOX 燃料として利用するのが最適なオプションであると結論している。なお、MOX 燃料として再利用する炉としては、軽水炉だけでなく、CANDU 炉も検討されている¹⁰⁹。英国政府は 2020 年 9 月現在、MOX 燃料として再利用する方向で検討を継続していると考えられるが、具体的な進捗等は報告されていない。

一方で、プルトニウム管理の責任を負っている NDA は 2016 年に仏 Orano 社と 5 年契約を締結し、プルトニウムストックを MOX 燃料に加工するソリューションの検討を行っている¹¹⁰。2019 年 11 月には、英国からフランスに数百グラムの酸化プルトニウムサンプルが輸送されている¹¹¹。

英国では、新たな使用済燃料の再処理は実施されていないため、英国では、上記の既存のプルトニウムのストック量を縮減することで、プルトニウムの管理がはかられていくと考えられる。

6) マルチリサイクルの概念

英国では現状使用済燃料のマルチサイクルは実施・検討されていない。

1.1.4.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

英国では使用済燃料は放射性廃棄物とは位置付けられていないが、今後使用済燃料を所有する事業者が再処理を行わないと判断すれば直接処分されることになる。

2) ガラス固化体処分

英国ではマグノックス炉や AGR の再処理の結果発生したガラス固化体は地層処分場に処分される計画である。

地層処分場の設置に向けては 2018 年末に公表された白書「地層処分の実施—地域社会との協働：放射性廃棄物の長期管理」に基づき、サイト選定プロセスが進められている。サイト選定プロセスを主導する放射性廃棄物管理会社（RWM 社）は、地層処分プロジェクトに関心を示す地域との対話や理解醸成、協働、サイト評価等を実施していく計画である¹¹²。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

英国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濃度によって以下の図 1-12 のように分類されている。英国内には低レベル放射性廃棄物（LLW）向け処分場が操業中であり、 α 核種濃度が 4GBq/t、 β 核種濃度が 12GBq/t を超えない廃棄物である LLW は、同処分場に処分される^b。一方で、低レベル放射性廃棄物処分場に処分できない廃棄物を地層処分される計画であり、TRU 廃棄物はガラス固化体とともに地層処分される¹¹³。

^b VLLW に関しては、放射能レベルが低く、再利用や産業廃棄物等と合わせた処分等が実施されている。

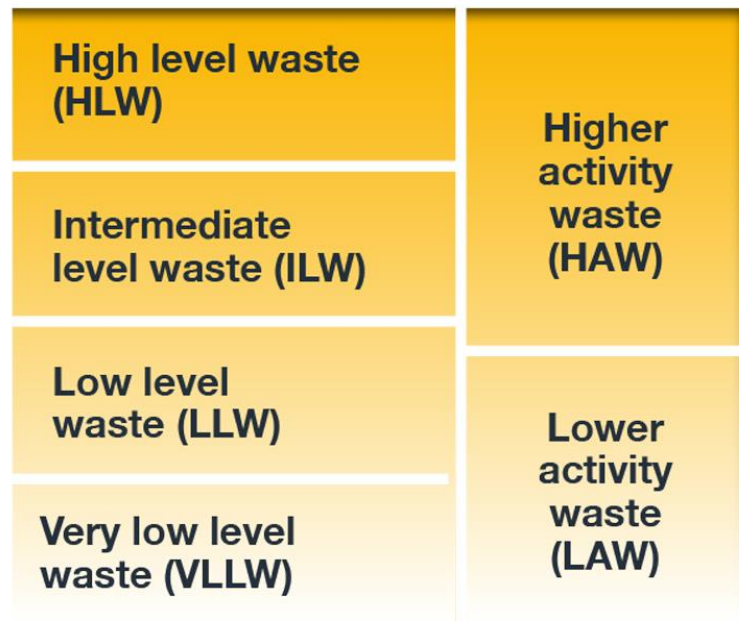


図 1-12 英国における放射性廃棄物の分類

1.1.4.5 参考文献

- ⁹¹ 英国議会、Trade and Industry - Ninth Report、2000 年 5 月 18 日、
<https://publications.parliament.uk/pa/cm199900/cmselect/cmtrdind/307/30710.htm>
- ⁹² NDA、Oxide Fuels Preferred Option、2012 年 6 月、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/457789/Oxide_fuels_-_preferred_options.pdf
- ⁹³ 英国議会、Trade and Industry - Ninth Report、2000 年 5 月 18 日、
<https://publications.parliament.uk/pa/cm199900/cmselect/cmtrdind/307/30711.htm>
- ⁹⁴ 英国議会、Science and Technology Committee - Third Report Nuclear Research and Development Capabilities、2011 年 11 月 15 日、
<https://publications.parliament.uk/pa/ld201012/ldselect/ldsctech/221/22117.htm>
- ⁹⁵ セラフィールド社、2020 年 8 月 3 日付プレスリリース、
<https://www.gov.uk/government/news/green-light-to-restart-magnox-reprocessing>
- ⁹⁶ 放射性廃棄物等安全条約第 6 回国別報告書、2017 年 10 月
https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_united_kingdom_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf
- ⁹⁷ 英ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）、The Energy White Paper Powering our Net Zero Future、2020 年 12 月、<https://www.gov.uk/government/news/government-sets-out-plans-for-clean-energy-system-and-green-jobs-boom-to-build-back-greener>
- ⁹⁸ IAEA、Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors Learning from the Past, Enabling the Future Proceedings of an International Conference Vienna, Austria, 24–28 June 2019、2020 年 6 月、https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1905_web.pdf
- ⁹⁹ NDA、Annual Report and Accounts 2007/08、<https://tools.nda.gov.uk/publication/annual-report-and-accounts-2007/?download>
- ¹⁰⁰ Review of Radioactive Waste Management Policy、1995 年 7 月、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/829274/review-radioactive-waste-management-policy-cm2919.pdf
- ¹⁰¹ ASN、Avis n° 2020-AV-0363 de l'ASN du 8 octobre 2020、
<https://www.asn.fr/content/download/172540/1775462/version/1/file/Avis%20n%C2%B0%202020-AV-0363%20de%20l%E2%80%99ASN%20du%208%20octobre%202020.pdf>
- ¹⁰² NDA、NDA Annual Report and Accounts 2019 to 2020、2020 年 7 月 21 日
- ¹⁰³ NDA、Magnox Fuel Strategy Contingency Options、2014 年 1 月、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/457813/Magnox_Fuel_Strategy_-_Contingency_Options.pdf
- ¹⁰⁴ デンマーク国際問題研究所、Governing Uranium in the United Kingdom、2014 年
https://www.diis.dk/files/media/publications/import/extra/rp2014-02_uranium_uk_cve-mfl_web.pdf
- ¹⁰⁵ IAEA NFCIS、<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>（2020 年 10 月 28 日閲覧）
- ¹⁰⁶ 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

-
- ¹⁰⁷ 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
- ¹⁰⁸ RWM 社、Geological Disposal Summary of factors affecting the disposability of unirradiated depleted uranium tails and Magnox depleted uranium、2016 年 10 月、<https://rwm.nda.gov.uk/publication/summary-of-factors-affecting-the-disposability-of-unirradiated-depleted-uranium-tails-and-magnox-depleted-uranium/?download>
- ¹⁰⁹ NDA、Separated plutonium: progress on approaches to management、2014 年 1 月
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/457874/Progress_on_approaches_to_the_management_of_separated_plutonium_position_paper_January_2014.pdf
- ¹¹⁰ Orano 社ウェブサイト、Leader mondial dans le recyclage des combustibles usés、<https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/de-l-exploration-au-recyclage/leader-mondial-dans-le-recyclage-des-combustibles-uses> (2020 年 10 月 1 日閲覧)
- ¹¹¹ Orano 社ウェブサイト、Orano transports samples of British nuclear materials to its Melox site、2019 年 11 月 26 日、<https://www.orano.group/en/news/news-group/2019/november/orano-transport-samples-of-british-nuclear-materials-to-its-melox-site>
- ¹¹² 英国政府、IMPLEMENTING GEOLOGICAL DISPOSAL – WORKING WITH COMMUNITIES、2018 年 12 月、https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/766643/Implementing_Geological_Disposal_-_Working_with_Communities.pdf
- ¹¹³ NDA、Radioactive Waste Strategy September 2019、2019 年 9 月 16 日、<https://www.gov.uk/government/consultations/nda-radioactive-waste-management-strategy/outcome/radioactive-waste-strategy-september-2019>

1.1.5 ドイツ

1.1.5.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- 過去には国内クローズドサイクルの実現をめざし、使用済燃料を全量再処理する方針であったが、1990 年代初頭に断念、直接処分と国外再処理の両オプションを並列に
- 脱原子力政策に伴い、2002 年原子力法により再処理が禁止。全量直接処分。過去の再処理分については回収プルトニウムを原則として MOX 燃料に加工し原子力発電所で燃焼。ドイツは 2022 年までに全炉閉鎖予定だが、2016 年までにドイツ保有分プルトニウムによるプルサーマルが完了

ドイツでは 1998 年に成立した社会民主党（SPD）と緑の党の連立政権が脱原子力政策を開始し、2002 年に段階的脱原子力を規定する改正原子力法が発効した。この改正により、当時英仏に委託して実施していた使用済燃料再処理について既契約分をもって終了とし、2005 年 6 月末をもって再処理を目的とした使用済燃料国外輸送が禁止することが規定された。以後、使用済燃料は全量直接処分を前提に、最終処分場の操業開始まで中間貯蔵されている。

このように現在は全量直接処分の方針をとるドイツだが、過去には国内でのクローズドサイクル構築を目指し、1960 年代から当時の西ドイツにおいて再処理プラント、高速増殖炉の計画・開発が進められていた。

再処理に関しては、まず連邦が費用を負担してパイロットプラント（WAK）を公立研究機関であるカールスルーエ原子力研究所（現・カールスルーエ工科大学）の隣接地に建設、操業については民間が行い、WAK で操業実績を蓄積して、民間企業が商用施設としてのバックースドルフ再処理工場（WAW）建設計画を進める、いわば国策民営のかたちで進められた。WAK は 1971 年に操業開始され、1985 年には電気事業者のコンソーシアムである DWK 社により、WAW の建設が開始された。しかし 1986 年のチェルノブイリ原子力発電所事故発生を経て、すでに 1980 年代以降高まりつつあった原子力反対運動の影響がより強くなり、手続き遅延、訴訟等による計画遅延とコスト増大を受けて国内再処理の経済性が疑問視され、DWK を構成する電力会社の中でも国外再処理拡大を検討する動きが見られ、DWK 社は 1989 年に WAW 計画中止を決定した。WAW が立地するバイエルン州と連邦政府も WAW 計画の中止を発表、また連邦政府がフランスへの再処理委託を盛り込む「独仏両国間の原子力平和利用に係る協力に関する共同宣言」を出し、国内再処理断念の方向性が明確となった。こうした流れの中で再処理パイロットプラント WAK も、1991 年に操業を終了した^{114 115}。

高速炉に関しても、カールスルーエ原子力研究所で公費により実験炉 KNK-1、KNK-2 が建設（KNK-1 は 1971 年から 1974 年、KNK-2 は 1977 年から 1991 年まで運転）され¹¹⁶、オランダ国境に近いカルカーで高速原型炉 SNR-300 が西ドイツ、ベルギー、オランダ、英国の電力会社コンソーシアム SBK 社により建設され、1986 年に完成したものの、当時の立

地州政府与党であった社会民主党が原子力に批判的であったことに加え、チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う原子力世論への逆風を背景に、その後の試運転許可がおりず、燃料装荷しないまま、1991年に計画中止となった¹¹⁷。

当時の西ドイツの原子力法では運転認可保持者の義務として、クローズドサイクルの構築を前提として、使用済燃料を全量再処理する計画を示すことが義務づけられていた。しかし上掲のとおり国内再処理・高速炉計画が頓挫したのち、1994年の原子力法改正において、使用済燃料の処理について再処理オプションに加えて直接処分もオプションとして容認する改正が行われた。これに先立つ1993年には連邦会計検査院が、「コスト比較によると再処理コストは直接処分の倍以上^a」であるとして、政府に対し核燃料サイクルの再考を促す報告書を出していた¹¹⁸。

その後は再処理（国外）と直接処分がオプションとして並立する状態が続いていたが、上述の通り脱原子力政策の開始を機に再処理は終了し、現在は直接処分のみとなっている。なお、原子力法ではこれまでの再処理で回収されたプルトニウムについて、全て再利用されることの証明を義務付けており、ドイツ由来の使用済燃料の再処理で回収されたプルトニウムは、MOX燃料に加工されてドイツ国内の原子炉に装荷されてきた。なお、ドイツでは2011年の福島第一原子力発電所事故後に行われた原子力法改正により8基が一斉に恒久停止し、その後も2022年までに脱原子力発電を完了させるスケジュールで、順次原子炉の閉鎖が進められている¹¹⁹。原子炉の基数は2010年12月末時点の17基から2020年8月現在の6基へと大きく減少しているが、2018年の放射性廃棄物等安全条約第6回ドイツ報告書によれば、2005年6月末までに国外輸送された使用済燃料の再処理は完了し、MOX燃料としてドイツ国内軽水炉で全てリサイクルされ、「分離プルトニウムリサイクルは完了した」と報告されている¹¹⁴。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）が公表する資料に拠れば、2020年12月現在ドイツ国内で運用中の核燃料施設（中間所蔵・処分施設除く）は以下の通りである¹²⁰。

表 1-20 ドイツにおける操業中の核燃料製造・処理施設

施設名	操業者	操業開始	施設目的	立地
リンゲン燃料加工工場	ANF	1979	軽水炉燃料製造	リンゲン
グローナウ濃縮工場	Urencoドイツ	1985	ウラン濃縮	グローナウ
ゴアレーベンパイロット コンディショニング施設	ゴアレーベン燃料 貯蔵社	2000	貯蔵キャスク修理、 廃棄物コンディショ ニングなど	ゴアレーベン

出所）BASE、Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Betrieb" Stand: Dezember 2020 に基づき三菱総合研究所にて作成

連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）が公表する資料に拠れば、2020年12月現在ドイツ

^a 1993年の議会文書の言及より整理。この議会文書では連邦会計検査院文書で「再処理コストは直接処分の倍以上」とした根拠となるコスト比較研究に関する野党質問への政府回答として、同検査院が報告書で明示しておらず回答できないとしている。

ツ国内で廃止措置中の核燃料施設（中間所蔵・処分施設除く）は以下の通りである¹²¹。

表 1-21 ドイツにおける廃止措置中の核燃料製造・処理施設

施設名	操業者	操業 開始	操業 停止	施設目的	立地
カールスルーエ再 処理パイロットプラ ント	カールスルーエ 原子力施設バック エンド会社 (EWN 社子会 社)	1971	1990	使用済燃料再処理パイ ロットプラント	カールスルーエ
シーメンス発電部門 カールシュタイン施 設	シーメンス社	1968	1989	ホットセル等研究施 設、廃棄物焼却施設、 廃水処理施設など	カールシュ タイン

出所) BASE、Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Stilllegung" Stand: Dezember 2020 に基づき三菱総合
研究所にて作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

【再処理コスト】

ドイツでは 2005 年以降、使用済燃料の再処理が禁止されており現在再処理は実施していない。現在は再処理を終了している。2005 年当時の国外再処理に関しては、英仏再処理事業者との商業的な役務契約に基づき実施されており、金額等は公表されていない。なお、1993 年の議会資料に拠れば、当時の原子力事業者の報告として、「1990 年以前の国外再処理契約による再処理コストは 2750 マルク/kgHM（※その後のユーロへの転換時のレートは 1 ユーロ＝約 2 ドイツマルク）、1991 年以降の再処理契約によるコストは 1600 マルク/kgHM」とされている¹²²。

1990 年初頭に商用化を実現しないまま終了した国内再処理計画に関しても、具体的な金額を示した見積り等は確認されていない。

【処分コスト】

放射性廃棄物の管理費用見積りは、欧州委員会に提出する国家放射性廃棄物管理計画添付文書「使用済燃料及び放射性廃棄物管理に係る費用及び資金確保に関する報告書」（2015 年）に示されている。処分コストに関連して、非発熱性放射性廃棄物（主に中低レベル）及び発熱性放射性廃棄物（使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物）処分場の建設・操業・閉鎖に係る費用はそれぞれ以下のように見積もられている。

- 非発熱性放射性廃棄物処分場（コンラート処分場）：約 75 億ユーロ（2007 年までに支出済みの計画・探査費用約 9.3 億ユーロ含む）
- 発熱性放射性廃棄物処分場（サイト未定）：約 77 億ユーロ

ドイツでは原子力法に基づき 2005 年以降、使用済燃料の再処理が禁止されており、現在再処理は実施していない。

その他バックエンド費用については、EU の「使用済燃料及び放射性廃棄物の責任ある安全な管理に関する、共同体（EURATOM）の枠組みを構築する理事会指令」（放射性廃棄物管理枠組指令）（2011/70/EURATOM）に基づき欧州委員会に提出する国家放射性廃棄物管理計画の添付文書「使用済燃料及び放射性廃棄物管理に係る費用及び資金確保に関する報

告書」(2015 年)に費用の見積が示されている。なお、同報告書の見積りには原子力施設の廃止措置費用も含まれている。

＜最終処分以外のバックエンド費用見積り＞

放射性廃棄物の発生者は、公立研究所や大学等の研究炉、各種パイロットプラントのほか、旧東ドイツの炉、また医療産業由来の低レベル放射性廃棄物を保管する州集積所など、連邦や州が所有する公有施設と、原子力発電所や核燃料サイクル施設(濃縮プラント等)などの私有施設に大別される。

公有施設については、2013 年から 2080 年に発生する最終処分コスト(サイト選定、建設、操業、閉鎖)を除くバックエンド関連コストとして、総額約 60 億ユーロ(2012 年価格)が見積もられている。うち約 20 億ユーロが廃止措置費用とされており、これには 1991 年に操業停止した再処理パイロットプラント WAK の廃止措置費用も含まれている。

同様に原子力発電所や核燃料サイクル施設(濃縮プラント等)などの私有施設については 2013 年から 2103 年頃までに発生するバックエンド費用(処分費用以外)として、総額約 340 億ユーロ(2013 年価格)が見積もられている。

＜最終処分費用見積り＞

処分コストに関連して、非発熱性放射性廃棄物(主に中低レベル)及び発熱性放射性廃棄物(使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物)処分場の建設・操業・閉鎖に係る費用はそれぞれ以下のように見積もられている。

- 非発熱性放射性廃棄物処分場(コンラート処分場)：総額約 75 億ユーロ
 - 1977 年から 2007 年までに計画・探査費用として支出済みの費用：約 9.3 億ユーロ
 - 建設費用(同処分場は現在建設中。2008 年の建設開始からの支出済み費用含む)：約 29 億ユーロ
 - 操業費用：約 8160 万ユーロ(2012 年価格)
 - 閉鎖費用：約 2.9 億ユーロ
- 発熱性放射性廃棄物処分場(サイト未定)：約 77 億ユーロ
 - サイト選定費用：2013 年時点で約 20 億ユーロを想定。ただしその後のサイト選定手続きの状況を反映した 2015 年時点での更新見積りは示せておらず、選定費用は上記総額 77 億ユーロには含まれていない。
 - 建設等投資費用：約 39 億ユーロ
 - 操業費用：約 33.7 億ユーロ
 - 閉鎖費用：約 3.9 億ユーロ

この他最終処分に関連する費用として、過去に処分場として使用されていたサイトの保全・閉鎖費用や従来、発熱性放射性廃棄物処分場の候補地として探査が行われていたゴアレーベンサイトの保全費用などが見積もられている。

- モルスレーベン処分場関連費用(これまでの支出済み費用、閉鎖費用など)：24 億ユーロ

- アッセ II 研究鉱山関連費用：定置された廃棄物の回収を予定。閉鎖費用の総額は未定。2009 年から 2013 年までの支出済み費用約 4.2 億ユーロ。2014 年以降、年間 1.1 億～1.2 億ユーロを支出
- ゴアレーベン岩塩鉱（従来発熱性放射性廃棄物処分場の候補地とされていたが選定プロセス白紙化により探査中止）保全費用：2015 年の費用見込み約 4000 万ユーロ、2016 年の費用見込み約 3000 万ユーロ¹²³

<参考：放射性廃棄物管理枠組指令（2011/70/EURATOM）>

2011 年に採択された EU 理事会指令「使用済燃料及び放射性廃棄物の責任ある安全な管理に関する、共同体（EURATOM）の枠組みを構築する理事会指令」（放射性廃棄物管理枠組指令）は、加盟国に対して EU が、自国の使用済燃料や放射性廃棄物の管理責任を果たすことを義務付ける枠組みを規定している。本指令に基づき加盟国が義務付けられる主な規定は以下の通りである¹²⁴。

- 2015 年までに放射性廃棄物管理に関する国家計画を策定、欧州委員会に提出。国家計画には処分場建設の見通しや費用見積り、資金確保等を記載。同計画を定期的に更新する
- 国際原子力機関（IAEA）の安全基準を法的拘束力ある形で適用する
- 公衆及び従事者への情報提供、公衆参加機会の提供
- 10 年以内の間隔で国際ピアレビューを実施
- 加盟国内での加盟国間の合意に基づく放射性廃棄物共同処分検討可能
- EU 域外への放射性廃棄物輸出は厳格な条件のもとでのみ可能
- 指令発効から 2 年以内に指令内容を国内法化^b
- 指令発効から 4 年以内に指令の実施状況、国家計画の実施状況について欧州委員会に報告

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- 再処理は国外再処理事業者との商業的契約に基づき料金を支払い（積み立てではない）
- 貯蔵・処分については従来各事業者が引当金として確保していたが、現在は連邦基金で管理。原資は事業者が引き当ててきた資金。事業者はリスク保険上乗せ分含む資金を一括支払い済み。払込金を超えるコストが発生した場合含め、以後の責任は連邦に
- 電力全面自由化下、ドイツにおいてバックエンド費用の託送料金からの回収などは行われておらず、各社事業収益から引当金として確保（貯蔵・処分費用については事業者から連邦基金に全額移管済み）

前項に記載のとおり、ドイツでは原子力法に基づき 2005 年以降、再処理は禁止されている。禁止以前の国外再処理は、各原子力発電事業者と英仏事業者との商業的な契約に基づいて実施されており、費用はこうした契約に則って原子力発電事業者が料金として支払って

^b EU の法体系において、加盟各国での国内法化を経ず直接加盟国を拘束する EU 規則に対し、EU 指令は加盟各国が自国の法律として国内法化して執行することになっている。

いた。

中間貯蔵、処分費用の資金確保に関しては、近年大きな体制変更が実施された。従来、ドイツでは原子力事業者各自でバックエンド費用（再処理・MOX 燃料加工費用を除く）を引当金として確保してきたが、2017 年に中間貯蔵・処分費用を管理する連邦基金「放射性廃棄物管理基金」が新設され、資金管理が移行された。事業者は 2017 年 7 月に基本拠出金約 179 億ユーロに費用増大に備えるためのリスク保険料約 62 億ユーロを上乗せした約 241 億ユーロを一括で基金に払い込み済みである。基金の原資はもっぱら事業者の払込金によるため、放射性廃棄物管理費用の発生者負担原則に変わりはない。ただし、拠出金払込以後の資金管理は基金の責任である。したがって、将来的に万一費用が大幅に増大し基金の財産を超えた場合も、事業者が払込済みの資金から追加で負担を求められることはなく、連邦の負担（すなわち税金）により補填されることになる。

< 公的基金への移管背景 >

事業者が廃止措置から放射性廃棄物最終処分までの一連のバックエンド資金を引当金の形で確保する方式について、連邦政府は従来、事業者は会計事務所の監査等を受けていることから、資金確保に問題は無く、公的基金への移行は不要との見解を示していた。しかし福島第一原子力発電所事故後、ゴアレーベンを候補地として進められていた高レベル放射性廃棄物処分場計画が 2013 年に白紙化された。さらに、ドイツの原子力発電事業者である E.ON 社、RWE 社といった巨大電力企業グループが経営不振を契機に、2014 年ごろから相次いで大規模な事業再編の動きを見せ始めた。サイト選定のやり直しに伴う処分場計画、中間貯蔵期間の長期化が見込まれること、また、経営不振と事業再編の潮流の中で、長期にわたるバックエンドの責任主体を事業者とした場合の責任主体の持続性・継続性に懸念が生じてきたことを背景に、連邦政府は 2015 年に「脱原子力に係る資金確保に関する検討委員会」（KFK）を設置、KFK が 2016 年に提出した最終報告書の勧告¹²⁵に基づいて「原子力発電所運転者からの放射性廃棄物管理の資金及び実施に係る義務移管に関する法律（義務移管法）」¹²⁶、「放射性廃棄物管理のための公的基金の設置に関する法律（基金設置法）」¹²⁷等の法令整備を実施、中間貯蔵以降、最終処分までの責任を連邦に集約するとともに（次項参照）、資金についても 2017 年に事業者管理から連邦基金への移管が実行された。なお、廃止措置については引きつづき従来通り、基金には移行せず事業者が各自で資金を確保する。

基金設置法では、原子力施設毎の拠出金額が規定されている。拠出金は事業者が各施設の放射性廃棄物管理資金（中間貯蔵・処分資金）としてこれまで引き当ててきた金額を「基本拠出金」とし、基本拠出金に 35.47% を乗じた「リスク保険料」を上乗せしたものである。こうした拠出金の建て付け、リスク保険料率は上掲の KFK 勧告を法制化したものである。

< 連邦基金「放射性廃棄物管理基金」の資産状況 >

同基金は公法に基づく財団「放射性廃棄物管理基金」（KENFO）により管理されている。同基金は連邦経済・エネルギー省（BMWi）の所管である。

基金の原資は原子力事業者からの拠出金（基本拠出金+リスク保険料）である。原資はこの 1 回払いで支払われた払込拠出金のみであり、この資金を基金が運用し管理していくことになる。

基金の 2019 年年報によれば、2017 年に払い込まれた原資 240.57 億ユーロから以後 2019

年末までに、中間貯蔵、処分事業（サイト選定含む）等の活動（すなわち後述の BGZ、BGE の活動費用等）に対し、基金から 7.33 億ユーロが支出された。こうした支出に資金運用実績、運用に係る費用等を反映した 2019 年末時点における基金の自己資本は、232.23 億ユーロとなっている¹²⁸。

なお、バックエンドのうち各施設の廃止措置資金については引きつづき事業者が各自で確保する。

＜電力自由化下におけるバックエンド費用（廃止措置及び放射性廃棄物中間貯蔵、最終処分費用）の取り扱い＞

ドイツでは 1998 年に電力全面自由化がなされ、発送電も分離されている。ドイツでは、事業者は電力以外も含めた事業収益からバックエンド費用を引当ててきたが、上述のとおり中間貯蔵・処分費用についてはすでに連邦基金に一括払い込み済みである。廃止措置費用に関しては引きつづき各事業者が引当金として確保し、2017 年に制定された「原子力発電所の廃止措置・解体及び放射性廃棄物のパッケージング費用の透明性に関する法律」に基づき、毎年連邦経済・輸出管理庁（BAFA）に資金確保状況を報告することが義務付けられている¹²⁹。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

＜官民の役割分担と実施主体＞

前項で資金管理に関して報告したとおり、ドイツでは最終処分計画の後ろ倒しによる中間貯蔵以降のバックエンド事業全体の長期化と電気事業者の事業再編の潮流を受け、2017 年の「原子力発電所運転者からの放射性廃棄物管理の資金及び実施に係る義務移管に関する法律（義務移管法）」により、中間貯蔵、最終処分に関する官民の役割分担に変更が生じた。同法の施行以前、中間貯蔵は事業者の責任であったが、連邦政府に責任が移管され、中間貯蔵以降の責任が連邦に集約された（表 1-22）¹²⁶。

表 1-22 ドイツにおける放射性廃棄物管理の主体変更

	2017 年義務移管法以前		2017 年義務移管法以後	
	中間貯蔵	最終処分	中間貯蔵	最終処分
実施・管理主体	事業者	連邦政府	連邦政府（連邦 100% 所有の事業体）	
資金管理主体	事業者が各自費用を引当		連邦政府（公的基金） ※事業者の一括払込金（予備費込み）を 原資とする	
資金負担主体	廃棄物発生者		廃棄物発生者 ※但し払込金を超える費用が生じる場合 は連邦が負担	

連邦における中間貯蔵及び最終処分（サイト選定等含む）の実施主体は、「連邦中間貯蔵機関（BGZ）」、「連邦廃棄物管理機関（BGE）」である。機関という和名であるが連邦 100% 所有する会社組織であり、国営企業である。両社は連邦環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）監督のもと中間貯蔵、最終処分事業を実施する。

原子力安全規制に関しては、連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）が規制監督を担う。

ドイツにおける中間貯蔵、処分に関する組織体制を図 1-13 に示す。

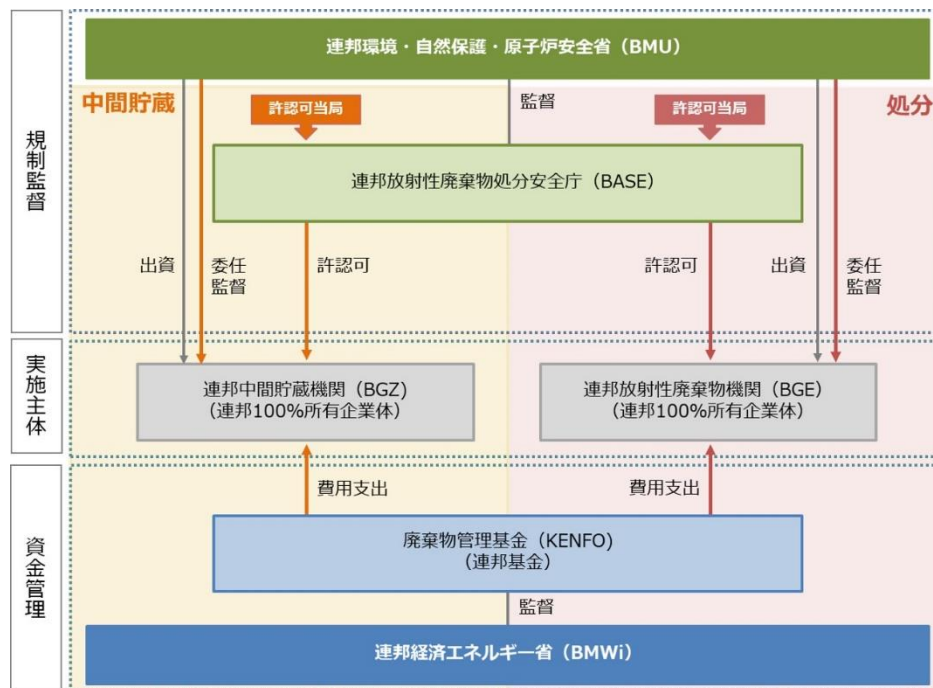


図 1-13 ドイツにおける中間貯蔵・処分に係る組織体制

出所）義務移管法、基金設置法に基づき三菱総合研究所にて作成

<所有権について>

2017 年義務移管法の施行により、従来事業者及び事業者出資の企業が建設・所有していた発電所サイト内中間貯蔵施設やゴアレーベン、アハウス等の集中中間貯蔵施設（保管物含む）等、各種の中間貯蔵施設の所有権や許認可が 100%連邦所有の BGZ に移管された。この際、施設等の資産は事業者から BGZ に無償譲渡された¹³⁰。

放射性廃棄物の所有権は、義務移管法施行前は事業者が中間貯蔵施設から廃棄物を最終処分場敷地内に搬入し引き渡した時点で連邦に移管していたが、同法施行後に中間貯蔵施設に搬入される廃棄物については、中間貯蔵施設への引渡時点で所有が事業者から BGZ に移管する。処分実施主体の BGE も 100%連邦所有であり、中間貯蔵以降、放射性廃棄物は最終処分まで一貫して連邦の管理下に置かれる。

1.1.5.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

ドイツは使用するウランの全量を輸入している。濃縮は、グローナウにあるウレンコ社のプラント（処理能力：4,100tSW/年）で行われている¹³¹。また、軽水炉用燃料の加工はリングンにある ANF 社（仏 Framatome 社の子会社）のプラントで実施されている¹³²。なお、ウラン転換施設は国内に立地していない。

1.1.5.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託／海外再処理受託

(概要)

- 過去には国内再処理を志向したが 1990 年代初頭に断念、2005 年までは英仏に国外委託。その後は再処理が禁止。

原子力法に基づき、ドイツでは現在、使用済燃料の再処理が禁止されている。

1.1.5.11)に経緯を整理したとおり、ドイツでは 1994 年まで原子力法において原子力発電所の運転認可保持者に対し、使用済燃料の全量再処理計画を示すことを義務付けていた。1990 年代初頭までは国内再処理をめざす方針であったが、コスト高騰等から断念し、再処理はもっぱら英仏への国外委託で行われることになった。

1994 年の原子力法改正以降は、再処理と直接処分が同等のオプションとして選択可能となった。その後、脱原子力政策開始に伴い 2002 年に発効した原子力法改正により、2005 年 6 月までに既契約分の再処理に向けた使用済燃料国外輸送を完了し、以後は再処理を禁止することが定められた^{114 119}。

2) 使用済燃料の再処理方策

(概要)

- 2005 年以降再処理が禁止されるまでは英仏に国外委託。回収したプルトニウムは国内炉にてプルサーマルで消費する方針だが、脱原子力期限の前倒しや英国における再処理・MOX 加工の停滞を受け、英仏等複数国間でのプルトニウムスワップを実施。英国で実施予定だった MOX 加工のフランスでの代行履行、また一部プルトニウムの英国引取などの処置を実施

ドイツでは 2002 年に段階的脱原子力を規定する改正原子力法が発効し、2005 年 6 月末をもって再処理を目的とした使用済燃料国外輸送が禁止することが規定された。以後、使用済燃料は全量直接処分を前提に、最終処分場の操業開始まで中間貯蔵されている。再処理により回収されたプルトニウムは全て、ドイツ国内の原子力発電所で再利用することが原子力法上の原則として義務づけられており、禁止前に国外輸送された使用済燃料については英仏で再処理され、MOX 燃料として国内炉に装荷された¹¹⁹。なお、その後 2011 年の原子力法改正でドイツ国内の原子炉閉鎖完了時期が 2022 年となったことをうけ、早期にプルトニウム在庫を減らす必要性が生じたことから、再処理、MOX 燃料加工が停滞していた英国における在庫の削減を目的として、複数国におけるプルトニウムのスワップにより、英国で予定していた再処理、MOX 燃料加工のフランスでの代替実施を図るとともに、一部のプルトニウムの英国への所有権移転が行われた。（回収プルトニウムの利用については 5）項に後述）

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

ドイツでは現行の原子力法のもと使用済燃料を全量直接処分する方針であり、使用済燃料再処理は禁止されている¹¹⁹。それ以前の再処理オプション運用当時についても、再処理パイロットプラント WAK において 1987 年に 1 度のみ 0.23tU 相当の使用済 MOX の再処理実績があるものの¹³³、その後国内再処理そのものを断念し WAK も 1991 年に閉鎖されており、使用済 MOX 燃料再処理を本格的に検討・実施した実績は確認されていない。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

(概要)

- 回収プルトニウムは一部、複数国間でのスワップを経て英国引取などの処置を行った上で、ドイツに所有権が残ったプルについては 2016 年までにすべてプルサーマル実施済み
- 回収ウランは一部はドイツの燃料材料として再利用、残余は英仏再処理事業者に売却、譲渡

<回収プルトニウム>

上述の通り、ドイツの原子力法では、新規再処理は禁止しているものの、禁止前に行われた再処理により回収されたプルトニウムについては再利用することを義務付けている。

2005 年に再処理のための使用済燃料国外輸送が禁止されるまでに英仏に輸送され再処理された原子力発電所由来の使用済燃料は 6,077tHM である。また、1991 年に閉鎖された国内パイロットプラント (WAK) で再処理された使用済燃料は 208tHM である。これらの再処理から、合計 61.8 トンのプルトニウムが回収された。

再処理により回収されたこれらのプルトニウムの一部については、英国セラフィールドにおける再処理、MOX 燃料加工事業の停頓、ドイツにおける 2011 年原子力法改正による全炉閉鎖時期前倒し (2022 年全炉閉鎖) といった事情をうけ、プルトニウムの国際輸送の低減とドイツ所有のプルトニウムの早期減少を図るべく、複数国間でのプルトニウムスワップ、英国への所有権引渡などが行われた。

2012 年 7 月には、「フランス国内のプルトニウム 4t の所有権を独企業が取得、AREVA 社が MOX 燃料に加工して独企業に供給」「英国セラフィールドに保管されているプルトニウム 4t の所有権を NDA に移管」することにより、ドイツ所有のプルトニウムの MOX 燃料製造を英国からフランスに振替える措置がとられた¹³⁴。

その後 2013 年には、「日本とドイツの間でプルトニウム 650kg の所有権交換 (日本のフランス国内所有分をドイツに、ドイツの英国内所有分を日本に付け替え)」「英国内のドイツ保有プルトニウム 750kg を英国 NDA が取得」¹³⁵する取引が行われた。これにより、英国に保管されていたドイツのプルトニウムのうち 650kg はフランスで MOX 燃料に加工してドイツの原子力発電所で消費され、750kg は英国への引渡によりドイツの管理から離れた (英国への所有権移転に伴う費用支払い等の具体的な情報は確認できていない)。

ドイツ所有分とした残ったプルトニウムについては、2016 年末までに全量が MOX 燃料に加工してドイツ国内の原子炉に装荷されている¹³⁶。

＜回収ウラン＞

上述のとおり、ドイツでは英仏で 6,077tHM、WAK で 208tHM の使用済燃料が再処理され、これらの再処理により、5,980 トンのウランが回収された。なお、回収されたウランのうちドイツの原子力発電所燃料に加工されたのは 800 トン程度、1980 年代から 2015 年までにドイツ国内の原子力発電所に供給された回収ウラン燃料は 2200 体程度であるとされている。燃料加工に際しては、原子炉装荷に適した燃料とする目的から、ロシア核兵器由来の高濃縮ウランを希釈して混合された。

これ以外の回収ウランは、大部分が英仏再処理事業者に売却または譲渡された（金額、条件等は不明）。¹³⁶

＜劣化ウラン＞

連邦議会資料に拠れば、ウレンコ社のグローナウ濃縮工場由来の劣化ウランについては、2008 年から 2017 年の間に 12700 トン（UF6）が逆転換（deconversion）のためフランスのピエールラットに輸送された。2017 年 7 月末までの時点におけるグローナウ濃縮工場由来の劣化ウラン（UF6 として）の国外への輸送状況について、議会資料では以下の通り報告されている。

表 1-23 ウレンコのグローナウ濃縮工場由来の劣化ウラン（UF6）国外輸送状況

施設	国	目的	2016 年の UF6 所在量(トン)	2017 年の UF6 所在量(トン)
AREVA ピエールラット	フランス	逆転換	1297.5	168.2
ウェスティングハウス Vasteras	スウェーデン	燃料製造	13.4	-
ウレンコ アルメロ	オランダ	濃縮	2442.9	1289.3
ANF リンゲン	ドイツ	燃料製造	8.9	174.5

出所）連邦議会資料 Drs. 18/13402、2017 年 8 月 24 日

輸送された劣化ウラン（UF6）のうち、2017 年 7 月段階でピエールラットで U3O8 に転換済みのものが 8579 トン、転換待ちのものが 36 トンとされている。

また、グローナウ濃縮工場由来の劣化ウランに由来する U3O8 の所在については、2017 年 3 月末時点の情報として、仏ピエールラットに 138.09kg、ドイツ国内ハナウの放射性物質輸送会社に 8.1 トン、ユーリッヒ研究所に 20.18kg とされている。

なお、同資料によれば 2009 年以降停止されていたロシアとの再濃縮契約が再開されており、報道によれば、2019 年にロシア向けの劣化ウラン輸送が再開されている。具体的な量などは確認できていない。^{137 138}

5) プルトニウムマネジメント

（概要）

- ドイツ保有分の再処理回収プルトニウムについては、2016 年までにすべてプルサーマル実施済み

ドイツでは原子力法に基づき、2005 年 6 月末をもって再処理を目的とした使用済燃料国外輸送が終結し、以後使用済燃料再処理は禁止されている。上記期限までに英仏に搬出された使用済燃料の再処理から回収したプルトニウムは MOX 燃料に加工され、ドイツ国内の原子炉に装荷され、分離プルトニウムのリサイクルは完了したとされている¹¹⁴。

IAEA が公表している国際プルトニウム指針（INFCIRC/549）に基づくドイツのプルトニウム管理状況報告（2019 年末時点）では、ドイツ国内のプルトニウム在庫状況が表 1-24、表 1-25 のように示されている¹³⁹。

なお、同報告では 2016 年末時点までは同年に炉心に装荷された分を含むサイト内所在未照射 MOX 燃料（以下表 1-24 中の #3）の項目においてプルトニウムの存在が確認されるが、2017 年末時点ではこの数値はゼロとなり、以後、ゼロの状態が継続している¹⁴⁰。すなわち 2016 年を最後にドイツでは MOX 燃料の装荷が実施されておらず、サイト内の未装荷燃料の在庫も存在しておらず、2016 年末までにドイツの使用済燃料再処理に由来するプルトニウムを用いた MOX 燃料の装荷が全て完了している。

表 1-24 ドイツにおける未照射プルトニウム在庫

単位：tHM

#	項目	2019 年末	2018 年末
1	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	0.0	0.0
2	燃料加工施設等における製造中製品に含まれる未照射分離プルトニウム	0.0	0.0
3	原子炉サイト等に所在する未照射 MOX 燃料（炉心装荷分含む）その他製品中のプルトニウム	0.0	0.0
4	その他の場所に保管中の未照射分離プルトニウム	0.0	0.0
注記	上記 1 から 4 の形態に該当する国外組織保有プルトニウム	※	※
	上記 1 から 4 の形態に該当するが国外保管されており上記に含まれないプルトニウム	※	※
	上記 1 から 4 の形態に該当し国際輸送中で受領国未着のプルトニウム	※	※

※EURATOM 条約に基づきすべての核物質は EU の保有物であり EURATOM 及び IAEA の補償措置下にある。よってドイツ国内にある外国所有プルトニウム及びドイツ国外にあるドイツ所有プルトニウムのデータは利用不可である。

出所) IAEA、INFCIRC/549/Add.2/23、2020 年 8 月 28 日「プルトニウム管理方針に関するドイツからの報告 プルトニウム及び高濃縮ウラン管理状況報告」に基づき三菱総合研究所にて作成

表 1-25 ドイツにおける使用済燃料中のプルトニウム

単位：tHM

#	項目	2019 年末	2018 年末
1	民生用原子炉サイト内の使用済燃料中のプルトニウム	118.6	117.1
2	再処理プラント内の使用済燃料中のプルトニウム	0.0	0.0
3	その他の場所にある使用済燃料中のプルトニウム	6.0	6.0
4	その他の場所に保管中の使用済燃料中のプルトニウム	0.0	0.0
注記	上記 1 は民生用原子炉から取り出された燃料に含まれるプルトニウム量推計		
	上記 2 は再処理プラントに到着したが未処理の使用済燃料に含まれるプルトニウム量推計		

EURATOM 条約に基づきすべての核物質は EU の保有物であり EURATOM 及び IAEA の補償措置下にある。よってドイツ国内にある外国所有プルトニウム及びドイツ国外にあるドイツ所有プルトニウムのデータは利用不可である。

出所) IAEA、INSCIRC/549/Add.2/23、2020 年 8 月 28 日「プルトニウム管理方針に関するドイツからの報告 プルトニウム及び高濃縮ウラン管理状況報告」に基づき三菱総合研究所にて作成

6) マルチリサイクルの概念

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策の項目に示したとおり、ドイツの現行原子力法では使用済燃料の再処理自体を禁止しており、マルチリサイクルは実施しない¹¹⁹⁾。また、再処理が禁止される以前においても、マルチリサイクルを本格的に検討・実施した実績は確認されていない。

1.1.5.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

ドイツでは放射性廃棄物を全て地層処分する方針である。放射性廃棄物は地層処分に際し処分母岩への熱影響に応じて分類されており、使用済燃料はガラス固化体とともに発熱性放射性廃棄物に分類されている。地層処分場についてはゴアレーベンが長年候補とされてきたが、2013 年に白紙化され、2017 年以降、新たなサイト選定手続が開始されている。

2) ガラス固化体処分

2002 年の原子力法改正によりドイツでは 2005 年 6 月以降の再処理を目的とした使用済燃料国外輸送が禁止されたが、それ以前は英仏に国外委託して再処理が行われていた。また、1991 年まではパイロットプラント WAK において、国内再処理商業化を目指し再処理が実施されていた。こうした再処理に起因するガラス固化体について、ドイツでは発熱性放射性廃棄物に分類しており、地層処分する方針である。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

標記廃棄物のうち TRU 廃棄物については、処分地層への熱影響の観点から発熱性放射性廃棄物に分類されており、ガラス固化体や使用済燃料と同じ処分場に処分される。その他ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物については、非発熱性放射性廃棄物に分類される。上述のとおり、ドイツでは全種類の放射性廃棄物を地層処分する方針であり、非発熱性放射性廃棄物はコンラート旧鉄鉱山が処分場に決定し、2027 年の操業開始に向けて建設作業が進められている。

1.1.5.5 参考文献

- ¹¹⁴ 廃棄物合同条約ドイツ第6回国別報告書、2018年、
<https://www.iaea.org/sites/default/files/jc6berichtdeutschlandenbf.pdf>
- ¹¹⁵ 独連邦議会議事録 Drs. 11/6893、1990年4月9日、
<http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/11/068/1106893.pdf>
- ¹¹⁶ EWN社ウェブサイト「小型ナトリウム冷却炉 KNK」、
<https://www.kte-karlsruhe.de/projekte/natriumgekuehlte-kernreaktoranlage/>（2020年9月4日閲覧）
- ¹¹⁷ カールスルーエ原子力研究所「高速増殖炉 SNR-300 その激動の歴史」1994年、
<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/270037170/3813531>
- ¹¹⁸ 独連邦議会議事録 Drs. 12/6275、1993年11月30日、
<https://dserver.bundestag.de/btd/12/062/1206275.pdf>
- ¹¹⁹ 原子力法
- ¹²⁰ 連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）、Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Betrieb" Stand: Dezember 2020、
https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/kernanlagen-betrieb.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- ¹²¹ 連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）、Kerntechnische Anlagen in Deutschland "In Stilllegung" Stand: Dezember 2020、
https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/kernanlagen-stilllegung.pdf?__blob=publicationFile&v=261
- ¹²² 連邦議会文書 Drs.12/6275、1993年11月30日、
<http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/12/062/1206275.pdf>
- ¹²³ 連邦環境省、「使用済燃料及び放射性廃棄物管理に係る費用及び資金確保に関する報告書」、2015年
http://www.bmu.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_finanzierung_bf.pdf
- ¹²⁴ 欧州委員会プレスリリース、2011年7月19日、
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_11_906（2020年12月9日閲覧）
- ¹²⁵ 脱原子力に係る資金確保に関する検討委員会最終報告書要旨、” „Verantwortung und Sicherheit – Ein neuer Entsorgungskonsens“ Zusammenfassung des Abschlussberichtes der Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs”, 2016年4月27日
- ¹²⁶ 原子力発電所運転者からの放射性廃棄物管理の資金及び実施に係る義務移管に関する法律（義務移管法）
https://www.gesetze-im-internet.de/entsorg_g/BJNR012000017.html
- ¹²⁷ 放射性廃棄物管理のための公的基金の設置に関する法律（基金設置法）
<https://www.gesetze-im-internet.de/entsorgfondsg/BJNR011410017.html>
- ¹²⁸ 連邦放射性廃棄物管理基金 2019 年年報
https://www.kenfo.de/fileadmin/user_upload/dokumente/kenfo_geschaeftsbericht_2019.pdf
- ¹²⁹ 連邦経済・輸出管理庁（BAFA）、” Rückbau-Rückstellungen Kernkraftwerke”,
https://www.bafa.de/DE/Wirtschafts_Mittelstandsfoerderung/Handwerk_Industrie/Rueckbau_Rueck

[stellungen Kernkraftwerke/rueckbau rueckstellungen kernkraftwerke node.html](#) (2020 年 11 月 17 日閲覧)

¹³⁰ BGZ 社プレスリリース、2017 年 7 月 30 日、
<https://bgz.de/2017/07/30/neue-zwischenlagergesellschaft-in-essen-gestartet/> (2020 年 10 月 27 日閲覧)

¹³¹ ウレンコ社ウェブサイト、<https://www.urengo.com/global-operations/urengo-deutschland>
(2020 年 10 月 6 日閲覧)

¹³² フラマトム社ウェブサイト、<https://www.framatome.com/EN/businessnews-908/home.html>
(2020 年 10 月 6 日閲覧)

¹³³ 独連邦議会文書 Drs. 17/4702、2011 年 2 月 7 日、
<https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/047/1704702.pdf>

¹³⁴ 英国エネルギー・気候変動省 (DECC)、Written Ministerial Statement: Management of overseas owned plutonium in the uk、2012 年 7 月 13 日、
<https://www.gov.uk/government/speeches/written-ministerial-statement-management-of-overseas-owned-plutonium-in-the-uk>

¹³⁵ 英国政府プレスリリース「閣僚声明：英国における海外所有プルトニウムの管理」、2013 年 4 月 23 日
<https://www.gov.uk/government/speeches/written-ministerial-statement-by-michael-fallon-management-of-overseas-owned-plutonium-in-the-uk>

¹³⁶ 高レベル放射性廃棄物処分委員会最終報告書、
https://www.bundestag.de/resource/blob/434430/bb37b21b8e1e7e049ace5db6b2f949b2/drs_268-data.pdf

¹³⁷ 独連邦議会議事録 Drs. 19/15685、2019 年 12 月 3 日、
<https://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/19/156/1915685.pdf>

¹³⁸ 独連邦議会議事録 Drs. 18/13402、2017 年 8 月 24 日、
<https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/134/1813402.pdf>

¹³⁹ IAEA、INSCIRC/549/Add.2/23、プルトニウム管理方針に関するドイツからの報告 プルトニウム及び高濃縮ウラン管理状況報告、2020 年 8 月 28 日、
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1998/infcirc549a2-23.pdf>

¹⁴⁰ IAEA、INSCIRC/549/Add.2/21、プルトニウム管理方針に関するドイツからの報告 プルトニウム及び高濃縮ウラン管理状況報告、2018 年 9 月 6 日、
<https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1998/infcirc549a2-21.pdf>

1.1.6 ベルギー

1.1.6.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向¹⁴¹

(概要)

- ベルギーでは原子力発電の開始当初、使用済燃料は再処理する方針で、フランスに委託しての再処理が実施されていたが、政府は 1993 年に再処理方針を凍結。1998 年にはフランスとの一部再処理契約を破棄し、再処理と直接処分のオプションを比較検討しているが、現在も最終判断はなされていない。

ベルギーにおける商用原子力発電は 1975 年に開始されたが、当初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 燃料として再利用する方針が採用されていた。しかし 1992 年から 1993 年にかけて、議会において再処理オプションに関する議論が行われた結果、議会下院は 1993 年 12 月 22 日、以下のような決議を採択した。

- すでに再処理事業者と締結済みの契約分の再処理及びプルトニウムの再利用は認める。
- 並行して、将来の核燃料サイクルオプションに関してより詳細な検討を行う。

検討は 5 年間かけて実施し、5 年後に政府が検討結果についての報告書を取りまとめることとされた。政府は 1998 年に報告書を公表し、この内容に基づき、1998 年末に以下のような決定を下した。

- フランス核燃料公社 (COGEMA : 現 Orano 社) に委託している 225 トンの使用済燃料の再処理契約 (1991 年締結) は破棄する。
- 政府の承認なしに、新たな再処理契約を締結しない。
- バックエンドの方向性に関する報告書を作成する。
- この報告書においては、使用済燃料の再処理と、直接処分の 2 つのオプションについて比較検討する。

現在ベルギーは、海外に委託しての再処理を実施していないが、2020 年 9 月現在においても、上記報告書において示された比較検討の結果、使用済燃料の再処理と直接処分オプションのいずれを採用するか最終的な決定はなされていない。ただし、高レベル放射性廃棄物及び長寿命低・中レベル放射性廃棄物の地層処分場に関しては、将来的に使用済燃料が廃棄物として処分されることも考慮した検討が行われている²⁸⁵。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

ベルギーで操業中の核燃料施設は以下のとおり。

表 1-26 ベルギーで操業中の核燃料施設

施設名	操業者	操業開始	施設目的	立地
ドール原子力発電所使用済燃料乾式貯蔵施設	エレクトラベル社	1995	使用済燃料の貯蔵	ドール
チアンジュ原子力発電所使用済燃料湿式貯蔵施設	エレクトラベル社	1997	使用済燃料の貯蔵	チアンジュ

出所) IAEA NFCIS に基づき作成

ベルギーで廃止措置中の主な核燃料施設は以下のとおり。

表 1-27 ベルギーで廃止措置中の核燃料施設

施設名	操業者	操業開始	操業停止	施設目的	立地
Belgonucleaire PO Plant	Belgonucleaire SA	1973	2006	MOX 燃料ペレット、燃料ピン製造	デッセル
FBFC International LWR Fuel Fabrication Plant	FBFC International	1961	2012	軽水炉向け燃料製造	デッセル
FBFC International - MOX	FBFC International	1997	2015	MOX 燃料製造	デッセル

出所) IAEA NFCIS に基づき作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

再処理コストに関する具体的なコスト額や試算結果等は、公開情報からは確認できていない。

処分コストに関しては、2001 年 12 月に ONDRAF/NIRAS が公開した安全評価・実現可能性第 2 次中間報告書（SAFIR2）技術概要報告書において、全量再処理または直接処分の両オプションについての試算結果が示されている。

全量再処理の場合（括弧内は不確実性を考慮した金額）

- 2.9 億ユーロ（5.8 億ユーロ）

直接処分の場合（括弧内は不確実性を考慮した金額）

- 5.9 億ユーロ（14.9 億ユーロ）

この試算において、不確実性として考慮されているのは、プロジェクトの遂行において想定よりもコストが上振れるリスクと、類似のプロジェクトの事例が乏しいほど想定コストが上振れる可能性が高まるリスクである。

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- ベルギーでは原子炉を運転する電気事業者が使用済燃料管理に係るコストを引当金と

して計上する義務があり、引当金は定期的に外部基金に拠出され、管理されている。使用済燃料管理にかかる基金額は 2019 年末時点で 74.5 億ユーロである。

ベルギーでは事業者が原子力発電所の廃止措置と使用済燃料の管理に係る費用を引当金として計上してきたが、2003 年の「原子力発電所の廃止措置及び原子力発電所の使用済燃料管理のための引当金に関する法律」により、バックエンド全般の活動を行っている Synatom 社が事業者（ベルギー国内の原子力発電所を運転するエレクトラベル社の親会社である仏 Engie 社）の計上した引当金を基金として管理することとなった。2003 年末時点で、Engie 社はそれまでに計上していた引当金額に相当する金額を Synatom 社に拠出し、2004 年以降は Engie 社が計上する引当金額を四半期ごとに Synatom 社に支払うこととされた¹⁴²。ただし実際には、2019 年末時点において、Engie 社が計上した引当金の総額は Synatom 社に支払われていない。これは 2003 年の法律に基づき、基金から Engie 社への貸付という形で、Engie 社の引当金支払いが留保される形となっていることによるものである。2019 年末時点で、Synatom 社の基金総額のうち、使用済燃料の管理分は 74.5 億ユーロとなっているが、Engie 社が Synatom 社基金に支払う必要がある使用済燃料管理にかかる引当金額が 60 億ユーロあるとされている。この金額について Engie 社は 2025 年までに基金に払い込む予定である¹⁴³。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

ベルギー国内の原子炉は全てエレクトラベル社が運転しているものであるが、同社は仏 Engie 社の子会社である。なお、国内で操業中の燃料サイクル事業者は存在しない¹⁴⁴。

1.1.6.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

ベルギー国内で操業する燃料サイクル事業者は存在せず、燃料は仏 Orano 社等の海外事業者からの輸入に頼っている。

1.1.6.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託/海外再処理受託

ベルギーでは Eurochemic 社がパイロット再処理プラントを操業した実績があるが、同プラントは 1975 年に操業停止した。その後は、前述のとおり、フランスに委託して再処理を実施した実績がある。

2) 使用済燃料の再処理方策

前述のとおり、ベルギー政府は再処理を凍結しており、使用済燃料の再処理と直接処分オプションのいずれを採用するかは最終的な決定はなされていない。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

前述のとおり、使用済ウラン燃料も再処理は凍結しており、過去の再処理により回収されたプルトニウムを再利用した使用済 MOX 燃料を再処理する方針も打ち出されていない。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

ベルギーでは、過去にフランスに委託して実施した再処理によって発生した回収ウランをドール 1 号機において、1994～2003 年にかけて 77 トンの装荷した実績がある。しかし前述のとおり、政府が再処理を凍結したことをうけて、2003 年以降は回収ウランを再利用した燃料装荷は天然ウラン燃料へと切り替わっている¹⁴⁵。

5) プルトニウムマネジメント

ベルギーでは過去契約に基づく使用済燃料の再処理は終了しており、プルトニウム国際管理指針に基づき IAEA に報告された国内のプルトニウム管理状況のデータにおいても、分離プルトニウム量は 100kg 以下の水準にとどまっており¹⁴⁶、需給バランス確保が懸念されるようなプルトニウムストック量の増加は発生していない状況である。

6) マルチリサイクルの概念

前述のとおり、ベルギー政府は再処理を凍結しており、使用済燃料の再処理と直接処分オプションのいずれを採用するか最終的な決定はなされていない。

1.1.6.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

前述のとおり、ベルギー政府は再処理を凍結しており、使用済燃料の再処理と直接処分オプションのいずれを採用するか最終的な決定はなされていない。

2) ガラス固化体処分

ガラス固化体を含む高レベル放射性廃棄物及び長寿命低・中レベル放射性廃棄物について、放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）は 2020 年 4 月、これらの廃棄物の長期管理方法として地層処分を採用する方針を示した国家政策方針案を規定する王令を公表し、パブリックコンサルテーションを実施している¹⁴⁷。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

ベルギーにおける放射性廃棄物の分類は、放射性核種の寿命と放射能濃度によって以下の表 1-28 のように A から C までのカテゴリーに分類されている。

表 1-28 ベルギーの放射性廃棄物の分類

	低レベル	中レベル	高レベル
短寿命	カテゴリーA	カテゴリーA	カテゴリーC
長寿命	カテゴリーB	カテゴリーB	カテゴリーC

出所) ONDRAF/NIRAS ウェブサイト、「SORTES DE DÉCHETS RADIOACTIFS」に基づき作成

TRU 廃棄物はカテゴリーB 放射性廃棄物に分類されており、高レベル放射性廃棄物であるカテゴリーC 廃棄物とともに、地層処分される計画である。一方、低レベル廃棄物であるカテゴリーA 廃棄物は、地表近くの処分場に処分される予定であり、処分場の建設準備が進められている¹⁴⁸。

1.1.6.5 参考文献

- ¹⁴¹ ベルギー経済省ウェブサイト、ベルギーにおける使用済燃料管理の歴史、
<https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/sources-denergie/nucleaire/gestion-du-combustible-irradie/historique-de-la-gestion-du> (2020 年 8 月 31 日閲覧)
- ¹⁴² Loi sur les provisions constituées pour le démantèlement des centrales nucléaires et pour la gestion des matières fissiles irradiées dans ces centrales (2020 年 11 月 16 日閲覧)
- ¹⁴³ Synatom 社 2019 年報、<https://synatom.be/uploads/files/rapports/rapport-activite-2019-FR.pdf>
- ¹⁴⁴ FANC/AFCN、Différentes classes d'établissements、<https://afcn.fgov.be/fr/dossiers-dinformation/controle-nucleaire-en-belgique/differentes-classes-detablissements> (2020 年 12 月 4 日閲覧)
- ¹⁴⁵ 連邦経済・中小企業・自営業・エネルギー省、Etude prospective et informative relative à la gestion des combustibles irradiés en Belgique、2017 年 8 月 31 日、
<https://economie.fgov.be/fr/file/248/download?token=ZYyqmsi0>
- ¹⁴⁶ IAEA、Communication Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium、
<https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium> (2020 年 9 月 2 日閲覧)
- ¹⁴⁷ ONDRAF/NIRRAS、2020 年 4 月、<https://www.ondraf.be/sites/default/files/2020-04/projet%20AR%20BC%20fr%2825juin2018%29.pdf>
- ¹⁴⁸ ONDRAF/NIRAS、SORTES DE DÉCHETS RADIOACTIFS、<https://www.ondraf.be/sortes-de-dechets-radioactifs> (2020 年 12 月 17 日閲覧)

1.1.7 オランダ

1.1.7.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- バックエンドオプションは事業者が選択。国内で運転経験をもつ商用炉 2 基はいずれも使用済燃料を全量再処理することを選択
- 今後新設がある場合は、事業者と規制当局が定期的にオプションを評価する予定
- 処分については全種類地層処分の方針だが、処分実施は 2130 年頃。国際共同処分の可能性も排除せず

オランダでは使用済燃料の取り扱い（直接処分するか再処理を実施するか）に関する法的な定めは無く、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使用済燃料を再処理し、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。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 年毎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 年毎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¹⁴⁹。評価の状況が変われば、許認可保持者に指示される方針も変化することになる。評価の状況が変われば、許認可保持者に指示される方針も変化することになる。

オランダ国内に再処理施設はなく、両発電所の使用済燃料は全量、国外再処理されている。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 2130 年頃の国内地層処分に加え、国際共同処分もオプションとして除外していない。国際共同処分の検討に関しては、従来から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 カ国が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くとしている¹⁵⁰。ただし現時点では具体的な処分計画は策定されておらず、方針決定には長期間での検討、計画、資金準備が必要になることを踏まえて放射性廃棄物を 100 年程度の長期間地上保管（中間貯蔵）する方針である¹⁵¹。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

IAEA の NFCIS^aに拠れば、運用中の核燃料施設（中間所蔵・処分施設除く）は以下の通りである。なお、同国内において廃止措置中の核燃料施設は存在しない。

^a Nuclear Fuel Cycle Information System

表 1-29 オランダにおける操業中の核燃料製造・処理施設

施設名	操業者	操業開始	施設目的	立地
アルメロ濃縮工場	Urenco オランダ	1973	ウラン濃縮	アルメロ

出所) NFCIS に基づき三菱総合研究所にて作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

オランダでは放射性廃棄物の管理（中間貯蔵、処分）を、100%国が所有する放射性廃棄物管理主体放射性廃棄物中央機構（COVRA）に集約しており、COVRA が最終処分などの将来費用見積も含めて、原子力施設操業者等のサービス利用者から料金を徴収し、COVRA が引当金を計上して将来費用を確保している。引当金の算定根拠は 5 年毎に見直しが行われる。2019 年の見直しでは、割引率の変更の他、Urenco 濃縮プラントの操業期間が 2030 年終了の想定から 2050 年に変更されるなど、いくつかの前提条件の見直しが行われた。

再処理については原子力事業者（現在はボルセラを運転する EPZ 社のみ）と国外再処理事業者（現在は仏 Orano 社のみ）の商業契約に基づき実施されており、役務費用として支払が行われている。

最終処分については 2130 年に処分場が操業開始する想定で 20 億ユーロ（2019 年価格）が費用として見積もられており、25%の上振れリスクを上乗せした 21.4 億ユーロがコストとして想定されている¹⁶⁶。

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- 再処理に関しては原子力事業者（現在は EPZ 一社）と再処理事業者（現在は仏 Orano 社のみ）の商業契約に基づき実施され料金が支払われており、再処理を目的とした資金の積み立て等を行われていない
- 廃棄物管理を一括して実施する主体である COVRA が、将来費用を含めて廃棄物発生者から料金を徴収し、引当金として確保
- 電力自由化下において、託送料金等からのバックエンド費用回収は確認されていない。

再処理に関しては原子力事業者（現在は EPZ 一社）と再処理事業者（現在は仏 Orano 社のみ）の商業契約に基づき実施され料金が支払われている。再処理を目的とした資金の積み立て等は確認していない。

使用済燃料及び放射性廃棄物の管理コストは、すべて事業者負担とされている。上述のとおり放射性廃棄物の管理は、貯蔵及び将来的な処分を含めて、国有の COVRA に集約されており、COVRA はコスト見積に基づき将来費用（予備費含む）も含めた料金を使用者から徴収、そこから COVRA が最終処分の費用等を引当金として計上し確保している。COVRA の 2019 年年報によれば、同年末時点における引当金額は約 2 億 6417 万ユーロであった¹⁵²。

また、電力自由化下における費用回収に関して、オランダでは託送料金からのバックエンド費用回収は確認されていない。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミ

ング等)

(概要)

- COVRA が唯一の放射性廃棄物管理（貯蔵、処理、処分）実施主体として活動
- COVRA は当初、民間原子力発電所含む廃棄物発生者の共同出資で設立されたが、2002年に完全国有化

上述のとおり、オランダでは COVRA が放射性廃棄物を管理する中央組織として国内で発生する全ての放射性廃棄物の管理を担っており、中間貯蔵、最終処分の実施主体である。また、4)に示した通り、廃棄物発生者から中間貯蔵や処理などのサービスに加え、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 に移り以後同社に移る（図 1-14）。

COVRA は現在 100%国有であるが、当初は 1982 年に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¹⁵³（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）。

オランダにおける放射性廃棄物管理の各種主体は下表のとおりである¹⁵¹。

表 1-30 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	

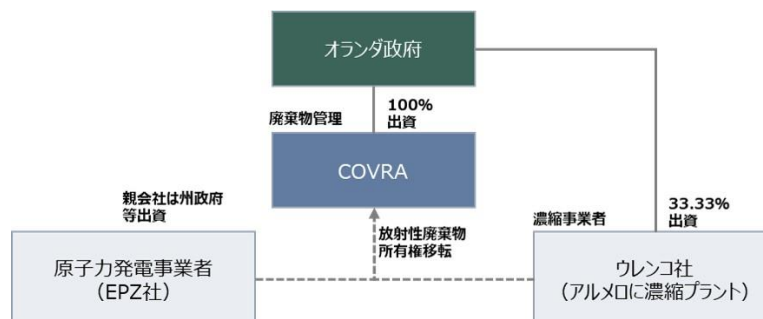


図 1-14 オランダにおける燃料サイクル産業構造

1.1.7.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

ウランは全量輸入している。ボルセラ原子力発電所ウェブサイトによれば、カザフスタンからの輸入ウランによる燃料を装荷したことが示されている。国内にはウレンコ社のアルメロ濃縮工場¹⁵⁴があるが、燃料加工等は国外で行っている。なお、上掲の国外からのフレッシュウランによる燃料の他、回収ウラン、劣化ウラン、軍用高濃縮ウランを材料とする燃料も利用している¹⁵⁵。

1.1.7.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託/海外再処理受託

オランダでは原子力発電所で発生する使用済燃料を全量再処理しているが、国内再処理は行っていない。2020 年現在は、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が、フランスで再処理されている。再処理に関する具体的な状況は次項を参照。

2) 使用済燃料の再処理方策

(概要)

- オランダで運転経験をもつ商用炉 2 基の使用済燃料はすべて、国外再処理されている

現在運転中のボルセラ原子力発電所及び 1997 年に閉鎖されたドーデバルト原子力発電所の運転者は使用済燃料を再処理する方針をとっており、両発電所由来の使用済燃料は全量、英仏で再処理されている。

ボルセラ原子力発電所で発生する使用済燃料については運転者の EPZ 社が 1978 年に仏 COGEMA 社（のち AREVA NC 社、現オラノ社）との間で最初の再処理契約を締結¹⁵⁶、更新を経ながら全運転期間を通じて全量をラ・アークの再処理工場に送り再処理されていた。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、放射性廃棄物の発出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を全てフランスで再処理し、この再処理により発生した放射性廃棄物を 2052 年末までにオランダに返還することが取り決められている¹⁵¹。なおオラノ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 365 トン以上の使用済燃料がラ・アークに輸送され、約 346 トンが再処理済みとされている¹⁵⁶。

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¹⁵⁷。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¹⁵⁸。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

オランダでは原子力発電所で発生する使用済燃料を全量国外再処理する一方で、回収したプルトニウムの国内再利用は行っていない（回収プルトニウム、ウラン等の利用状況については次項参照）。その後 2014 年にボルセラ原子力発電所で MOX 燃料を初装荷し、国内でのプルサーマルを開始した。発生する使用済 MOX 燃料の再処理方策は不明だが、原子力安全・放射線防護庁（ANVS）の委託により 2017 年に作成された MOX 利用に関する評価報告書には、使用済 MOX 燃料を直接処分するか再処理するかといった取り扱いオプションに関する直接的な言及は確認できない。ただし同報告書には、使用済 MOX 燃料をフランスの再処理工場に輸送する場合、通常のウラン燃料より長期間、燃料プールでの冷却を行う必要があるとの記載が見られ、使用済 MOX 燃料の再処理の可能性は排除されていない¹⁵⁹。

ボルセラを運転する EPZ 社に対するヒアリングによれば、ボルセラの炉心から取り出された使用済の MOX 燃料は、将来的なフランスへの輸送を想定して燃料プールで保管されているとのことであった。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

（概要）

- オランダは使用済燃料を全量再処理してきたが、従来国内でのプルサーマルは実施しておらず、回収したプルトニウムは英仏事業者により引き取られていた
- ボルセラで 2014 年以降、国内プルサーマル開始。2015 年以降にボルセラで発生する使用済燃料については、同炉で MOX 燃料として使用。2034 年の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

＜回収プルトニウムの利用＞

オランダでは国内商用炉（ボルセラ、ドーデバルト）の使用済燃料を再処理する方針をとってきたが、従来、国内でプルサーマルを行っていなかった。

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（現オラノ社）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についてオラノ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ている¹⁶⁰。

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。なお、上述の通り 2015 年以前の契約では、ボルセラ由来の使用済燃料再処理によるプルトニウムは全て AREVA NC 社の所有となるため、プルサーマル開始当初の MOX 燃料はボルセラに所有権のないプルトニウムから製造された。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 社からプルトニウムをリースする形で製造された。このリース分については、2015 年以降のボルセラ使用済燃料からの再処理から回収し、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（現オラノ社）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¹⁶¹。

英国セラフィールドでの処理分から回収したプルトニウム（約 350kg）は、再利用のめどが立たず、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¹⁶²、GKN 社は移転費用を英国側に支払った¹⁶³。

再処理に伴い発生する放射性廃棄物は 2010 年までにオランダに返還され、COVRA により中間貯蔵されている¹⁵¹。

<回収ウランの利用>

両発電所の使用済燃料再処理から回収された回収ウランは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が使用されている（2003 年、2007 年、2012 年、2018 年の装荷燃料として使用）¹⁵⁵。

他国への売却事例としては、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。

<劣化ウランの利用>

国内に立地するウレンコ社のアルメロ濃縮プラント由来の劣化ウランは、2009 年までロシアに輸出して再濃縮後、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¹⁶⁴。

ボルセラ原子力発電所ウェブサイトの情報によれば、同発電所では 2000 年～2002 年、2004 年、2015 年、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¹⁵⁵。

5) プルトニウムマネジメント

（概要）

- 2015 年以前に発生した使用済燃料の再処理から回収したプルトニウムは英仏が引取
- 以後の発生分はボルセラで 2034 年閉鎖までにプルサーマルで消費予定。プルトニウム需給バランス達成見通し

前項に示したとおり、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再処理から回収されたプルトニウムは、英国 NDA 及び仏 AREVA NC 社に所有権移転済みである。ボルセラ原子力発電所については、2015 年までの再処理由来のプルトニウムについては国外原子炉燃料の材料として AREVA 社に引き渡されていたが、2015 年以降に関しては所有権の移転は行われず同発電所で装荷する MOX 燃料の材料として使用される。2011 年に当時核燃料分野で許認可発行権限を有していたオランダ経済省¹⁶⁵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）

¹⁶⁵ オランダでは 2014 年に原子力安全・放射線防護庁（ANVS）が設置（2017 年に独立行政機関に改組）されるまで、原子力法に基づく規制・許認可権限が複数の省庁に分散していた。

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¹⁶⁵。

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¹⁶⁶。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。

6) マルチリサイクルの概念

3) に示したとおり、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。

また 4) に示した通り、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が、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された後、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。再回収されたプル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。GKN 社所有のもとでのリサイクル（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。

1.1.7.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

オランダでは既存炉について使用済燃料の直接処分、再処理の方針選択を事業者委ねており、現在までのところ、原子力発電所で発生する使用済燃料は全量再処理（国外再処理）されている。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がこの方針は実現しておらず、2020 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^{149,151}。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) ガラス固化体処分

オランダでは原子力発電所で発生する使用済燃料を国外再処理しており、再処理から発生するガラス固化体等の放射性廃棄物はオランダに返還輸送され、全て COVRA の高レベル放射性廃棄物用貯蔵施設 HABOG で集中中間貯蔵される。ガラス固化体は使用済燃料等とともに、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。長期中間貯蔵、処分の方針については前項記載の通りである^{149,151}。

オランダが 2014 年まで自国プルサーマルを行わないにもかかわらず再処理オプションを優先し、国内地層処分場の選定を急がず長期の中間貯蔵を想定する理由として、EPZ に対するヒアリングでは、以下のような情報が得られた。まずオランダ 1 国の廃棄物発生量が小さく、また燃料プールをはじめ既存の貯蔵容量が小さいことなどから、放射性廃棄物の減容、コストの両面から再処理が優先されてきた。また国内の発生量が小さく、再処理により減容されていることもあって、最終的な処分方針を早期に決定せず、国際的な技術や実績の成熟を待つ方針である。上述の通り、同国では国際共同処分の可能性も排除しておらず、その際にも廃棄物容量の圧縮は重要な要素の一つとなると考えられる。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

オランダでは TRU 廃棄物については発熱量が比較的大きい放射性廃棄物として、上掲のガラス固化体同様、COVRA の HABOG にて集中中間貯蔵される。中低レベル放射性廃棄物は COVRA の中低放射性廃棄物貯蔵建屋（LOG）でドラム缶に封入しコンクリート固化して保管されている。鉱石処理に伴い発生する固体放射性廃棄物（コンクリート固化が不要のもの）はコンテナに封入してコンテナ保管建屋（COG）に保管している。また COG に隣接する保管建屋 VOG では、劣化ウランの保管が行われている¹⁶⁷。

処分については上述のとおり、将来的には全種類の放射性廃棄物を地層処分する方針である。

1.1.7.5 参考文献

- ¹⁴⁹ 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>
- ¹⁵⁰ 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/>
- ¹⁵¹ 廃棄物合同条約オランダ第 6 回国別報告書、2018 年、
https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_netherlands_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf
- ¹⁵² COVRA2019 年年報、
<https://www.covra.nl/app/uploads/2020/05/Covra-jaarverslag2019-definitief.pdf>
- ¹⁵³ NEA、RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AND DECOMMISSIONING IN THE NETHERLANDS（2020 年 10 月 22 日閲覧）
https://www.oecd-neo.org/rwm/profiles/Netherlands_report_web.pdf
- ¹⁵⁴ ウレンコ社ウェブサイト、
<https://www.urengo.com/global-operations/urengo-nederland>（2020 年 10 月 7 日閲覧）
- ¹⁵⁵ EPZ 社ウェブサイト「EPZ の核燃料はどこからくるのか」、
<https://epz.nl/themas/kernenergie/de-herkomst-van-epzs-splijstof>（2020 年 9 月 3 日閲覧）
- ¹⁵⁶ オラノ社ウェブサイト「オランダからラ・アーグへの使用済燃料輸送到着」、2019 年 11 月 20 日、
<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>
- ¹⁵⁷ GKN 社「111 回目の核燃料輸送」、2003 年 4 月 9 日、
<https://www.kcd.nl/actueel/2003/20030409.html>（2020 年 10 月 7 日閲覧）
- ¹⁵⁸ GKN 社ウェブサイト、フランスに保管されている GKN プルトニウムの AREVA への移転、2008 年 4 月 13 日、
<https://www.kcd.nl/actueel/2008/20080413.html>
- ¹⁵⁹ ARCADIS 社、EPZ 社の燃料多様化評価 ボルセラ原子力発電所における mixed-oxide fuel 利用について、2017 年
<https://www.autoriteitnvs.nl/binaries/anvs/documenten/publicatie/2017/6/19/evaluatie-mer-brandstofdiversificatie-epz/Evaluatie+MER+Brandstofdiversificatie+EPZ+%28079177715-I%29+van+16+mei+2017.pdf>
- ¹⁶⁰ BGZ 社プレスリリース、2017 年 7 月 30 日、
<https://bgz.de/2017/07/30/neue-zwischenlagengesellschaft-in-essen-gestartet/>（2020 年 10 月 27 日閲覧）
- ¹⁶¹ NEI、Borssele moves to MOX、2015 年 3 月
<https://www.neimagazine.com/features/featureborssele-moves-to-mox-4530062/>
- ¹⁶² 英国政府プレスリリース、プルトニウム取引は安全保障上有益、2013 年 4 月 23 日
<https://www.gov.uk/government/news/plutonium-deal-brings-security-benefits>

¹⁶³ GKN 社 2013 年年報、

<https://www.kcd.nl/Media%20info/Jaarverslagen/Jaarverslag%202013%20GKN.pdf>

¹⁶⁴ オランダ議会資料、2019 年、

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2019/12/11/toezegging-tijdens-algemeen-overleg-nucleaire-veiligheid-op-27-november-2019-inzake-ureenco/toezegging-tijdens-algemeen-overleg-nucleaire-veiligheid-op-27-november-2019-inzake-ureenco.pdf>

¹⁶⁵ オランダ経済省、決定：EPZ 社に対するボルセラ原子力発電所燃料多様化に関する原子力法に基づく許可、2011 年、

<https://www.kernenergieinnederland.nl/files/20110624-mox.pdf>

¹⁶⁶ EPZ 社プレスリリース、2020 年 11 月 29 日

<https://epz.nl/actueel/epz-licht-visie-toe-over-de-rol-van-kernenergie-de-toekomst>

¹⁶⁷ COVRA ウェブサイト、貯蔵、<https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/opslag/>（2020 年 11 月 2 日閲覧）

1.1.8 中国

1.1.8.1 全体戦略

1) 核燃料サイクル政策の変遷・基本方針・将来の動向

(概要)

- 中国では使用済燃料は再処理する方針である。現在、フランスとの協力により大型商用再処理施設を建設する計画を進めている。

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、この時期から既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ている¹⁶⁸。

2018 年 9 月に中国政府が公表した原子力法案では、全体で 8 章あるうち、「核物質及び核燃料サイクル」に 1 つの章が割かれており、国が核燃料サイクル体系を確立することや、使用済燃料は再処理することが規定されている¹⁶⁹。ただし、2020 年 8 月時点で同法案はまだ成立していない。

中国は、フランス・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¹⁷⁰。

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 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 (LOI) を締結し、2014 年 3 月には中国における再処理プラント建設プロジェクトの遂行に関する協定を締結するなどしてきた。2018 年 6 月には Orano 社が、CNNC の子会社中核龍安科技公司 (CNLA) 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¹⁷¹。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¹⁷²。しかしながら、2020 年 10 月時点で CNNC と Orano 社は建設契約締結には至っていない。その理由は不明である。

このように、中国では使用済燃料の再処理が基本方針となっている他、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、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¹⁶⁸。

2) 核燃料施設の運用・廃止措置

中国で操業中の核燃料施設については、その詳細を 2.1.8.1 に示す。

中国で閉鎖済の核燃料施設は以下のとおり。

表 1-31 中国で閉鎖済の核燃料施設

施設名	操業者	操業 開始	操業 停止	施設目的	立地
白馬碕	CNNC	1965	1989	ウラン鉱石処理	貴州省 黔南ブ イ族ミャオ族自 治州 平塘県白 馬碕

出所) IAEA NFCIS に基づき作成

3) コスト検討（再処理コスト、処分コスト等）

（概要）

- 中国で再処理コストや処分コストの検討が進められているかは不明である。

中国では、再処理コストや処分コストの見積もりは示されていないものの、4)に示すとおり発電電力量当たりで基準を設けてバックエンド費用の基金への積み立てが行われている。積立額の決定が再処理や処分コストの見積もりに基づいているか否かは不明である。

4) バックエンド費用（再処理、処分）積立

（概要）

- バックエンド費用は、原子力施設の事業者が負担することとなっており、再処理や高レベル放射性廃棄物処分費用の確保のために基金が設置されている。

2017 年 9 月に制定された原子力安全法は、原子力施設の事業者は、国の規定に基づき使用済燃料の処理処分費用を負担し、それを発電コストとして計上すると規定している¹⁷³。この条文には、「国の規定」が何を指しているのかの具体的な規定がないが、原子力安全法の制定に先立つ 2010 年 7 月に、財政部（「部」は我が国の省に相当）等が「原子力発電所の使用済燃料の処理処分基金の徴収、使用及び管理に関する暫定手続き」を策定した。この基金で賄われるのは、以下の費用である。

- ・ 使用済燃料の輸送
- ・ 集中中間貯蔵
- ・ 再処理
- ・ 再処理によって発生した高レベル放射性廃棄物の処理・処分
- ・ 再処理施設の建設・操業・改修及び廃止措置
- ・ 使用済燃料の処理・処分に係るその他の費用

この基金は、営業運転の開始以降 5 年以上が経過した加圧水型炉の売電量に基づいて徴収され、その基準は 1kWh 当たり 0.026 人民元（約 0.4 円）（1 人民元＝15 円で換算^a、以下同じ）とされている。基金に対する拠出金は、発電コストに組み入れられる¹⁷⁴。

^a 2020 年 9 月中において適用される日本銀行の「基準外国為替相場及び裁定外国為替相場」。
https://www.boj.or.jp/about/services/tame/tame_rate/kijun/kiju2009.htm/

一方、低中レベル放射性廃棄物処分の資金確保について、原子力安全法第 48 条は、原子力施設の事業者は、原子力施設の廃止措置費用と放射性廃棄物の処分費用を事前に予算に組み込み、投資予算または発電コストに含めると規定している。さらに、確保した資金は廃止措置と放射性廃棄物処分のみに用いることができることを規定している¹⁷³。

5) 産業構造（官民の役割分担、実施主体、資金負担主体、管理主体、所有権、移転のタイミング等）

（概要）

- 中国でバックエンド事業の他原子力発電も実施している CNNC や、その他の原子力発電事業者は全て国有企業である。これまで CNNC グループが発電事業者から使用済燃料を引き取った事例では、所有権は同グループ側に移転されている。

図 1-15 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。中国では、再処理の実施など原子力政策は、国家発展改革委員会等の政府機関が立案し、事業者がそれを遂行する体制となっている。ただし、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（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））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、バックエンドも手掛けている。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る。

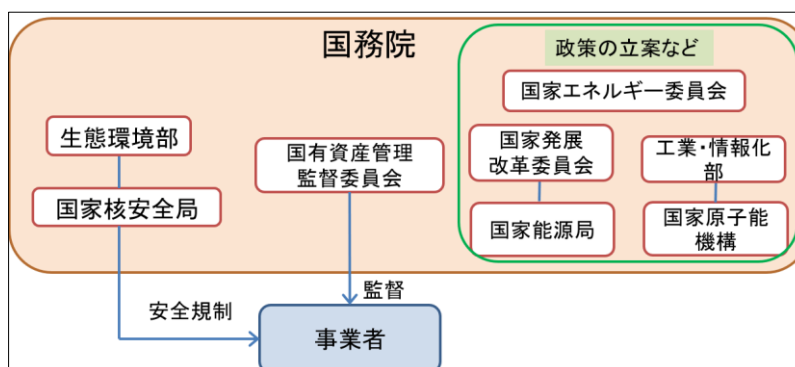


図 1-15 中国において原子力事業の規制等に関わる主要な政府機関

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三菱総合研究所にて作成

図 1-16 に、中国において原子力発電事業を実施する主要な企業の時間的な変遷を示した。図示したとおり、バックエンド事業の主体である CNNC は、もともとは国の省庁であったものの、現在は国有企業の一社となっている。

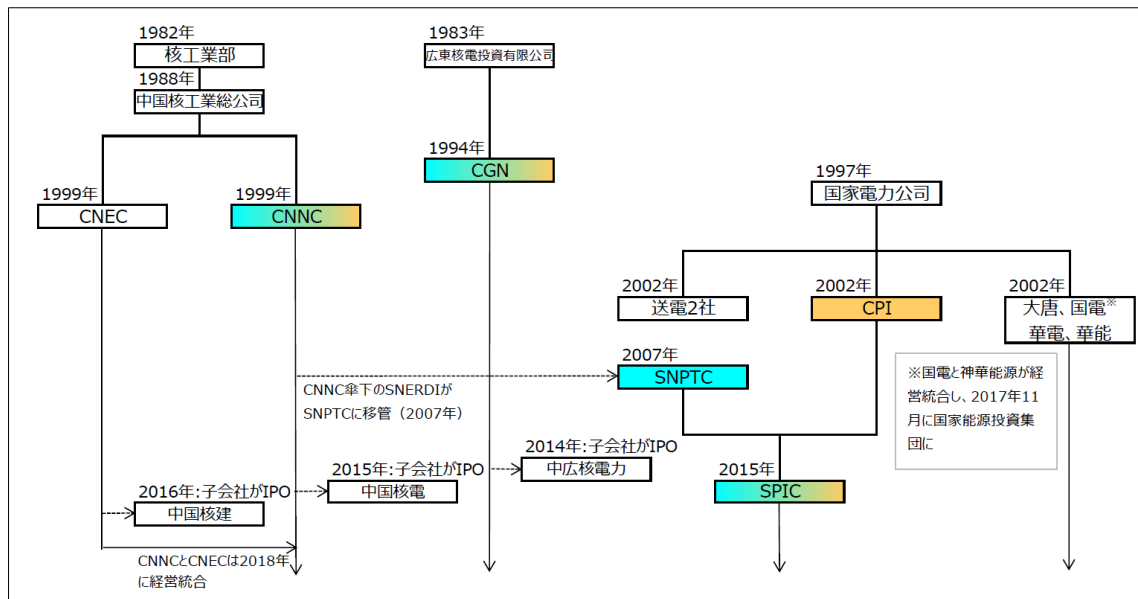


図 1-16 中国において原子力発電事業を実施する主要な企業の時間的な変遷

出所) 各社のウェブサイト等に基づき三菱総合研究所にて作成

4)に整理したとおり、使用済燃料の再処理や高レベル放射性廃棄物処分にかかる資金の確保のため、原子力発電事業者の拠出による基金が設けられている。また低中レベル放射性廃棄物処分の資金についても、施設の事業者が確保することとされている。

原子力安全法は、原子力施設の事業者や放射性廃棄物処分場の事業者が放射性廃棄物の処分と永久的な安全確保に責任を有することを規定している。また、処分事業者は処分場閉鎖後、国の承認を受けた安全監督保護計画に従って安全確保を行い、安全規制機関と国务院（我が国の内閣に相当）の関係部門の承認を得た後、処分場を省政府に引き渡し、その後は省政府が安全確保を行うこととなっている。なお同法の規定によれば、高レベル放射性廃棄物の地層処分については、国务院が指定する事業者が一元的に行うこととなっている¹⁷³。

使用済燃料の所有権について、中国におけるバックエンド事業の主体である CNNC は、2000 年 3 月に、現在の CGN グループで原子力発電事業を行っている広東核電合営有限公司（GNPJVC）と、2001 年には CNNC グループの秦山核電有限公司（QNPC）と使用済燃料引き取りの契約に署名した。GNPJVC との契約によると、CNNC は 2003 年から 2015 年にかけて毎年使用済燃料を引き取ることとなっている。引き取る燃料の濃縮度は 4.6%以下、最大燃焼度は 55GWd/tHM 以下であり、発電所のプールで 8 年以上冷却されたものである。QNPC との契約では、引き取る燃料の濃縮度は 4%以下、最大燃焼度は 45GWd/tHM 以下であり、発電所のプールで 5 年以上冷却されたものとなっている。また、GNPJVC と QNPC の両方との契約において、再処理で発生するプルトニウム、ウラン及び全ての核分裂生成物は CNNC に帰属することとなっている。さらに、両契約において、使用済燃料が CNNC の車両に搭載された時点から、使用済燃料の所有権、リスク及び原子力上の責任は CNNC に移転することとなっている。そのため CNNC が、規制機関から使用済燃料の輸送、貯蔵及び再処理の許認可を申請する責任を負うこととなっている¹⁷⁵。

1.1.8.2 燃料調達

1) 国内調達／海外輸入

(概要)

- 中国は、自国にウラン資源を有しているものの、それだけで国内需要を満たすことはできないため、CNNC や CGN は海外のウラン資源権益の確保も行っている。燃料製造は、ほぼ全ての炉型について自国で製造・供給可能な体制が構築されている。

中国は、自国にウラン資源を有しており、2016 年のウラン生産量は世界第 8 位の 1,650tU となっている。その一方で、CNNC と CGN はそれぞれ、ナミビアやカザフスタン、ニジェールといった国々でウラン資源権益を確保し、輸入も行っている¹⁷⁶。ウラン資源の自給率は、不明である¹⁷⁶。

中国では原子力発電所の新設でウラン需要の高まりが見込まれる中で、国内でのウラン資源探索を加速させている。2017 年初時点で、中国では 35 基の原子炉が運転し、設備容量は 33.6GWe であった。そのために必要なウランの量は年間で約 6,700tU となる。また、2020 年末時点で設備容量は 50～58GWe になると見込まれていたが^b、その場合必要となるウランの量は年間で 10,100～12,000tU と見込まれていた。中国ではこうしたウラン資源への需要の伸びに対して、国内生産、海外資源の開発及び国際市場からの調達で対応することとしている¹⁷⁶。

燃料製造について、中国では加圧水型炉、重水炉が運転している他、高温ガス炉や高速炉が建設中で多様な炉型のプラントが運転・建設されているが、ほぼ全ての炉型について自国で燃料製造が可能な体制が構築されている。燃料製造は、CNNC グループが他のグループの原子炉の燃料も含め、全て実施している¹⁷⁷。

1.1.8.3 再処理

1) 国内再処理／海外再処理委託／海外再処理受託

(概要)

- 現在フランスとの協力により、大型商用再処理施設を建設する計画が進められており、パイロットプラントを除くと自国における再処理の実績も、海外委託の実績もない。

1.1.8.11)において整理したとおり、中国はフランスとの協力により、自国に大型商用再処理施設を建設する計画である。ただし、パイロットプラントを除くと自国における再処理の実績も、海外委託の実績もない¹⁶⁸。

2) 使用済燃料の再処理方策

(概要)

- 2030 年までに商用再処理施設を建設して MOX 燃料を製造し、商用高速炉で利用する

^b なお、2020 年 11 月末時点での中国の原子力発電の設備容量は約 50GWe である。

との目標が示されている。

国家発展改革委員会と国家能源局が 2016 年 4 月に公表した「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」では、2030 年までに商用再処理施設を建設して MOX 燃料を製造し、それを商用高速炉で利用するというクローズドサイクルの実現が目標として示されている¹⁷⁸。

中国も参加している IAEA の「革新的原子炉及び燃料サイクル国際プロジェクト」(INPRO) が 2010 年に公表した報告書によると、中国では高速炉は、使用済燃料から分離されたマイナーアクチニドを変換することで、地層処分対象となる高レベル放射性廃棄物の分量と毒性を最小化させることができるものと捉えられている。またこの報告書によると、中国では高速炉について実験炉、プロトタイプ炉、実証炉と段階的に開発を進めていく計画であり、当初は濃縮ウランまたは MOX 燃料を用いるが、後に濃縮率向上のため金属燃料を利用する可能性があるとして示されている¹⁷⁹。中国の高速炉開発の現状について、北京市にある電気出力 2 万 kW の中国実験高速炉 (CEFR) が 2010 年 7 月に初臨界を実現している。また、電気出力 60 万 kW の中国実証高速炉 (CDFR^c) の建設が福建省霞浦市で 2017 年 12 月に開始されている¹⁸⁰。なお、1.2.8.21) で再処理パイロットプラントについて報告するが、このプラントで抽出されたプルトニウムは、高速増殖炉の MOX 燃料に利用する計画であり、CNNC は高速増殖炉用の MOX 燃料の研究開発を実施する予定である¹⁷⁸。

高速炉の開発について、CNNC グループの中国原子能科学研究院が 2017 年 9 月に日本の経済産業省の高速炉開発会議戦略ワーキンググループで行ったプレゼンテーションによると、中国原子能科学研究院が構想している開発は 2 段階に分かれており、第 1 段階は増殖炉の開発で、PWR の使用済燃料中のプルトニウムは、全て酸化物燃料として高速炉で燃焼することが構想されている。2050 年以降の第 2 段階では、増殖や放射性物質の減容等が行われ、リサイクル可能な核変換高速炉の実現が目標とされる。また、本プレゼンテーションによると、CDFR に続いて電気出力 120 万 kW の中国商用高速炉 (CCFR) について、2025 年までに概念設計を終え、2028 年に建設を開始し 2034 年に運転を開始することが構想されている。再処理技術的には、MOX 燃料 (酸化物燃料) と、湿式再処理をベースとして考えられているものの、増殖性の観点から将来は金属燃料に移行していくことが構想されているとのことである^{181,182}。

3) 使用済 MOX 燃料の再処理方策

(概要)

- 中国では、高速炉の使用済 MOX 燃料の再処理実用化が、目標として掲げられている。高速炉の開発では、実験炉は既に運開し、現在実証炉の建設が進められている。また商用高速炉も、2034 年の運転開始が構想されている。

中国では、2016 年に公表された「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」において、2020 年までの目標として、高速炉の使用済 MOX 燃料の再処理について、中国の使用済燃料再処理パイロットプラントで利用されている湿式処理による処理フローを確立する

^c 電気出力が 60 万 kW であることから、CDFR の略称を「CFR600」としている文献もある。

との目標が示されていた¹⁷⁸。(なお、2020年10月時点で湿式処理による処理フローの確立という目標が達成されたとの情報は確認できていない)。一方、フランスとの協力による再処理施設建設に関しては、CNNCは2020年の建設開始、2030年完工とのスケジュールに言及していた¹⁷⁰。ただし、再処理施設を含むバックエンド施設の建設については、サイト選定が難航している。CNNC子会社の中核瑞能科技有限公司(CNFR)は、田湾原子力発電所がある江蘇省の連雲港市で施設のサイト選定を進めていたが、2016年8月に同市の政府は、住民の反対運動を受け、施設のサイト選定を暫定的に中断することを発表している¹⁸³。なお、WNAの情報によると中国では、年間の処理容量が50tのMOX燃料再処理プラントを2030年までに操業させることが検討されている。これは、Orano社との間の再処理プラント建設に関する契約の一部になる可能性があるとのことである¹⁷⁰。

高速炉の開発について、上述の通り実験炉であるCEFRは2010年7月に初臨界を実現している他、2017年12月には実証炉CDFRの建設が開始された。CDFRの運転開始は2023年の予定である¹⁸⁴。商用高速炉の開発については、前節に記載の通り、CCFRの2034年の運転開始が構想されている。

4) 回収・劣化ウラン及びプルトニウムの利用方法・実績

(概要)

- 中国では、PWRの使用済燃料から回収したウランと劣化ウランを混合した燃料を秦山第三原子力発電所のプラント(CANDU炉)に装荷する取組が実施されている。

1.1.8.11)に記載したとおり、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。

世界原子力協会(WNA)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、同様にCANDU炉を使用しているカナダ原子力公社(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炉を擁す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¹⁷⁰。

5) プルトニウムマネジメント

(概要)

- 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。

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¹⁸⁵。需要面について、商業レベルでのMOX燃料の製造・利用は行われておらず、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 CDFR はまだ建設中であるため、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¹⁸⁶。

6) マルチリサイクルの概念

(概要)

- 中国では、高速炉の使用済 MOX 燃料の再処理実用化が目標として掲げられている。

中国におけるマルチリサイクルの概念の検討状況の詳細は不明であるが、3)で引用した「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」の記述や、高速炉開発会議戦略ワーキンググループにおける中国原子能科学研究院のプレゼンテーションから判断して、高速炉で発生した使用済 MOX 燃料を再処理して利用することが目標として掲げられている。

1.1.8.4 廃棄物処分

1) 使用済燃料処分（直接処分）

(概要)

- 中国では、使用済燃料は再処理する方針である。一部の使用済燃料の直接処分は排除されていないが、その対象は決定していない。

1.1.8.11)において整理したとおり、放射性廃棄物等安全条約締約国会議のための報告書によると中国では、原則的に使用済燃料は再処理することとなっており、一部の使用済燃料の直接処分は排除されていないが、その対象は決定していない。

2) ガラス固化体処分

(概要)

- 中国では、2006 年に策定されたガイドに則り地層処分場の建設に向けた研究開発が進められている。現在は甘粛省の北山で、ボーリング調査が行われており、今後地下研究所の建設も進められることとなっている。

中国では、高レベル放射性廃棄物の地層処分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¹⁸⁷。

- 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）

中国では、「高レベル放射性廃棄物地層処分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ている¹⁸⁸。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を、安全規制機関である国家核安全局が公表している¹⁸⁹。

3) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の低レベル廃棄物）の処理・処分

（概要）

- 「放射性廃棄物の分類」では、TRU 廃棄物、ウラン廃棄物という区分は設定されていない。放射性廃棄物は極短寿命、極低、低レベル、中レベル、高レベルの5種類に区分されており、「放射性廃棄物の分類」ではそれぞれの処分方法が示されている。

中国では、商業レベルでの使用済燃料の再処理はまだ開始されていないため、TRU 廃棄物の発生や処理・処分状況は不明である。また、燃料製造や濃縮事業等は実施されているが、ウラン廃棄物に特化した処分規制は定められておらず、日本のウラン廃棄物に相当する放射性廃棄物の発生や処理・処分状況は不明である。

2017年12月に策定された「放射性廃棄物の分類」^dでは、放射性廃棄物は、極短寿命放射性廃棄物、極低レベル放射性廃棄物、低レベル放射性廃棄物、中レベル放射性廃棄物及び高レベル放射性廃棄物の5種類に区分されている¹⁹⁰。以下に、「放射性廃棄物の分類」に示されたこれらの区分の定義と処分方法の概要を整理する。

a. 極短寿命放射性廃棄物

含有される主な放射性核種の半減期は短く、長寿命放射性核種の濃度はクリアランスレベル以下のもの。極短寿命放射性核種の半減期は一般に100日より短く、最長で数年間の貯蔵・減衰の後、放射性核種の濃度がクリアランスレベルに達したら、クリアランスされる。

b. 極低レベル放射性廃棄物

放射性核種の濃度が免除レベルまたはクリアランスレベルに近い、またはそれよりやや高い場合でも、長寿命放射性核種の濃度は極めて限定的であるもの。限定的な閉じ込めと隔離措置を講じるのみで、地表の埋立施設で処分することが可能であり、または国の固体廃棄物管理規定に従い、産業固体廃棄物埋立施設で処分することができる。

^d 「放射性廃棄物の分類」は、拘束力を持つ規則か、ガイダンス文書かが文書の名称からは不明であるが、過去に策定されたガイダンス文書を置き換えるものとされているので、2017年12月策定の「放射性廃棄物の分類」も拘束力は持たないガイダンス文書であると考えられる。

c. 低レベル放射性廃棄物

低レベル放射性廃棄物の短寿命放射性核種濃度は比較的高い場合もあるが、長寿命放射性核種の含有量が限定的である場合、数百年の効果的な閉じ込めと隔離が必要となるものの、その後人工バリアを備えた浅地表処分施設で処分することが可能である。浅地表処分施設の深度は一般に地表から地下 30m である。

d. 中レベル放射性廃棄物

アルファ核種を主として、かなりの量の長寿命核種が含まれており、監視措置によって廃棄物の安全な処分を行うことができず、浅地表処分よりも高度な閉じ込めと隔離措置が必要であり、処分深度は通常地下数十～数百 m である。「放射性廃棄物の分類」によれば、一般には、中レベル放射性廃棄物はプルトニウム 239 を含む物質の処理過程や、使用済燃料の再処理施設の操業及び廃止措置等において発生するとされている。

e. 高レベル放射性廃棄物

含まれる放射性核種の濃度は非常に高く、減衰の過程で大量の熱を発するか、または大量の長寿命放射性核種を含有している。より高度な閉じ込めと隔離措置が必要であり、除熱の措置を講じ、地層処分方式で処分する必要がある。「放射性廃棄物の分類」では、発生源として使用済燃料の再処理施設で発生するガラス固化体及び再処理を実施しない使用済燃料が示されている。

放射性廃棄物処分の状況について、中国では既に、広東省の北龍、甘肅省の西北及び四川省の飛鳳山の 3 カ所の低・中レベル放射性廃棄物処分場が操業している¹⁹¹。

1.1.8.5 参考文献

-
- ¹⁶⁸ 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
- ¹⁶⁹ 司法部、中華人民共和国原子力法（パブリックコメント募集用法案）、2018 年 9 月、
http://www.moj.gov.cn/news/content/2018-09/20/zlk_40216.html
- ¹⁷⁰ WNA、China's Nuclear Fuel Cycle、2020 年 8 月、
<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle.aspx>（2020 年 9 月 23 日閲覧）
- ¹⁷¹ 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、
<https://www.euro-energie.com/orano-et-cnnc-lancent-les-travaux-preparatoires-de-l-usine-chinoise-de-traitement-et-recyclage-des-combustibles-uses-n-6834>
- ¹⁷² フランス大統領府、仏中関係の行動計画、2019 年 11 月、
<https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/2019/11/06/plan-daction-pour-les-relations-franco-chinoises>
- ¹⁷³ 原子力安全法、2017 年 9 月、
http://www.mod.gov.cn/regulatory/2017-09/02/content_4790613.htm
- ¹⁷⁴ 財政部、国家發展改革委員会、工業・情報化部、原子力発電所の使用済燃料の処理処分基金の徴収、使用及び管理に関する暫定手続き、2010 年 7 月、
http://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/zcfgk/content/post_2936180.html
- ¹⁷⁵ 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
- ¹⁷⁶ IAEA OECD/NEA、Uranium 2018: Resources, Production and Demand、2018 年、
<https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2018/7413-uranium-2018.pdf>
- ¹⁷⁷ CNNC、核燃料、<http://www.cnncc.com.cn/cnncc/300567/524963/index.html>（2020 年 8 月 24 日閲覧）
- ¹⁷⁸ 国家發展改革委員会、国家能源局、エネルギー技術革命創新行動計画（2016-2030 年）、エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ、2016 年 4 月、
<http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/5078628/files/d30fbc1ca23e45f3a8de7e6c563c9ec6.pdf>
- ¹⁷⁹ 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
- ¹⁸⁰ WNA、Nuclear Power in China、2020 年 8 月、
<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>（2020 年 9 月 2 日閲覧）
- ¹⁸¹ 経済産業省、高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ（第 4 回）議事録、2017 年 9 月 14 日、
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/fr/senryaku_wg/pdf/004_gijiroku.pdf

-
- ¹⁸² 経済産業省、高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ（第4回）配布資料 The Progress of the Gen-IV Reactor in China、2017年9月14日、
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/fr/senryaku_wg/pdf/004_02_00.pdf
- ¹⁸³ 連雲港市政府、核燃料サイクルプロジェクトサイト選定の初期業務を暫定的に停止、2016年8月、
<http://www.lyg.gov.cn/zglygzfmhwhz/gsgg/content/DB31154FC1594B399E189F6C87FEB84D.html>
（2020年9月23日閲覧）
- ¹⁸⁴ CNNC、中国実証高速炉プロジェクトの土建工事が着工、2017年12月、
<http://www.cnncc.com.cn/cnncc/300555/300557/498742/index.html>
- ¹⁸⁵ 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>
- ¹⁸⁶ WNA、TVEL to supply fuel for China's fast-neutron reactor、2019年1月、
<https://world-nuclear-news.org/Articles/TVEL-to-supply-fuel-for-Chinas-fast-neutron-react#:~:text=TVEL%20and%20CNLY%20have%20signed,County%2C%20in%20China's%20Fuji%20an%20province.>（2020年9月8日閲覧）
- ¹⁸⁷ 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（なお、本文書は現在、関係機関のウェブサイトで公表されていない模様である。）
- ¹⁸⁸ 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、
<http://www.briug.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=22&id=978>
- ¹⁸⁹ 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/ywtdt/gsgg/gongshi/wqgs_1/202006/W020200629346584076797.pdf
- ¹⁹⁰ 環境保護部、工業情報化部、国家国防科学技術工業局、放射性廃棄物の分類、2018年、
<https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201712/W020171212334002017638.pdf>
- ¹⁹¹ 国家核安全局、国家核安全局 2016 年報、2017 年、
<http://nnsa.mee.gov.cn/ztzl/haqnb/201707/P020170712499760277634.pdf>

1.2 核燃料サイクル技術に係る研究開発の動向

1.2.1 アメリカ

1.2.1.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どの様な研究にリソースを配分するか、等）

核燃料サイクル技術に係る研究開発の戦略として、表 1-2 に示した DOE 原子力局における研究開発予算のうち、燃料サイクル研究開発プログラムの詳細な予算内訳を表 1-32 に示す。

DOE によると、この燃料サイクル研究開発プログラムの概要は以下のように説明されており、燃料サイクルに関する研究開発は、資源利用、放射性廃棄物量の低減、核拡散リスクの低減、エネルギーセキュリティ及び経済性の強化を理由として挙げている¹⁵。また、先進炉の導入の際に重要となる HALEU 燃料の材料となる高濃縮ウランの提供及びその再処理に焦点を当て、アメリカ国内の技術力・専門性の維持についても言及している。

- 本燃料サイクル研究開発プログラムは、使用済燃料と高レベル廃棄物の管理と処分
の進捗の促進、資源利用とエネルギー生成の改善、廃棄物発生量の削減、及び核拡散
リスクを制限しうる高度な燃料サイクル技術の初期段階の応用研究開発（R&D）を
実施するものである。燃料サイクル技術の進歩は、アメリカにおける原子力発電の利
用可能性、経済性、及びセキュリティを強化し、アメリカのエネルギーセキュリティ
と経済的競争力をさらに強化する。このプログラムは、先進燃料サイクルオプション
と代替解決策のシステム分析を実施して、研究開発活動の意思決定と優先順位付け
を支援する。本プログラムは、DOE のウラン管理方針に対する技術的支援も行う。
- 本プログラムは、使用済燃料と高レベル廃棄物処分等の研究開発と評価に重きを置
き、貯蔵、輸送、廃棄技術も含める。また、リスクの低減と経済性の向上につながる、
または次世代の原子炉設計・開発における重要な要素である多数の先進燃料技術の
研究開発を支援する。特に、HALEU 製造のための高濃縮ウランを再処理の可能性及
びアメリカ国産の遠心分離技術を利用して HALEU を製造する能力を実証する。これ
らの活動により、マイクロリアクターを含む先進炉の商業化と展開に関する産業界
の決定に役立つ貴重な情報を提供する。
- 本プログラムは、世界レベルの研究開発に参加し、国際的に有名な技術専門家を雇用
する。本プログラムにおける全サブプログラムは、二国間及び多国間技術協定を通じ
た国際協力により、彼らの技術的専門知識を活用している。本プログラムは、IAEA
及び OECD/NEA が支援するプロジェクトにも加わっており、主要な技術分野でさら
なる活用を提供している。

さらに、DOE が 2021 会計年度（FY21）の予算を要求する際に 2020 会計年度（FY20）より減額した理由を表 1-33 に、それに対して連邦議会下院の決定額に対する説明を表 1-34 に示す。

一方、先進炉に関する動きとしては、2018 年 9 月に先進的な原子力技術開発等を促進する「原子力イノベーション能力法（Nuclear Energy Innovation Capabilities Act of 2017）：

NEICA)」（S.97）が成立¹⁹²し、DOE に対して民間の原子力研究開発・実証（RD&D）および商業利用における使命や目的を定めた。続いて、2019 年 1 月には、「原子力イノベーションおよび近代化法（Nuclear Energy Innovation and Modernization Act: NEIMA）」（S.512）が成立¹⁹³し、米原子力規制委員会（NRC）に対し、先進的な原子炉のイノベーションと商用化に資する、許認可プロセスの確立とスタッフの専門性向上を求めている。そういった背景のもと、DOE は 2020 年 5 月に先進炉実証プログラム（ARDP）を発表し、同年 10 月には米テラパワー社及び米 X-Energy 社に先進炉を建設する初期費用としてそれぞれ 8,000 万ドルを提供することを発表した。テラパワー社は米 GE 日立ニュークリアエナジー（GEH）社と共同で設計・開発したナトリウム冷却高速炉を、X エナジー社は自社製 Xe-100 設計による商用高温ガス炉を建設する予定であり、DOE は、業界とのマッチングファンド方式により、建設完了を目指す 7 年以内に、総額 32 億ドルを同プログラムに投入する計画である¹⁹⁴。これら 2 社は 1.1.1.2 にて述べたように、HALEU 燃料の利用に向けてセントラス・エナジー社と契約している。

表 1-32 DOE 原子力局の燃料サイクル研究開発に関する予算要求（単位：千ドル）^{15, 16}

	FY20 歳出法	FY21 予算要求	FY21 歳出法
燃料サイクル R&D	305,100	187,000	309,300
採掘、転換、輸送	2,000	2,000	2,000
濃縮	40,000	40,000	40,000
物質回収、廃棄体開発	30,000	12,000	25,000
事故耐性燃料	95,600	36,000	105,800
TRISO 燃料、グラファイト品証	30,000	34,000	36,000
燃料サイクル研究開発	20,000	3,000	20,000
使用済燃料処分等（UNFD）研究開発	62,500	60,000	62,500
統合放射性廃棄物管理システム（IWMS）	25,000	0	18,000

表 1-33 DOE が FY20 歳出法と比較して FY21 予算要求にて燃料サイクル研究開発予算を減額した理由^{15, 195}

項目	取り組み内容	減額理由
物質回収、廃棄体開発	先進燃料サイクル技術開発と再処理技術の取組に焦点を当て、HALEU の生産を可能とする hybrid ZIRCEX 法や EBR-II 燃料の開発を支援。	Hybrid ZIRCEX のエンジニアリング規模の実証設計活動が廃止されたため。
事故耐性燃料	民間部門が事故耐性を大幅に強化した軽水炉燃料の概念を複数開発。	より研究開発を必要とするハイリスク、ハイリターンの事故耐性燃料概念への資源の投入を反映したため。
燃料サイクル研究開発	革新的なプロセス制御機能を使用して、先進炉サイクルを支援するための研究開発を実施。また、先進炉燃料開発、システム分析と統合、核物質等の防護・計量管理に関連する活動も継続。	革新的な技術、分析ツール、湿式及び熔融塩分離プロセスの制御と核物質管理のための高度な統合方法に焦点を当てるため。
使用済燃料処分等（UNFD）研究開発	処分方策に中立的な放射性廃棄物管理プログラムの開発や、高レベル放射性廃棄物のインベントリを勘案したオプションの開発に焦点を当て、高燃焼度燃料のキャスク貯蔵の実証、貯蔵・輸送に係るモデリング、粘土・岩塩・結晶質	使用済燃料と高レベル廃棄物をより効率的に管理及び処分するための行政プログラムに沿った、廃棄物の代替貯蔵、輸送、処分の研

	岩の３つの主要な地質での処分システムにおける使用済燃料の長期挙動、輸送貯蔵兼用キャニスタの技術的フィージビリティ、事故耐性燃料の貯蔵、輸送、処分特性の試験や評価を実施。	究開発への注目の高まりを反映。
統合放射性廃棄物管理システム(IWMS)	廃止措置された原子力発電所等での準備活動の継続、輸送活動再開に係る評価や調整などを行う	燃料サイクル研究開発に含まれていたプログラムの完了のため。

表 1-34 DOE が FY20 歳出法より FY21 予算要求段階で減額した項目に対する連邦議会上院の FY21 歳出法の決定理由¹⁶

項目	決定内容
物質回収、廃棄体開発	HALEU 燃料のための EBR-II(実験用増殖炉 2 号機)由来の使用済燃料処理に 1 千万ドル以上、海軍由来の使用済燃料または未照射の研究用原子炉燃料から高濃縮ウランを回収するための ZIRCEX プロセスを継続するために最大 1 千万ドルを提供する。
事故耐性燃料	国立研究所やその他の施設での事故耐性燃料開発を支援するために少なくとも 2,000 万ドルを提供。試験やコード開発、及び高濃縮、高燃焼度の燃料のライセンス供与に 1,500 万ドル以上を、軽水炉用の炭化ケイ素セラミックマトリックス複合燃料被覆管のさらなる開発のために 500 万ドル以上を提供する。
燃料サイクル研究開発	(記載なし)
使用済燃料処分等 (UNFD) 研究開発	輸送条件下での使用済燃料の挙動と、輸送中の使用済燃料の安全性の改善を研究すること。
統合放射性廃棄物管理システム (IWMS)	検討が中断しているサイトでのサイト準備活動を継続し、地域輸送の再開を評価し、輸送の調整努力を行うこと。さらに、使用済燃料は多くの場合、都市やインディアン居留地の中または近くにあることに注意すること。使用済燃料のための統合放射性廃棄物管理システム計画の継続により、都市やインディアン居留地の近くにあるサイトからの使用済燃料を除去するための計画を含めることを推奨する。

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

アメリカ国内において、商用再処理は行われていないことから、安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発の取組は確認できない。

1.2.1.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済 MOX 燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

HALEU 燃料製造に関する再処理プロセス開発として、次のような研究がおこなわれている¹⁹⁶。使用済 MOX 燃料の再処理に関しては確認できていない。

- 電気化学処理：1964 年～1994 年にかけて運転された金属燃料高速実験炉 EBR-II (Experimental Breeder Reactor-II) から出た高濃縮ウランを含有する使用済燃料を電気化学的処理によって希釈混合（ダウブレンド）することによって HALEU 燃料を製造
- ZIRCEX 法：使用済高濃縮ウランを回収し、希釈混合（ダウブレンド）することにより HALEU 燃料を製造

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

1.1.1.3、5) プルトニウムマネジメントにて詳述しているが、軍事起源の余剰プルトニウムについて、国家核安全保障局（NNSA）が残り全てを WIPP で希釈処分することを検討している。

1.2.1.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

アメリカでは 1985 年から金属キャスクによる乾式貯蔵が始まり、1992 年よりコンクリートキャスクによる乾式貯蔵が開始しており、現在はコンクリートキャスクによる乾式貯蔵が主流になっている（図 1-17）。ほとんどの原子力発電所に独立使用済燃料貯蔵施設（ISFSI：Independent Spent Fuel Storage Installation）が設置され、乾式貯蔵が行われており、唯一 GE モリスにて湿式貯蔵が行われている。

また、表 1-35 に示すようにアメリカでは多数のコンクリートキャスクが米 NRC から認可（CoC：Certificate of Compliance）を受けている。

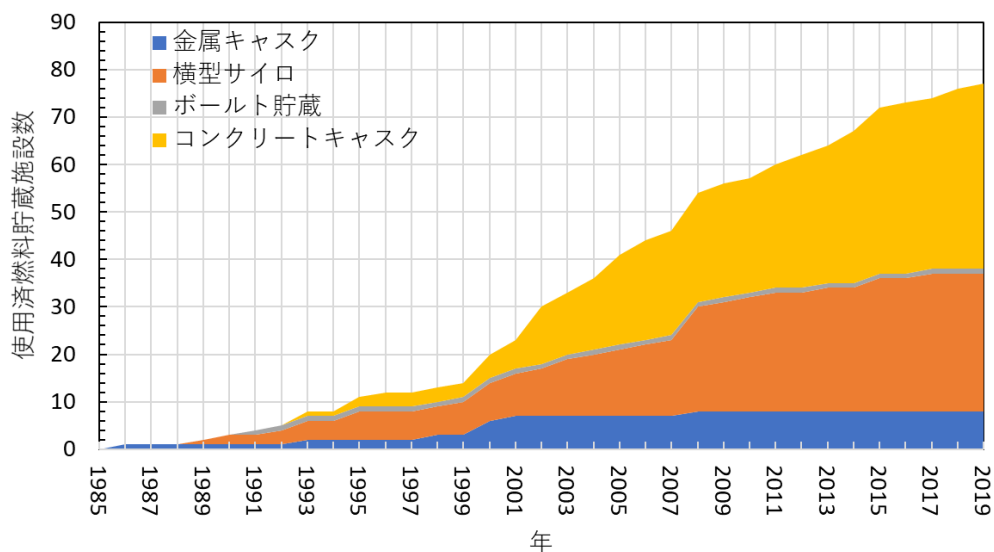


図 1-17 アメリカにおける各貯蔵方式採用の推移（施設数ベース）

出所）米国電力研究所（EPRI）、Industry Spent Fuel Storage Handbook、2010 年 7 月に基づき作成

表 1-35 認可を受けたアメリカのコンクリートキャスク¹⁹⁷

貯蔵方式	製造者	キャスク	CoC 発行日
コンクリートキャスク（縦置き）	Energy Solutions	VSC-24	05/07/1993
		FuelSolutions™	02/15/2001
	NAC International, Inc.	NAC-UMS	11/20/2000
		NAC-MPC	04/10/2000
		MAGNASTOR®	02/04/2009
	Holtec International	HI-STORM 100	05/31/2000
		HI-STORM FW	06/13/2011
地下貯蔵		HI-STORM UMAX	04/06/2015
横型サイロ	TN Americas LLC	NUHOMS®-24P NUHOMS®-24PHB NUHOMS®-61BTH NUHOMS®-52B NUHOMS®-24PTH NUHOMS®-69BTH NUHOMS®-61BT NUHOMS®-32PTH1 NUHOMS®-32PT NUHOMS®-37PTH	01/23/1995
		Advanced NUHOMS®-24PT1 Advanced NUHOMS®-24PT4	02/05/2003
		NUHOMS®-HD-32PTH	01/10/2007
		NUHOMS® EOS	06/07/2017
金属キャスク	TN Americas LLC	TN-32	04/19/2000
		TN-68	05/28/2000
	Holtec International	HI-STAR 100	10/04/1999

出所) 米 NRC ウェブサイト (<https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/designs.html>) に基づき作成

2) 放射性廃棄物（TRU廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

（概要）

- アメリカでは、軍事起源の一部の高レベル放射性廃棄物を対象とした超深孔処分の実証実験が行われているが、超深孔処分については、投棄出来る廃棄物の量が少なく、ボーリング孔を密閉する技術開発、深地層における地熱の問題などが指摘されている。
- 2017 年以降は DOE 主導での超深孔処分の検討は行っていないが、ベンチャー企業である Deep Isolation 社が 2019 年に深度約 600m に廃棄物を定置するデモンストレーションを行い、精力的に検討を進めている。

1.1.1.4、1) 使用済燃料処分（直接処分）にて述べたように、アメリカでは軍事起源の高レベル廃棄物については民間の使用済燃料とは分離して処分する方針を示しており、その物量は表 1-3 に示すように民間由来の使用済燃料と比べると著しく少ない。そういった背景から、超深孔処分（Deep Borehole Disposal）のフィールドテストが実施されており、以下に超深孔処分を巡る動きについて記載する。

DOE は 2015 年 3 月に「軍事起源の高レベル放射性廃棄物の独立した処分に関する報告書」を公表したが、それに対し、アメリカの放射性廃棄物技術審査委員会（NWTRB : Nuclear Waste Technical Review Board）は 2015 年 6 月に、「エネルギー省（DOE）が管理する使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の独立した処分計画の実施に伴う技術的課題の評価」に関する報告書を公表し、超深孔処分の計画などに対する勧告を行った¹⁹⁸。NWTRB は、1987 年放射性廃棄物政策修正法に基づいて、エネルギー長官が行った高レベル放射性廃棄物処分に係る活動の技術的及び科学的有効性を評価することを職務として設置された独立の評価機関である。超深孔処分について NWTRB は、かねてより、開発に要する時間が示されていないこと、廃棄体の劣化速度、人工バリア、核種の半減期・移行速度、発熱量等の重要な要因を考慮せずに大きさのみで超深孔処分の対象廃棄物を選定していること、廃棄物の回収可能性を担保する廃棄物容器の健全性等を検討していない等の技術的課題を指摘し、セーフティケースの改善が必要としている。

その後、DOE は 2016 年 1 月に、使用済燃料処分等（UNFD）プログラムの一部として超深孔処分のフィールドテストを実施することを公表した。本フィールドテストは、約 20 エーカー（約 81,000m²）のノースダコタ州所有地において 5 年間のプロジェクトとして実施され、費用は 3,500 万ドル（1 ドル＝120 円として約 42 億円）と推定されており、超深孔処分の実現可能性を見極めることが目標とされた。フィールドテストで実施される調査では、大深度における母岩の水文地質学的、地球化学的、地質工学的な特性の検証などが行われ、掘削時のデータ収集の他、掘削完了後には科学的試験が実施される。今回のフィールドテストでは、放射性物質は使用されない¹⁹⁹。超深孔処分については、ブルーリボン委員会の 2012 年 1 月の最終報告書において、「特に再利用の可能性が全く無い廃棄物の一部の代替処分オプション」として、大深度ボーリング孔の活用可能性を研究することが勧告されていた。

しかし、当初予定地とされていたノースダコタ州のピアス郡、次の予定地とされたサウスダコタ州スピंक郡の何れにおいても、地元の支持が得られずにフィールドテストは中止となり、2016 年 12 月に新たにフィールドテストについて DOE は公募を行い、AECOM 社、ENERCON 社、TerranearPMC 社、RE/SPEC 社の 4 社を選定した。しかし、DOE は 2017 年 5 月に、2018 会計年度での予算上の優先度の変更により、これまで進めてきた超深孔処分のフィールド試験プロジェクトを継続せず、直ちにプロジェクトを実質的に終了させるプロセスを開始したことを公表した²⁰⁰。

その後はベンチャー企業である Deep Isolation 社（2016 年設立）が水平方式を提案し、2019 年 1 月に使用済燃料や高レベル放射性廃棄物を深度約 600m のボーリング孔に貯蔵するデモンストラーションを実施し、2019 年 11 月には使用済燃料キャスクメーカーである NAC との業務提携を発表し、2020 年 11 月に NAC が株式を一部取得している²⁰¹。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

アメリカで実施されている放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発として、ALSEP (Actinide Lanthanide Separation Process) プロセス²⁰²や TALSPEAK (Trivalent Actinide Lanthanide Separation with Phosphorus-Reagent Extraction from Aqueous Komplexes) プロセス²⁰³の開発が行われている。これは処分場面積の更なる有効活用を狙ったものであり、マイナーアクチナイドの分離によって処分場の総体積が減少する可能性について述べている。ALSEP プロセスは、PUREX タイプの改良版であり、使用する溶媒は、現状、T2EHDGA 及び TODGA が有望な候補となっている。これらは放射線環境において安定でクロシン等といった一般工業で使用する脂肪族の希釈剤に溶解性を有している。これらの溶媒を用いて、アクチナイドとランタノイドを共抽出した後、マイナーアクチナイドの選択的逆抽出を行う。一方、TALSPEAK プロセスは、抽出剤にジ-2-エチヘキシルリン酸 (DEHPA) を用い、錯形成剤にジエチレントリアミン 5 酢酸 (DTPA) を用いることにより、水相側に 3 価の超ウラン元素を選択的に分離回収する 3 価の超ウラン元素と希土類元素との分離法である²⁰⁴。

1.2.1.4 参考文献

-
- ¹⁹² Americannewscape、President Donald J. Trump Signs H.R. 589, H.R. 1109, S. 97 and S. 994 into Law、2018 年 9 月、<https://americannewscape.com/index.php/news-center/national-news/66-president-donald-j-trump-signs-h-r-589-h-r-1109-s-97-and-s-994-into-law.html> (2021 年 2 月閲覧)
- ¹⁹³ アメリカ連邦議会、S.512 - Nuclear Energy Innovation and Modernization Act、2019 年 1 月、<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/512/text>
- ¹⁹⁴ U. S. Department of Energy、U.S. Department of Energy Announces \$160 Million in First Awards under Advanced Reactor Demonstration Program、2020 年 10 月、<https://www.energy.gov/ne/articles/us-department-energy-announces-160-million-first-awards-under-advanced-reactor>
- ¹⁹⁵ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、核不拡散・核セキュリティ総合支援センター、ISCN ニュースレターNo.276、2020 年 3 月、https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp_news/attached/0276.pdf
- ¹⁹⁶ U. S. Department of Energy、High-Assay Low Enriched Uranium (HALEU)、Nuclear Energy Advisory Committee Meeting、2019 年 3 月、<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/04/f61/HALEU%20Report%20to%20NEAC%20Committee%203-28-19%20%28FINAL%29.pdf>
- ¹⁹⁷ U.S.NRC、Dry Spent Fuel Storage Designs: NRC Approved for General Use、<https://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/designs.html>、2021 年 2 月閲覧
- ¹⁹⁸ U.S. Nuclear Waste Technical Review Board、U.S. NWTRB Releases Report on Technical Issues Associated with Implementation of DOE Initiative on Separate Disposal of DOE-Managed SNF and HLW、2015 年 6 月、<https://www.nwtrb.gov/docs/default-source/press-releases/prl199.pdf?sfvrsn=17>
- ¹⁹⁹ 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、米国で超深孔

処分のフィールド試験を実施へ、2016 年 1 月、<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=16046>

²⁰⁰ U.S. Department of Energy、Studying the Feasibility of Deep Boreholes、2017 年 5 月、
<https://www.energy.gov/articles/studying-feasibility-deep-boreholes>

²⁰¹ 日立造船株式会社、NAC が Deep Isolation の一部株式を取得～米国の使用済み燃料・高レベル放射性廃棄物最終処分分野に貢献～、2020 年 11 月、
<https://www.hitachizosen.co.jp/release/2020/11/003628.html>

²⁰² Andreas Wilden et al.、Countercurrent Actinide Lanthanide Separation Process (ALSEP) Demonstration Test with a Simulated PUREX Raffinate in Centrifugal Contactors on the Laboratory Scale、Applied Science、2020、10、7217、

²⁰³ Kenneth L. Nash、The Chemistry of TALSPEAK: A Review of the Science、Solvent Extraction and Ion Exchange、Vol. 33、2015

²⁰⁴ 日本原子力研究開発機構、Talspeak 法への DIDPA 溶媒適用性の検討、JAEA-Research 2006-011、2006 年、<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Research-2006-011.pdf>

1.2.2 ロシア

1.2.2.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どのような研究にリソースを配分するか、等）

ロシア（ソ連）は、原子力開発の初期から高速炉の開発を進めてきており、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 が運転を開始している。BN-600 は初期にはナトリウム漏えい・火災等、各種トラブルを経験したが、近年はほぼ順調に運転している。これらの実績を背景に、1980 年代にベロヤルスクと南ウラルに実証炉 BN-800 の着工をしたが、チェルノブイリ事故等の影響で、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て、BN-800 は 2014 年 6 月に初臨界を達成し、2015 年 12 月には初送電、2016 年 10 月に営業運転を開始している。同機は、2021 年までにはフル MOX 燃料で運転することを目指している。また、2018 年 8 月には BN-1200 の建設工程も発表され、初号機をベロヤルスク原発 5 号機として、2021 年にも建設を決定、2031 年～2032 年の完成が見込まれる。

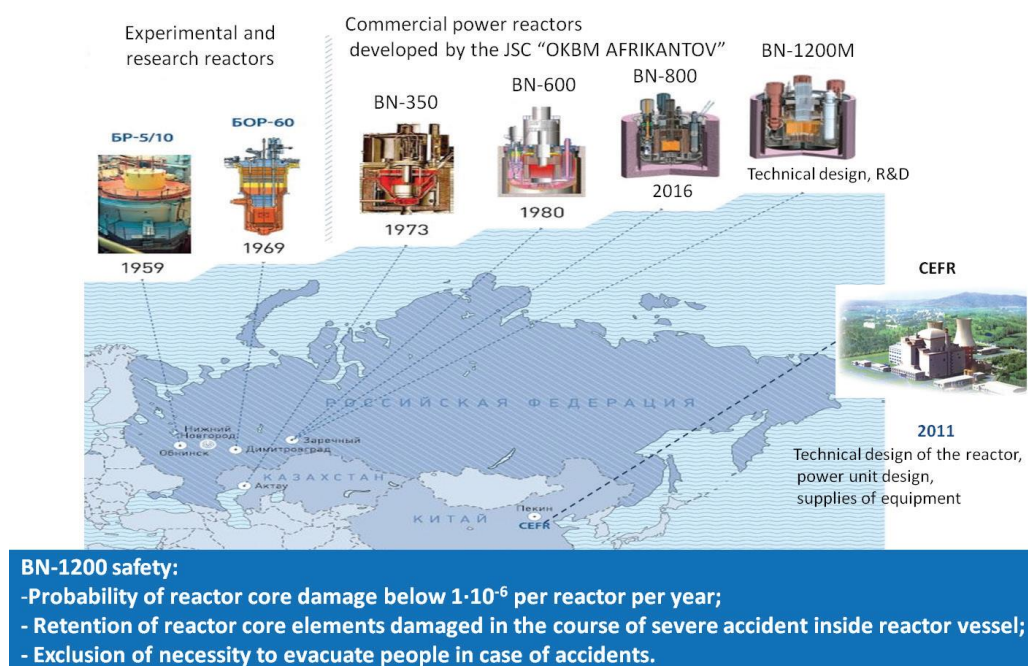


図 1-18 ロシアの BN 型炉の開発状況²⁰⁵

このほか、鉛冷却や鉛・ビスマス冷却の高速炉開発も進められている。鉛冷却高速炉は、セベルスクのシベリア科学コンビナートに BREST-300 の建設が計画され、2025 年の運転を予定している。

2015 年にディミトロフグラードで着工した多目的高速中性子研究炉（MBIR）は IAEA の国際フォーラム INPRO の枠内で、「MBIR 国際研究センター」としても活用され、注目されている。2020 年に着工予定である。⁶¹

ロスアトムは、連邦目標プログラム（FTP）「Advanced Nuclear Power Technologies 2010-2020」に関連して、2 つの高速炉導入オプションを提案している。1 つ目は鉛冷却高速炉（BREST など）による燃料サイクルの実現の提案であり、本プログラムの全予算にあたる 1,400 億ロシアルーブル（31 億ドル）を充てる計画であった。2 つ目は 2014 年までに多目的高速中性子研究炉（MBIR）の詳細設計、及び第 4 世代炉と関連する技術設計、2020 年までにその実装を目指す技術開発基盤の整備するオプションであり、こちらが採用されている。本オプションは、連邦予算とは別により多くの資金調達ができるよう設計されている。

FTP には、高密度燃料を製造するための商業施設の建設と委託、ナトリウム冷却高速炉用燃料を製造するためのパイロット実証火力化学施設の建設の完了、及び技術試験、核融合研究も含まれており、総研究開発予算は 557 億ロシアルーブルであった。

2010 年 1 月、ロシア政府は、高速炉に基づく原子力産業向けの新技术プラットフォームをもたらすことを目的とした連邦目標プログラム (FTP2010)「2010 年から 2015 年及び 2020 年までの新世代原子力技術」（予算：1,283 億ロシアルーブル）を承認している。これは、2020 年までにロシアの原子力産業によって提供されるハイテク機器、作業、及びサービスの輸出を 70%増加させること、及び 2020 年から 2030 年にかけて建設するロシア連邦内向けの新しい高速中性子炉を実用化することが目的である。

FTP2010 は連邦予算から 2020 年までに 1,100 億ロシアルーブルが見込まれていた。ここには、高速炉向けの 600 億ロシアルーブルや、3 タイプ研究開発（BREST、SVBR（現在は廃止）、ナトリウム冷却型）への資金割り当ても含まれている。

2018 年 3 月、FTP2010 はエネルギー需要予測の減少を考慮して修正されている。現在は、窒化物燃料製造モジュールの構築と、ロスアトムが 2022 年までに稼働を開始する予定の燃料再製造施設の第 1 段階に集中する予定である。²⁰⁶

ロスアトムによると、ナトリウム冷却炉に関する研究開発のほとんどは終了しており、すでに実証炉の運転を開始している。この分野で進める必要がある研究開発要素は、MOX 燃料利用時の安全性の検証程度であるという。

FTP2010 の主な指標は以下の通りである。

表 1-36 FTP2010 の目標指数と指標²⁰⁷

目標指数と指標	単位	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
目標指数												
プログラムの施策実施により作られた革新的製品およびサービスが当部門全体の製品およびサービス販売に占める比重	%	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	2,5	3,1	4,2	5,6	7,6	10
核燃料サイクルにおける天然ウラン使用効率向上	%	-	-	-	-	4	5	10,7	15,9	20,6	25,5	31,8
原子力発電所出力単位当たりの貯蔵される使用済み燃料と放射性廃棄物の量の削減	%	-	0,8	4,4	8	10,9	13,2	15,3	19,3	22,7	27,3	31,1
指標												
世界的水準に匹敵するあるいはそれを凌駕する原子力技術の開発数（累計で）	数量	2	3	7	11	12	12	15	15	18	20	24
発明に対する特許申請と登録された技術ソリューションの数（100人の研究者と開発者あたり年間）	数量	6,4	6,7	7,3	7,8	8,5	9	9,5	10	10,5	11,5	12
原子力利用分野での世界的に著名な出版物での発表の数（100人の研究者と開発者あたり年間）	数量	5,9	6,6	7,8	8,5	9	10	11	12	13	14	15

表 1-37 FTP2010 の諸施策²⁰⁷

(閉鎖型燃料サイクルの高速中性子炉の開発、単位：100 万ロシアルーブル)

支出分野と資金源	2010-2020	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
計	108244,2	4509,78	8038,6	15037,6	15567,8	14798,6	9823,4	14831,8	13091,3	5908,2	5695,5	941,62
内訳:連邦予算	90378,2	3169,98	5792,5	10666,2	13472,1	11994,8	9407,2	12638,2	10897,7	5839,6	5626,9	873,02
他資金源	17866	1339,8	2246,1	4371,4	2095,7	2803,8	416,2	2193,6	2193,6	68,6	68,6	68,6
研究開発全体	46844,1	2080,08	2956,4	8483,8	9234,5	7608,5	5435,4	4194,2	3182,7	1385,6	1494,3	788,62
内訳:連邦予算	42140,8	1167,48	1653	7209,8	8628,8	7412,5	5366,8	4125,6	3114,1	1317	1425,7	720,02
他資金源	4703,3	912,6	1303,4	1274	605,7	196	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6
資金投資全体	61400,1	2429,7	5082,2	6553,8	6333,3	7190,1	4388	10637,6	9908,6	4522,6	4201,2	153
内訳:連邦予算	48237,4	2002,5	4139,5	3456,4	4843,3	4582,3	4040,4	8512,6	7783,6	4522,6	4201,2	153
他資金源	13162,7	427,2	942,7	3097,4	1490	2607,8	347,6	2125	2125	-	-	-

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

ロシアでは、熱中性子炉から高速炉を含む原子炉、再処理、MOX 等燃料製造に関して、の実現に向け、連邦目標プログラム等のもと、安全性、経済性、効率性向上に係る研究開発が体系的に行われている。特に、より経済性、効率性の高い新型炉導入や再利用を前提とした新燃料導入計画に対応する形で、再処理や燃料製造に関する研究開発が行われている。

ロスアトムへのヒアリングによると、ロシアでは発電所や使用済燃料処分施設等を全て同一敷地内に建設し、当該サイト内で燃料サイクルを完結させる研究が進められている。これによりサイト内へ供給が必要なものは天然ウランのみとなり、等量の核分裂生成物を運び出すという構想である。本システムではウラン濃縮も不要、プルトニウム単体の回収や放射性物質の輸送も不要となる。すでに原型炉を建設するための敷地が決まっている。場所はシベリア、トムスクの近くであり、2024 年に燃料の製造計画があり、2026 年には 300MW 原子炉の初臨界、2029 年に再処理施設の運開を目指している。最終的には海外への技術輸出も考えている。

1.2.2.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX 燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

再処理プロセスに係る研究開発として、次のような研究がおこなわれている。

- 高速実験炉 BR-10 及び BOR-60 の高燃焼度燃料（100MWd/kg）を用いた湿式再処理²⁰⁸
- 乾式再処理法による BOR-60 及び高速増殖原型炉 BN-350 で照射した高速炉 MOX 燃料の再処理試験²⁰⁹
- プラズマ化学（クロピン研究所）またはアンモニア共沈法（ボフヴァル研究所）による硝酸生成物の UO₂ 及び PuO₂ への直接変換の研究²¹⁰
- クロピン・ラジウム研究所において、ピュレックス法を最適化するための研究開発²¹⁰
- ホット試験も可能なパイロット実証炉（PDC、2015 年操業、鉍業化学コンビナート（MCC））にて、再処理能力を拡大する実証を行っている。²¹⁰

TENEX 社へのヒアリングによると、ロシアでは使用済 MOX 燃料も再処理する。使用済 MOX 燃料の再処理の際に、最も注力しているのは、プルトニウムの取扱いに関する研究開発である。既に、研究開発は進んでおり、未解決の問題はあまりないというところまで進んでいる。

使用済 MOX は使用済 UO₂ と比べて発熱量や放射線量が高いが、通常の PUREX の技術の範囲内で、硝酸濃度を高くしたり、希釈したり、溶解時間を長くすることによって十分に解決できている。問題はプルトニウムの扱い方が最大の課題であり、具体的には、軽水炉で 2 回以上プルトニウムを含む燃料を照射すると、同位体組成が変わる影響が生じる。使用済 MOX 燃料の再処理の際は希釈のため、高速炉用 MOX については、濃縮工場から出てくる劣化ウラン U-235 (0.1%~0.2%) を、REMIX 燃料では、使用済 UO₂ 燃料の廃液を用いている。

REMIX 燃料はプルトニウムの濃度が 1%~2% であり偶数の同位体プルトニウムの蓄積量がより少ないものになるため、5 回まで使うことができる。ただ、5 回も燃焼すると、偶数の同位体元素の量が増えるため、その時点で軽水炉での制御が不可能になる。軽水炉以外のもので最終的には燃やすこととなる。したがって技術的な観点から見て、2 回以上軽水炉で燃やすことは避け、高速炉で燃やすことが理想的である。一方で高速炉の数が限られるため（現在全世界で稼働している高速炉は 2 基のみ）、全ての使用済燃料を燃やすことはできず、REMIX 燃料のような技術の開発が必要となる。現在は 5 回までの REMIX 燃料利用を目指しており、2018 年度に REMIX 燃料を初装荷し、2021 年に取り出される予定である。貯蔵用のプールで冷却したのち、再処理を実施する。再処理して作った燃料は 5 回まで再利用を続ける方針である。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

原子力発電を支える核燃料政策として、2020 年までに使用済燃料の年間発生量と年間再処理量を均衡させ、2050 年までに高速炉などを用いて再処理で生じたウラン、プルトニウムを全量燃焼させる、完全なクローズドサイクルに移行する計画である²¹¹。したがって理論上は、利用目的のないプルトニウムを保有することはないことになっている。

1.2.2.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

全ての使用済燃料は熱と放射能の崩壊を可能にするために、少なくとも 3 年間原子炉サイトに保管され、輸送の準備がされる。現在、RBMK 原子炉及び VVER-1000 原子炉からの使用済み燃料は（主に原子炉サイトで）保管されており、再処理されていない。鈹業化学コンビナート（MCC）での実質的な再処理が 2022 年頃に開始されるまでに、貯蔵中の使用済み燃料は最大約 40,000 トンに達すると予想されている。

許容貯蔵期間(50 年)、無傷燃料や欠陥燃料の乾式貯蔵の最適条件に関するフィージビリティスタディが検討されている。安全上の理由から、再処理される燃料集合体は密閉缶に収容される。貯蔵形式は、管理、再処理、最終処分等に向けて回収可能性を担保することが求められている。

2) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

ロシア連邦の放射化学センター(ラジウム研究所、VNIINM 他)は、長寿命放射性核種の核変換(P&T)による廃棄物の減容化に向けた新しい技術開発、既存の再処理技術の改

善のための研究開発活動を 2002 年から開始している²¹⁰。

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。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

ロシア連邦の放射化学センター(ラジウム研究所、VNIINM 他)は、2002 年より既存の再処理技術の改善のための研究開発を開始した。この研究は、廃棄物ストリームの物量を減らすこと、長寿命放射性核種管理 (P&T) の新しい技術を開発することを目的としている。

TENEX 社へのヒアリングによると、次の重要な研究開発として BREST-300 があり、使用済燃料処理、REMIX 燃料の製造を同一敷地内で実施することを目指している。また、熔融塩炉にて MA を燃やす技術開発も行われている。有害度の低減及び減容については、プルトニウムをはじめ MA などを回収しない限り、根本的には達成とはいえず、Pu、Am、Cm を回収して、核燃料として照射していかない限りは、廃棄物を最終処分したことにはならないという考え方に基づいている。

1.2.2.4 参考文献

- ²⁰⁵ Andrey Yu. Petrov et. al、Prospects of creation of the two-component nuclear energy system、NUCET、September 2019
- ²⁰⁶ WNA、Information Library、Country Profiles、Nuclear Power in Russia (Updated September 2020)、<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russianuclear-power.aspx> (2020年10月17日閲覧)
- ²⁰⁷ 日本原子力産業協会、連邦目標プログラム 2010 年より 2015 年の期間、さらに 2020 年までの見通しを含めた新世代原子力技術、2010 年、https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2010/03/russia_nucl-program100203.pdf
- ²⁰⁸ IAEA、Status and Advances in MOX Fuel Technology、Technical Report Series No.415、p.102、https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS415_web.pdf
- ²⁰⁹ Joint ICTP/IAEA School on Physics and Technology of Fast Reactors Systems、2009 年 11 月 <http://indico.ictp.it/event/a08209/session/55/contribution/32/material/0/0.pdf>
- ²¹⁰ IAEA、Spent Fuel Reprocessing Options、2008 年 8 月
- ²¹¹ 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、ロシアの原子力開発、https://www.jst.go.jp/crds/report/report10/RU20170426_2.html#sec3 (2020 年 9 月 25 日閲覧)

1.2.3 フランス

1.2.3.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どの様な研究にリソースを配分するか、等）

（概要）

- 原子力・代替エネルギー庁（CEA）が政府との契約に基づき、研究戦略を立案していると考えられるがその内容は現時点では確認できていない。国家評価委員会（CNE）が毎年提示する勧告も考慮されていると考えられる。

フランスにおける原子力分野の研究開発は原子力・代替エネルギー庁（CEA）を中心に実施されている。CEA はフランス政府と、3 か年の研究開発方針も含む運営方針に関する契約を締結しており、研究開発等の重点分野は、この契約において政府と協議決定されていると考えられるが、当該契約は公開情報からは確認できない。

なお、放射性廃棄物管理に関する研究開発については、国家評価委員会（CNE）による毎年の評価が実施されており、研究開発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。

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

核燃料サイクル施設の安全性向上に関しては、原子力安全規制の観点から研究開発が実施される。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、その安全規制や安全性向上に必要な研究開発については、放射線防護・原子力安全研究所（IRSN）が実施している。

経済性や効率性向上に関する研究開発については、CEA や Orano 社が実施していると考えられるが、詳細な研究内容は確認できていない。

1.2.3.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

（概要）

- マルチサイクル実現のため、新型 MOX 燃料の開発とともに、新たな使用済燃料の再処理技術（再処理後に発生する廃棄物のガラス固化技術含む）を開発中。

フランスでは、マルチサイクル実現のため、新型 MOX 燃料の開発を進めているが、この新型 MOX 燃料は、照射後の燃料ペレット内のプルトニウムが偏在するため、燃料棒全体をせん断・溶解する現行の手法は採用できないことが課題である。このため CEA はウラン、プルトニウム、核分裂生成物（FP）を分離する新たな再処理プロセスについても研究開発を行っている。

Orano 社に対するヒアリングによれば、具体的には、CEA、Framatome、EDF、Orano が

CORAIL-A と MIX という新しい燃料を開発している。CORAIL-A では、低下したエネルギーを補うために、より高濃度の MOX 燃料と濃縮度 5%以下のウラン燃料を集合体として構成する。一方、MIX は異なる構造となっており、一本の燃料棒の中に UO₂ と MOX を組み合わせ濃縮度を高くして 5%以下の濃縮度で利用していくことを考えている。商用原子炉への導入には、リードテストアセンブリを装荷するが、2026 年から 2027 年にかけて CORAIL-A 燃料を装荷し、2035 年に 130 万 kW 級の EPR2 に CORAIL-A の燃料集合体を装荷する計画である。MIX 燃料については、CORAIL-A よりも開発が遅れており、部分的な燃料棒を作成して、試験研究炉に装荷することが次のステップとなっている。2035 年に 2 つのうち 1 つが商業用途として選ばれる。

さらに、使用済ウラン燃料に比べると使用済 MOX 燃料には MA 及び FP が増大するため、これをガラス固化して処分するためのガラス特性も変更する必要がある、研究が実施されている⁸⁷。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

1.1.3.3 においてまとめたとおり、フランスにおいてはプルサーマルを実施するために必要な分だけ再処理を行うプルトニウムバランス戦略を採っており、利用目的のないプルトニウムは持たない方針である。

1.2.3.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

フランスでは現在、使用済燃料は各原子力発電所サイトやラ・アーグ再処理プラントにおいて湿式貯蔵されており、乾式貯蔵は行われていない。乾式貯蔵に関しては、使用済 MOX 燃料及び使用済回収ウラン燃料を乾式貯蔵する可能性について、IRSN が検討を行っている。IRSN は、湿式貯蔵されている使用済燃料を乾式貯蔵するオプションは採用可能であるが、乾式貯蔵を実施するためには、熱出力 3kW 程度の使用済燃料を貯蔵できる設計とする必要があるとしている²¹²。

2) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

フランスでは 1991 年の放射性廃棄物管理研究法に基づき、東部ビュールにおいて地層処分研究を実施する地下研究所が設置され、研究が実施されてきた経緯がある。地層処分場には高レベル放射性廃棄物と中レベル長寿命放射性廃棄物が処分される予定であるが、後者に含まれるアスファルト固化体廃棄物に関しては、発熱反応が安全確保上の課題となっており、原子力・代替エネルギー庁（CEA）がアスファルト固化体廃棄物の特性と挙動に関する研究を実施するとともに、ANDRA は同廃棄物を安全に地層処分するための処分場の設計変更も検討している⁸⁷。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

フランスでは、1991 年の放射性廃棄物管理研究法において、高レベル放射性廃棄物の最終的な管理方法として核種分離・変換、地層処分及びコンディショニング - 長期貯蔵を同時並行的に研究することが定められ、その後 15 年間にわたってこれらの研究が実施された。その結果を踏まえ、2006 年の放射性廃棄物等管理計画法では、第 4 世代炉開発の一環で核種分離・転換研究に取り組む方針が示された²¹³。同法に基づき、ASTRID 開発が進められてきたが、前述のとおり、ASTRID 開発は中止されている。

CEA は既存の研究炉や国際協力を通じて、主にアメリシウムを対象とする核種分離・変換に関する研究を実施してきたが、ASTRID 開発の中止、また国内外のその他の高速中性子照射施設が閉鎖される状況であり、CNE は新たな照射施設の必要性を指摘している⁸⁷。

1.2.3.4 参考文献

²¹² IRSN、「Analyse des possibilités d'entreposage à sec de combustibles nucléaires usés」、2019 年 4 月、http://logi103.xiti.com/go.click?xts=410711&s2=3&p=Analyse-Possibilites-Entreposage-MOX-URE-Rapport-2019-00265&clic=T&type=click&url=http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2019-00265_Analyse-Possibilites-Entreposage-MOX-URE.pdf

²¹³ 放射性廃棄物等管理計画法、

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000240700> (2020 年 12 月 14 日閲覧)

1.2.4 イギリス

1.2.4.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どの様な研究にリソースを配分するか、等）

（概要）

- 英国政府が 2013 年に公表した原子力研究開発ロードマップでは、クローズドサイクル、オープンサイクル両方に関する研究の必要性が指摘されている。さらに、同戦略や、原子力技術革新調査・諮問委員会（NIRAB）の勧告を踏まえて実施されている原子力イノベーションプログラムにおいては、先進モジュール炉開発と合わせて、先進的な燃料サイクル技術に関する研究開発が進められている。

英国政府は 2008 年に公表した原子力白書において、2050 年までの排出削減目標達成を目指すとともに、電力安定供給確保のため、原子力を重要な電源と位置付け、原子炉新設のための投資を促進する方針を示しており²¹⁴、この方針は 2020 年に至るまで変更されていない。政府は、このような政策を実施していくためには、国内における原子力技術開発、人材育成やノウハウの維持が必要であるとの認識であり、2013 年に原子力研究開発ロードマップを策定しており、同ロードマップでは、クローズドサイクル、オープンサイクルを想定した研究の必要性が指摘されている²¹⁵。英国における原子力研究開発に関する政府諮問機関である原子力技術革新調査・諮問委員会（NIRAB）は、政府が注力すべき研究分野について勧告しており、この中で、将来第 4 世代炉が実現する場合に備えて、先進的な燃料サイクル技術開発に注力するよう勧告している²¹⁶。政府は NIRAB の勧告も踏まえ、政府は原子力イノベーションプログラムを立ち上げ、2017 年から公募や資金支援を行っているが、同プログラムには、第 3、第 4 世代炉向けの燃料サイクル技術を開発することを目的とした燃料サイクル・放射性廃棄物管理のテーマが含まれている（表 1-38）²¹⁷。

表 1-38 原子力イノベーションプログラムのテーマ

テーマ	概要
先進燃料	既存炉や将来開発される先進炉に装荷することを想定した安全性の高い効率的な燃料の開発
先進炉	新技術評価のためのモデリング開発、ヴァーチャルエンジニアリング等も含めた第 4 世代炉及びモジュール炉の開発
使用済燃料のリサイクルと廃棄物管理	第 3、第 4 世代炉向けの燃料サイクル技術の開発
先進機器と製造	将来の建設プロジェクトのコスト低減に寄与する先進製造技術、モジュール製造技術の開発
原子力施設と戦略ツール	将来の研究開発に必要なツール、モデルインフラの確保

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

(概要)

- 国内で燃料サイクル施設を操業しているウェスティングハウス社とウレンコ社は、先進モジュール炉（AMR）開発支援の政府補助金を獲得しており、燃料製造施設の経済性や効率性向上にも合わせて取り組んでいくものと考えられる。

現在英国内で操業している核燃料サイクル施設は、スプリングフィールドズの転換・燃料組立プラントと、カーペンハーストの濃縮プラントである。既存の軽水炉向けの燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に関しては、各プラントの創業者であるウェスティングハウス社及びウレンコ社が研究開発を行っていると考えられるが、前掲の原子力イノベーションプログラムでは、既存炉だけでなく、将来市場に投入される先進炉向けの燃料製造研究も実施されており、その一環で、これらのプラントの安全性、経済性、効率性の向上研究が実施されていく可能性がある。原子力イノベーションプログラムに含まれる先進モジュール炉（AMR）開発に関しては、2020年7月に英国政府が支援対象として3つの炉型を選定しているが、この中にウェスティングハウス社の鉛冷却高速炉と、ウレンコ社が参画するコンソーシアム U-Battery Developments 社の小型高温ガス炉が含まれている²¹⁸。2社は、それぞれの AMR をスプリングフィールドズ及びカーペンハーストサイトで開発していく計画であり、これらの炉で使用する燃料製造も合わせて検討、必要な施設開発を行っているものと考えられる。

1.2.4.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

NIRAB の英国政府向けの年次報告書では、再処理に関しては、短期的には高速炉が実用化する見通しはないため、再処理技術も必要とならないが、英国も含めた将来的な原子力拡大により、長期的には、再処理によるクローズドサイクルが必要となる可能性はあるため、研究開発は維持するべきとの勧告が示されている²¹⁹。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

1.1.4.3 に示したとおり、英国政府はこれまでの再処理によって回収したプルトニウムストックを縮減していく方針であり、利用目的のないプルトニウムは保有しない方針である。

1.2.4.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

英国における使用済燃料は燃料種類によって異なっている²²⁰。

- マグノックス炉

使用済燃料はセラフィールドにあるマグノックス再処理プラントでの再処理のため輸送され、再処理までの間同プラントにおいて湿式貯蔵される。

- AGR

AGR の使用済燃料は発電所内の使用済燃料プールで 100 日間貯蔵された後、セラフィールドの THORP 再処理プラントに輸送される。一部の使用済燃料は EDF エナジー社との既存契約に基づき、同プラントで再処理されたが、契約に基づく再処理の終了後は、AGR 使用済燃料は THORP プラント内のプールで貯蔵される。

- PWR

当初国内唯一の PWR であるサイズウェル B 発電所から発生する使用済燃料は、同発電所内の使用済燃料プールに貯蔵されていたが、同発電所の運転期間が 2035 年まで延長され、使用済燃料の貯蔵容量のひっ迫が懸念されたため、運転者である EDF エナジー社は 2017 年に乾式貯蔵施設を設置・操業開始している。

マグノックス炉と AGR から発生する使用済燃料の再処理は、2020 年末時点ではほぼ完了している状況であり、NDA は、2019～2024 年までの研究開発 5 カ年計画において、今後の使用済燃料管理に関する研究開発の主眼は、使用済燃料が将来的に放射性廃棄物として地層処分されるとの決定が下される可能性も念頭において安全に中間貯蔵することであるとしている。特に、THORP 再処理プラントでの AGR 燃料の再処理は 2018 年に終了しており、残った AGR 使用済燃料の貯蔵が重要であるとしている。NDA の 5 カ年計画では、AGR 使用済燃料の貯蔵に関する研究開発に関して、以下のようなテーマを挙げている²²¹。

- プール内で貯蔵される使用済燃料のモニタリング新技術を開発し、使用済燃料の完全性が損なわれる初期条件を特定するとともに、非常に低いレベルでの放射性物質の漏洩を探知する。
- 想定貯蔵期間である 25 年を超えて貯蔵する場合の使用済燃料の状態、特に腐食率に影響するメカニズムや要素に関する理解を深化する。
- 湿式貯蔵されている AGR 使用済燃料を乾式貯蔵に移行する可能性を検討するため、湿式貯蔵されている燃料の乾燥の特性把握や乾燥方法のオプション等を検討する。
- 今後検討される地層処分場の設計と整合するよう使用済燃料管理戦略を策定するとともに、管理戦略オプションと運用上の変更の影響に関するモデリングを実施する。

2) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

NDA の研究開発 5 カ年計画では、放射性廃棄物の処理に関して、主に低レベル放射性廃棄物の特性把握、分類等の技術の改善や、新たな密閉技術開発等が挙げられている。また高レベル放射性廃棄物の地層処分に関しては、2018 年末からサイト選定プロセスが開始されているが、実施主体である RWM 社は 2020 年 8 月に研究サポートオフィス（RWM RSO）を立ち上げた。RWM RSO は先進製造技術、応用数学、応用社会科学、環境科学、地質学、物質科学、放射線化学等の分野の研究に取り組んでいく方針である²²²。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

低レベル放射性廃棄物に関しては、廃棄物量の低減のための研究開発が実施されているが、使用済燃料等に含まれる長寿命放射性核種の分離・転換に関しては、英国における研究開発の取組は確認できない。

1.2.4.4 参考文献

- ²¹⁴ 英国政府、Meeting the energy challenge: a white paper on nuclear power、2008 年 1 月、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/228944/7296.pdf
- ²¹⁵ 英国政府、Nuclear Energy Research and Development Roadmap: Future Pathways、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/168043/bis-13-632-nuclear-energy-research-and-development-roadmap-future-pathway.pdf
- ²¹⁶ 英国政府、Nuclear Research and Development: Advanced fuel recycle technologies、2014 年 12 月、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/385185/Call_for_proposals_advanced_recycling_grants_-_publication.pdf
- ²¹⁷ 英ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）、BEIS Nuclear Innovation Programme、2018 年 10 月 30 日、
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/754664/30.10.18_BEIS_R_D_Presentation_-_Budapest_CEN_Summit.pdf
- ²¹⁸ 英国政府、£40 million to kick start next-gen nuclear technology、2020 年 7 月 10 日、
<https://www.gov.uk/government/news/40-million-to-kick-start-next-gen-nuclear-technology>
- ²¹⁹ NIRAB、Annual Report 2020 - Achieving Net Zero: The role of Nuclear Energy in Decarbonisation、2020 年 7 月、https://www.nirab.org.uk/download_file/138/0
- ²²⁰ 英国政府、The United Kingdom's Sixth National Report on Compliance with the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and Radioactive Waste Management、2017 年 10 月、
<https://www.gov.uk/government/publications/the-uks-sixth-national-report-on-compliance-with-the-obligations-of-the-joint-convention-on-the-safety-of-spent-fuel-and-radioactive-waste-management>
- ²²¹ NDA、NDA 5-year R&D Plan 2019 to 2024、2019 年 4 月 23 日、
<https://www.gov.uk/government/publications/nda-5-year-research-and-development-plan-2019-to-2024/nda-5-year-rd-plan-2019-to-2024>
- ²²² RWM 社、RWM launches new venture to lead groundbreaking research into geological disposal、2020 年 8 月 4 日、
<https://www.gov.uk/government/news/rwm-launches-new-venture-to-lead-groundbreaking-research-into-geological-disposal>

1.2.5 ドイツ

1.2.5.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どの様な研究にリソースを配分するか、等）

（概要）

- 脱原子力政策開始に伴い、ドイツでは研究開発リソースを既存炉安全とバックエンドに注力する方針を決定
- 2011 年福島事故後に優先課題見直しが行われ、バックエンド関連でも核種変換等が優先課題から外れるなど変更あり

ドイツでは 1998 年に社会民主党（SPD）と緑の党の連立政権が発足し、脱原子力政策を開始した。連邦政府は脱原子力政策により原子力関連の新規開発への関与や予算等リソースが縮小していくことを踏まえ、原子力関連の研究開発を既存炉安全とバックエンド関連に限定するとともに、1999 年に作業グループ「評価委員会」を設置し、今後必要となる研究と優先課題の検討を実施した。

同委員会が 2000 年に連邦政府に提出した最終報告書「ドイツにおける原子炉安全及び処分場に関する研究」では、放射性廃棄物処分場に関する研究の優先課題として、以下の項目が挙げられている。

- ・ 廃棄物管理及び廃棄物特性
- ・ 旧ウラン鉱など汚染サイトの規制解放
- ・ 放射性廃棄物処分における長期安全性評価
- ・ 処分技術
- ・ 核種分離
- ・ 核種変換

リソース配分に関して、同委員会は報告書において、効率性の観点から国内の研究機関間における人員・取組内容の調整・協力を行うコンピテンスプールを設置することを勧告した。これを受けて 2000 年内に、「原子力技術コンピテンス同盟」が設立され、現在も活動を行っている。同盟は原子力関連研究を行う公立研究所等を中心とする研究機関がメンバーとなり、規制当局や BMWi、また原子力事業者やメーカーが参加協力している。コンピテンス同盟には研究分野毎に作業部会が置かれ、原子力技術分野の重点課題特定やコンピテンス維持、リソース重複回避のための研究機関間での取組調整等を行っている²²³。

このように、ドイツでは脱原子力政策開始以降、新型炉開発等、原子力発電の利用拡大に係わる研究にはリソースが配分されなくなったが^a、バックエンドには引きつづき必要なリソースを配分していく方針である。

現在のバックエンド研究については、2011 年福島第一原子力発電所事故後のドイツにおける原子力政策見直し（原子炉閉鎖の早期化や、HLW 処分場選定プロセスの白紙化など）を受けて、コンピテンス同盟により 2013 年に優先課題の見直しが行われた。バックエンド

^a 核融合に関しては、基礎研究の一環として引きつづき連邦予算が配賦されている。

分野では 2000 年の評価委員会報告では優先対象に含まれていた核種分離・変換について、最終的な廃棄物量の縮減は見込めるものの、2022 年までに原子力発電を終了し廃棄物発生量が限られてくる中、貯蔵済みの使用済燃料を処理することに伴うリスク等の観点から、欧州大での研究取組には関与するものの、ドイツとして自国における優先課題とはしない方針となった²²⁴。

連邦経済エネルギー省（BMWi）が今後注力する研究開発分野として、以下の 6 分野を挙げている²²⁵。

- ・ 中間貯蔵長期化が廃棄物とキャスクに及ぼす影響（領域 1）
- ・ 処分場選定の科学的根拠（領域 2）
- ・ 処分場概念と処分技術（領域 3）
- ・ 処分セーフティケース（領域 4）
- ・ 知識管理と社会的問題（領域 5）
- ・ 核物質監視（セーフガード）（領域 6）

こうした研究開発方針は、連邦政府がおおよそ 5 年に 1 度の間隔で策定する連邦エネルギー研究プログラム（現在は第 7 次（2018～2022 年））にも反映されている²²⁶。

2019 年の連邦エネルギー研究報告書によれば、2017 年から高レベル放射性廃棄物処分場の選定プロセスが新たに開始されたことも反映し、岩塩、粘土、結晶質岩層における HLW 最終処分コンセプト構築に向けた科学技術的知見の蓄積に関する取組に重点が置かれた²²⁷。

なお、バックエンドの規制当局である連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）による規制研究は、上記の BMWi 主管の研究（連邦エネルギー研究プログラムに包含される）とは別枠で実施されている。BASE の研究アジェンダは 4 年計画で、2 年毎に見直しが行われる。現行の研究アジェンダ（2019 年策定）では、バックエンドに関して中間貯蔵と輸送規制、最終処分場サイト選定プロセス監督に関する研究が研究対象分野としてあげられている²²⁸。

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

上述のとおり、ドイツでは既存炉安全とバックエンドに関する研究開発に注力する方針であり、濃縮等のフロントエンドに係る研究開発は連邦政府の重点分野から除外されている。

放射性廃棄物中間貯蔵、処分等のバックエンド研究に関しては、1.2.5.3 項で後述する。

1.2.5.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

国内再処理を 1990 年代に断念し、2000 年代以降は研究戦略に記載のとおり、脱原子力政策に伴い重点対象が既存炉安全と処分安全に絞られたことから、再処理プロセスに係る研究開発は行われていない。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

1.1.7.34)項にて報告のとおり、ドイツでは国外委託再処理で回収したプルトニウムを原則

として MOX 燃料として国内原子炉で利用し燃焼させる方針を原子力法で規定しているが、英国における再処理、MOX 燃料製造の停滞や、ドイツにおける脱原子力完了時期の早期化（2022 年までに全炉閉鎖）に伴い、2013 年に英国セラフィールドにあった商用炉由来の 750kg のプルトニウムを英国 NDA に引渡す措置などが行われた（移転に係る費用等の情報は公開されていない）。この際には同時に、セラフィールドでドイツが保有するプルトニウム 650kg を、日本がラ・アーグに保有する同量のプルトニウムとスワップし、フランスで MOX 燃料への加工を進め、こうした措置を経て、原子力発電所使用済燃料の再処理に由来する回収プルトニウムのうちドイツに所有権が属するものに関しては、2016 年までにドイツ国内炉での装荷が全て完了している^{135 136 162}。

1.2.5.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

使用済燃料については燃料プールで冷却後、金属キャスクに封入し、原子力発電所サイト内に設置された中間貯蔵施設で乾式貯蔵されている。乾式貯蔵に関する研究としては規制当局 BASE の規制研究アジェンダにおいて、以下のような項目が挙げられている²²⁸。

- キャスク材料及びコンポーネントの劣化及び中間貯蔵長期化における安全性に及ぼす影響
- 中間貯蔵中における燃料被覆管、保管内容物の変化
- 研究由来のガラス固化体、破損燃料の保管など

2) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

政府の第 7 次エネルギー研究計画では、特に発熱性放射性廃棄物の最終処分実現に向けた研究に重点が置かれており、地層のバリアシステムの有効性、モニタリング、処分場への廃棄物搬入・低地技術の開発などが実施されている。また、処分場内における放射性核種の拡散、及び拡散挙動に影響を及ぼす諸要因に関する基礎研究も実施している²²⁶。

2020 年の研究報告では具体的なプロジェクト事例として、ベントナイト層（粘土層）における地層バリアの長期安定性を検証する in-situ 実験「KOLLORADO-e3」が紹介されている²²⁷。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

放射性廃棄物の減容化に関して、研究開発とは異なるが、ドイツでは放射線防護令に基づくクリアランス手続きを通じて、大部分の物質が放射性物質としての取り扱いから除外され、市中での再利用あるいは一般の産業廃棄物として処分される。原子力発電所廃止措置に伴う解体に際し、放射性廃棄物として処理処分される物質は全体の 1%程度とされている。これは主に中低レベル放射性廃棄物の発生量低減に寄与する。

また、2005 年まで実施されていた使用済燃料再処理については、高レベル放射性廃棄物の発生量低減を目的としていた。¹¹⁴

なお核種分離変換に関しては、上述のとおり、2000 年の評価委員会勧告の時点ではパッ

クエンド分野の優先課題の一つとして勧告に含まれていたが、2022 年までに原子力発電を終了し、発生する廃棄物量が限られてくること、またすでに貯蔵されているガラス固化体には同技術が適用できず、使用済燃料等について核種分離変換を行うリスクやコストなどが廃棄物減容の便益より大きいことにより、2013 年以降、ドイツ政府としての研究開発優先課題からは除外されている。

1.2.5.4 参考文献

- ²²³ 原子力技術コンピテンス同盟ウェブサイト、<http://nusafe-server.nuklear.kit.edu/start.htm>
(2020 年 11 月 2 日閲覧)
- ²²⁴ 原子力技術コンピテンス同盟、Nukleare Sicherheitsforschung Neuorientierung an aktuellen energiepolitischen Rahmenbedingungen、2013 年、
http://nusafe-server.nuklear.kit.edu/1280/berichte/Neuorientierung_M%C3%A4rz_2013.pdf
- ²²⁵ BMWi ウェブサイト、Entsorgungsforschung、
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/kernenergie-endlagerforschung.html> (2020 年 11 月 2 日閲覧)
- ²²⁶ 独連邦政府第 7 次エネルギー研究プログラム、2018 年、
https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=14
- ²²⁷ 連邦報告エネルギー研究 2020、2020 年、
https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=16
- ²²⁸ 連邦放射性廃棄物処分安全庁 (BASE) 研究アジェンダ、2019 年、
https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/broschueren/bfe/forschungsagenda_financial.pdf?__blob=publicationFile&v=9

1.2.6 ベルギー

1.2.6.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どの様な研究にリソースを配分するか、等）

1993 年に再処理が凍結されるまでは、再処理によって発生するガラス固化体等の地層処分に関する研究が中心であったが、再処理凍結後は、使用済燃料を直接処分することも想定した研究開発が必要となった。

ベルギーにおける研究開発は、ベルギー原子力研究所（SCK/CEN）が担っているが、SCK/CEN が行っている燃料サイクル分野の研究開発としては、地層処分と核種変換であり、これらの内容については、1.2.6.3 でまとめる。

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

ベルギー国内ではこれまで操業していた核燃料サイクル施設は閉鎖されており、操業における安全性、経済性、効率性向上に係る研究開発の取組は確認できない。

1.2.6.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

ベルギー国内での再処理は実施されておらず、今後再処理が再開されるとしても、フランス等海外に委託して実施する可能性が高く、再処理プロセスに係る研究開発の取組は確認できない。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

ベルギー政府は、今後再処理が再開された場合に発生するプルトニウムに関しては、国内7基の原子炉は2025年までに閉鎖される予定であり、回収したプルトニウムをMOX燃料として再利用できない見込みであることから、第三者に譲渡する必要があるとしている¹⁴⁵。

1.2.6.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

後述するとおり、ベルギーでは湿式、乾式それぞれの方式が採用されているが、これに関して新規の技術開発等を実施する動きは確認できない。

2) 放射性廃棄物（TRU廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

ベルギーではカテゴリーB及びC放射性廃棄物を地層処分する方針であるが、SCK/CEN

は ONDRAF／NIRAS と共同で設立した研究組織 EURIDICE が、モルの地下約 225m の粘土層に設置した地下研究所 HADES（High Activity Disposal Experimental Site）において、処分された放射性廃棄物から発生する熱が周辺の粘土層に与える影響を検証するための研究プロジェクトを実施している¹⁴⁵。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

上述の HADES における地層処分研究を補完する形で、SCK/CEN は処分される放射性廃棄物の放射能レベルや発熱量を低減することを目的とした核種変換研究にも取り組んでおり、このために加速器駆動未臨界炉（MYRRHA）の開発を進めている¹⁴⁵。なお MYRRHA で想定されているのは、使用済燃料に含まれる長寿命核種の分離であり、ガラス固化体等のパッケージ化済みの放射性廃棄物に含まれる核種変換は想定していない²²⁹。

1.2.6.1 参考文献

²²⁹ MYRRHA ウェブサイト、Nuclear Waste Treatment、<https://myrrha.be/science-and-myrrha/nuclear-waste-treatment/> (2020 年 12 月 15 日閲覧)

1.2.7 オランダ

1.2.7.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どのような研究にリソースを配分するか、等）

オランダでは COVRA が放射性廃棄物管理の実施主体として、地層処分場研究に携わるほか、NRG もバックエンド関連の研究を実施しているが、オランダが国家として全体戦略の中で、核燃料サイクル技術に関する研究をどのように位置づけ、リソース配分に関する戦略を示しているかは確認できていない。

EU の枠組みでは COVRA や NRG が各種のプロジェクトに関与している。

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

濃縮施設等核燃料サイクル施設に関して、オランダの規制当局 ANVS や NRG などの研究所によるオランダ独自の具体的な研究は確認できていない。

1.2.7.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

オランダは国内での再処理を実施していない。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

1.1 節で報告のとおり、利用用途のたたないプルトニウムについてはすでに英仏に引渡を完了している。その他のプルトニウムについては 2034 年まで運転予定のボルセラ原子力発電所におけるプルサーマルによる利用が想定されている。

1.2.7.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

1.1.2.3 項にまとめたとおり、オランダでは全種類の放射性廃棄物を 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オラノ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。

2014 年からボルセラ原子力発電所でプルサーマルが開始されたことにより、オランダでは使用済 MOX 燃料も発生するが、2020 年段階でこれらの燃料はプール内で冷却中であると考えられる。

放射性廃棄物管理の実施主体である COVRA について、使用済燃料貯蔵に係る具体的な

研究開発動向は確認されていない。

2) 放射性廃棄物（TRU廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

処理技術に係る研究開発動向の情報は得られなかった。なお、参考までに処分に係る動向を以下に記載する。

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²³⁰。

- 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。

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

オランダでは、NRG がペッテンに所有する HFR において、欧州の国際取組 EFFTRA の枠組みで、オランダ NRG のほかフランス、ドイツの共同研究として放射性廃棄物の核種変換（アメリシウム等の変換）に係る実験などをおこなった²³¹。なお、HFR は老朽化のため、後継炉となる Pallas の建設計画が進められ、2025 年以降の運開が計画されている。

1.2.7.4 参考文献

²³⁰ COVRA ウェブサイト、DEEP GEOLOGICAL DISPOSAL、
<https://www.covra.nl/en/radioactive-waste/deep-geological-disposal/> (2020 年 11 月 2 日閲覧)

²³¹ EU 共同研究センター (JRC) 、ペッテン HFR パンフレット
https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/hfr_mini_blue_book.pdf

1.2.8 中国

1.2.8.1 研究戦略

1) 研究戦略（全体戦略との相互影響、どのような研究にリソースを配分するか、等）

（概要）

- 中国では、核燃料サイクルの確立は重要な課題と認識されており、2016 年策定の研究計画では、先進的再処理技術とそのための設備、高レベル放射性廃棄物地層処分技術、先進的な廃棄物処理技術、高速炉による変換技術の 4 分野について、研究のロードマップが示されている。

中国では、核燃料サイクルの確立は重要な課題と認識されている。例えば、国務院が 2014 年 6 月に公表した「エネルギー発展戦略行動計画(2014-2020 年)」では、AP1000 や CAP1400、高温ガス炉、高速炉と並んで、バックエンドに関する技術開発が重点課題として挙げられている²³²。また、2016 年 3 月に策定された第 13 次五カ年計画では、同計画の対象期間（2016～2020 年）の重大プロジェクトの一つとして、大型商用再処理施設の建設の実証と推進が挙げられている²³³。

国家発展改革委員会と国家能源局は、2016 年 4 月 7 日付けで「エネルギー技術革命創新行動計画（2016-2030 年）」及び「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」を公表した。図 1-19 は、「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」で示されたバックエンドの 4 つの研究テーマの 2030 年までのロードマップである²³⁴。

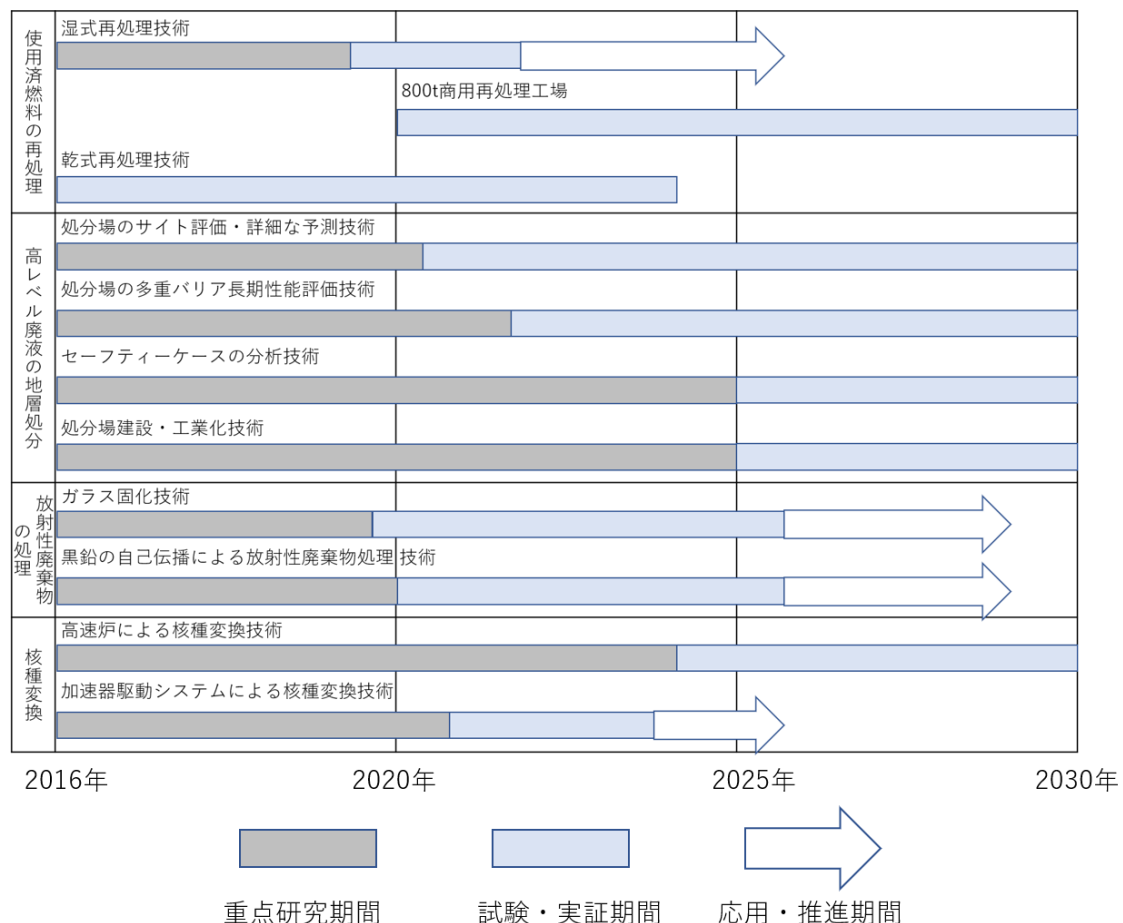


図 1-19 「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」におけるバックエンドの研究ロードマップ

出所) 「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」より引用、三菱総合研究所にて翻訳

図 1-19 において「使用済燃料の再処理」のうち「乾式再処理技術」の開発予定は 2025 年前の試験・実証期間で中断されているが、この技術の応用・推進期間は 2030 年より後になるとされる。ロードマップでは、バックエンド分野のテーマが以下のとおり、4 つに区分されそれぞれ目標などが示されている²³⁴。

a. 先進的再処理技術とそのための設備

- 大型の再処理施設について、前処理工程の技術や新型の無塩試薬を用いた 2 サイクルフロー（ウラン・プルトニウムの分離とプルトニウム精製工程でジメチルヒドロキシルアミンモノメチルヒドラジンを使用してプルトニウムの還元と分離を行い、ウラン精製工程でアセトヒドロキサム酸を使用してウランからプルトニウムとネプツニウムを同時に除去する方法）²³⁵の開発、作業工程のホット試験や検証を実施
- 再処理全フローのデジタル化模擬プラットフォームの構築や、パルスカラムのデジタル化模擬・シミュレーション技術の研究を実施し、主要な大型設備の国産化を実現
- 自動化制御技術、リモート操作システム・設備、大型先進ホットセルの設計、及び先

進的な乾式による前処理技術や乾式分離技術の研究開発を実施

b. 高レベル放射性廃棄物地層処分技術

- 地下研究所のエンジニアリング及び現地での試験を実施し、サイト選定に関する研究を進めるとともに、サイト評価の技術体系を完備
- 地下研究所を研究開発のプラットフォームとして、地層処分のエンジニアリング技術や人工バリア、処分概念の設計、掘削技術を開発し、また廃棄体の輸送、定置及び回収技術開発と検証を実施
- 処分場における核種の放出や移行、安全評価及びセーフティーケースの研究を行い、確率論的安全評価の技術を確立
- 処分場バリアシステムの安全特性の変遷に関する試験と評価の実施

c. 先進的な廃棄物処理技術

- 放射性黒鉛の自己拡散処理技術の研究
- コールドクルーシブル誘導溶融炉によるガラス固化技術、有機汚染物質の超臨界水処理技術、高レベル放射性アルカリ廃液の熱耐性セラミック固化技術、廃液のキレート吸着技術の開発

d. 高速炉による変換技術

- 変換ターゲットの設計と製造、変換ターゲットに対する照射試験と試験後の検証、及び照射後の炉心の化学的分析及び分離技術の研究等により、CEFRにおけるマイナーアクチニドに対する照射を完遂
- マイナーアクチニドを含有する MOX 燃料の製造技術の研究、マイナーアクチニドを含んだ燃料を大量に使用する高速炉の炉心設計、安全評価及び試験、原子炉の安全な運転技術の研究、及び照射後のマイナーアクチニドを含んだ燃料の再処理技術の研究等による、CDFRにおける変換ターゲットに対する照射と再処理の完遂

2) 核燃料サイクル施設の安全性向上、経済性向上、効率性向上に係る研究開発

(概要)

- 中国では、再処理パイロットプラントでホット試験が行われている。また、PWR からの回収ウランと劣化ウランを混合した燃料の CANDU 炉における装荷も実施されている。

中国では、甘粛省に再処理のパイロットプラントが建設されている。このプラントでは 2003 年から大亜湾原子力発電所で発生した使用済燃料を受け入れて湿式施設で貯蔵しており、2010 年 12 月にはホット試験が実施された²³⁶。また、核燃料サイクルにおける経済性や効率性向上のための研究開発として、1.1.8.34)において整理した CANDU 炉を擁する秦山第三原子力発電所における PWR からの回収ウランと劣化ウランを混合した燃料の装荷を挙げ

ることができる。

1.2.8.2 再処理

1) 使用済燃料（使用済MOX燃料を含む）の再処理プロセスに係る研究開発

（概要）

- 中国では、2030年には大型商用再処理施設を完工させ、2050年には乾式再処理の商業利用を実現するとの目標や展望が示され、その実現に向けて研究開発が進められる。またベルギーとの協力によるMOX燃料製造パイロットプラント建設の動きも見られる。

「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」では、再処理に関して2020年と2030年時点の目標、及び2050年の展望が以下のとおり示されている²³⁴。

a. 2020年の目標

- ・ 再処理に関して、大型商用再処理施設の自主設計、建設及び操業技術の獲得
- ・ 動力炉の使用済燃料の再処理プロセスや設備等、主要技術の開発
- ・ 動力炉の使用済燃料から発生する高レベル放射性廃液の分離技術の確立
- ・ 高速炉の使用済MOX燃料の再処理について、中国の使用済燃料再処理パイロットプラント（パイロットプラントについては後述）で利用されている湿式処理による処理フローを確立し、実証化に向け前進
- ・ 使用済燃料の乾式再処理技術研究の推進、基礎研究における前進

b. 2030年の目標

- ・ 再処理に関しては、先進的な湿式再処理技術研究プラットフォームを確立し、中国初となる800tの大型商用再処理施設を完工
- ・ アクチニド分離一体化先進湿式再処理フローを確立
- ・ 乾式再処理について優先される技術路線を決定
- ・ kg級の設備能力をもつウラン・プルトニウム熔融塩電解分離実験装置の建設

c. 2050年の展望

- ・ 乾式再処理について商業利用を実現し、湿式再処理を代替

「2020年の目標」で言及されている再処理のパイロットプラントは、甘粛省の蘭州核燃料コンプレックス（LNFC）に建設されている。パイロットプラントの主な役割は以下のとおりである²³⁷。

- ・ ホットの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

このパイロットプラントは改良された PUREX 法を採用しており、最大処理量は一日当たり 400kgHM である。年間を通じた処理量は最大で 100tHM となる予定である²³⁷。WNA によると、このパイロットプラントでは 2010 年にホット試験が行われた²³⁸。なお、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²³⁹。

中国では、MOX 燃料製造施設の開発は初期段階にある。WNA によると、年間製造量 500kg の実験規模の MOX 燃料製造プラントが 2008 年に建設された。また、その後中国はベルギーと協力を進めており、2010 年には旧 GDF-Suez 社（現 ENGIE 社）のベルギー子会社等と CNNC が MOX 燃料製造パイロットプラント建設に関する契約を締結した²³⁸。中国原子能科学研究院の院長は 2013 年に、その時点での計画は 5 年間で CEFR、再処理パイロットプラント及び MOX 燃料の試験生産ラインをプラットフォームとするフローを実現できるとの見通しを示していた²⁴⁰。しかしながら本報告書の報告時点では、中国で MOX 燃料製造プラントの竣工及び操業開始についての情報は確認できていない。

2) 利用目的のないプルトニウムの取扱方針・方策

中国における利用目的のないプルトニウムの取扱方針は不明である。

1.2.8.3 廃棄物処分

1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵

1.3.8.1 において整理する通り、中国ではほとんどの使用済燃料は原子力発電所サイト内のプールで貯蔵されているが、一部の原子力発電所では貯蔵容量がひっ迫してきていることもあり、秦山第三原子力発電所ではサイト内の乾式貯蔵施設での貯蔵が行われており、大亜湾原子力発電所の使用済燃料は甘粛省の湿式貯蔵施設に送られ、貯蔵されている。

2) 放射性廃棄物（TRU 廃棄物・ウラン廃棄物等含む）の処理技術に係る研究開発

（概要）

- 中国では、コールドクルーシブルガラス固化技術、黒鉛の自己拡散処理技術、有機物の超臨界水無機化技術、アルカリ廃液の熱耐性化技術、廃液のキレート吸着技術といった分野で、2030 年までの技術開発目標が示されている。なお、研究開発の実施状況は不明である。

「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」では、放射性廃棄物の処理技術の研究開発に関して 2020 年と 2030 年時点の目標が以下のとおり示されている²³⁴。

a. 2020 年の目標

- 高レベル放射性廃液の仮焼、水冷式（溶融炉）、バブリング、沈降・堆積した白金族元

素の抜き出し（流下）等の技術の開発

- 2 ステップのコールドクルーシブルガラス固化研究試験装置（処理量 35L/h）、黒鉛の自己拡散処理中間装置、有機物の超臨界水無機化工程試験装置、及び廃液のキレート吸着技術試験装置の開発・製造による放射性廃液処理技術レベルの向上

b. 2030 年の目標

- コールドクルーシブルガラス固化技術、黒鉛の自己拡散処理技術、有機物の超臨界水無機化技術、アルカリ廃液の熱耐性化技術、及び廃液のキレート吸着技術の確立により、放射性廃液処理技術分野での先進国入り

3) 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発

（概要）

- 中国では、マイナーアクチニドの変換や高速炉での核種変換、加速器駆動システムによる核種変換等で、2050 年までを見据えた技術開発目標や展望が示されている。なお、高速炉の開発では、実験炉は既に運開し、現在出力 60 万 kW の実証炉の建設が進められている。

「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」では、放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る研究開発に関して 2020 年と 2030 年時点の目標、及び 2050 年の展望が以下のとおり示されている²³⁴。

a. 2020 年の目標

- 実験室規模で、マイナーアクチニド変換及び分離技術研究を完了し、分離・変換における重要な技術を獲得し、全プロセスのデータを獲得し経験を蓄積
- 外部中性子源駆動次臨界変換システム技術研究プラットフォームの完成を目指し、加速器中性子源、小型融合中性子源システム及び未臨界反応炉等の重要な技術を確立し、外部中性子源駆動次臨界変換システムにおける変換性能等の運転パラメーターを決定

b. 2030 年の目標

- 60 万 kW の高速炉に装荷する、マイナーアクチニドを含んだ MOX 燃料の設計と開発
- 外部中性子源駆動未臨界変換システムの技術路線を決定し、主要な設備の自主的な知的財産権を有する設計製造技術を確立し、外部中性子源駆動次臨界変換システムのエンジニアリング試験装置を製造

c. 2050 年の展望

- 高速炉における変換、加速器駆動システムによる変換技術の応用を推進し、徐々に原子力システム内におけるマイナーアクチニドの総量の効果的な抑制を実現

1.2.8.4 参考文献

-
- ²³² 国務院、エネルギー発展戦略行動計画（2014-2020 年）、2014 年 6 月、
http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm
- ²³³ 第 13 次五カ年計画、2016 年 3 月、
http://www.xinhuanet.com//politics/2016lh/2016-03/17/c_1118366322_8.htm
- ²³⁴ 国家発展改革委員会、国家能源局、エネルギー技術革命創新行動計画（2016-2030 年）、エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ、2016 年 4 月、
<http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/01/5078628/files/d30fbe1ca23e45f3a8de7e6c563c9ec6.pdf>
- ²³⁵ 李金英等、我が国の使用済燃料再処理大型施設建設に関する若干の検討、2011 年 8 月、
<http://www.jnrc.org.cn/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=4837>
- ²³⁶ 孫学智、羅朝暉（環境保護部 核・放射線安全センター）、世界の使用済燃料再処理の現状と分析、2016 年 6 月、
<http://www.ixueshu.com/document/de08af20441fee03ee334c89d1020f3d318947a18e7f9386.html>
- ²³⁷ 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
- ²³⁸ WNA、China's Nuclear Fuel Cycle、2020 年 8 月、
<https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-fuel-cycle.aspx>（2020 年 9 月 23 日閲覧）
- ²³⁹ 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
- ²⁴⁰ 中国原子能科学研究院、2013 年両会にて中国人民政治協商会議委員である中国原子能科学研究院の万鋼院長を訪問、2013 年 3 月、
http://www.ciae.ac.cn/newsContent.jsp?RID=199&cid_A=1

1.3 使用済燃料貯蔵に関する取組状況

1.3.1 アメリカ

1.3.1.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

これまでの貯蔵方式の変化や昨今の貯蔵方式に対する許認可については、1.2.1.3、1) 使用済燃料の湿式/乾式貯蔵で述べた通りである。

アメリカでは、使用済燃料の再処理については事業者の自主判断となっているが、主に経済上の理由から民間の再処理事業は断念され、使用済燃料の直接処分が基本となっている。また、使用済燃料の処分は放射性廃棄物政策法で連邦政府の責任とされているが、オバマ政権はユッカマウンテン計画中止を決定し、法的枠組みと政権方針が食い違う中で膠着状態が続いている。

ユッカマウンテン計画の中止後、2012年1月にブルーリボン委員会が、米国の使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分に係る安全かつ長期的な解決策のための包括的な提案を示した最終報告書が公表された。その後、連邦議会が、ブルーリボン委員会最終報告書の公表後6カ月以内に使用済燃料などの管理戦略を策定するようにDOEに求め、2013年1月にDOEは「使用済燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分戦略」を公表²⁴¹した。本戦略では、今後10年にわたって、以下のスケジュールで関連施設の建設を行うための計画を進めることが発表された。

- 2021年までに、閉鎖された原子炉のサイトからの使用済燃料の受入れに焦点を当て、パイロット規模の中間貯蔵施設の立地、設計と許認可、建設と操業を開始する。
- 2025年までに、より大規模な使用済燃料の中間貯蔵施設が使用可能となるよう、サイト選定と許認可を進める。この中間貯蔵施設は、廃棄物管理システムに柔軟性をもたらす十分な能力を備えており、政府の責任を削減しうる貯蔵容量を持つものとする。
- 2048年までに、地層処分場を実現するよう、処分場のサイト選定とサイト特性調査を進める。

さらに、地層処分場と中間貯蔵施設との設置の時期的なリンクを図るため、地層処分場のサイト選定は2026年までに、サイト特性調査、処分場の設計及び許認可を2042年までに、処分場の建設及び操業の開始を2048年とすることを実施目標としている。

しかし、上述したように処分場選定の動きが見えてこないことから、使用済燃料は今後も長期的な貯蔵が必要となり、長期的な貯蔵に向けた取り組みについて次に述べる。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

現在アメリカで用いられているキャスクの設計寿命は40年となっているが、許認可更新によって貯蔵期間の延長が可能となっている。また、60年貯蔵で許認可が取得されている。特に、アメリカではネバダ州ユッカマウンテンでの処分場建設計画がオバマ政権以降中止

となっている関係から、各電力会社は敷地内にコンクリートキャスクや金属キャスクを用いた乾式貯蔵施設（ISFSI）を建設し、長期にわたる貯蔵を検討している。

米国電力研究所（EPRI）では、貯蔵期間の長期化を念頭に、産官学の国際的枠組みとして長期貯蔵研究プログラム（ESCP: Extended Storage Collaboration Program）を 2009 年に立ち上げ、120 年以上の貯蔵期間（実力評価期間は 300 年）とした検討を進めており、2017 年から高燃焼度使用済燃料を貯蔵した際の、燃料被覆管の健全性をガス採取により定期的に確認する試験を開始し、2028 年にキャスクの蓋を開け、燃料の健全性を確認する予定である²⁴²、²⁴³。さらに、DOE は 2019 年に長期貯蔵の安全評価において不足する知見・データをギャップ分析^aにより評価し、課題を抽出している²⁴⁴。

表 1-39 DOE によるギャップ分析の結果

項目	優先度
温度分布	1
応力分布	1
溶接キャニスタ — 大気腐食（SCC）	1
乾燥問題	2
モニタリング	3
被覆管の水素影響 — 水素再配向・水素脆化	3
キャニスタ破損による影響評価	3
燃料輸送オプション	3
再臨界 — 燃焼度クレジット（BWR のみ）	4
INL での燃料試験	4
中性子遮へい材の耐荷重性 — 熱劣化	4
中性子遮へい材の脆化	4
中性子遮へい材の腐食	4
中性子遮へい材のクリープ	4
溶接キャニスタ — ガルバニック腐食	4

3) 経済性向上のための取り組み

1.3.1.1、2) 安全性向上のための取り組みにて、長期貯蔵に伴う課題検討の動きについて記載したが、本検討結果により、同一のキャスクを用いて、貯蔵期間の延長が可能となれば、使用済燃料貯蔵に関する経済性は向上する。したがって、安全性向上のための取り組みと経済性向上のための取り組みは表裏一体であり、経済性向上の観点から長期貯蔵が検討され、安全性に関する課題が検討されている。

^a ギャップ分析とは、理想と現実の差異を課題と捉え、理想を達成する為に必要な事項を分析する課題抽出法を指す。

4) 処分場の方針

アメリカでは使用済燃料は再処理されず、直接処分を想定しているが、商業用の使用済燃料の処分場建設の候補地であったユッカマウンテンにおいて地元了解が得られず、2012 年から現在まで、計画がなく、検討するための予算も付けられていない状態となっている。詳細は 1.1.1.4、1)使用済燃料処分（直接処分）にて記述している。

1.3.1.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

図 1-20 に 1999 年から 2025 年までのアメリカにおける PWR 及び BWR の使用済燃料のバッチ平均燃焼度の予測傾向を示す²⁴⁵。使用済 PWR 燃料の燃焼度は、約 55GWd/ tU に上昇すると予想されており、使用済 BWR 燃料の燃焼度は 40GWd/ tU を超える可能性がある。

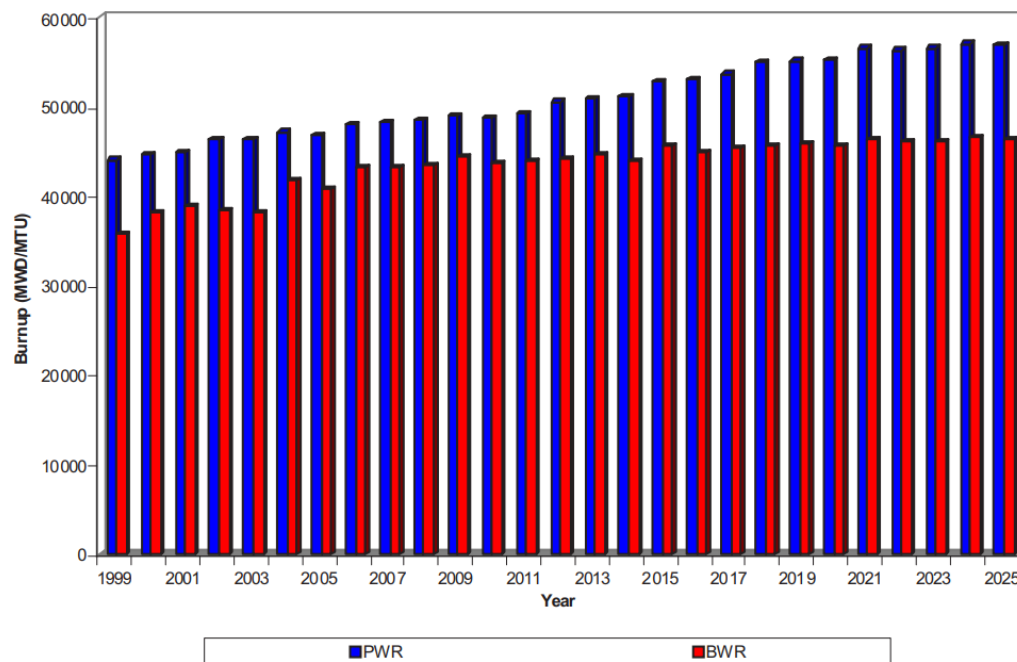


図 1-20 アメリカにおける PWR 及び BWR の燃焼度の傾向

出所) IAEA、Impact of High Burnup Uranium Oxide and Mixed Uranium– Plutonium Oxide Water Reactor Fuel on Spent Fuel Management から引用

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

2018 年時点での使用済燃料の貯蔵量は図 1-21 に示す通り、全体で 79,389MTU となり、乾式貯蔵が全体の 37%、湿式貯蔵が全体の 63%となっている。

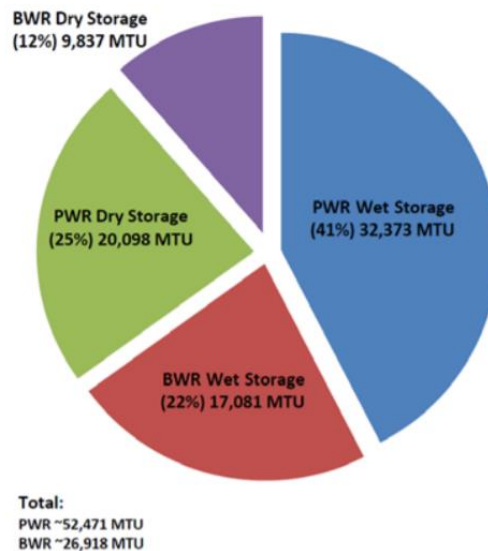


図 1-21 商業用使用済燃料のインベントリ（2017 年 12 月 31 日時点）

出所）NWTRB ファクトシート²⁴⁶から引用

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）²⁴⁷

アメリカでは使用済燃料のほとんどがサイト内で貯蔵されている。現在、確認できているだけで ISFSI は 77 存在し、それぞれの内訳は金属キャスク 8、横型サイロ 29、ボールト貯蔵 1、コンクリートキャスク 39 である。これに加えて、湿式貯蔵として GE モリスが存在している。横型サイロは、金属のキャニスタをコンクリートブロックの中に静置させることから、コンクリートキャスク貯蔵方式と言え、アメリカにおいてはコンクリートキャスクでの使用済燃料貯蔵が主流であるといえる。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

アメリカでは、表 1-35 に示すように金属キャスク、コンクリートキャスク両方が用いられているものの、近年はコンクリートキャスクの導入が盛んである（図 1-17 参照）。

1.3.1.3 参考文献

²⁴¹ U.S. Department of Energy、STRATEGY FOR THE MANAGEMENT AND DISPOSAL OF USED NUCLEAR FUEL AND HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE、2013 年 1 月、
https://www2.rwmc.or.jp/nf/wp-content/uploads/2013/01/usa_130115DOE.pdf

²⁴² 電力中央研究所、使用済燃料貯技術の現状 長期貯蔵に対処する国際的動向、日本原子力学会誌、Vol.57、No.4、2015 年

²⁴³ 日本原子力学会再処理・リサイクル部会 テキスト「核燃料サイクル」、5-3 敷地内貯蔵と敷地外貯蔵

²⁴⁴ Sandia National Lab. et al.、Gap Analysis to Guide DOE R&D in Supporting Extended Storage and Transportation of Spent Nuclear Fuel: An FY2019 Assessment、2019 年 12 月、
<https://www.osti.gov/servlets/purl/1592862>

²⁴⁵ IAEA, IAEA Nuclear Energy Series (No.NF-T-3.8) “Impact of High Burnup Uranium Oxide and Mixed Uranium-Plutonium Oxide water Reactor Fuel on Spent Fuel Management”, 2011 年、
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1490_web.pdf

²⁴⁶ U.S. NUCLEAR WASTE TECHNICAL REVIEW BOARD、COMMERCIAL SPENT NUCLEAR FUEL、September 2018

²⁴⁷ 米国電力研究所（EPRI）、Industry Spent Fuel Storage Handbook、2010 年 7 月

1.3.2 ロシア

1.3.2.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

ロシアでは使用済燃料を再処理することを基本方針とし、原子炉から発生した使用済燃料は主に発電所サイト内で湿式貯蔵している。また、一部はマヤク生産合同や鉍業化学コンビナート（MCC）で集中貯蔵されている。使用済燃料プールが許容量に達したことから、鉍業化学コンビナート（MCC）では RBMK 炉から発生する使用済燃料の乾式貯蔵施設（容量 8,400t）を 2011 年末に建設している。

2017 年初め時点で、各発電所サイト等において貯蔵されている使用済燃料の量を以下に示す。

表 1-40 ロシア国内の使用済燃料貯蔵量（2017/1/1 時点）²⁴⁸

事業主体と支社	燃料の種類	使用済燃料貯蔵量(t)
コラ原子力発電所	WWER-440	97.461
ノボボロネジ原子力発電所	WWER-440	40.107
	WWER-1000	101.899
バラコボ原子力発電所	WWER-1000	358.34
ロストフ原子力発電所	WWER-1000	211.12
カリニン原子力発電所	WWER-1000	368.727
クルスク原子力発電所	RBMK-1000	4,387.834
レニングラード原子力発電所	RBMK-1000	4,332.007
スモレンスク原子力発電所	RBMK-1000	3,288.358
ベロヤルスク原子力発電所	BN-600、BN-800	26.792
	AMB	190.15
ビリビノ原子力発電所	EGP-6	168.91
マヤク生産合同	WWER-440、AMB	325.44
MCC	WWER-1000	6,670.66
	RBMK	1,820.42
IPPE	AM-1	8.601
RIAR	MIR、SM、VK-50、BOR-60	41.279
Atomflot		11.273

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

ロシアにおける原子力分野の活動及び原子力利用分野の許可活動を規制する安全規制機関として、ロシア連邦環境・技術・原子力監督局（Rostekhnadzor）が 2004 年に設置されて

いる。放射性廃棄物管理に関する活動には、同局の許認可が必要である。²⁴⁹

一方で、TENEX 社へのヒアリングによると、使用済燃料は廃棄物ではなく、新たな燃料を作るための資源であるため、使用済燃料は廃棄物とは区別されている。7~8 年前に、使用済燃料の再処理そのものを規制する単独の法律を法制化する動きはあったが、規制のための法律は既に原子力利用法、放射性廃棄物管理法、環境保護法で網羅されていると判断され、新たに法整備する必要がないと判断されている。

以下の記載は使用済燃料以外の放射性廃棄物に関する規制面の取り組みである。

放射性廃棄物は、2011 年に制定された放射性廃棄物管理法に基づいている。固体、液体の廃棄物の場合は比放射能濃度、気体の場合は単位体積当たりの放射能の規定濃度との比率の総和が 1 を超える場合は放射性廃棄物に分類される。

放射性廃棄物管理法では、放射性廃棄物は次の 2 つのグループに分類される。²⁵⁰

除去対象放射性廃棄物	処分を含むその後の放射性廃棄物管理へとつながる、放射性廃棄物の（現在の）貯蔵施設からの移管に伴う放射線被ばくやその他リスク、及びコストが、（現在の）所在場所での処分に伴うリスクやコストを上回らない放射性廃棄物
特殊放射性廃棄物	処分を含むその後の放射性廃棄物管理へとつながる、放射性廃棄物の（現在の）貯蔵施設からの移管に伴う放射線被ばくやその他リスク、及びコストが、（現在の）所在場所での処分に伴うリスクやコストを上回る放射性廃棄物

さらに、除去対象放射性廃棄物は、処分目的に照らして 6 種類のクラスに分類される。

表 1-41 除去対象放射性廃棄物の廃棄物クラス

Class	廃棄物の種類	処分方法
1	・ 高レベル固体放射性廃棄物	深地層処分対象で処分前に冷却のための貯蔵を必要とする
2	・ 高レベル固体放射性廃棄物 ・ 半減期 30 年以上の長寿命中レベル固体放射性廃棄物	深地層処分対象であるが処分前に冷却のための貯蔵を必要としない
3	・ 中レベル固体放射性廃棄物 ・ 長寿命低レベル放射性廃棄物	100m までの深さの浅地中処分施設に処分される
4	・ 低レベル固体放射性廃棄物 ・ 極低レベル放射性廃棄物	地表レベルの深さの浅地中処分施設に処分される
5	・ 中レベル液体放射性廃棄物 ・ 低レベル液体放射性廃棄物	2011 年放射性廃棄物管理法が制定された時点において建設・操業されている注入処分施設に処分される
6	・ ウラン鉱床の採鉱や精錬、あるいは非原子力利用（鉱物資源や有機原料）の採鉱・精錬で発生した高濃度の天然核種を含む廃棄物	浅地中処分施設に処分される

また、比放射能による放射性物質の分類は以下の通りである。

表 1-42 比放射能による分類²⁵¹

廃棄物区分	比放射能、kBq/kg			
	トリチウム	β 及び γ 方斜体	α 放射体 (TRU を除く)	TRU
固形廃棄物				
極低レベル	10^7 未満	10^3 未満	10^2 未満	10^1 未満
低レベル	10^7 から 10^8	10^3 から 10^4	10^2 から 10^3	10^1 から 10^2
中間レベル	10^8 から 10^{11}	10^4 から 10^7	10^3 から 10^6	10^2 から 10^5
高レベル	10^{11} 超	10^7 超	10^6 超	10^5 超
液体廃棄物				
低レベル	10^4 未満	10^3 未満	10^2 未満	10^1 未満
中間レベル	10^4 から 10^8	10^3 から 10^7	10^2 から 10^6	10^1 から 10^5
高レベル	10^8 超	10^7 超	10^6 超	10^5 超

3) 経済性向上のための取り組み

2011 年 7 月に新しい放射性廃棄物管理法が施行され、ロスアトムと国家事業者が放射性廃棄物管理に係る作業の調整・実施の責任を負うこととなった。放射性廃棄物管理法に規定された、放射性廃棄物処分を実施する国家事業者として、2012 年 3 月に国営企業 NO RAO が設立された。

NORAO の活動目標は、放射性廃棄物管理法の用件に基づいて、安全で経済的な放射性廃棄物処分管理を確実に構築することである。放射性廃棄物管理法ではまた、放射性廃棄物管理法に関する統一国家制度を段階的に整備することを定めている。

また、廃棄物発生者はロスアトムの銀行口座に特別ファンドとして資金を拠出し、放射性廃棄物の管理のために使われる。

4) 処分場の方針

(概要)

- 高レベル放射性廃棄物の最終処分場に関して、コラ半島の花崗岩地質の地域でサイト選定が進行中である。

高レベル放射性廃棄物の最終処分場に関しては、コラ半島の花崗岩地質の地域でサイト選定が進行中である。使用済燃料処分場としてチタ州クラスノカメンスク、深地層処分場のサイトとしてクラスノヤルスク州ニジニカンスキーの岩石地帯などが提案されているものの、まだ決定していない。放射性廃棄物発生者からの資金は、特別基金としてロスアトムの銀行口座に積み立てられている。2015 年までに設計・地下研究所設置、2025 年までに建設決定、2035 年までに処分場完成の予定である。²⁵²

1.3.2.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

（概要）

- VVER-440 型の原子力発電所では 4 年サイクル、平均バッチ燃焼度 $\sim 41\text{--}43\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、VVER-1000 型では 3 年サイクル、平均バッチ燃焼度 $\sim 44\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ である。燃焼サイクルの更なる長期化も検討されている。

ロシアの VVER-440 は、平均バッチ燃焼度 $\sim 33\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ （最大アセンブリ燃焼度 $\sim 36\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、燃料棒平均は $\sim 41.5\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ ）、3 年サイクルで設計されている。多くの原子力発電所では 4 年サイクル、平均バッチ燃焼度 $\sim 41\text{--}43\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ （最大アセンブリ燃焼度 $\sim 47\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、燃料棒平均 $\sim 51\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ ）で核燃料を利用している。4 年と 5 年の複合サイクルの核燃料が Kola 原子力発電所で試験されており、その最大燃焼度は $\sim 49\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、燃料棒平均は $\sim 61\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ そして燃料ペレットでの最大値は $\sim 67\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ である。

VVER-1000 は、平均バッチ燃焼度 $\sim 29\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ （最大アセンブリ燃焼度 $\sim 36\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、燃料棒平均は $\sim 40\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ ）2 年サイクルで設計されている。VVER-1000 型の原子力発電所の大半ではすでに 3 年サイクル、平均バッチ燃焼度 $\sim 44\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ （最大アセンブリ燃焼度 $\sim 49\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ 、燃料棒の局所的な最大値は $\sim 60\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ ）で利用されている。

また、VVER-440 型の 5～6 年サイクルと VVER-1000 型の 4 年運転の可能性が検討されている。この実現には、燃料棒の局所的な燃焼度最大値が $65\text{GW} \cdot \text{d/t U}$ を超える設計が求められる。²⁵³

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

（概要）

- ロシア国内の使用済燃料の多くは、各発電所プールでの冷却期間を経て、セレノゴルスクの鉍業化学コンビナート（MCC）にて乾式及び湿式で貯蔵されている。

ロシア国内の使用済燃料の多くは、各発電所プールでの冷却期間を経て、セレノゴルスクの鉍業化学コンビナート（MCC）にて乾式及び湿式で貯蔵されている。鉍業化学コンビナート（MCC）での貯蔵方式と貯蔵容量を次表にまとめる。

表 1-43 鉍業化学コンビナート（MCC）における貯蔵施設の貯蔵方式

貯蔵方式	燃料タイプ	貯蔵能力 (tHM)	備考
湿式	VVER-1000	10,500	1985 年に受け入れ開始した大型プール貯蔵施設 RT-2 に併設 受け入れ条件: 燃焼度 30GWd/t 以上、核分裂性物質の濃縮度 2.6% 以下、プルトニウムの濃度 20% 以下
乾式	VVER-1000	6,900	経済性・安全性の観点から、上記施設から移行予定
乾式	RBMK-1000	9,200	使用済燃料乾式貯蔵施設 (INF DSF2) の第一段階 2011 年末操業開始
乾式	VVER-1000 / RBMK-1000	16,000	使用済燃料乾式貯蔵施設 (INF DSF2) の第二段階 —

現在の湿式貯蔵施設は 2026 年に廃止される予定である。また、乾式貯蔵の貯蔵容量を 37,000 トン（26,510 トン RBMK、11,275 トン VVER）以上に増やす計画がある。⁶³

TENEX 社へのヒアリングによると、乾式貯蔵に関する具体的な規制要件は、法規のレベルではなく、その下のレベル（関係省庁の通達）で規制されている。使用済燃料の貯蔵に関しては、原子力利用法、放射性廃棄物管理法、環境保護法で規制されている。

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

（概要）

- これまで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。

原子力発電所で発生した使用済燃料は最低 3 年間、除熱と線量低減のため発電所サイトのプールで保管される。高燃焼度の燃料ほど、移送ができる状態になるまで時間を要する。現在、RBMK と VVER-1000 の原子力発電所の使用済燃料は保管が原則であり、セレノゴルスクの鉍業化学コンビナート（MCC）での大規模な再処理が開始（2022 年予定）されるまでに、貯蔵中の使用済燃料は約 40,000 トンに達すると予想されている。

2016 年 8 月に発表された 2020 年までの使用済燃料の管理に関する新プログラムでは、使用済燃料の再処理はマヤクの MT-1、保管は鉍業化学コンビナート（MCC）に委託されている。²⁵⁴

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

貯蔵容器材料について、乾式貯蔵の情報は得られなかった。参考として原子力発電所の湿式貯蔵施設及び再処理施設に関する情報を記載する。

原子力発電所の湿式貯蔵施設及び再処理施設は、規制要件を満たすため、以下の基本設計、技術が用いられている。²⁵⁵

- 安全な放射線遮蔽のため、燃料集合体は十分な水中に配置される
- プールの冷却・浄化、基準水位の保持、補充と排出、換気、放射量操作のための装置がプールに備え付けられている
- プールの内面はステンレス鋼で裏打ちされている
- プール水が近隣の部屋や環境に放出されるのを防ぐため、プール下部からのリークは制御され保持される
- 破損した燃料棒を含む燃料集合体は堅牢なキャニスタに保管される
- 貯蔵棟の内外で放射線量の測定が行われている

なお、マヤク生産合同の再処理工場 RT-1 から排出されるガラス化された廃液は、容量 200 リットルのキャニスタ（直径 575mm、高さ 990mm）に詰められる。

1.3.2.3 参考文献

- ²⁴⁸ The Fifth National Report of The Russian Federation、Table B1.2. SNF Inventory from Different Reactor Units, as of 01.01.17、p.128、
<https://www.rosatom.ru/upload/iblock/53d/53dc4676fb14b71f3e32ac651e64e3ff.pdf>
- ²⁴⁹ 原子力環境整備促進・資金管理センター、ロシアにおける高レベル放射性廃棄物処分、2018年5月
- ²⁵⁰ 放射性廃棄物ハンドブック（2019年度版）、p. II-2-55
- ²⁵¹ The Fifth National Report of The Russian Federation、Table B1.2. SNF Inventory from Different Reactor Units, as of 01.01.17、p.20、
<https://www.rosatom.ru/upload/iblock/53d/53dc4676fb14b71f3e32ac651e64e3ff.pdf>
- ²⁵² 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、ロシアの原子力開発、
https://www.jst.go.jp/crds/report/report10/RU20170426_2.html#sec3（2020年9月25日閲覧）
- ²⁵³ IAEA、IAEA Nuclear Energy Series (No.NF-T-3.8) Impact of High Burnup Uranium Oxide and Mixed Uranium-Plutonium Oxide water Reactor Fuel on Spent Fuel Management、2011
- ²⁵⁴ WNA、Information Library、Country Profiles、Russia's Nuclear Fuel Cycle (Updated September 2020)、<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia--Nuclear-Fuel-Cycle/>（2020年10月7日閲覧）
- ²⁵⁵ IAEA、Impact of High Burnup Uranium Oxide and Mixed Uranium-Plutonium Oxide Water Reactor Fuel on Spent Fuel Management、2011年6月、
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1490_web.pdf

1.3.3 フランス

1.3.3.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

（概要）

- 使用済燃料は 1970～1980 年代に乾式貯蔵技術が十分に開発されていなかったことから、原子力発電所の使用済燃料プールとラ・アーク再処理プラントの貯蔵プールに貯蔵されており、いずれも原子力基本施設に対する規制要件の対象となる。

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。規制に関しては、原子力発電所における貯蔵期間中は、原子力発電所におけ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おけ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という位置づけであり、適用される法令・規則等の基本的な規制要件は同一である。

フランス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 年代にかけては、乾式貯蔵技術の開発が十分に進んでいなかったことためである²⁵⁶。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

（概要）

- 使用済燃料貯蔵の安全性向上に関しては、10 年ごとの定期安全レビューにおける規制要件との整合性確認や安全性向上の取組、福島第一原子力発電所事故後に実施されたストレステスト後に講じられた安全強化の取組がある。

安全性向上に関しては、原子力発電所、再処理プラントともに、10 年ごとの定期安全レビューの対象となっており、その枠組みで規制要件への適合状況が確認されるとともに、国内外の知見や経験のフィードバックを踏まえた安全性向上策が実施される。

定期安全レビュー以外では、2011 年の福島第一原子力発電所事故後に実施されたストレステストの結果を踏まえた安全強化策が実施されており、発電所における使用済燃料プールに影響を及ぼすようなシビアアクシデントの防止策や、シビアアクシデントが起こってしまった場合の影響を最小限に留めるための対策を講じることが規制機関である原子力安全機関（ASN）により EDF に義務付けられている。具体的には、シビアアクシデントの防止や、発生時の影響緩和（使用済燃料プールの冷却水の喪失回避）のために重要な役割を果たす構造物・系統・コンポーネント（SSC）を特定し、これらの SSC の外部事象に対する構造的耐性を ASN に証明すること等が求められている²⁵⁷。

燃料サイクル施設に関しても発電所と同様にストレステストの対象となっており、ASN

はラ・アーク再処理プラントに関しても、使用済燃料プールの冷却水の喪失を回避するための対策を Orano 社に義務付けている²⁵⁸。

3) 経済性向上のための取り組み

フランスではラ・アーク再処理プラントにおける使用済燃料の湿式貯蔵が実施されている。経済性向上のための取組は講じられてきたと考えられるが、具体的な取組は確認できていない。後述するとおり、2030 年頃にはラ・アークにおける貯蔵容量がひっ迫する見通しとなっているのが現状である。

4) 処分場の方針

フランスでは使用済燃料の再処理後に発生した高レベル廃棄物と再処理によって発生する TRU 廃棄物等の長寿命中レベル放射性廃棄物を地層処分する方針であり、現在 ANDRA が、東部ビュール近傍に地層処分場の設置を計画中である。処分場は地表から約 500m の深さに存在するカロボ・オックスフォーディアン粘土層に設置される計画である²⁵⁹。

1.3.3.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

EDF の発電所に装荷されている天然ウラン燃料についてはウラン 235 の濃縮比率 3.7% であり、燃焼度は、50 GWd/t である。MOX 燃料については、プルトニウム比率が 8.65% で燃焼度は 50 GWd/t である²¹²。

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

（概要）

- フランスにおける 2018 年末時点での使用済ウラン燃料及び使用済回収ウラン燃料の量は 12,000tHM、高速炉使用済 MOX 燃料含む使用済 MOX 燃料は 2,140tHM であり、大半がラ・アーク再処理プラントに貯蔵中。

放射性廃棄物管理機関（ANDRA）が 2020 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では、2018 年末時点における使用済燃料の量が以下のように示されている²⁶⁰。

使用済ウラン燃料及び使用済回収ウラン燃料：12,000 tHM

使用済 MOX 燃料（高速炉使用済 MOX 燃料含）：2,140 tHM

過去の放射性物質及び放射性廃棄物インベントリに基づく使用済燃料の量を以下の表 1-44 に示す。

表 1-44 フランス国内の使用済燃料の量の推移

(単位：tHM)

	2007	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018
使用済のウラン燃料及び回収ウラン燃料	11,755	12,324	12,000	12,270	12,082	12,000	12,100	12,000
使用済 MOX 燃料	1,132	1,287	1,700	1,763	1,873	1,960	2,030	2,140

出所) ANDRA、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基づき作成

これらの使用済燃料は、各原子力発電所サイトまたはラ・アーク再処理プラントにおいて貯蔵されているが、貯蔵状況に関する詳細は確認できない。

ただし、Orano 社は、2018 年末時点で、ラ・アーク再処理プラントにおいて、再処理前の使用済燃料が 10,053 トン存在しており、このうち 99.6%がフランス由来のものであるとのデータを示しているため²⁶¹、上記の使用済燃料のうち、約 10,000 トンはラ・アークに存在していると考えられる。

大半の使用済燃料が貯蔵されていると考えられるラ・アーク再処理プラントの貯蔵容量において、実際の貯蔵量がどの程度であるのか、具体的なデータは確認できないが、前述の減原子力政策との関連で、貯蔵容量ひっ迫の問題が指摘されている。例えば原子力安全機関 (ASN) が 2018 年 11 月に公表した見解書では、プルサーマルを実施している 90 万 kW 級原子炉が閉鎖され、プルサーマル実施炉が減少した場合、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し、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ている²⁶²。

安全規制に関しては、各原子力発電所やラ・アーク再処理プラントともに原子力基本施設として、以下の原子力安全規制に関する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 ASN の検査等が実施され、必要に応じて、個別の施設に関する ASN の決定（法的拘束力を有する）が策定される。

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

フランスにおける使用済燃料貯蔵は湿式方式が採用されている。

Orano 社によれば、貯蔵容量ひっ迫に伴い EDF は新たな湿式貯蔵施設の建設を計画しており、乾式貯蔵は検討されていない。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

使用済燃料は原子力発電所においては、炉心から取り出された燃料集合体の形で、使用済燃料プールで貯蔵される。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るが、貯蔵用の容器は用いられていない²⁶³。

1.3.3.3 参考文献

²⁵⁶ 仏議会、RAPPORT FAIT AU NOM DE LA COMMISSION D'ENQUÊTE sur la sûreté et la sécurité des installations nucléaires、2018 年 6 月 28 日、http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cenucl/l15b1122-ti_rapport-enquete

²⁵⁷ ASN、Décisions 2014 de l'ASN : Prescriptions complémentaires、<https://www.asn.fr/Controler/Evaluations-complementaires-de-surete/Decisions-de-l-ASN/Decisions-2014-de-l-ASN> (2020 年 10 月 2 日閲覧)

²⁵⁸ ASN、「Décision n° 2015-DC-0483 de l'ASN du 8 janvier 2015」2015 年 1 月 25 日、<https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Decisions-individuelles/Decision-n-2015-DC-0483-de-l-ASN-du-8-janvier-2015>

²⁵⁹ 原子力環境整備促進・資金管理センター、フランスにおける高レベル放射性廃棄物処分、<https://www2.rwmc.or.jp/hlw:fr:chap2> (2020 年 10 月 2 日閲覧)

²⁶⁰ ANDRA、Les documents、<https://inventaire.andra.fr/liste-des-documents> (2020 年 10 月 1 日閲覧)

²⁶¹ Orano 社、Traitement des combustibles usés provenant de l'étranger dans les installations d'Orano la Hague、2019 年 6 月
https://www.orano.group/docs/default-source/orano-doc/groupe/publications-reference/traitement-des-combustibles-uses-provenant-de-l-etranger-la-hague-2018.pdf?sfvrsn=6e75d797_4

²⁶² ASN、2018 年 10 月 18 日付見解、
<https://www.asn.fr/content/download/160933/1628978/version/3/file/Avis%202018-AV-0316%20de%20l%E2%80%99ASN%20du%2018%20octobre%202018.pdf>

²⁶³ IRSN、Entreposage du combustible nucléaire usé : concepts et enjeux de sûreté、2018 年 6 月、http://logi103.xiti.com/go.click?xts=410711&s2=3&p=Entreposage-combustible-Rapport-2018-00003&clic=T&type=click&url=http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Rapport-2018-00003_Entreposage-du-combustible-nucleaire-use.pdf

1.3.4 イギリス

1.3.4.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

1.2.4.3 でまとめたとおり、英国では使用済燃料の種類によって貯蔵方法は異なっている。英国においては、原子力安全規制の許認可（NSL）は、1965 年原子力施設法（NIA65）に基づき、原子力サイトに対して一括で付与され、当該サイトにおける建設、運転、廃止措置、廃棄物管理等の様々な活動を規制するためのサイト許可条件（LC）が ONR によって策定され、これに基づく規制が行われる。ONR による検査等活動は、安全評価原則（SAP）や、これを補完する技術指針等に基づき実施されている。貯蔵施設に関しても、当該施設が立地する原子力サイトに発給された NSL に関する LC に基づき、ONR が規制活動を行っている。NSL に基づく規制活動は 1965 年の原子力法により導入されたものであり、基本的な枠組みは現在に至るまで大きく変わっていないと言える。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

使用済燃料の貯蔵施設は、規制機関である ONR の規制対象であり、福島第一原子力発電所事故発生後にはストレステストが実施され、外部事象に対する耐性等が確認されている²⁶⁴。

3) 経済性向上のための取り組み

英国では湿式、乾式両方の使用済燃料貯蔵が実施されている。経済性向上のための取組は講じられてきたと考えられるが、具体的な取組は確認できていない。また前述のとおり、国内唯一の PWR であるサイズウェル B 原子力発電所の使用済燃料の貯蔵プールは容量がひっ迫し、追加的な乾式貯蔵施設が建設されている。

4) 処分場の方針

ガラス固化体等の高レベル放射性廃棄物を地層処分する方針であり、処分場の選定プロセスが 2018 年末に開始している。現在は放射性物質である使用済燃料が放射性廃棄物と位置づけられれば、地層処分場に処分されることとなる。

1.3.4.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

英国の原子力発電所に装荷されている燃料のウラン 235 の濃縮比率と燃焼度は以下のとおりである²⁶⁵。

燃料の種類	ウラン 235 の濃縮比率	燃焼度
すでに発生している使用済 AGR 燃料	2.9%	28GWd/t
今後発生する使用済 AGR 燃料	3.2%または 3.78%	33GWd/t
すでに発生している使用済 PWR 燃料	4.2%	45GWd/t
今後発生する使用済 PWR 燃料	4.4%	55GWd/t

出所) RWM 社、「Review of Burn-up Credit Applications in Criticality Safety Assessments for Spent Fuel Management and Disposal」2018 年 1 月に基づき作成

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

（概要）

- 英国における商用原子力発電から発生した使用済燃料は、すでに運転を終了しているマグノックス炉、運転中の AGR 及び PWR から発生する使用済燃料の 3 種類であり、主に NDA のセラフィールドサイトにある貯蔵施設と運転中の原子力発電所サイトの貯蔵施設において貯蔵。

英国における商用原子力発電から発生した使用済燃料は、すでに運転を終了しているマグノックス炉と、運転中の AGR 及び PWR から発生する使用済燃料の 3 種類である。これらの使用済燃料は、主に NDA のセラフィールドサイトにある貯蔵施設と運転中の原子力発電所サイトの貯蔵施設において貯蔵されている。放射性廃棄物管理会社（RWM）社が定期的に発行している廃棄物及び放射性物質のインベントリ報告書によれば、英国内における使用済燃料の貯蔵量は以下の表 1-45 のとおりである。

表 1-45 英国内の商用原子力発電所から発生した使用済燃料

単位：tHM

場所	使用済燃料の種類	2019 年 4 月 1 日時点の貯蔵量 (炉内)	2019 年 4 月 1 日時点の貯蔵量 (貯蔵施設内)	将来の発生予想量
セラフィールドサイト	マグノックス使用済燃料		約 625	
	AGR 使用済燃料		約 2,050	
マグノックス発電所サイト	マグノックス使用済燃料	約 149	約 73	
AGR 発電所サイト	AGR 使用済燃料	約 1,500	約 150	約 1,800
PWR 発電所サイト	PWR 使用済燃料	約 90	約 530	約 430
合 計		約 1,740	約 3,430	約 2,230

出所) RWM 社、2019 UK Radioactive Material Inventory に基づき作成

これらの使用済燃料が貯蔵されているサイトについては、1.2.4.1 において報告している

が、上記の使用済燃料によって貯蔵容量のどの程度が占められているのかについては確認できない。なお、PWR 使用済燃料については、国内唯一の PWR であるサイズウェル B 原子力発電所の使用済燃料プールに貯蔵されているが、このプールに関しては、容量のひっ迫が課題となっており、運転者である EDF エナジー社が同発電所サイトに新たな乾式貯蔵施設を設置している²⁶⁶。

前述のとおり、原子力サイトに対して付与された NSL に関する LC に基づき規制活動が行われる。

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

1.2.4.3 で前述したとおり、英国では使用済燃料の種類に応じて、湿式・乾式それぞれの様式が採用されている。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

英国において乾式貯蔵が実施されているサイズウェル B 原子力発電所では、米ホルテック社の二重構造のコンクリート製キャスク HI- STORM MIC が採用されている²⁶⁷。

1.3.4.3 参考文献

²⁶⁴ ONR、2011 年 12 月、<http://www.onr.org.uk/fukushima/stress-tests-301211.pdf>

²⁶⁵ RWM 社、Review of Burn-up Credit Applications in Criticality Safety Assessments for Spent Fuel Management and Disposal、2018 年 1 月、<https://rwm.nda.gov.uk/publication/review-of-burn-up-credit-applications-in-criticality-safety-assessments-for-spent-fuel-management-and-disposal/?download>

²⁶⁶ EDF エナジープレスリリース、2017 年 6 月 15 日
<https://www.edfenergy.com/media-centre/news-releases?page=37>

²⁶⁷ ホルテック社プレスリリース、2019 年 12 月 19 日、
<https://holtecinternational.com/2019/12/19/edf-energy-and-holtec-international-sign-long-term-agreement-for-supply-of-casks-and-loading-campaigns-for-sizewell-b/>

1.3.5 ドイツ

1.3.5.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

- 使用済燃料の中間貯蔵方式及びその変化について
 - 湿式/乾式：一貫して乾式貯蔵（方式の変化無し）
（採用根拠）
 - ✧ 70年代は全量再処理を前提としており、プラント内貯蔵プールは再処理までの冷却を意図した設計で使用済燃料を長期保管する容量の余裕がなかった
 - ✧ 使用済燃料の長期保管の必要性が出てきた70年代から、ドイツ事業者自ら輸送貯蔵兼用キャスクを開発
 - 集中/分散：サイト外集中貯蔵からサイト内分散貯蔵に変更
（採用根拠）
 - ✧ 1970年代、プラント内貯蔵プールに長期保管容量がなく、サイト外での集中乾式貯蔵を選択
 - ✧ 脱原子力政策開始時、再処理を禁止し全量直接処分に。反対活動の対象となる放射性物質輸送の頻度を減らす目的から、集中中間貯蔵をやめ、各原子力発電所サイト内に乾式貯蔵施設を設置して処分場操業まで分散中間貯蔵する方針に。2002年発効原子力法で法制化。
- 規制制度の変化
従来、原子力法に基づく貯蔵許可は連邦放射線防護庁（BfS）が発給していたが、2016年の組織再編により、原子力・バックエンド安全を所管する組織として連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE ※当初の略称は BfE）が設置され、貯蔵許可権限は BASE に移管された。（BfS はもっぱら「放射線防護」を担当する組織に変更）。なお、許可発給後の貯蔵施設の安全監督は引きつづき、州当局が担う。

<貯蔵方式>

ドイツでは使用済燃料をもっぱら金属キャスクにより乾式貯蔵している。乾式貯蔵の方針は1970年代から一貫して変更はないが、貯蔵施設の設置場所については、原子力施設サイト外での集中貯蔵から、脱原子力政策の開始を機に、各原子力サイトでの分散貯蔵へと変更がなされた。

先述のとおりドイツでは従来、商用炉由来の使用済燃料の全量再処理を原則として義務付けており、直接処分が認められるのは、再処理に適さない高温ガス炉等の研究段階の炉の燃料等、一部に限られた。ドイツでは1960年代から国内再処理計画を進めてきた。しかし1970年代後半には計画の停滞・遅延（その後計画中止）が顕著となってきたことを受け、国内再処理実現まで使用済燃料を長期保管する必要性が生じる懸念が出てきたことから、ドイツの原子力事業者らはプラント内の貯蔵プールの保管容量を圧迫する可能性を考慮し、サイト外での集中貯蔵を検討し始めた。貯蔵オプション検討では「輸送用キャスクにより安

全に貯蔵することが可能」との結論に至り、金属製の輸送貯蔵兼用キャスク及び乾式貯蔵概念の開発が進められた。事業者が共同出資する原子力サービス（GNS）社は1978年に輸送貯蔵兼用キャスク CASTOR シリーズの最初のモデルを開発している²⁶⁸。なお、CASTOR には再処理後の高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）用モデルもあり、ドイツでは使用済燃料とガラス固化体をそれぞれ特性に応じたモデルの CASTOR キャスクに封入して乾式貯蔵している。

政府側でも国内再処理の動向を受けて方針検討を行い、1979年には連邦政府と州政府が、商用規模の国内再処理実現に1990年代終わり頃まで要するとの見通しに基づき、それまでの間、使用済燃料を保管しておく管理方針を決定した²⁶⁹。当時から国外再処理は行われていたが、国内再処理を優先する観点から、当面使用済燃料を国内保管することになった。

このように商用炉の使用済燃料の乾式貯蔵については、当初国内再処理までの暫定的な貯蔵として構想された経緯がある。

以後、集中中間貯蔵施設としてアハウス、ゴアレーベン^aの2つの施設の建設が進められ、1992年、1995年にそれぞれ当時の許認可当局であった連邦放射線防護庁（BfS）貯蔵許可を取得した。

しかしその間、ドイツは1991年までに国内再処理を断念、1994年の原子力法改正で使用済燃料の直接処分も、（国外）再処理と同等のバックエンドオプションとして選択可能となった。すなわち、国内再処理実現に向けた長期保管が不要となる一方で、アハウスやゴアレーベンの集中貯蔵施設において、直接処分を想定した使用済燃料の中間貯蔵が可能となった。

ところが、1998年にはドイツで脱原子力政策が開始され、再処理を禁止し全量直接処分とするとともに、放射性物質輸送の頻度を低減する目的^aから、商用炉使用済燃料の集中貯蔵を停止し、各発電所サイト内に新たに乾式貯蔵施設を設置して分散中間貯蔵する方針を決定し、2002年発効の原子力法改正で法制化された。²⁷⁰

こうした経緯から、集中中間貯蔵施設での直接処分までの中間貯蔵を目的とした商用炉使用済燃料の受入期間はごく短く、使用済燃料の大部分は発電所サイト内で中間貯蔵されている。

アハウスに貯蔵されているキャスクの大部分は、廃炉となった高温ガス炉や旧東独の研究炉燃料であり、商用発電炉由来の使用済燃料キャスクは、保管されている全329体のうち6体である²⁷¹。ゴアレーベンについても、保管されている113体のキャスクの大部分はガラス固化体であり、商用発電炉由来の使用済燃料キャスクは5体である²⁷²。

<規制制度の変化>

連邦制をとるドイツでは、原子力法に基づく原子力施設の許認可・安全監督権限は原則として立地州にあるが、使用済燃料やガラス固化体などの放射性廃棄物の輸送や中間貯蔵については、放射性物質が州境をまたぐ活動であることなどから、以前より連邦官庁が許認可権限を有し、立地州当局が規制監督を実施してきた。

^a CASTOR キャスクの鉄道・車両による陸上輸送は、当時反対派などの抗議活動の対象となることが多く、こうした活動を回避するねらいもあった。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

中間貯蔵における貯蔵許可は従来、BMU 傘下の連邦放射線防護庁（BfS）が発給していたが、2016 年の組織再編により、原子力・バックエンド安全を所管する組織として連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE ※当初の略称は BfE）が設置され、貯蔵許可権限は BASE に移管された。BfS は現在、「放射線防護」専任の官庁として活動している。なお、許認可発給後の貯蔵施設の安全監督を州当局が担う体制に変更は無い¹¹⁴。

規制面での安全性向上に関して、原子力法では従来原子力発電所を対象に 10 年に 1 度の定期安全レビュー（PSR）を義務付けていたが、2010 年の原子力法改正により、中間貯蔵施設を含むその他の原子力施設についても PSR の実施が義務付けられた¹¹⁹。2014 年にはバックエンドに関する連邦環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）の諮問委員会である放射性廃棄物管理委員会（ESK）が、「中間貯蔵の経年劣化管理及び定期安全レビュー指針」を策定し、連邦と州の原子力安全規制当局による合同会議が同指針を採択している²⁷³。

また、2011 年の福島第一原子力発電所事故後には、原子力発電所を対象に欧州大でのストレステストが実施されたが、BMU は加えて放射性廃棄物中間貯蔵施設や処分場（建設中の処分場や旧処分場）、ウレンコのグローナウ濃縮工場等を含む燃料サイクル施設についてもロバスト性を検証するストレステストを実施する方針を示し、ESK に諮問し ESK のもとでストレステストを実施した。このストレステストでは大規模地震、航空機墜落、洪水、気象災害、爆発、停電、火災等に起因する設計基準を超える事故からの防護について評価が行われた。結果として、ユーリッヒ研究所内にある高温ガス炉実験炉 AVR〔閉鎖済み〕の使用済燃料貯蔵施設について、航空機墜落への防護が現在の科学技術水準を満たしていないとの判断がなされた²⁷⁴ ²⁷⁵。これをうけ、ユーリッヒの AVR 燃料貯蔵施設では、保管済みの AVR 使用済燃料容器 152 体を搬出することとなり、「米国への返還」「アハウス中間貯蔵施設への輸送」「ユーリッヒにおける中間貯蔵施設の新規建設」の 3 オプションが検討されているが、2020 年現在方針は未定であり、これらの貯蔵物は暫定的に州当局命令により、現在の貯蔵施設で継続保管されている²⁷⁶ ²⁷⁷。

3) 経済性向上のための取り組み

ドイツでは 2002 年の原子力法改正に際し、国内における放射性物質輸送回数低減を目的として、原子力発電所サイト内に使用済燃料の中間貯蔵施設を設置することが義務付けられた¹¹⁹。このため、原子力発電所で発生する使用済燃料はサイト内中間貯蔵施設で乾式貯蔵されてきた。2005 年に閉鎖された EnBW 社のオブリッヒハイム原子力発電所（ネッカー河岸）についても他の発電所同様、サイト内乾式貯蔵施設の建設許可申請を提出していたが、同じくネッカー河岸の 40km 離れた位置にある、ネッカー原子力発電所（EnBW 社所有）内の中間貯蔵施設で保管する方針に変更した。連邦放射性廃棄物処分安全庁は 2016 年にオブリッヒハイムの使用済燃料をネッカーの中間貯蔵施設に保管する許可を発給し、オブリッヒハイムの燃料プールに貯蔵されていた使用済燃料は、輸送貯蔵兼用キャスク 15 体に封入され、2017 年にネッカー川の水輸送を経てネッカー原子力発電所の中間貯蔵施設に搬入された。EnBW 社は 2018 年に、オブリッヒハイムにおける中間貯蔵施設建設許可の申請を取り下げている²⁷⁸。ネッカー原子力発電所には 2 基の原子炉があるが、1 号機が 2011 年に閉鎖済みであるのに対し、2 号機の原子力法上の運転期限は 2022 年（ドイツの脱原子力最

終期限) である。

このように、使用済燃料については発生元の発電所サイト内での貯蔵が原則であるが、同じ事業者が所有し運転を継続する原子炉がある近隣プラントに集約貯蔵するケースもある。オブリッヒハイムにおける中間貯蔵施設の建設コスト節減に加え、廃止措置が進むプラントでは、敷地内に使用済燃料貯蔵施設が所在することにより、最終処分場が操業開始するまでサイト全体を原子力法の規制から解放することができない問題を回避できるメリットもあると考えられる。

4) 処分場の方針

ドイツでは全種類の放射性廃棄物を地層処分する方針である。中低レベル放射性廃棄物については、旧鉄鉱山のコンラートが処分場に決定し、2027 年の操業開始に向けて実施主体である国営企業、連邦廃棄物管理機関（BGE）が処分場建設を進めている。

高レベル放射性廃棄物については従来、ゴアレーベン岩塩坑を候補地として探査が進められていたが 2013 年に計画が白紙化され、2017 年にあらたに、公衆参加を交えつつ複数候補から段階的に絞り込む選定プロセスが開始された。2020 年 11 月現在、プロセスは第 1 段階にあり、文献調査を通じて地球科学的な評価の結果、BGE が最初の絞り込み提示として、2020 年 9 月 28 日に、最終処分に公的な可能性が高いと判断される 90 のサイト区域を連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）に提案したところである。処分母岩は岩塩層、粘土層、結晶質岩層の 3 種類が想定されており、最初の絞り込みの段階では、ドイツ国土の 54% に相当する区域が対象に含まれている²⁷⁹。

1.3.5.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

2013 年にサイト選定が白紙化される以前の 2011 年に、ゴアレーベンを候補地として実施された予備的安全評価に向けた作業報告のひとつとして、連邦の原子力安全における技術支援機関（TSO）である設備・原子炉安全協会（GRS）等がとりまとめた報告書「脱原子力を前提とした廃棄物特性及び発生量 ゴアレーベン予備的安全評価に向けた作業パッケージ 3 報告書」には、最終処分を想定する使用済燃料に関して、以下の仕様が想定されている²⁸⁰。

表 1-46 ドイツにおける核燃料（処分にに向けたモデル）

燃料種別	炉型	元素／核種 (含有率または濃縮率)	燃焼度(GWd/t)
UO ₂	PWR	U-235(濃縮率 4.4%)	55
MOX	PWR	Pu(含有率 8.6%) 天然ウラン(含有率 91.4%)	55
UO ₂	BWR	U-235(濃縮率 3.5%)	50
MOX	BWR	Pu(含有率 6.3%) 天然ウラン(含有率 93.6%)	50
UO ₂	VVER(グライフス バルト)	U-235(濃縮率 4.4%)	30
UO ₂	VVER(ラインスベ	U-235(濃縮率 2.0%)	20

	ルク)	
--	-----	--

出所) GRS, "Abfallspezifikation und Mengengerüst Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung (Juli 2011)
Bericht zum Arbeitspaket 3 Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben"

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

使用済燃料（使用済ウラン燃料〔回収ウラン燃料含む〕、使用済 MOX 燃料）及び再処理に伴って発生するガラス固化体（高レベル放射性廃棄物）の貯蔵施設として、ドイツにはノルト、ゴアレーベン、アハウスの 3 カ所に集中中間貯蔵施設があるが、2002 年の原子力法改正に伴い、放射性物質の輸送を低減する目的で、使用済燃料等を原子力発電所サイト内の中間貯蔵施設で貯蔵することとなった。このためドイツでは使用済燃料の大部分が、各発電所サイト内の中間貯蔵施設で管理されている。2018 年末時点における使用済燃料等の貯蔵状況を表 1-47 に示す²⁸¹。

表 1-47 ドイツにおける使用済燃料等貯蔵状況（2018 年末）

施設名	許可された貯蔵量	貯蔵量
集中中間貯蔵施設		
ノルト集中中間貯蔵施設 〔乾式貯蔵〕	585.4 tHM キャスク 80 体	キャスク 74 体 (うち 5 体はガラス固化体)
ゴアレーベン集中中間貯蔵 施設〔乾式貯蔵〕	3800 tHM キャスク 420 体	キャスク 113 体 (うち 108 体はガラス固化体)
アハウス集中中間貯蔵施設 〔乾式貯蔵〕	3960 tHM キャスク 420 体	キャスク 329 体
分散中間貯蔵施設(原子力施設サイト内)		
ネッカー〔乾式貯蔵〕	1600 tHM キャスク 151 体	キャスク 81 体
フィリップスブルク 〔乾式貯蔵〕	1600 tHM キャスク 152 体	キャスク 62 体
オブリッヒハイム〔湿式貯蔵〕	286 tHM 燃料集合体 980 体	0 (2017 年まで 342 体貯蔵。ネッ カーに移送され乾式貯蔵に移 行)
グラーフラインフェルト 〔乾式貯蔵〕	800 tHM キャスク 88 体	キャスク 30 体
グンドレミンゲン〔乾式貯蔵〕	1850 tHM キャスク 192 体	キャスク 60 体
イザール〔乾式貯蔵〕	1500 tHM キャスク 152 体	キャスク 59 体
ビブリス〔乾式貯蔵〕	1400 tHM キャスク 135 体	キャスク 101 体
グローンデ〔乾式貯蔵〕	1000 tHM キャスク 100 体	キャスク 34 体
リンゲン(エムスラント)〔乾式 貯蔵〕	1250 tHM キャスク 125 体	キャスク 47 体
ウンターバーザー 〔乾式貯蔵〕	800 tHM キャスク 80 体	キャスク 39 体
ユーリッヒ研究所内 AVR(高 温ガス炉)貯蔵施設〔乾式貯 蔵〕	AVR 燃料 30 万體 AVR 用キャスク 158 体	キャスク 152 体
クリュンメル 〔乾式貯蔵〕	775 tHM キャスク 65 体	キャスク 41 体

ブロックドルフ 〔乾式貯蔵〕	1000 tHM キャスク 100 体	キャスク 33 体
ブルンスビュッテル 〔乾式貯蔵〕	450 tHM キャスク 80 体	キャスク 20 体

出所) 連邦放射性廃棄物処分安全庁 (BASE)、「独連邦共和国における原子力利用状況報告書 2018 年」、2019 年に基づき三菱総合研究所作成

使用済燃料及び放射性廃棄物の貯蔵については、法的拘束力を有する原子力法 (AtG)、政令については、放射線防護令 (StrlSchV) 等で安全目標等の原則を定めているほか、原子力法手続令 (AtVfV) がある。さらに技術的なガイドラインとして、使用済燃料及び密閉された金属容器内の発熱性放射性廃棄物の乾式中間貯蔵に適用される廃棄物委員会 (ESK) 勧告「使用済燃料及び発熱性放射性廃棄物の乾式キャスク貯蔵に関する指針」がある¹¹⁴。こうしたガイドラインは直接的な拘束力は持たないが、許認可付帯条件などにおいて当局が明示参照することを通じて許認可保有者を拘束する。なお、上記の ESK 指針に係る主な技術規格としては、ドイツ工業規格 DIN 25712「キャスク封入した軽水炉使用済燃料の燃焼度を考慮した、輸送・貯蔵における臨界安全」が挙げられる。

ドイツでは各立地州の当局が原子力安全の規制当局として活動し、原子力発電所に対する許認可も通常州当局から発給されるが、使用済燃料貯蔵施設については連邦環境・自然保護・原子炉安全省 (BMU) 傘下の連邦官庁である連邦放射性廃棄物処分安全庁 (BASE) が操業許可、保管許可等の許認可発給を担う。施設の安全監督については立地州の原子力規制当局が担当する¹¹⁹。

3) 貯蔵方式 (乾式、湿式等)

ドイツでは使用済燃料を燃料プールで冷却後、原子力発電所内の中間貯蔵施設において乾式貯蔵している。

4) 貯蔵容器材料 (金属、コンクリート等)

使用済燃料の貯蔵に使用されているキャスクは、ドイツの原子力発電事業者が共同出資する原子力サービス社 (GNS) が製造する輸送貯蔵兼用金属キャスク、CASTOR シリーズであり、PWR 燃料用として CASTOR ® V / 19、BWR 用として CASTOR ® V / 52 タイプが使用されている。いずれも材質はダクタイル鋳鉄である^{114 282}。

1.3.5.3 参考文献

- ²⁶⁸ GNS 社ウェブサイト、Historie、<https://www.gns.de/language=de/13178/historie>
- ²⁶⁹ 連邦議会文書 Drs 10/327、1983 年 8 月 30 日、
<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/10/003/1000327.pdf>
- ²⁷⁰ IAEA TECDOC-1100、Survey of wet and dry spent fuel storage、1999
https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1100_prn.pdf
- ²⁷¹ GNS パンフレット、アハウス中間貯蔵施設、
https://www.atommuellreport.de/fileadmin/Dateien/pdf/Datenblaetter/Ahaus/Standortbroschuere_Ahaus.pdf
- ²⁷² GNS 社ウェブサイト、ゴアレーベン、
<https://www.gns.de/language=de/31810/gorleben>
- ²⁷³ 放射性廃棄物管理委員会（ESK）、中間貯蔵の経年劣化管理及び定期安全レビュー指針、2014 年、
https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_10092014_RSIII3130426.htm
- ²⁷⁴ ESK、ドイツ国内核燃料サイクル施設に対する ESK ストレステスト第 1 部、2013 年 3 月 14 日、
<http://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/downloads/snstresstestteil114032013.pdf>
- ²⁷⁵ ESK、ドイツ国内核燃料サイクル施設に対する ESK ストレステスト第 2 部、2013 年 10 月 18 日、
<http://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/reports/snstresstestteil2rev18102013.pdf>
- ²⁷⁶ BASE ウェブサイト、AVR-Behälterlager bei Jülich、
<https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/standorte/kkj.html>（2020 年 11 月 2 日閲覧）
- ²⁷⁷ ユーリッヒ原子力施設廃止措置会社（JEN）ウェブサイト、3 つのオプション、
<https://www.jen-juelich.de/projekte/avr-brennelemente/die-3-optionen/>（2020 年 11 月 2 日閲覧）
- ²⁷⁸ 連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）ウェブサイト、Standort Obrigheim (Baden-Württemberg)、
<https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/standorte/kwo.html>（2020 年 11 月 4 日閲覧）
- ²⁷⁹ BGE、サイト選定法第 13 条に基づくサイト区域中間報告、2020 年 9 月 28 日
https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Standortsuche/Wesentliche_Unterlagen/Zwischenbericht_Teilgebiete/Zwischenbericht_Teilgebiete_barrierefrei.pdf
- ²⁸⁰ GRS、Abfallspezifikation und Mengengerüst Basis Ausstieg aus der Kernenergienutzung (Juli 2011) Bericht zum Arbeitspaket 3 Vorläufige Sicherheitsanalyse für den Standort Gorleben、
https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-278_neu.pdf
- ²⁸¹ 連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）、独連邦共和国における原子力利用状況報告書 2018 年、2019 年、
https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2019081919007/3/BfE-KE-04_19_Statusbericht_zur_Kernenergienutzung_2018_Rev.pdf
- ²⁸² GNS 社ウェブサイト、Safety has a name: CASTOR®、
<https://www.gns.de/language=en/24429/castor>（2020 年 11 月 2 日閲覧、）

1.3.6 ベルギー

1.3.6.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

ベルギーでは政府が 1993 年に再処理を凍結する決定を下したことを受けて、使用済燃料を貯蔵する施設が必要となったことから、ドールとチアンジュの両原子力発電所において中間貯蔵施設が建設されることとなった。核燃料サイクル全般の活動を行っている Synatom 社はドール原子力発電所においては乾式貯蔵方式を採用し、1995 年に乾式中間貯蔵施設を建設した。一方でチアンジュ原子力発電所においては湿式貯蔵方式を採用し、1997 年には湿式貯蔵施設を建設した²⁸³。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

使用済燃料プールや集中中間貯蔵施設に対しては、規制機関である FANC/AFCN が規制活動を行っている。また、福島第一原子力発電所事故発生後にはストレステストが実施され、外部事象に対する耐性等が確認されている²⁸⁴。

3) 経済性向上のための取り組み

ベルギーでは湿式、乾式両方の使用済燃料貯蔵が実施されている。経済性向上のための取組は講じられてきたと考えられるが、具体的な取組は確認できておらず、後述する通り、追加的な貯蔵施設の建設が計画されている状況である。

4) 処分場の方針

前述のとおり、ガラス固化体を含む高レベル放射性廃棄物及び長寿命低・中レベル放射性廃棄物について、放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関（ONDRAF/NIRAS）は 2020 年 4 月、これらの廃棄物の長期管理方法として地層処分を採用する方針を示した国家政策方針案を規定する王令を公表し、パブリックコンサルテーションを実施している。現在は放射性物質である使用済燃料が放射性廃棄物とは位置づけられれば、地層処分場に合わせて処分されることとなる。

1.3.6.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

ベルギーの原子力発電所に装荷されている天然ウラン燃料については、ウラン 235 の濃縮比率は 4～5%程度であり、燃焼度は、45 GWd/t である。MOX 燃料については、プルトニウム比率が 7～10%で燃焼度は 45GWd/t である¹⁴⁵。

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

（概要）

- ベルギーの使用済燃料は、国内 2 カ所の原子力発電所サイトに設置された集中中間貯蔵施設に貯蔵中。原子力発電所と同様の規制対象となる。貯蔵容量のひっ迫が懸念されることから、発電事業者であるエレクトラベル社は新たな貯蔵施設の建設を計画中。

ベルギーのドール原子力発電所及びチアンジュ原子力発電所において運転中の 7 基の原子炉の使用済燃料は、全てそれぞれのサイトに設置された集中中間貯蔵施設に貯蔵されている。ドール 3 号機及びチアンジュ 2 号機は、MOX 燃料の装荷実績があるものの、これらの使用済燃料も他の使用済ウラン燃料とともに貯蔵されていると考えられる。

使用済燃料の貯蔵量に関しては、EU 廃棄物指令に基づいてベルギー政府が作成した使用済燃料及び放射性廃棄物の管理に関する国家計画においては、2014 年末時点におけるベルギーの使用済燃料について、3,932tHM の使用済燃料が存在していることが示されており、このうち 66tHM が使用済 MOX 燃料である。これらの使用済燃料のうち 54%はドール及びチアンジュ原子力発電所の集中中間貯蔵施設で貯蔵中であり、30%が各原子炉における使用済燃料プールで冷却中、残り 16%はフランスのラ・アーグ再処理プラントで再処理中とされている²⁸⁵。

ドール及びチアンジュ原子力発電所における集中中間貯蔵施設の管理容量については、2.1.6.1 において報告しているが、上記の使用済燃料の貯蔵量が報告された 2014 年末時点、あるいは 2020 年 9 月時点において、貯蔵量が容量のどの程度を占めているのかについては確認できない。ただし、両発電所の運転者であるエレクトラベル社は、両発電所の集中中間貯蔵施設の容量は 2023 年にはひっ迫するとして、新たな貯蔵施設の建設を計画しており、2020 年 1 月には、チアンジュ原子力発電所に、新たな乾式中間貯蔵施設を建設する許可が政府から発給されている。このことから、現在のドール、チアンジュ原子力発電所における貯蔵容量は飽和状態に近いものと考えられる。

集中中間貯蔵施設はドール及びチアンジュ両発電所に立地しており、これらの施設も含めた原子力発電所に対する規制の対象となり、以下のような原子力安全規制に関する法令に基づく規制が行われる²⁸⁶。

- 電離放射線に起因する危険からの公衆及び環境の防護、並びに連邦原子力管理庁（FANC）の設置に関する 1994 年 4 月 15 日の法律
- 電離放射線に起因する危険からの一般公衆及び環境の防護ならびに連邦原子力管理庁に関する 1994 年 4 月 15 日法律の実施状況を監督することを任務とする連邦原子力管理庁の監督部の構成員の職責及び任命を定める 2001 年 7 月 20 日の王令
- 原子力施設に対する規制要件を課す 2011 年 11 月 30 日の王令

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

上述の集中中間貯蔵施設のうち、ドール原子力発電所の施設では乾式貯蔵、チアンジュ原子力発電所の施設では湿式貯蔵が実施されている¹⁴⁵。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

ドール原子力発電所の乾式貯蔵施設では、金属製の二重蓋構造の貯蔵用キャスクが採用されている¹⁴⁵。

1.3.6.3 参考文献

²⁸³ Synatom 社、L’aval du cycle du combustible nucléaire、<https://synatom.be/fr/nos-activites-techniques/l-aval-du-cycle-du-combustible-nucleaire/>（2020 年 12 月 10 日閲覧）

²⁸⁴ FANC/AFCN、Belgian stress tests National report for nuclear power plants、2011 年 12 月 23 日、http://www.ensreg.eu/sites/default/files/National_report_Master_2011.12.29.pdf

²⁸⁵ ベルギー政府、National Programme for the Management of Spent Fuel and Radioactive Waste、2015 年 10 月
<https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/National-programme-courtesy-translation.pdf>

²⁸⁶ 原子力安全条約第 8 回国別報告書、2019 年 8 月、<https://fanc.fgov.be/nl/system/files/2019-08-29-rapport-be-cns2019.pdf>

1.3.7 オランダ

1.3.7.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

（概要）

- 規制制度の変化：ANVS への原子力規制権限集約について合同条約報告書等から整理
- 貯蔵方式変化、採用根拠：HABOG が乾式貯蔵を選択した理由を分かる範囲で整理
→商用炉燃料は再処理方針であり（使用済燃料は廃棄物ではない）、高レベル廃棄物貯蔵のメインはガラス固化体保管であること（基本的に乾式で貯蔵と理解）、また、技術その他の成熟を待ち、選択をオープンにしておくため 100 年の貯蔵を想定していることなどが、湿式ではなく金属キャスクでの乾式貯蔵を選択する理由の一角と推測

貯蔵方式について、オランダでは全種類の放射性廃棄物を COVRA が一括で管理し集中中間貯蔵する方針である。使用済燃料はガラス固化体と共に高レベル放射性廃棄物として取り扱われ、HABOG と呼ばれる建屋で金属キャスクにより乾式貯蔵される。ただし、同国の原子力事業者は使用済燃料を全量国外再処理しており、現在 HABOG で貯蔵されているのは研究炉由来の使用済燃料やガラス固化体等のみである。¹⁵¹。

集中貯蔵を選択した理由は、国土規模、原子力関連事業の規模が小さいこともあり、一か所での集中管理が効率的であるとの判断からである。

乾式貯蔵を選択する理由としては、HABOG は 2003 年に操業開始した比較的新しい施設であり、ベルギーや独、スイスほか欧州近隣国ですでに乾式貯蔵の実績があること、貯蔵スペースの節減、100 年程度の長期保管への適性といった理由などが考えられる。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

規制については従来、オランダでは経済省、環境省、保健省など複数の官庁に規制・許認可権限が分散していたが、原子力安全・放射線防護庁（ANVS）を新たに設置して原子力法に基づく規制監督業務を集約した。ANVS は 2015 年に環境省所属組織として活動を開始、2016 年には正式に独立表制組織となった²⁸⁹。

欧州では 2011 年の福島第一原子力発電所事故を受けて、原子力発電所を対象とするストレステストが実施されたが、オランダでは運転中のボルセラ原子力発電所に加えて、放射性廃棄物を管理する COVRA の HABOG についても、経済省等の委託を受けて、原子力研究コンサルタント・グループ（NRG）がストレステストを実施した。評価は欧州ストレステストの仕様に沿って行われ、HABOG について全体として安全性に問題は無いとしながらも、更なる改善策として、異常気象への対応強化や緊急時計画の改善、可搬式緊急対応機材の強化、電源喪失への対策強化などが勧告された²⁸⁷。

また、COVRA の HABOG における貯蔵許可の許認可条件では、長期貯蔵を踏まえて、5 年に 1 度操業安全に関するレビューを実施し、10 年に 1 度はさらに包括的なレビューを行

うこととしている¹⁵¹。

3) 経済性向上のための取り組み

商用炉由来の使用済燃料の中間貯蔵は現在行われていないが、上述の通りオランダでは放射性廃棄物の管理が COVRA に集約されており、その他種類の放射性廃棄物管理と合わせて、バックエンド全体の経済性向上に寄与していると考えられる。

4) 処分場の方針

先述のとおり、オランダでは全種類の放射性廃棄物を地層処分する方針であるが、具体的な処分場については未定である。

1.3.7.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

ボルセラ原子力発電所を運転する EPZ 社の資料に拠れば、同発電所で装荷する燃料として以下の内容で許可を得ている²⁸⁸。

- 濃縮天然ウラン（ENU）／濃縮リサイクルウラン（ERU）燃料：最大濃縮度 4.40（±0.05）%
- ウラン 2335 補償リサイクルウラン（c-ERU）燃料：最大濃縮度 4.60（±0.05）%
- MOX 燃料：プルトニウム含有率最大 5.41%、ウラン 235 の最大濃縮度 0.25（±0.05）%
- HTP（High Thermal Performance）タイプ燃料の燃料集合体の平均燃焼度は 68MWd/kg HM を超えないこと

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

放射性廃棄物等安全条約第 6 回オランダ報告書によれば、オランダでは現在運転中のボルセラ原子力発電所から発生する使用済燃料を全量再処理する方針であり、燃料プールでの冷却後、フランスのラ・アーグ再処理工場に輸送される。フランスへの輸送前の原子力発電所の燃料プールにおける保管量（現状）についての記載はなく、不明である。また、ボルセラでは 2014 年にプルサーマルを開始しており、初期段階で装荷された MOX 燃料については使用を終えて炉心から取り出され、2020 年時点では燃料プールで冷却中である。使用済 MOX 燃料の燃料プールでの冷却終了後に関して、オラノ社との契約では使用済 MOX 燃料についても再処理することが含まれており、フランスでの再処理が可能となるまで当面、ボルセラの燃料プールで保管される方針である。

放射性廃棄物の貯蔵施設としては、ボルセラ原子力発電所近傍において放射性廃棄物中央機構（COVRA）が、国内の全種類の放射性廃棄物を集中貯蔵している。使用済燃料を含む高レベル放射性廃棄物は金属キャスクに封入され、HABOG と呼ばれる建屋で乾式貯蔵される。なお上述の通り、商用炉の使用済燃料は全量再処理されているため、HABOG における商用炉使用済燃料の保管量はゼロとされており、2016 年末時点で同建屋に保管されている使用済燃料は、研究炉由来のもの（6.2m³分）のみとなっている。なお、上記の放射性廃

棄物等安全条約報告書からは、国内発生廃棄物を 100 年間貯蔵するとの想定は示されているが現状における貯蔵許可容量は確認できない²⁸⁹。

また COVRA の 2019 年年報によれば、HABOG における 2019 年末時点の貯蔵状況は以下のとおりである²⁹⁰。下表からは、2019 年末時点においても、ウラン燃料、MOX 燃料ともに商用炉の使用済燃料が放射性廃棄物として乾式貯蔵された実績がないことが確認できる。

表 1-48 オランダ HABOG における高レベル放射性廃棄物貯蔵状況（2019 年末）

種別	貯蔵量(m³)
発熱性ガラス固化体	45.4
使用済燃料(研究炉)	9.6
金属廃棄物	54.4
非発熱性ガラス固化体	0.4
合計	109.7

出所) COVRA2019 年年報に基づき三菱総合研究所作成

オランダでは、2014 年に原子力・放射線関連の規制監督機能を 1 カ所に集約する目的で原子力安全・放射線防護庁（ANVS）が設置され、その後同庁は 2017 年に独立組織となった。COVRA が運営する中間貯蔵施設や原子力発電所を含む原子力施設全般は、同庁による規制監督をうけると共に、操業許可・運転認可などの原子力法に基づく各種許認可も ANVS により発給される²⁸⁹。

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

オランダ国内で唯一運転中のボルセラ原子力発電所の使用済燃料については現在全てが再処理されており同発電所の燃料プール(EPZ 社ヒアリングに拠れば燃料集合体 500 体分。当初 200 体分であったところを拡張)で 1 年程度冷却後、再処理のためにフランスのラ・アーグに輸送され、同地のプールで 3 年程度保管されたのちに再処理される。

再処理を行わず直接処分する場合、ガラス固化体や研究炉の使用済燃料同様、COVRA の高レベル放射性廃棄物貯蔵用建屋 HABOG において乾式貯蔵される。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

上述の通り、原子力発電所由来の使用済燃料は全量再処理されており、直接処分に向けた中間貯蔵は行われていない。ただし HABOG は金属キャスクによる乾式貯蔵を想定した構造となっており、貯蔵済みの研究炉使用済燃料及び再処理により発生したガラス固化体は、輸送貯蔵兼用の金属キャスクに封入されて保管されている¹⁵¹。

1.3.7.3 参考文献

²⁸⁷ NRG、Complementary Safety margin Assessment COVRA N.V. (HABOG)、2013 年、
<http://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=baec0bc6-a383-49eb-8ffc-d3a0ffef177e&title=COVRA-rapport.pdf>

²⁸⁸ EPZ 社、Aanvraag tot revisie tevens inhoudende wijziging van de kernenergiewetvergunning Kernenergiecentrale Borssele、2015 年、
<https://www.autoriteitnvs.nl/binaries/anvs/documenten/publicatie/2016/04/06/aanvraag-tot-revisie-tevens-inhoudende-wijziging-van-de-kernenergiewetvergunning-kernenergiecentrale-borssele/definitieve-aanvraag-revisievergunning-kcb.pdf>

²⁸⁹ 廃棄物合同条約オランダ第 6 回国別報告書、2018 年、
https://www.iaea.org/sites/default/files/national_report_of_netherlands_for_the_6th_review_meeting_-_english.pdf

²⁹⁰ COVRA2019 年年報、
<https://www.covra.nl/app/uploads/2020/05/Covra-jaarverslag2019-definitief.pdf>

1.3.8 中国

1.3.8.1 全体方針

1) 貯蔵に係る沿革（規制制度の変化、貯蔵方式の変化、貯蔵方式の採用根拠等）

（概要）

- 中国では、ほとんどの使用済燃料は原子力発電所サイト内のプールで貯蔵されているが、一部の原子力発電所の使用済燃料についてはサイト内の乾式貯蔵施設やサイト外の湿式貯蔵施設での貯蔵が行われている。

中国では、ほとんどの使用済燃料は原子力発電所サイト内のプールで貯蔵されているが、一部の原子力発電所では貯蔵容量がひっ迫してきていることもあり、秦山第三原子力発電所ではサイト内の乾式貯蔵施設での貯蔵が行われており、大亜湾原子力発電所の使用済燃料は甘粛省の湿式貯蔵施設に送られ、貯蔵されている²⁹¹。

2) 安全性向上のための取り組み（規制面）

（概要）

- 中国では、福島事故を受けて策定されたガイドラインで使用済燃料貯蔵の安全性向上策が規定されている他、事故を踏まえて改定された設計に関する安全規制文書でも、早期の放射性物質の放出に至る事態を実質上排除しなければならないことなどが規定されている。

中国では、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、「福島事故」）を受けて、使用済燃料の貯蔵の安全性向上策を実施した。2012年6月に、国家核安全局は「福島原子力事故後における原子力発電所の改善行動の一般的技術要件（試行版）」を策定した。これは、福島事故を受けた原子力発電事業者の安全性向上のための取組のガイドラインとなるものであり、使用済燃料貯蔵の安全性向上策としては以下の要件が定められている²⁹²。

- 非常給水時の流量については、使用済燃料プールの最大設計基準熱負荷に応じた水の沸騰・蒸発量を考慮したものとする
- 使用済燃料プールの水位の変化により、非常給水時の流量を調節することができ、または非常給水を開始及び停止することができる。使用済燃料プールの非常給水においてはサイフォン効果への対応を考慮すること
- 事故発生後少なくとも72時間は燃料が露出することがないようにすること
- 使用済燃料プールの水量が、燃料が露出するまで減少する前に、非常給水のためのあらゆる準備措置を完了させ、非常給水が可能な状態にすること
- 使用済燃料プールの非常給水操作について、シビアアクシデントマネジメントガイドラインまたはそれに相当する規程を策定すること
- 水位の測定区間は使用済燃料が露出し始める水位から満水位までとし、水位の測定は連続的なものでも断続的なものでもよい。断続的なものとする場合、測定地点の配置は

- 必要な水位警報や操作員の給水操作のためのニーズに応えられるものとする
- 温度の測定は、連続的に使用済燃料プールの温度を測定できるものとする
- 水位や温度の測定設備の測定範囲は広くし、耐震要件を満足するものとする

また中国では、2004年に制定された「原子力発電所の設計安全に関する規定」(HAF102)が、2016年10月に改定された。HAF102の改定は福島事故の教訓も踏まえたものである。使用済燃料の貯蔵プールの設計について、改定前のHAF102では「運転状態及び設計基準事故の状況下でも十分に崩壊熱を除去できるのでなければならない」と規定されていたが、改定された版では設計においていかなる状況下でも使用済燃料が露出するのを防止しなければならず、早期の放射性物質の放出に至る事態を実質上排除しなければならないなどと規定されている²⁹³。

3) 経済性向上のための取り組み

(概要)

- 中国では貯蔵する使用済燃料の間の距離を小さくすることで貯蔵容量を増大させる稠密ラックの利用が実施されている。

中国における使用済燃料貯蔵の経済性向上策として、貯蔵する使用済燃料の間の距離を小さくすることで貯蔵容量を増大させる稠密ラックの利用を挙げることができる。CNNCグループの核動力研究設計院が大亜湾原子力発電所1号機の使用済燃料貯蔵プールに設置した2台の稠密ラックが、2016年7月に発電事業者の認証を獲得した。これは、中国で使用済燃料貯蔵プールに稠密ラックが設置された最初の事例である²⁹⁴。

4) 処分場の方針

(概要)

- 中国では、使用済燃料は原則として再処理を実施し、再処理で発生したガラス固化体を地層処分する方針である。

中国では、現在はほとんどの使用済燃料は原子力発電所のプールで貯蔵されている。使用済燃料は将来原則として再処理を実施し、再処理で発生したガラス固化体を地層処分する方針である。ただし、一部の燃料について直接処分の可能性は排除しないとされている。

1.3.8.2 使用済燃料

1) 使用済燃料の特性（燃焼度等）

(概要)

- 中国では、装荷されている燃料の燃焼度等のまとまった情報は公表されていない。

中国では、運転中の原子力発電所について、装荷されている燃料の燃焼度等の情報は、一部が公表されているに留まる。WNAによると、大亜湾、岭澳など、初期のM310炉からCPR-

1000 に至る炉の標準的な燃料サイクルは 18 カ月とのことである。その場合、平均燃焼度は 43GWd/t で、最大燃焼度は 50GWd/t である。また、嶺澳二期、紅沿河、寧徳及び陽江の各発電所では、ガドリニウムのバーナブルポイズンを用いた先進的な燃料管理サイクルが採用されており、平均燃焼度は 50GWd/t で、最大燃焼度は 57GWd/t となっている²³⁸。

2) 貯蔵量・管理容量・規制（使用済ウラン燃料、使用済 MOX 燃料）

（概要）

- 中国の原子力発電所の使用済燃料の貯蔵容量は合計約 25,000tHM で、貯蔵量は約 5,900tHM である。規制機関である国家核安全局は、「民生用核燃料サイクル施設の安全規定」（HAF301）やガイドライン「使用済燃料貯蔵施設の設計」（HAD301-02）を制定している。

表 1-49 に、2017 年 7 月発行の放射性廃棄物等安全条約第 6 回締約国会議報告書に整理されている、中国の原子力発電所における使用済燃料の貯蔵容量と貯蔵量を引用する。なお中国では、MOX 燃料の装荷実績がないため、使用済 MOX 燃料の貯蔵やそのための準備は行われていない。

表 1-49 中国の原子力発電所における使用済燃料の貯蔵容量と貯蔵量

プラント	貯蔵量 (tHM)	貯蔵容量 (tHM)
秦山第一	194	415
秦山第二 1 号機	211	317
秦山第二 2 号機	180	317
秦山第二 3 号機	86	317
秦山第二 4 号機	85	317
秦山第三 1 号機	654	941
秦山第三 2 号機	631	941
秦山第三 乾式貯蔵施設	1,348	8,251
田湾 1 号機	198	236
田湾 2 号機	213	236
福清 1 号機	26	458
福清 2 号機	24	458
福清 3 号機	0	458
方家山 1 号機	47	554
方家山 2 号機	46	554
昌江 1 号機	15	317

昌江 2号機	0	317
大亜湾 1号機	252	345
大亜湾 2号機	222	319
岭澳 1号機	289	554
岭澳 2号機	307	554
岭澳 3号機	184	554
岭澳 4号機	213	554
寧徳 1号機	64	433
寧徳 2号機	57	433
寧徳 3号機	31	433
寧徳 4号機	0	433
陽江 1号機	64	554
陽江 2号機	31	554
陽江 3号機	31	554
防城港 1号機	0	554
防城港 2号機	0	554
紅沿河 1号機	77	554
紅沿河 2号機	48	554
紅沿河 3号機	24	554
紅沿河 4号機	0	554
合計	5,852	25,002

出所) 「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

中国では、オンサイト、オフサイトを含め、使用済燃料貯蔵や貯蔵施設に対する規制を行うのは国家核安全局である。

使用済燃料の中間貯蔵施設を含む核燃料サイクル施設に適用される拘束力のある原子力安全法規としては、「民生用核燃料サイクル施設の安全規定」(HAF301)がある。さらに、HAF301に対応する法的拘束力を持たないガイドラインとして、より詳細な規定が「使用済燃料貯蔵施設の設計」(HAD301-02)により定められている。

HAD301-02 は、プラントから取り出された使用済燃料を貯蔵する施設について、設計や放射線防護、サイト、湿式貯蔵、乾式貯蔵、品質保証、検査及びメンテナンス等に関するガイドラインを示している²⁹⁵。

プラント内で貯蔵されている使用済燃料に対しては、「原子力発電所の設計の安全規定」(HAF102)、「原子力発電所内の使用済燃料乾式貯蔵システムに関する原子力安全監督要件(試行版)」、「原子力発電所の炉心と燃料の管理」(HAD103/03)、「PWR 原子力発電所の使用済燃料貯蔵施設設計ガイドライン」(EJ/T 883-2006)といった規則やガイドライン等が適用され、以下の措置を講じることで人や社会及び環境に対して放射線による被害を与えないようにすることが求められている²⁹⁶。

- 使用済燃料の配置や中性子吸収材、貯蔵容量に関する要件や品質保証プロセスを遵守し、臨界を防止すること
- 残留熱について、プールの貯蔵容量、燃焼度や減衰時間、冷却系統を考慮し、冷却機能が一定の余裕を確保できるようにすること
- プールの設備の材料としてステンレスを用いて汚染された水の漏えいを防止することなどにより、放射性廃棄物の発生量を最小化すること
- プラントでの貯蔵、中間貯蔵施設への輸送、再処理といった使用済燃料管理に関わる各工程に関して燃料のタイプや燃焼度、冷却期間等の特性を考慮するなど、使用済燃料管理の各工程の相互関係を考慮すること
- 事業者は原子力発電所のサイト選定、設計、建設等に対する規制を遵守して使用済燃料管理を実施し、人や社会、環境を保護すること
- 使用済燃料管理と関係する可能性のある生物学的リスクや化学的リスク等のリスクを十分に考慮すること

3) 貯蔵方式（乾式、湿式等）

（概要）

- 中国では、ほとんどの使用済燃料は原子力発電所サイト内のプールで貯蔵されているが、一部の原子力発電所の使用済燃料についてはサイト内の乾式貯蔵施設やサイト外の湿式貯蔵施設での貯蔵が行われている。

表 1-49 に示したとおり、中国では、2 基の CANDU 炉が運転している秦山第三原子力発電所に使用済燃料の乾式貯蔵施設が設置されている。放射性廃棄物等安全条約の締約国会議報告書では、CANDU 炉の使用済燃料や同発電所の乾式貯蔵施設の特徴として以下が挙げられている²⁹⁶。

- 重水炉から取り出した使用済燃料に含まれるウラン 235 及びプルトニウム 239 の量は少なく、臨界に達する可能性がない。
- MACSTOR-400 型の貯蔵モジュールはパッシブな放熱機能を備えており、自然対流における熱伝導で、使用済燃料被覆管の温度を制限値以下に抑えることができる。
- プールの水、輸送キャクスやコンクリートによって遮へいされることで、作業員や公衆の安全が確保される。
- 燃料被覆管に加えて、燃料集合体とキャスクが 2 層の閉じ込め機能を果たすことで、放射性物質の閉じ込めが確保される。

また、秦山第三原子力発電所に使用済燃料の乾式貯蔵施設の操業許可証では、使用済燃料は燃料プールで最低でも 6 年冷却してから乾式貯蔵施設における貯蔵を行うものとし、温度制限として以下が定められている²⁹⁷。

表 1-50 秦山第三原子力発電所乾式貯蔵施設の操業許可証における温度制限

貯蔵する物や材料	温度制限
破損燃料のペレット	168 度
健全な使用済燃料の被覆管	300 度

燃料集合体	425 度		
キャスク	炭素鋼	475 度	
	亜鉛被覆層	420 度	
コンクリート	正常時、長期	平均温度	66 度
		局所的な温度	93 度
	事故時、短期	表面温度	176 度

出所) 国家核安全局、「秦山第三原子力発電所使用済燃料臨時乾式貯蔵施設操業許可証」より引用

表 1-51 には、秦山第三原子力発電所乾式貯蔵施設における崩壊熱の熱量に関する制限を示している。なお、操業許可では、「熱を有する燃料集合体」が「燃料棒 7 本で崩壊熱が 9.76W となる燃料棒が含まれる燃料集合体」と定義され、「いずれのキャスクも熱を有する燃料集合体の数が 3 体を超えてはならない」との制限が設けられている²⁹⁷。

表 1-51 秦山第三原子力発電所乾式貯蔵施設の操業許可証における熱量に関する制限

制限の対象	合計した崩壊熱の制限
燃料集合体	390.6W
キャスク	3,725.4W
モジュール	146.23KW

出所) 国家核安全局、「秦山第三原子力発電所使用済燃料臨時乾式貯蔵施設操業許可証」より引用

サイト外の集中中間貯蔵について、中国では、甘粛省の中核四〇四使用済燃料貯蔵プールで、大亜湾原子力発電所で発生した約 400tHM の使用済燃料が貯蔵されている。2013 年の情報によると、この燃料貯蔵プールの初期建設における貯蔵容量は 500 トンであったが、貯蔵容量が 800 トン拡張され、1,300 トンとなっている²⁹¹。

4) 貯蔵容器材料（金属、コンクリート等）

（概要）

- 中国で使用済燃料の乾式貯蔵が実施されているのは、CANDU 炉である秦山第三原子力発電所の使用済燃料のみである。同発電所では MACSTOR-400 貯蔵モジュールが利用されている。

中国で使用済燃料の乾式貯蔵が実施されているのは、CANDU 炉である秦山第三原子力発電所の使用済燃料のみである。同発電所では、運転期間中の使用済燃料の搬出先の問題を解決するために、2008 年から発電所内に乾式貯蔵施設の建設を開始した。建設したのは 18 の MACSTOR-400 貯蔵モジュールであり、合計で 432,000 体の燃料集合体を貯蔵することができる²⁹⁸。

MACSTOR システムはキャニスタ貯蔵技術の一種であり、MACSTOR-200 の後継に当たる MACSTOR-400 は、40 本の垂直鋼製シリンダーを収容し、それぞれのシリンダーは、それぞれが 60 体の燃料集合体で構成される 10 の密閉されたキャスクを保持する。合計で、1

モジュールで2万4,000体の燃料集合体を貯蔵することができる。MACSTORにおける燃料の挿入オペレーションは、他のコンクリートキャニスタの場合と同様であり、大きな相違は構造のみとなっている²⁹⁹。

1.3.8.3 参考文献

-
- ²⁹¹ CNNC、我が国の核燃料サイクルバックエンドの発展の推進に関する検討と対策、2013年11月（なお、この記事はCNNCが発行している「中国核工業報」に掲載されたものであるが、現在はCNNCのウェブサイト上で公開されていない。）
- ²⁹² 国家核安全局、福島原子力事故後における原子力発電所の改善行動の一般的技術要件（試行版）、2012年6月、
<http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/haq/201206/W020120615521085580524.pdf>
- ²⁹³ 国家核安全局、原子力発電所の設計安全に関する規定、2016年10月、
<http://nnsa.mee.gov.cn/zcwj/fg/201705/P020170525453557480384.pdf>
- ²⁹⁴ 国家国防科学技術工業局、我が国で最初となる商用原子力発電所使用済燃料プールの改造を実施、2016年8月、
http://www.gov.cn/xinwen/2016-08/03/content_5097207.htm
- ²⁹⁵ 国家核安全局、使用済燃料貯蔵施設の設計（HAD301-02）、1998年7月（なお、本文書は現在、関係機関のウェブサイト上で公表されていない模様である。）
- ²⁹⁶ 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
- ²⁹⁷ 国家核安全局、秦山第三原子力発電所使用済燃料臨時乾式貯蔵施設操業許可証、2018年4月、
<https://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/haq/201804/W020180418386156037202.pdf>
- ²⁹⁸ 放射性廃棄物等安全条約第2回締約国会議 中華人民共和国報告書、2011年9月
http://nnsa.mee.gov.cn/gjhz_9050/201511/P020151125517689650251.pdf
- ²⁹⁹ カナダ原子力安全委員会、Canadian National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management、2017年10月
<https://www.iaea.org/sites/default/files/6rm-canada.pdf>

2. 核燃料サイクル施設の現状及び役務動向

2.1 諸外国の核燃料サイクル施設の現状及び役務動向

2.1.1 アメリカ

2.1.1.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS の情報に基づき、アメリカの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数 ③ 終了時期 *記載なしは情報入手できず	役務能力	その他特記事項
ウラン採鉱	Alta Mesa	Brooks County, Texas	Uranium Resources, Inc.	① 2005 年	385 tU/年	In-Situ Leaching 法
	Crow Butte	Crawford, Nebraska	Cameco Corporation/Crow Butte Resources, Inc.	① 1991 年	385 tU/年	In-Situ Leaching 法
	Hobson	Karnes County, Texas	Everest Minerals Corporation	① 1979 年	385 tU/年	In-Situ Leaching 法
	Kingsville Dome	Kleberg County, Texas	Uranium Resources, Inc.	① 1988 年 (別記 A)	385 tU/年	In-Situ Leaching 法 420 万ポンド (約 1900 t) のウランを生産。

	La Palangana	Texas	-	① 2010 年	385 tU/年	
	Moore Ranch	Wyoming	-	① 2010 年	770 tU/年	In-Situ Leaching 法
	Shooting Canyon	Ticaboo, Garfield County, Utah	Plateau Resources Ltd.	① 1982 年	380 tU/年	Acid Leaching 法
	Smith Ranch	Southern Powder River Basin, Wyoming	Cameco Corporation	① 1988 年	2116 tU/年	In-Situ Leaching 法
	Vasquez	Vasquez, Texas	Uranium Resources Inc (URI)	① 2004 年	308 tU/年	In-Situ Leaching 法
	White Mesa Mill	Blanding, Utah	International Uranium (USA) Corporation	① 1980 年	1200 tU/年	Acid Leaching 法
再 転 換 (UF6)	Metropolis	Metropolis, Illinois	Converdyn	① 1959 年	17,600 tHM/年	
ウ ラ ン 濃 縮 ・ 燃 料 加 工 施 設	Paducah Gaseous Diffusion	Paducah, State of Kentucky	USEC Inc.	① 1954 年	11300 MTSWU/年	ガス拡散法
	Urenco USA	Lea County,	Louisiana Energy	① 2010 年	3000 MTSWU/年	遠心分離法

		New Mexico	Services			
	Columbia (Westinghouse)	Columbia	Westinghouse Electric Corporation	① 1986 年	1150 tHM/年	
	Lynchburg - FC Fuels	Lynchburg	AREVA NP	① 1982 年	400 tHM/年	
	Richland (ANF)	Richland	AREVA NP	① 1970 年	700 tHM/年	
	Wilmington (GNF)	Wilmington	GE Nuclear Energy	① 1982 年	1200 tHM/年	
使用済燃料 貯蔵施設	別表参照					
再処理施設	Los Alamos Plutonium Facility	Los Alamos, New Mexico	Los Alamos National Laboratory		0 tHM/年	核兵器からのプルトニウム分離。研究規模。
	West Valley	West Valley, New York	NFS	① 1966 年 ③ 1972 年	300 tHM/年	
	GE Morris	Morris, Illinois	GENERAL ELECTRIC	① 1971 年 ③ 1971 年	300 tHM/年	
	Barnwell	Barnwell, South Carolina	Allied-General Nuclear Service	① 1974 年 ③ 1983 年	1,500 tHM/年	
MOX 燃料 加工施設	MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF)	Savannah River Site, Aiken, South Carolina	MOX Services	建設中止中	不明	現在建設中。兵器級プルトニウム 34 t から 1700 体の MOX 燃料集合体を製造する予定で、2016 年に操業予定であった。
放射性廃棄 物処理・処	Richland facility	Richland, Washington	US Ecology	① 1965 年	既処分量：約 40 万 m ³ 処分容量：約 170 万 m ³	クラス A、クラス B、クラス C の低レベル放射性廃棄物の処

分施設					(2018 年 12 月時点)	分を対象
	Chem-Nuclear Site	Barnwell, South Carolina	EnergySolutions Barnwell Operations	① 1971 年	既処分量：約 80 万 m ³ 処分容量：約 88 万 m ³ (2018 年 12 月時点)	クラス A、クラス B、クラス C の低レベル放射性廃棄物の処分を対象
	Clive disposal facility	Clive, Utah	EnergySolutions Clive Operations	① 1971 年	既処分量：約 537 万 m ³ 処分容量：約 882 万 m ³ (2018 年 12 月時点)	クラス A 低レベル放射性廃棄物、11e.(2) 副生成物廃棄物を対象
	Texas WCS	Andrews, Texas	Waste Control Specialists (WCS)	① 2011 年	既処分量：約 3.1 万 m ³ 処分容量：約 435 万 m ³ (2018 年 12 月時点)	クラス A、クラス B、クラス C 低レベル放射性廃棄物、11e.(2) 副生成物廃棄物を対象

(別記 A) 2009 年にウランの市場価格が低いことを理由に生産を停止し、今後のウラン市場の動向により生産再開を検討中。

- 乾式貯蔵施設は 54 施設
- 湿式貯蔵施設は 5 施設
- 非常に施設数が膨大なため、他の施設とは異なり、次ページにまとめた。

項番	貯蔵方法	施設名	操業開始 (空欄は不明)	施設特徴	貯蔵能力等
1	乾式貯蔵	Arkansas Nuclear No:1 NPP Site ISFSI	1997	商業規模	150 t HM
2		Big Rock Point NPP Site (shutdown) ISFSI		商業規模	0 t HM
3		Browns Ferry NPP Site	2004	商業規模	190 t HM
4		Brunswick NPP ISFSI		商業規模	
5		Byron NPP Site		商業規模	
6		Calvert Cliffs NPP Site	1992	商業規模	1112 t HM
7		Catawba NPP ISFSI		商業規模	
8		Columbia Generating Station NPP Site ISFSI	2000	商業規模	190 t HM
9		Davis Besse NPP Site ISFSI	1995	商業規模	360 t HM
10		Diablo Canyon NPP Site ISFSI	2008	商業規模	
11		Dresden NPP Site	2001	商業規模	70 t HM
12		Duane Arnold NPP Site	2004	商業規模	0 t HM
13		Farley NPP Site	2006	商業規模	190 t HM
14		FitzPatrick NPP Site	2002	商業規模	190 t HM
15		Fort Calhoun NPP Site ISFSI		商業規模	
16		Fort St. Vrain NPP Site ISFSI	1992	商業規模	15.4 t HM
17		Ginna NPP ISFSI		商業規模	
18		Grand Gulf NPP Site ISFSI		商業規模	
19		H.B. Robinson NPP Site ISFSI	1986	商業規模	26 t HM
20		Haddam Neck NPP Site	1996	商業規模	190 t HM
21		Hatch NPP Site	1998	商業規模	190 t HM
22		Hope Creek/Salem (combined) ISFSI		商業規模	
23		Humboldt Bay		商業規模	
24		Idaho CPP-603 IFSF, CPP-749	1975	研究室規模	270 t HM
25		Idaho TAN-607 demonstration	1975	研究室規模	0 t HM
26		Indian Point ISFSI		商業規模	
27		Kewaunee NPP ISFSI		商業規模	
28		LaSalle County ISFSI		商業規模	
29		Limerick NPP ISFSI		商業規模	
30		Maine Yankee NPP Site (shut down) ISFSI	1997	商業規模	190 t HM
31		McGuire NPP Site ISFSI	2000	商業規模	0 t HM
32		Millstone NPP Site	2004	商業規模	190 t HM
33		North Anna NPP Site ISFSI	1998	商業規模	840 t HM
34		Oconee NPP Site ISFSI	1990	商業規模	380 t HM
35		Oyster Creek NPP Site	2000	商業規模	190 t HM
36		Palisades NPP Site ISFSI	1993	商業規模	233 t HM
37		Palo Verde NPP Site	2003	商業規模	190 t HM
38		Peach Bottom NPP Site ISFSI	2000	商業規模	0 t HM
39		Point Beach NPP Site ISFSI	1995	商業規模	447 t HM
40		Prairie Island NPP Site ISFSI	1994	商業規模	724 t HM
41		Quad Cities NPP Site	2004	商業規模	190 t HM
42		Rancho Seco NPP Site	1989	商業規模	190 t HM
43		Rancho Seco NPP Site ISFSI	1989	商業規模	202 t HM
44		River Bend NPP Site	2006	商業規模	190 t HM
45		San Onofre NPP Site	2007	商業規模	190 t HM
46		Seabrook ISFSI		商業規模	
47		Sequoyah NPP Site ISFSI	2004	商業規模	190 t HM
48		St. Lucie NPP Site		商業規模	
49		Surry NPP Site ISFSI	1986	商業規模	808 t HM
50		Susquehanna NPP Site ISFSI	1998	商業規模	343 t HM
51		TMI-2, Debris at Idaho	1999	研究室規模	130 t HM
52		Trojan NPP Site (shutdown) ISFSI		商業規模	359 t HM
53		Vermont Yankee NPP ISFSI		商業規模	
54		Yankee Rowe NPP Site (shutdown) ISFSI	1991	商業規模	190 t HM
55	湿式貯蔵	Hanford - K Basins	1950	研究室規模	2100 t HM
56		Idaho CPP-603, CPP-666	1952	研究室規模	0 t HM
57		Lacrosse NPP (shutdown) ISFSI		商業規模	
58		Morris Reprocessing Plant Site (Wet)	1984	商業規模	750 t HM
59		Savannah River (SRS)		研究室規模	0 t HM

2.1.1.2 事業者

アメリカにおいては、ウラン採掘、濃縮、発電、廃棄物管理、処分に亘って様々な事業者が核燃料サイクル産業を支えている。本項で取り上げる事業者として、米 NEI 社へのヒアリングによって得られた今後の米国の燃料サイクル政策の方向性を左右する HALEU 燃料と先進炉に関連する企業としてセントラス・エナジー社を取り上げた。

a. 企業名

セントラス・エナジー社

b. 株主

株保有率トップ 10 企業を以下に示す。

- Old West Investment Management : 7.55%
- The Vanguard Group : 4.22%
- Renaissance Technologies : 3.64%
- Sara-Bay Financial : 3.25%
- Global X Management : 1.27%
- DuPont Capital Management : 1.08%
- Bridgeway Capital Management : 0.70%
- Geode Capital Management : 0.56%
- BlackRock Fund Advisors : 0.43%
- Millennium Management : 0.35%

c. 売上高

209.7 百万ドル (2019 年)

d. 損益

32.5 百万ドル (2019 年)

e. 寡占度

ウラン濃縮分野においては現在アメリカ国内では URENCO USA 社のみがサービスを展開しており、URENCO USA 社はアメリカ国内の 1/3 の需要を供給できる能力を有す。したがって、セントラス・エナジー社における現状の寡占度はゼロである。

f. 経営戦略

セントラス・エナジー社は、現在 DOE とオハイオ州パイクトンにて、ガス遠心分離法に基づく商業濃縮プラント (ACP) の研究開発に取り組んでいる。さらに DOE と総額 1 億 1,500 万ドルの契約を結び、HALEU 燃料の生産実証作業を実施しており、アメリカ国産技

術の遠心分離機（ACP-100）を3年間で16台設置することを予定している。また、2020年9月には原子力ベンチャー企業のテラパワー社が、国産 HALEU 燃料の供給に向けてセントラス・エナジー社と協力する計画を明らかにしており、2018年3月及び11月には、米セントラス・エナジー社が米 X-Energy 社と先進炉燃料製造施設の設計に関する契約を締結している。

今後の先進炉の市場展開とそれに伴う HALEU 燃料需要の高まりによって、急成長を見せる可能性がある。

g. 関連企業（サプライチェーン等）

不明

2.1.1.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

アメリカでは2019年末時点で8体の MOX 燃料の装荷が確認されている³⁰⁰。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

アメリカでは1960年代の再処理以降、商業用の再処理を行っておらず、使用済 MOX 燃料の再処理は行っていない。

2.1.1.4 参考文献

³⁰⁰ 日本原子力産業協会、世界の原子力発電開発の動向 2020、2020年

2.1.2 ロシア

2.1.2.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³⁰¹の情報に基づき、ロシアの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数 ③ 終了時期 *記載なしは情報 入手できず	役務能力	その他特記事項
ウラン採鉱	Dalur ウラン鉱 石処理工場	kurgan	Dalur	① 2002 年	800 tU/年	
	Khiagda ウラン 鉱石処理工場	Buryat	Khiagda	① 2011 年	1,800 tU/年	
	Priargunski / Krasnokamensk	Streltsovsk	Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union	① 1968 年	3,500 tU/年	
ウラン濃 縮・燃料加 工施設	UECC 濃縮工場	Novouralsk	JSC UECC	① 1949 年	13,000 MTSWU/ 年 ³⁰²	遠心分離法によるウラン濃縮。
	SCC 濃縮工場	Seversk	JSC SCC	① 1950 年	4,000 MTSWU/ 年	遠心分離法によるウラン濃縮、回 収ウランの再濃縮。
	ECP 濃縮工場	Krasnoyarsk	JSC PA ECP	① 1964 年	9,000 MTSWU/ 年 ³⁰²	遠心分離法によるウラン濃縮。
	電気化学コンビ	Angarsk	JSC AECC	① 1954 年	1,000 MTSWU/	遠心分離法によるウラン濃縮。

	ナート (AECC)				年	
使用済燃料 貯蔵（乾 式）	Mining and Chemical Complex Site, Stage I	Sosnovy Bor	Mining and Chemical Combine Krasnoyarsk	① 2011 年	8,130 tHM	RBMK の使用済燃料を貯蔵。
使用済燃料 貯蔵（湿 式）	Kursk NPP Site	Kurchatov	Rosenergoatom, Consortium	① 1986 年	2,000 tHM	
	Leningrad NPP Site	Sosnovy Bor	Leningrad NPP	① 1984 年	4,000 tHM	
	Novovoronezh NPP Site	Novovoronezh	Rosenergoatom, Consortium	① 1986 年	400 tHM	VVER-1000 の使用済燃料貯蔵。プー ル貯蔵
	RT-1, Mayak, Reprocessing Plant Site	Chelyabinsk, Ozersk	Mayak Production Association	① 1975 年	560 tHM	VVER-440 の使用済燃料貯蔵。プー ル貯蔵
	RT-2, Krasnoyarsk, Reprocessing Plant Site	Krasnoyarsk	Mining and Chemical Combine Krasnoyarsk	① 1985 年	8,600 tHM	VVER-1000 の使用済燃料貯蔵。 プール貯蔵
	Smolensk NPP Site	Desnogorsk	Rosenergoatom, Consortium	① 1996 年	2000 tHM	RBMK の使用済燃料貯蔵。プール貯 蔵
再処理施設	RIAR (Research Institute of Atomic Reactors)	Dimitrovgrad	V I Lenin Research Institute of Nuclear Reactors (Niiar)	① 1965 年	1 tHM/年	パイロットプラント

	RT-1, Combined Mayak	Chelyabinskaya Oblast	Mayak Production Association	① 1971 年	400 tHM/年	PUREX 法。VVER-440 の使用済燃料を対象。 1971 年に操業を開始して以来、2012 年までに、5000 t 程度の使用済燃料処理実績を有す。2015 年時点で 230 tHM の使用済燃料を再処理（2014 年の 35%増）、数年以内に許容容量の 400 tHM に到達予定。 RT-2 プラントへの移行に伴い、2030 年までの運転を予定。
	RT-2, Krasnoyarsk	Krasnoyarsk	Mining and Chemical Combine Krasnoyarsk	操業延期中	800 tHM/年	PUREX法。VVER-1000の使用済燃料を対象。
MOX 燃料加工施設	Mayak - Paket	Chelyabinsk, Ozersk	Mayak Production Association	① 1980 年	0.5 tHM/年	パイロットプラント
	RIAR (Research Institute of Atomic Reactors)	Dimitrovgrad	V I Lenin Research Institute of Nuclear Reactors (Niiar)	① 1975 年	1 tHM/年	パイロットプラント
再転換 (UF4)	Chepetski Machine Plant-Conversion	Glazov	JSC CMP	① 1951 年	2000 t/年	
再転換 (UF6)	Angarsk	Angarsk, Irkutskaya Oblast	JSC AECC	① 1954 年	20000 tHM/年	
	Ekaterinburg	Sverdlovsk,	JSC UECC	① 1949 年	4000 tHM/年	

	(Sverdlovsk-44)	Sverdlovskaya Oblast				
	Tomsk - Siberian Chemical Combine (Seversk)	Tomsk, Tomskaya Oblast	Ministry of Atomic Energy (所有者)	① 1950 年 ③ 操業終了	10000 tHM/年	
BN 用 燃料製造 (U 燃料集合体)	Machine - Building Plant (FBR)	Elektrostal	JSC MSZ	① 1953 年	50 tHM/年	
VVER 用 燃料製造 (U 燃料集合体)	Machine - Building Plant (LWR)	Elektrostal	JSC MSZ	① 1953 年	950 tHM/年	
RBMK 用 燃料製造 (U 燃料集合体)	Machine - Building Plant (RBMK)	Elektrostal	JSC MSZ	① 1953 年	460 tHM/年	
VVER 用 燃料製造 (U 燃料集合体)	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (Assembly)	Novosibirsk	JSC NCCP	① 1949 年	1200 tHM/年	
Fuel Fabrication (U Pellet-Pin)	Machine Building Plant (Pellets)	Elektrostal	JSC MSZ	① 1953 年	1100 tHM/年	
Fuel Fabrication (U Pellet-Pin)	Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (Pellets)	Novosibirsk	JSC NCCP	① 未定	660 tHM/年	
ジルコニウム合金 Tubing	Chepetski Machine Plant - Zircaloy	Glazov	JSC CMP	① 1951 年	650 t/年	

³⁰¹ IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧

<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

³⁰² JAEA : 「原子力海外ニューズトピック 海外ウラン濃縮企業動向」、2013 年 3 月

<https://www.jaea.go.jp/03/senryaku/topics/t13-1.pdf>

2.1.2.2 事業者

- ロシアでは、2007 年 12 月、連邦原子力庁の全ての権限を継承し、また、それまで各株式会社に分割されていたロシア国内の原子力産業を統合するかたちで、国営原子力公社「ロスアトム」が設立された。
- ロスアトムは軍事利用、民生利用両方の原子力政策を推進しており、また全ての国内原子力関連企業を、株式関係による子会社、孫会社といった形態や連邦国家単一企業といった形態により、傘下に収めている。
- ロスアトム傘下の企業は、子会社、孫会社、さらには連邦国家単一企業まで合わせると、関連企業は約 350 にのぼる。

a. 企業名

ロスアトム

b. 株主

国営

c. 売上高（2017 年）

民生分野：8,620 億ロシアルーブル

政府補助金：760 億～770 億ロシアルーブル（過去 2 年で 2013～2015 年比の 50%減）

自己資本投資：2,540 億ロシアルーブル

d. 損益

不明

e. 寡占度

100%

f. 経営戦略

ROSATOM 公式 HP には、「世界の核技術市場のリーダー的企業」として、下記の主要指標を掲げている。³⁰³

- 海外プロジェクト・ポートフォリオが世界一（12 カ国における 36 基）
- ウラン濃縮分野においては世界一（世界市場の 36%）
- ウラン鉱床量は及びウラン採掘量は世界二
- 最大出力の BN-800 高速炉はベロヤルスカヤ原子力発電所において稼働している
- 世界最初の BBER-1200 第 3+世代の原子炉はノヴォヴォロネジシカヤ原子力発電所において稼働している

- 世界核燃料市場の 17%
- ロシアでは、原子力発電所 10 か所では、36 号機が稼働している
- 世界唯一の原子力砕氷船の艦隊
- 50 カ国への調達実施

g. 関連企業（サプライチェーン等）

傘下企業 300 社超、従業員 25 万人超

※原子力発電所の設計、建設及び運転、ウラン採掘、転換及び濃縮、核燃料の供給、廃止措置、使用済み燃料の貯蔵及び輸送、並びに安全な放射性廃棄物の処分に関する資産を含む、原子力サプライチェーン全体にわたってエネルギーソリューションを提供する経営資源及び能力を有す³⁰⁴

※主要企業のうち、核燃料サイクルに関連性の高い事業者として、例えば下記のような企業がある

- 「アトムエネルゴプロム」（核燃料サイクル全行程）
- 「アトムエネルゴマッシュ」（原子力発電関連設備等製造）
- 「トヴェル」（核燃料濃縮・転換・成型加工）
- 「テフスナブエクスポート（テネックス）」（ウラン関連製品輸出入）
- 連邦国家単一企業「ロスラオ」（放射性廃棄物管理）
- 連邦国家単一企業「生産公社マヤク」（再処理）
- 連邦国家単一企業「製錬・化学コンバイン」（再処理）

2.1.2.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

ナトリウム冷却高速炉 BN-600（ベロヤルスク 3 号機）にて、2003 年に装荷実績がある。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

使用済 MOX 燃料の再処理した実績は確認されない。

2025 年完成予定の再処理工場 RT-2 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。

なお、使用済 MOX は使用済 UO₂ と比べて発熱量や放射線量が高いが、通常の PUREX の技術の範囲内で、硝酸濃度を高くしたり、希釈したり、溶解時間を長くすることによって十分に解決できていると考えられている。問題はプルトニウムの扱い方が最大の課題であり、具体的には、軽水炉で 2 回以上プルトニウムを含む燃料を照射すると、同位体組成が変わる影響が生じる。使用済 MOX 燃料の再処理の際は希釈のため、高速炉用 MOX については、濃縮工場から出てくる劣化ウラン U-235（0.1%～0.2%）を、REMIX 燃料では、使用済 UO₂ 燃料の廃液を用いている。

2.1.2.4 参考文献

³⁰³ ROSATOM 公式 HP、主要指標（日本語）

<https://rosatom-japan.com/global-presence/key-figures/>（2020 年 1 月 3 日閲覧）

³⁰⁴ TENEX-JAPAN ROSATOM、2020 年 8 月 NEWS ロスアトムが統一ブランドへ移行ーロスアトムについて、

[https://tenex-](https://tenex-japan.jp/ja/2020/08/%E3%83%AD%E3%82%B9%E3%82%A2%E3%83%88%E3%83%A0%E3%81%8C%E7%B5%B1%E4%B8%80%E3%83%96%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%89%E3%81%B8%E7%A7%BB%E8%A1%8C/)

[japan.jp/ja/2020/08/%E3%83%AD%E3%82%B9%E3%82%A2%E3%83%88%E3%83%A0%E3%81%8C%E7%B5%B1%E4%B8%80%E3%83%96%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%89%E3%81%B8%E7%A7%BB%E8%A1%8C/](https://tenex-japan.jp/ja/2020/08/%E3%83%AD%E3%82%B9%E3%82%A2%E3%83%88%E3%83%A0%E3%81%8C%E7%B5%B1%E4%B8%80%E3%83%96%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%89%E3%81%B8%E7%A7%BB%E8%A1%8C/)

2.1.3 フランス

2.1.3.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³⁰⁵の情報に基づき、フランスの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時期 ② 耐用年数操業 ③ 終了時期 *記載なしは情報 入手できず	役務能力	その他特記事項
AFR 湿式 使用済燃料貯蔵	貯蔵施設 NPH	La Hague	Orano 社	① 1981 年	2,000 tHM	
	貯蔵施設 C	La Hague	Orano 社	① 1984 年	4,800 tHM	
	貯蔵施設 D	La Hague	Orano 社	① 1986 年	4,600 tHM	
	貯蔵施設 E	La Hague	Orano 社	① 1988 年	6,200 tHM	
U3O8 への再転換 (Dep. U)	W Plant	Pierrelatte	Orano 社	① 1984 年	14,000 tHM/年	
U3O8 への再転換 (Rep. U)	TU5	Pierrelatte	Orano 社	① 1995 年	1,600 tHM/年	
ジルコニウム合金 Production	Rugles プラント	Rugles	Framatome	① 1981 年	600 t/年	
	Jarrie プラント	Jarrie	Framatome ANP	① 1982 年	2,200 t/年	

	Ugine プラント	Ugine	Framatome	① 1982 年	2,200 t/年	
ジルコニウム 合金 Tubing	Paimboeuf プラント	Paimboeuf	Framatome	① 1981 年	5,000 km/年	
	Montreuil Juigné プラント	Montreuil Juigne	Framatome	① 1982 年	1,200 t/年	
ウラン濃縮	Georges Besse II	Tricastin	Orano 社	① 2011 年	750 万 SWU/年	
再転換 (UF4)	Comurhex II - Malvesi (UF4)	Malvesi	Orano 社	① 2018 年	15,000 tHM/年	2018 年 12 月に 7,500 t/年で操業開始。 2021 年までに処理量は 15,000 t/年 に拡大する見通し。
再転換 (UF6)	Comurhex Pierrelatte (UF6)	Pierrelatte	Orano 社	① 1961 年	14,000 tHM/年	
使用済燃料再 処理	UP3	La Hague	Orano 社	① 1990 年	1,000 tHM/年	
	UP2-800	La Hague	Orano 社	① 1996 年	1,000 tHM/年	
燃 料 製 造 (MOX 燃料集 合体)	Melox	Marcoule	Orano 社	① 1995 年	195 tHM/年	
PWR 用燃料製 造 (U 燃料集 合体)	Roman プラント	Romans-Sur- Isere	FBFC International N.V.	① 1979 年	1,400 tHM/年	

³⁰⁵ IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧
<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

2.1.3.2 事業者

a. 企業名

Orano 社

b. 株主

仏政府：50%、AREVA ホールディングス：19.99%、JNFL：5%、三菱重工業：5%、Natixis：9.99%、預金供託公庫：9.99%

c. 売上高

713 億ユーロ（2019 年）

d. 損益

38 億ユーロ（2019 年）

e. 寡占度

仏国内ではフロントエンドからバックエンドまであらゆる事業をカバーしており、市場を独占している。

f. 経営戦略

Orano 社は、AREVA グループの福島第一原子力事故後の経営悪化を受けて、燃料サイクル事業部門が分離されて設立された。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。

g. 関連企業（サプライチェーン等）

Orano 社は以下の図 2-1 に示すとおり、ウラン資源開発から再処理まで子会社を抱えて事業展開を行っている。

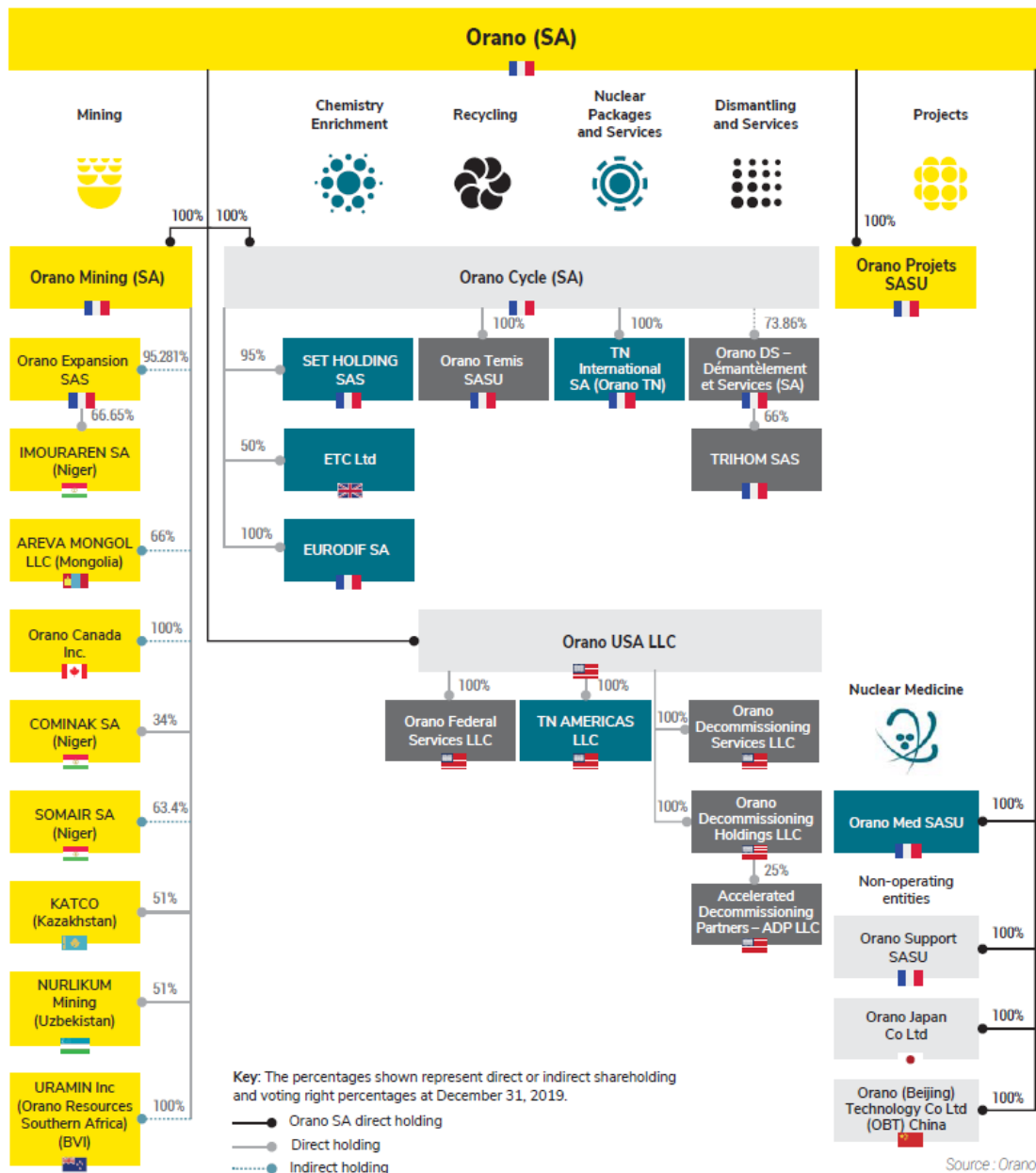


図 2-1 Orano 社の体制

2.1.3.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

フランスでは 1987～2013 年までに約 3,000 体の MOX 燃料が装荷された実績がある³⁰⁶。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

使用済 MOX 燃料の再処理については、高速原型炉から発生したものを実施した実績がある³⁰⁷。

-
- ³⁰⁶ IRSN、「Le combustible MOX en France」、
https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/cycle_combustible/fabrication_combustible_MOX/Pages/MOX.aspx#.X944r9jN2F4、2020 年 12 月 14 日閲覧
- ³⁰⁷ 経済産業省、「平成 29 年度原子力の利用状況等に関する調査 核燃料サイクル技術等調査 報告書」、2018 年 2 月、http://www.meti.go.jp/eti_lib/report/H29FY/000460.pdf

2.1.4 イギリス

2.1.4.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³⁰⁸の情報に基づき、イギリスの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数 ③ 終了時期 *記載なしは情報入手 できず	役務能力	その他特記事項
AFR 乾式 使用 済燃料貯蔵	NDA Wylfa NPP Site	Wylfa	マグノックス社	① 1979 年 ③ 2015 年予定	700 tHM	
AFR 湿式 使用 済燃料貯蔵	貯蔵プール 3	Sellafield	セラフィールド社	① 1964 年 ③ 2046 年予定	2,300 tHM	
	貯蔵プール 4	Sellafield	セラフィールド社	① 1981 年 ③ 2040 年予定	1,500 tHM	
	DOUNREAY Fuel Storage Facility	Dounreay	ドーンレイサイト回復 会社	① 1982 年	20 tHM	
	NDA Sellafield Fuel Handling Plant	Sellafield	セラフィールド社	① 1986 年	2,700 tHM	
	NDA Thorp RT and ST-1,2	Sellafield	セラフィールド社	① 1988 年 ③ 2085 年予定	3,800 tHM	
ウラン濃縮	Urenco UK Ltd	Capenhurst	URENCO (Capenhurst) Ltd	① 1972 年	5,000 MTSWU/年	

再転換 (UF4)	Springfields Main Line Chemical Plant	Springfields	Westinghouse / UK	① 1960 年	10,000 tHM/年	
再転換 (UO2)	Springfields Enr. U Residue Recovery Plant	Springfields	Westinghouse / UK	① 1985 年	65 tHM/年	
	Springfields OFC IDR UO2 Line	Springfields	Westinghouse / UK	① 1995 年	900 tHM/年	
使用済燃料再処 理	NDA Magnox Reprocessing	Sellafield	セラフィールド社	① 1964 年 ③ 2020 年予定	1,500 tHM/年	
	NDA Thorp	Sellafield	セラフィールド社	① 1994 年 ③ 2018 年	900 tHM/年	
AGR 用燃料製造 (ウラン燃料集 合体)	Springfields OFC AGR Line	Springfields	Westinghouse / UK	① 1996 年	290 tHM/年	
LWR 用燃料製造 (ウラン燃料集 合体)	Springfields OFC LWR Line	Springfields	Westinghouse / UK	① 1996 年	200 tHM/年	

³⁰⁸ IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧
<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

2.1.4.2 事業者

a. 企業名

Urenco 社

b. 株主³⁰⁹

英国政府：1/3、オランダ政府：1/3、ドイツ事業者（RWE 社と E.ON 社）：1/3

c. 売上高

18 億ユーロ（2019 年）³¹⁰

d. 損益

800 万ユーロ（2019 年）

e. 寡占度

世界で濃縮事業を実施しているのは、Urenco 社以外には、仏 Orano 社、中国 CNNC、ロシア ROSATOM であり、市場は寡占状態に近いものと考えられる³¹¹。

f. 経営戦略

直近の濃縮ウラン市場環境は厳しく、供給過多にあり、Urenco 社の事業環境を圧迫しているため、同社は将来的に濃縮施設に再投資するための原資を確保することを目指し、2019 年には新規ビジネスに投資することを決定している³¹⁰。

g. 関連企業（サプライチェーン等）

Urenco 社の体制は以下の図 2-2 のとおりであり、英国やオランダ等に関連子会社を置いて事業を実施している。

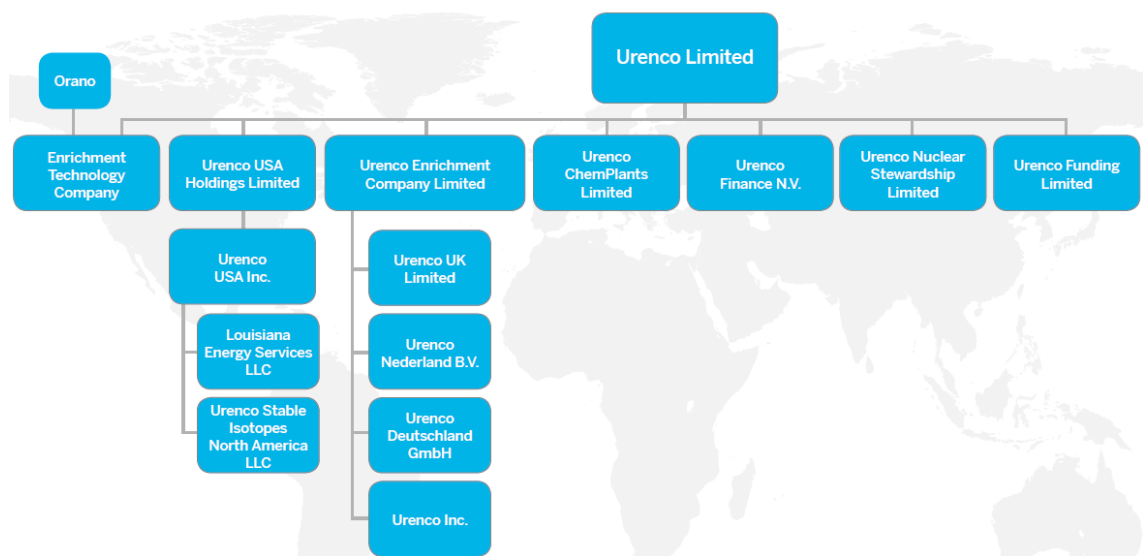


図 2-2 Ureco 社の体制

a. 企業名

ウェスティングハウス社

b. 株主

不明

c. 売上高

不明

d. 損益

不明

e. 寡占度

不明

f. 経営戦略

不明

g. 関連企業（サプライチェーン等）

不明

2.1.4.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

英国では商用炉における MOX 燃料の装荷実績はない。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

英国では MOX 燃料の装荷実績はなく、その再処理も実施されていない。

³⁰⁹ Urenco 社、「Wider Governance」、<https://www.urenco.com/investors/wider-governance>、
2020 年 12 月 14 日閲覧

³¹⁰ Urenco 社、「Annual Report 2019」、https://www.urenco.com/cdn/uploads/supporting-files/Urenco_AR_2019.pdf

³¹¹ Orano 社、「Credit Update」、2018 年 9 月、https://orano.group/docs/default-source/orano-doc/finance/credit-update/2018/presentation-credit-update-2018-v4.pdf?sfvrsn=b2a81bd0_6

2.1.5 ドイツ

2.1.5.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS の情報及びその他に基づき、ドイツの核燃料サイクル施設の情報を整理する³¹²

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数操業 ③ 終了時期 *記載なしは情報 入手できず	役務能力	その他特記事項
オフサイト 乾式貯蔵	ゴアレーベン 集中貯蔵施設	Gorleben	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 1995 年 (別記 A)	3,800 tHM (貯蔵量)	使用済燃料及びガラス固化体キャスク を収容。 1.3.5.22)参照
	アハウス中間 貯蔵施設	Ahaus	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 1997 年 (別記 A)	3,960 tHM (貯蔵量)	高温ガス炉燃料キャスクを中心に貯蔵。 1.3.5.22)参照
	ノルト集中中 間貯蔵施設	Rubenow	Energiewerke Nord	① 1999 年 (別記 A)	585 tHM	旧東独の VVER 燃料等を貯蔵。 1.3.5.22)参照
オンサイト 乾式中間貯 蔵	リンゲン (エ ムスラント) サイト内中間 貯蔵施設	Lingen	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2002 年 (別記 A)	1250 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	ビブリスサイ ト内中間貯蔵	Biblis	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2005 年 (別記 A)	1400 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。

	施設					1.3.5.22)参照
	グラーフエン ラインフェルト サイト内中 間貯蔵施設	Grafenrheinfeld	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2005 年 (別記 A)	800 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	グローンデサ イト内中間貯 蔵施設	Grohnde	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2005 年 (別記 A)	1000 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	ブルンスビュ ッテル サイト 内中間貯蔵 施設	Brunsbuttel	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2006 年 (別記 A)	450 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	グンドレミン ゲン サイト 内中間貯蔵施 設	Gundremmingen	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2006 年 (別記 A)	1,850 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	クリュンメル サイト内中間 貯蔵施設	Geesthacht	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2006 年 (別記 A)	775 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	ネッカーサイ ト内中間貯蔵 施設	Neckarwestheim	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2006 年 (別記 A)	1,600 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	フィリップス ブルクサイト 内中間貯蔵施	Philippsburg	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2006 年 (別記 A)	1,600 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照

	設					
	ウンターベ ーサイト内 中間貯蔵施設	Stadland	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2007 年 (別記 A)	800 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
	イザールサイ ト内中間貯蔵 施設	Isar	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 2007 年 (別記 A)	1,500 tHM	主に同プラントの使用済燃料を貯蔵。 1.3.5.22)参照
オンサイト 湿式中間貯 蔵	オブリッヒハ イムサイト内 中間貯蔵施設	Obrigheim	連邦中間貯蔵機 関 (BGZ)	① 1999 年	286 tHM	唯一のサイト内湿式貯蔵施設だが、貯蔵 されていた燃料はネッカーに移送され 全て乾式貯蔵に移行済み。 1.3.5.22)参照
ウラン濃縮	ウレンコ・ド イツ	Gronau	ウレンコ・ドイ ツ社	① 1985 年	2005 年に第 2 プラン ト許可取得。 処理能力を 1,800 tU/ 年→3,900 tU/年に増 強	遠心分離法によるウラン濃縮。 許可は 4,500 tU/年で取得している。 U3O8 貯蔵庫 (6 万 t) 増設。2019 年以 降に貯蔵開始 (2018 年末時点)。
軽水炉燃料 製造 (ウラ ン燃料集合 体)	Advanced Nuclear Fuels リンゲン工場	Lingen	Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF) ※ 仏 Framatome100 % 子会社	① 1979 年	650 tHM/年	年間約 1500 体の PWR、BWR 用燃料集 合体製造 ³¹³ 。

(別記 A) ドイツの中間貯蔵施設操業許可はすべて 40 年で発給。しかし選定プロセス白紙化に伴い最終処分場遅延が見込まれ、中間貯蔵施設の長期供用に向けた許可延長が議論中³¹⁴。

³¹² 連邦放射性廃棄物処分安全庁（BASE）、「独連邦共和国における原子力利用状況報告書 2018 年」、2019 年
https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2019081919007/3/BfE-KE-04_19_Statusbericht_zur_Kernenergienutzung_2018_Rev.pdf

³¹³ Framatome、「リンゲンの燃料要素と技術」、2018 年
https://www.framatome.com/businessnews/liblocal/docs/Plattform%20Deutschland/Presse/2018/ANF-BE-Lingen_2018.pdf

³¹⁴ BASE ウェブサイト、「中間貯蔵施設の許認可有効期間」、2020 年 9 月 4 日閲覧
<https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/laufzeiten-zwl/laufzeiten-zwl.html>

2.1.5.2 事業者

a. 企業名

Urencos 社

ドイツ国内では Urenco のドイツ子会社が濃縮事業を実施している。以下 Urenco の企業情報については英国の項目において報告している。

2.1.5.3 事業者（その 2）

a. 企業名

Advanced Nuclear Fuels GmbH (ANF)

b. 株主

ANF 社は仏 Framatome の 100%子会社である。Framatome 社の株式の 75%はフランス電力（EDF）、19.5%を三菱重工業、5%を Assystem が所有している³¹⁵。

c. 売上高

Framatome 全体としての 2019 年収益は 33 億 7,700 万ユーロであった³¹⁶。

d. 損益

Framatome 全体としての利息、税金、減価償却及び償却前利益（EBITDA）は 5 億 2700 万ユーロであった³¹⁶。

e. 寡占度

Framatome の燃料事業は、ドイツ事業所含む部門全体で、世界中で稼働している 263 基の軽水炉（VVER を除く）のうち、107 基に対して同社技術の燃料を提供している³¹⁷。

f. 経営戦略

Framatome のコアビジネスは原子力蒸気供給系の提供であり、これらに関して安全、ソリューションサービスを提供していくと共に、世界における原子力発電所新增設プロジェクトの状況等を鑑み、燃料、近代化、サービスの分野で市場シェア拡大を狙うとしている。³¹⁵

g. 関連企業（サプライチェーン等）

Framatome には燃料事業以外にもコンポーネント製造その他複数の事業ユニットがあるが、燃料事業部門に関してはフランス、ドイツの他、米国リッチランドにも拠点がある³¹⁸。

In France

> Jarrie	> Montreuil-Juigné
> Paimboeuf	> Romans
> Rugles	> Ugine

In Germany

> Karlstein	> Lingen
-------------	----------

In United-States

> Richland

図 2-3 Framatome 社の世界における燃料事業立地

2.1.5.4 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

ドイツでは 1970 年代より MOX 燃料を PWR、BWR 双方にて装荷している。ドイツでは 2022 年までに全原子炉が閉鎖されるがドイツ所有の回収プルトニウムによる MOX 燃料は 2016 年までに全量原子炉に装荷済みである。最終的に処分される使用済 MOX 燃料の総量は、PWR での使用分が 1,530 体、BWR での使用分が 1,250 体、合計 2,780 体ほどと見込まれている¹³⁶。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

ドイツでは使用済 MOX 燃料の再処理は実施していない。

2.1.6 ベルギー

2.1.6.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³¹⁹の情報に基づき、ベルギーの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始 時時 ② 耐用年数 操業 ③ 終了時期 *記載なしは 情報入手でき ず	役務能力	その他特記事 項
使用 済燃 料貯 蔵	ドール 原子力 発電所	Oost- Vlaanderen	エ レ ク ト ラ ベ ル社	① 1995 年	2,100 tHM (165 コンテナ 分に相当)	乾式貯蔵施設 (AFR)
	チアン ジュ原 子力発 電所	Province de Liège	エ レ ク ト ラ ベ ル社	① 1997 年	1,760 tHM (燃 料 要 素 3,700 本分に相 当)	湿 式 貯 蔵 (AFR)

³¹⁵ EDF2019 年年報

<https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-en/financial-information/regulated-information/reference-document/edf-urd-annual-financial-report-2019-en-2.pdf>

³¹⁶ Framatome ウェブサイト、2020 年 2 月 14 日

<https://www.framatome.com/EN/businessnews-1862/framatome-reports-2019-results.html>

³¹⁷ Framatome ウェブサイト、2021 年 2 月 10 日閲覧

<https://www.framatome.com/EN/businessnews-92/framatome-fuel--development-design-licensing-and-fabrication-of-fuel-assemblies-and-core-components-for-nuclear-reactors.html>

³¹⁸ Framatome ウェブサイト、2021 年 2 月 10 日閲覧

<https://www.framatome.com/EN/businessnews-92/framatome-fuel--development-design-licensing-and-fabrication-of-fuel-assemblies-and-core-components-for-nuclear-reactors.html>

³¹⁹ IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧

<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

2.1.6.2 事業者

ベルギーでは、原子力発電所における使用済燃料の中間貯蔵施設以外に、操業中の燃料サイクル施設は存在しない。

2.1.6.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

ベルギーでは 1995～2006 年にかけて、以下に示すとおり累計で 144 体の MOX 燃料集合体の装荷実績がある¹⁴⁵。

表 2-1 ベルギーにおける MOX 燃料集合体の装荷実績

	ドール 3 号機	チアンジュ 2 号機	合計	累計
1995	8	8	16	16
1996	8	12	20	36
1997	8	12	20	56
1998	8	8	16	72
1999	8	0	8	80
2000	8	8	16	96
2001	8	0	8	104
2002	8	0	8	112
2003	8	0	8	120
2004	8	0	8	128
2005	8	0	8	136
2006	8	0	8	144

出所) 連邦経済・中小企業・自営業・エネルギー省、「Etude prospective et informative relative à la gestion des combustibles irradiés en Belgique」に基づき作成

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

ベルギーにおいては、使用済 MOX 燃料の再処理実績はない。

2.1.7 オランダ

2.1.7.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³²⁰の情報に基づき、オランダの核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数 ③ 終了時期 *記載なしは情報入手 できず	役務能力	その他特記事項
オフサイト乾式貯蔵	高レベル放射性廃棄物貯蔵施設 (HABOG)	Vlissingen	放射性廃棄物中央機構 (COVRA)	① 2003 年 ② 100 年間の貯蔵を想定	オランダ全国の使用済燃料・高レベル放射性廃棄物を 100 年間集中貯蔵する想定	使用済燃料、ガラス固化体を貯蔵。使用済燃料は商用炉分が全量再処理されているため、もっぱら研究炉由来のものを貯蔵 オランダ全国の使用済燃料・高レベル放射性廃棄物を 100 年間集中貯蔵する想定 1.3.2.22)参照
ウラン濃縮	ウレンコ・オランダ	Almelo	ウレンコ・オランダ	① 1973 年	6200 MTSWU/年 ³²¹	遠心分離法によるウラン濃縮 許可は 6200 MTSWU/年で取得している

³²⁰ IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧

<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

³²¹ ウレンコ社ウェブサイト、「ウレンコ・オランダ」、2020 年 9 月 4 日閲覧

<https://www.urengo.com/global-operations/urengo-nederland>

2.1.7.2 事業者

a. 企業名

Urencos 社

オランダ国内では Urenco のオランダ子会社が濃縮事業を実施している。以下 Urenco の企業情報については英国の項目において報告している。

2.1.7.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

オランダでは 2014 年より、国内唯一の運転中の原子力発電所であるボルセラにおいて、MOX 燃料の装荷を実施している。MOX 燃料装荷は装荷燃料全体の最大 40%まで許可されており、同発電所が運転を終了する 2034 年まで、装荷が継続される予定である^{155 159}。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

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おり、今後のフランスにおける使用済 MOX 燃料の再処理の可能性は排除していない¹⁵⁹。

2.1.8 中国

2.1.8.1 施設情報

以下、IAEA の NFCIS³²²の情報に基づき、中国の核燃料サイクル施設の情報を整理する。

分類	施設名	立地場所	運用者	① 操業開始時 ② 耐用年数 ③ 終了時期 *記載なしは情報 入手できず	役務能力	その他特記事項
オフサイト 湿式使用済燃料 貯蔵	集中湿式貯蔵 施設 (CWSF)	蘭州核燃料コ ンプレックス (LNFC)	LNFC	① 2003 年	1300 tU	
ウラン鉱 石処理	福州	福州	福州ウラン 鉱山	① 1996 年	350 tU/年	この鉱山は、火山の鉱床にある。 将来的に年産 500t への拡張が計画されて いる。
	崇義	江西省贛州市 崇義県	CNNC	① 1979 年	120 tU/年	
	藍田	陝西省西安市 藍田県	不明	① 1993 年	100 tU/年	
	伊寧	新疆ウイグル 自治区イリ・ カザフ自治州	CNNC 新疆 鉱業・冶金局	① 1993 年	480 tU/年	年産 800t まで生産能力を拡張予定。

		グルジャ市 (伊寧市)				
	本溪	遼寧省本溪市	不明	① 1996 年	120 tU/年	酸硬化した後に鉄のトリクルによりウランを浸出させるプロセスを採用。
	晴隆	貴州省黔西南 プイ族ミャオ 族自治州晴隆 県	CNNC	① 2007 年	100 tU/年	
	韶関	広東省韶関市	CNNC	① 2008 年	160 tU/年	
ウラン濃縮	陝西ウラン濃縮プラント	陝西省漢中市	陝西ウラン濃縮プラント	① 1997 年	1000 MTSWU/年	500MTSWU／年の設備を増強中。
	蘭州 2	LNFC	不明	① 2005 年	500 TSWU/年	2019 年の設備能力は 3.56MSWU
六フッ化ウランへの再転換	蘭州	LNFC	中国原子能工業有限公司	① 1980 年	3000 tHM/年	
	衡陽(再転換)	湖南省衡陽市	衡陽ウランプラント	① 2016 年	3000 tU/年	
PWR 及び VVER 用燃料製造 (ウラン燃	宜賓核燃料要素プラント	四川省宜賓市	CNNC 新疆 鉍業・冶金局	① 1998 年	800 tHM/年	

料集合体)						
PHWR 用 燃料製造 (ウラン燃料 料集合体)	CANDU 燃料 プラント	内モンゴル自 治区包頭市	包頭核燃料 要素プラン ト	① 2003 年	200 tHM/年	
PWR 用燃 料 製 造 (ウラン燃 料集合体)	PWR 燃料プ ラント	内モンゴル自 治区包頭市	包頭核燃料 要素プラン ト	① 2012 年	600 tU/年	2015 年時点で設備容量は年産 400t で、 800t へ拡張予定。
高温ガス 炉用燃料 製造 (ウ ラン燃料 料集合体)	高温ガス炉燃 料プラント	内モンゴル自 治区包頭市	包頭核燃料 要素プラン ト	① 2016 年	年産球体燃 料 30 万個	高温ガス炉は球体の燃料を用いるが、本 プラントの生産能力をトン換算すると年 産 400t 2020 年までに年産 800t に拡張予定。
再処理施 設	蘭州（再処理 パイロットプ ラント）	LNFC	LNFC	① 2001 年操業開 始となっている が、ステータスは 建設中となってい る。	0.1 tHM/年	1.2.8.2 等参照

³²² IAEA : INFCIS (Nuclear Fuel Cycle Information System) 、2020 年 9 月 8 日閲覧

<https://infcis.iaea.org/NFCIS/Facilities>

2.1.8.2 事業者

以下、2.1.8.1の「運用者」に記載のあった企業の所有施設等の情報を、CNNCのウェブサイト情報等を基に整理する。ただし、中国では核燃料サイクルに関連する企業の情報公開は極めて限定的である。

企業名	蘭州核燃料コンプレックス (LNFC)
所有施設	集中湿式貯蔵施設 (CWSF) 蘭州 2 (ウラン濃縮) 蘭州 (再転換)
株主	CNNC の 100% 所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループの独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業 (サプライチェーン等)	不明

企業名	福州ウラン鉱山
所有施設	福州 (ウラン鉱石処理)
株主	CNNC の 100% 所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループの独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業 (サプライチェーン等)	不明

企業名	中国核工業集团公司 (CNNC)
所有施設	崇義 (ウラン鉱石処理)
株主	国有資産管理監督委員会
売上高	946.4 億人民元 (2013 年)
損益	74 億人民元 (2014 年)
寡占度	中国のバックエンド事業を独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業 (サプライチェーン等)	バックエンド事業を実施する事業者を子会社として所有

企業名	CNNC 新疆鉱業・冶金局
-----	---------------

所有施設	伊寧（ウラン鉱石処理） 宜賓核燃料要素プラント（PWR 及び VVER 用燃料製造(ウラン燃料集合体)）
株主	CNNC の 100%所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループ の独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業（サプライチェーン等）	不明

企業名	陝西ウラン濃縮プラント
所有施設	陝西ウラン濃縮プラント
株主	CNNC の 100%所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループ の独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業（サプライチェーン等）	不明

企業名	中国原子能工業有限公司
所有施設	蘭州（六フッ化ウランへの再転換）
株主	CNNC の 100%所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループ の独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業（サプライチェーン等）	不明

企業名	衡陽ウランプラント
所有施設	衡陽（再転換）
株主	CNNC の 100%所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループ の独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業（サプライチェーン等）	不明

企業名	包頭核燃料要素プラント
所有施設	CANDU 燃料プラント PWR 燃料プラント 高温ガス炉燃料プラント
株主	CNNC の 100%所有会社と思われる
売上高	不明
損益	不明
寡占度	中国のバックエンド事業は CNNC グループの独占。フロントエンドもほぼ独占状態
経営戦略	不明
関連企業（サプライチェーン等）	不明

2.1.8.3 その他特記事項

a. 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

中国では商用原子炉における MOX 燃料の装荷実績はない。

b. 使用済 MOX 燃料の再処理の実施

中国では使用済 MOX 燃料の再処理の実施実績はない。

2.2 各国を通じた特記事項

2.2.1 再処理施設等のトラブル情報

原子力規制委員会の公開情報から得られる、IAEA による国際原子力事象評価尺度 (INES: International Nuclear and Radiological Event Scale) にて 1992 年から 2013 年までの期間で報告された情報に基づき、サイクル関連施設のトラブル情報を整理した。³²³

³²³ 原子力安全基盤機構、国内・国外トラブル、（2021 年 2 月 18 日最終閲覧）

<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8405841/www.atomdb.jnes.go.jp/events-oversea/2013.html>

※対象期間はデータがある 1992 年～2013 年。フランスは ASN より 2016 年までの情報を記載。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
1	アメリカ	Perma-Fix	2009 年 2 月 3 日	2	廃棄物処理	従業員被ばく	機器故障 (呼吸保護装置 の故障)	注)下記は、当初の報告を全体的に更新するものである。2009 年 2 月 12 日、認可取得者の従業員は、Battelle(PacificNorthwestNationalLaboratory)において肺の生物検定(肺における計数測定)を受けるために搬送された。空気中汚染レベルが措置レベル(actionlevel)を超えたため、認可取得者の雇い主は、肺の生物検定を受けるよう命じた。同従業員の肺に対する最初の計数測定により、平均で約 14.8Bq(0.4nCi)の Am(アメリシウム)-241 が検出された。10 日前から被ばくしていたと仮定すると(被ばく後調査結果に基づく)、約 70Bq(1.9nCi)の Am-241 を摂取したことになる。米国において、Am-241 の摂取に対する年間限度は 222Bq(6nCi)(放射能空気動力学的直径中央値で 1 ミクロンの粒子サイズ：1micronActivityMedianAerodynamicDiameterparticlesize)である。被ばく線量は、年間限度の約 1/3、即ち、0.16Sv(16rem)の預託線量当量(CDE:CommittedDoseEquivalent)と推定された。これは、年間法定限度である 0.5Sv(50rem)を超えた(訳者注：原文では「年間法定限度を超えた」と記載しているが、文脈から「年間法定限度を超えていなかった」が正しいものと推定される)。同作業員は、以前に全身被ばくを受けていたが、今回の被ばくを加えても法定限度を超えることはなかった。2009 年 3 月 25 日、認可取得者の雇い主は、Washington 州保健部に対して、Battelle での更なる検査によりオリジナルの被ばく線量評価結果を改訂する必要があり、その結果、0.5Sv(50rem)という預託線量当量限度を超える可能性があると報告した。認可取得者の雇い主は、被ばくした日が 2009 年 2 月 3 日であると仮定した。格納施設内に一緒にいた別の従業員の便に対する生物検定では、少量の放射能が検出され、彼に対する被ばく線量は法定限度を超えていなかった。彼の肺に対する生物検定の結果は、検出限度未満であった。2009 年 6 月 22 日、認可取得者は、Washington 州保健部に対し、従業員に対する預託実効線量当量(CEDE:CommittedEffectiveDoseEquivalent)が 68mSv(6.8rem)であり、骨表面に対する預託線量当量が 1.2Sv(120rem)であったと報告した。また、線量計によれば、2009 年第 1 四半期に配する同従業員の深部線量当量(DeepDoseEquivalent)は、0.3mSv(30mrem)であった。浄化機能(clearancefunction)に対して修正された ICRP30 の方法を用いて摂取量が計算された。Am-241 の摂取量は、肺での蓄積と浄化率(clearancerate)により計算された。プルトニウム(Pu)の摂取量は、排泄物の生物検定結果と、Pu に対する Am-241 の比率から推定された。被ばく線量は、CINDY コード(バージョン 1.2)を用いて計算された。粒子サイズの検討が行われ、最も適切な粒子サイズとして、放射能空気動力学的直径中央値で 1 ミクロンという値が採用された。本事象の正確な原因は不明であるが、呼吸保護装置の故障によるものと推定されている。認可取得者による再発防止策には、高リスクの作業前に抗体ガス(challengegas)を用いて作業員各人に対する検査を行うこと、空気中汚染を緩和するための管

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
								理を強化すること、燐光性粉末と不可視光線(blacklight)を用いて作業員に対する特別な訓練を行うこと、より頻繁に生物検定を行うこと、摂取を迅速に検出するために鼻スミアを行うこと、高リスク作業用に空気吸入装置を使用すること、作業員や管理者及び保健物理スタッフに対する訓練を行うことが含まれている。当該区画での作業が再開され、更なる被ばくは起こらなかった。(2009 年 2 月 14 日に報告された事象概要)(訳者注：原文では「2009 年 2 月 14 日に報告された」となっているが、INES への暫定報告がなされたのは 2009 年 4 月 14 日であるため、「2009 年 4 月 14 日に報告された」が正しいものと思われる)2 月 3 日、空気サンプルの結果が Am-241 アルファ線濃度約 3.7E-07kBq/ml(1E-08μCi/ml)の格納施設内に 1 人の作業員が数時間滞在し、その間、電動式空気洗浄呼吸装置(PAPR:PoweredAirPurifyingRespirator、防護係数 1000)を装着していた。2009 年 2 月 9 日、この作業員は、生物検定(肺における計数測定)を受けるために搬送された。2009 年 3 月 25 日、認可取得者は、Washington 州保健部に対し、オリジナルの計算に関して更なる分析を行ったところ、同作業員の線量が肺に対する預託線量当量(CDE:CommittedDoseEquivalent)の年間法定限度 0.5Sv(50rem)を超えていた旨報告した。作業員の推定被ばく線量は、預託線量当量で約 1Sv(100rem)、預託実効線量当量(CEDE:CommittedEffectiveDoseEquivalent)で 0.05Sv(5rem)である。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
2	アメリカ	Pacific EcoSolutions	2006 年 11 月 1 日	2	廃棄物処理	従業員被ばく	文献からは不明 (不十分な事前 検査や作業ミスの 可能性)	11 月 1 日、3 名の作業員が保管容器から線源、遮へい容器、くず類の分離作業に携わっていた。作業は、PEcoS 廃棄物処理建屋内の換気がある区画区域で行われていた。区画内の 2 名の作業員は防護マスクを着用し、監督者(マスクを着用していない)は区画外の近辺で作業を指示していた。作業終了時に、監督者は自身の汚染に気づいた。監督者は、翌日の早い時間にバッチル施設で全身計測を受けることとした。約 432.9Bq(11.7nCi)のアメリカシウム 241 の摂取が確認された。その人の肺への予備的線量評価は、0.975Sv(97.5rem)の預託線量当量であった。職業人の法律上の限度は 0.5Sv(50rem)である。その人はキレート剤治療を開始した。他の作業員 2 名は、11 月 3 日に全身計測に向かった。作業には 3 個のアメリカシウム 241 線源を含んだ鉛容器の開放があった。事前の検査では、鉛容器の外又はくず入れの中では汚染がなかった。線源の線量率測定が行われ、スミヤ検査が行われないまま線源が鉛容器から分離された。公衆又は環境への放出はなかった。当該場所は立入り禁止となり現在換気されている。保健部は、現地検査官により事故調査を行っている。
3	アメリカ	非公開	2006 年 3 月 6 日	2	その他	高濃縮ウラン溶液の流出	情報伝達ミスによる作業ミス	高濃縮ウラン(High-Enriched Uranium, HEU)処理が認可されている施設において、新処理システム設置当初には、バグフィルター付グローブボックスカバーは、HEU 溶液移送配管に接続されていた。当該施設運用者は、新処理システムで HEU 溶液を処理しはじめたときに、当該バグフィルター付グローブボックスカバーを使わないこととしたが、当該カバーを HEU 溶液移送配管につないだままにしていた。本事象前にシステム系統図が更新され、サンプル弁がボール弁であると誤記載された。当該サンプル弁でグローブボックスへの流れを止めることなくサンプル配管に流すようにしていた。作業員は、HEU 溶液移送配管からグローブボックスが当該バルブで隔離されていると誤認した。本事象の前に、グローブボックス内に黄色の液体があるようだと報告されていた。当該黄色液体は、新処理システムの初期試験に使った天然ウラン溶液と考えて、管理者は報告書を精査しなかった。事象の直前に施設運用者は、使用していないグローブボックスカバーを他の場所へ移すことに決めた。作業員はフィルターハウジングを開けてグローブボックスを動かせるよう排出を指示されていた黄色の液体に気づいた。液体を排出した後、作業員は当該システムの封をしっかりとらなかった。その後の HEU 溶液移送配管での移送中に、グローブボックスに HEU 溶液約 35 ℓ が洩れた。グローブボックスカバー内で、HEU 溶液が臨界になるのを防止する第一義的方法は、床に溶液を流すことであった。グローブボックスカバーは使用されていないと考えられていたので、ドレインが開いておりデブリがないと確認するという管理手順はとられていなかった。本事象中、グローブボックスカバーにデブリはなく、ドレインは閉っていた。HEU 溶液は床に達して広がりドアの下にまで流れこんだ。排出容器の場所にいた作業員及び充填容器の場所にいた作業員とも流出に気づくほどグローブボックスに近い場所にはいなかった。部屋の外の廊下にいたほかの作業員がドアの下まで溶液がきているのに気づいて、他の作業員に当該流出を警告した。運用に安全がはかられ、流出に対応した措置がとられて移送が完了し、配管から排

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
								出された。施設床面で HEU 容器が臨界量に達しないようにした主要な管理方法は、集積する場所がないように床が平坦になっていることだった。本事象の調査中、流出が認められたドアの近くの使用していないエレベータの下にくぼみがあるのが見つかった。そのくぼみは、床による(臨界)防止管理措置を無駄にある危険性をもっていた。移送中の全体積は、もしも条件がちがっていれば、グローブボックス内かエレベータで十分臨界になる量以上であった。もしもグローブボックス内かエレベータのくぼみで臨界となっていたら、少なくとも 1 名の作業員が急性健康影響を生じるか死に至るほど高い被ばくを受けていただろう。施設運用者は影響を受けた区域での HEU 処理をすべて停止した。処理を再開する前に適切な対応措置が講じられ、規制当局により承認を受けなくてはならない。
4	イギリス	Sellafield、 Magnox 再処 理工場	2009 年 1 月 23 日	2	燃料再処理 施設	換気ダクトの凝 縮水の放出によ る放射能汚染	文献からは不明 (汚染が広範囲 に拡大していな ことを確認)	セラフィールドにあるマグノックス(Magnox)燃料の再処理工場で、換気ダクトの凝縮水ドレン配管の弁のフランジ部から液滴の漏れが確認された。液滴は屋外のコンクリート地盤で地面に砂利を敷き詰めた地表面で観測された。この場所は、セラフィールドの公式の汚染管理区域であるが、現在は汚染管理区域から解除されている。しかしながらこの場所は、施設の敷地境界内にある。凝縮水はサンプリングされ、放射性物質で汚染されていることが確認された。用心のため汚染箇所に対し 2 m の範囲にアクセス制限が適用された。さらに安心のために、汚染された場所の近くの歩道を使用していた建設作業員について、再度モニタリングが行われ、汚染されていないことが確認された。またモニタリングによって、広範囲に拡大した汚染が発生していないことも確認されている。英国の規制当局に対し、放射能の量が電離放射線規則の閾値を超えると予想されたため、直ちに通報がなされた。本事象は最初 INES レベル 1 に評価され、そして 2009 年 5 月 11 日に INES レベル 2 に再評価された。
5	イギリス	Sellafield、 THORP 再処理 プラント	2005 年 4 月 20 日	3	燃料再処理 施設	THORP 再処理 プラントにおける 配管破損	文献からは不明 (周辺環境への 放射性物質の放 出はない)	2005 年 4 月 20 日に、セラフィールド THORP 再処理プラントのフィード清澄セルで配管破損が見つかった。当該配管は、前処理工程タンクへの給液配管で、破損によりセルへ大量の溶解液の流出がおこり、当該セル鋼材部分が腐食した。流出した溶解液は硝酸液であり、体積は約 83m3 で照射ウランとプルトニウムと核分裂生成物を含んでいる。作業従事者の被ばくはなく、周辺環境への放射性物質の放出はない。セルは、どのような流出液体をも入れることができるように設計されており、セルからの漏れはない。セル内で臨界になる可能性もなく、セル内部及びプラントの状況には問題はない。調査委員会が召集され、配管破損検査と施設の運転再開方法を決めるプロジェクトグループとともに、配管破損原因を調査している。作業は順調に進められており、液の回収は数週間以内に終了するものと予測されている。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
6	イギリス	Sellafield	1999 年 10 月 19 日	2	燃料再処理 施設	誤った輸送容器 に収納された放 射線源	文献からは不明 (管理不十分の 可能性)	1999 年 10 月 19 日、放射線源をセラフィールド再処理工場からドリッグ低放射性廃棄物処理施設へ託送するための書類を作成中、輸送物質に対する輸送規制に適合するためには、B 型の輸送容器を使用すべきところ、A 型の輸送容器が使用されようとしていることを発見した。そのため、輸送は延期された。過去の輸送記録を確認したところ、長年、ドリッグとセラフィールドの同様の輸送には誤った輸送容器が使用されていた事が分かった。誤った輸送容器での託送は制限条件に対する違反に等しいとみなされる。この事象の原因を特定するため、管理に対する調査が行われている。この事象による安全上の影響はなかった。また、環境・健康への影響もなかった。
7	イギリス	Sellafield、 Magnox 燃料 処理施設	1999 年 4 月 11 日	2	燃料再処理 施設	放射性物質の溢 出	文献からは不明 (周辺環境への 影響はない)	マグノックス燃料処理施設における定期的な検査により、Decanner-2 の主 - 従型マニピュレータ(masterslavemanipulator)ポート 14 下部の床上、同マニピュレータ変更の際に使用する可搬式保守用デッキ、及び、監視窓の枠に汚染粒子の溢出が認められた。暫定評価によれば、電離放射線規制における通達レベルを上回る量の放射性物質が溢出したものと推定されている。本事象では、人の被ばくはなく、衣服の汚染も報告されていない。また、環境への影響もなかった。
8	イギリス	Sellafield、ガラ ス固化処理施設	1999 年 3 月 12 日	2	燃料再処理 施設	皮膚に対する線 量制限値を上回 る被ばく	文献からは不明	作業員が、高レベル放射性廃液を最終処分するためのガラス固化処理施設を離れる前に、更衣室に設置されている個人モニタによる検査を行ったところ、自身が汚染されていることが判った。その後の調査により、個人用防護設備の数多くの機器の汚染が確認されると共に、同作業員が隔離区域で操作していた主 - 従型マニピュレータ(MasterSlaveManipulator)にもベータ・ガンマ汚染が検出された。手袋に対する TLD(線量計)の評価並びにプラント放射線防護アドバイザーによる予備的調査により、年間法定制限値である 0.5Sv を上回る皮膚被ばくを受けている可能性が示された。同作業員は、その後の放射線従事作業を禁止され、現在診察を受けている。調査は現在も進行中である。
9	イギリス	Dounreay	1998 年 5 月 7 日	2	燃料再処理 施設	燃料サイクル区 画における換気 系の喪失	掘削機による電 源ケーブルの損傷	スコットランド地方の Thurso にある UKAEA 所有の Dounreay において、掘削機により、再処理施設と廃棄物管理施設に電源を供給している 11kV の電源ケーブルが損傷した。補助電源からの供給が所定通りに行われなかったため、換気ファンへの電源供給が喪失した。その結果、施設からの避難が行われた。換気ファンへの電源供給は、15 時間後に復旧した。施設への再入室の際、汚染のないことが確認された。周辺環境及び施設内での放射線モニタリングが行われたが、放射能の放出は認められなかった。
10	イギリス	Springfields	1997 年 6 月 9 日	0	燃料製造施 設	使用済抽出換 気フィルターの火 災	文献からは不明 (公衆への影響 はない)	1997 年 6 月 9 日 13:05、Springfields の濃縮ウラン化学工場(かつての EURRP)において、数多くの換気系フィルターが燃えだし、建屋 633 外側で軽微な火災が発生した。サイト内の自衛消防隊の活動により約 30 分以内に火災は抑制された。念のため、Lancashire 郡消防署が出動要請を受け、火災の鎮火作業を支援した。この火災では、負傷者もなく、一般公衆への影響もなかった。現在、火災の原因について調査が行われている。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
11	イギリス	Sellafield、再 処理工場	1997 年 2 月 3 日	2	燃料再処理 施設	放射性溶液の漏 えい	豪雨による放射 性溶液の雨水ド レンへの漏洩。環 境放出あり。	セラフィールド再処理工場において雨水収集タンクで放射能の異常レベルが計測された。この放射能は放射性溶液移送系からの放射性溶液が漏洩していることが発見された。豪雨により放射性溶液が雨水ドレンにあふれ出し、車道、排水溝、建屋環境が汚染された。約 5GBq のベータ核種と約 100MBq のアルファ核種が地表面等で検出された。作業員の汚染や放射線被ばくは深刻な状況ではなかった。環境への放出は許容限度内であった。
12	イギリス	Sellafield、再 処理工場	1997 年 2 月 2 日	2	燃料再処理 施設	建屋内での気体 状放射性物質の 放出による作業 員の退避	溶解槽充填機分 解中の放射性ヨ ウ素の放出	燃料再処理プラントで、溶解槽充てん機の分解中に、放射能を含む気体が雰囲気へ放出されたため、空気中放射能モニタが鳴り、その時建屋内にいた作業員に対し退避命令が出された。作業員がわずかに汚染し、除染された。本事象では、環境への放射性物質の放出や所外の汚染はなかった。放出された放射性物質は、ヨウ素 131 換算で数十 GBq と推定されている。
13	イギリス	Sellafield	1995 年 7 月 4 日	2	燃料再処理 施設	線量限度を超え た皮膚への被ばく	文献からは不明 (周辺環境への 影響はない)	流動槽(PourCell)-2 への入室後、整備士のポリ塩化ビニル(PVC)製作業服の右ひじ部分が放射能に汚染されていることが判明した。作業服の着用時間の評価と線量測定結果から、約 2Sv の皮膚被ばくを受けたものと推定された。なお、年間の皮膚被ばく線量限度は、0.5Sv である。
14	イギリス	Springfields、 ウラン転換ブラン ト	1995 年 5 月 1 日	2	燃料製造施 設	ウランによる肺へ の線量負荷の増 加	文献からは不明	二酸化ウラン転換プラントの熱交換器で作業しているプロセス運転員が、定例の年 2 回のホールボディ検査により、肺にウランの線量負荷が通常より高い値となっていることが分かった。その後の検査からその作業員は 50mSvCEDE を超えていた可能性があることがわかった。被ばく線量の最終確認には更に 1 週間以上の検査期間が必要である。プラント内の空気中のウランのレベルの定例のサーベイランスでは何の異常も発見されず、その他の作業員への影響もなかった。施設内の調査委員会が開かれ、英国の法律に基づき、関連する規制当局である原子力施設検査局に通報された。
15	イギリス	Sellafield	1995 年 3 月 24 日	2	燃料再処理 施設	負傷による法定 線量限度を超え た被ばく	文献からは不明	1995 年 9 月 14 日、木曜日(No.424)付の SellafieldNewsletter で燃料プラントの作業員の被ばくに関する事象が報告された。それ以来モニタリングと広範囲の調査が実施され、この作業員は 1995 年の年間線量限度を超えて被ばくしていたことが確認された。またこの調査により、その時、同じ区域にいた他の作業員に影響はなく、問題となるような被ばくがなかったことが判明している。安全改善策の一部として、本事象で得られた知見を反映することになる予定である。この事象は法定線量限度を超えていたことから、所管大臣へ報告すべきものであった。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
16	イギリス	Dounreay	1995 年 1 月 1 日	2	燃料再処理 施設	作業員の放射性 物質の摂取	不適切な防護	1996 年 Dounreay 再処理施設における 1995 年の運転に関し、定例の生物検定分析を行うために提出された尿のサンプリング検査により、体内に蓄積された放射性核種からの被ばく線量が規制限度を超える事例が 3 件明らかとなった。このうち 2 件は機器の保守、除染施設の作業に係るものであり、1 件は主再処理プラントの操作に関するものであった。摂取された放射性核種による線量評価の精度を向上するためにサンプリングを延長することになり、生物検定分析が 1996 年を通して続けられた。体内に堆積した放射性物質からの預託生涯線量は摂取した年の線量記録に全て入れることを英国の規則では要求している。摂取を示すこれ等のサンプルとその後の解析により、1995 年の線量記録を次のように修正することとなった。1 件は 244mSv の預託実効線量当量と 4400mSv の骨表面の預託線量、1 件は 210mSv の預託実効線量当量と 3790mSv の骨表面の預託線量、もう 1 件は 43mSv の預託実効線量当量と 780mSv の骨表面の預託線量。これ等の線量が、1985 年に制定された電離放射線規則の全身に対する 50mSv と骨表面の 500mSv の法定年間制限値に匹敵する。総合的な調査が Dounreay での内部被ばく事象に関する安全上の問題を検討するため行なわれた。これにより詳細な勧告が作られその勧告に沿って対策を実施している。例えば内部汚染の可能性のある作業に対して適切な防護装置の着用義務が強化された。なお定例の生物検定分析が継続され、1996 年の運転では改善されていることがわかった。
17	イギリス	Sellafield、 THORP 再処理 プラント	1993 年 10 月 18 日	0	燃料再処理 施設	THORP での硝酸 酸溶液の漏えい	文献からは不明 (被ばく者なし、 環境への放出も なし)	放射性酸化物再処理設備(THORP)の化学分離区域で、ポンプを囲む容器から少量の硝酸ウラニル液が漏れ出した。その漏洩量は約 1 リットルで、約 30cm 四方に拡がった。この漏洩から放射性の被害を受けた者はなく、環境への放射性物質の放出もなかった。大気のサンプリングにより、この漏洩による異常な空気の汚染がなかった事が確認された。漏洩は定例の検査中に発見されたが、完全な閉鎖区域で発生したものであった。
18	イギリス	Dounreay、再 処理施設	1993 年 6 月 29 日	2	燃料再処理 施設	運転員の放射性 物質の摂取	遠心分離フィルタ の入ったドラムの 開封による放射 性物質の放出	1993 年 6 月 29 日の夕方、DOUNREAY にある高速原型炉用の再処理施設において、残留物回収プラントが運転状態にあった。遠心分離フィルタの入ったドラムを開けたところ、微量の放射性物質が放出されたが、放出はプラント内に限定され、直ちに除去された。最初の測定では、従業員に重大な被ばくはなかった。内部被ばくの可能性に関するその後の検査により、1 人の従業員が不溶性のプルトニウム酸化物を吸入したことが明らかとなり、現在、法律によって決められた線量限度を超える可能性があると評価されている。被ばく線量の最終評価は長期間の大便と尿の分析が要求されていることから、数ヶ月後になるであろう。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
19	イギリス	Sellafield	1993 年 5 月 18 日	2	燃料再処理 施設	廃棄物ドラムから の漏えい	文献からは不明	定例検査中、プルトニウムで汚染された廃棄物ドラムに隣接した建屋床に約 200ml の液体が認められた。この液体の化学分析を行ったところ、2.2MBq/ml のベータ線の放射能が含まれていることが判明した。2 人の作業員が液体のサンプリング中に手が僅かに汚染したが、除染に成功した。漏えいした放射能量は、プルトニウム 450MBq と推定され、これはルテニウム 106 の 450GBq の放射能に相当する。
20	イギリス	Sellafield	1993 年 2 月 12 日	2	燃料再処理 施設	負傷による放射 線検査員の過大 被ばく	不適切な防護、 作業	プルトニウム処理施設の溶接検査中に右ひじに刺し傷を受けた放射線検査員の尿検査を含む特別プログラムにより、628mSv の骨の表面での預託線量当量と、32.4mSv の預託実効線量当量が確認された。この検査員は溶接部に接近するため床に横たわる必要があり、その作業中に彼はひじに鋭い痛みを感じた。この傷は切除され、約 1500Bq のプルトニウムが傷の部分から取り除かれた。負傷はガラスの破片によるものであり、この破片は、溶接規準を満足するために、高性能の光学機器を必要とする溶接作業員が使用していた鏡の一部であった。汚染区域内でのガラス材の使用を避けるための方策を検討中である。負傷直後のプルトニウムの排泄を最大にするためのキレート剤 (DTPA) の使用により線量の最終評価は遅れている。
21	イギリス	Sellafield	1993 年 2 月 12 日	1	燃料再処理 施設	プルトニウム回収 プラント B204	文献からは不明	プルトニウム回収プラントの換気系と煙突から、2 日間にわたり、600MBq に及ぶプルトニウムが異常に放出された。被ばくを受けた可能性のある公衆に対する線量は、現在のところ、約 1μSv と推定されている。放出の原因を調査中である。
22	イギリス	Sellafield	1993 年 1 月 12 日	2	燃料再処理 施設	プルトニウム含有 溶剤の流出	サンプリング時の 溶剤流量の制限 のため	使用済み燃料の最終処理段階では、溶剤相 (TBP/無臭ケロシン) 中のプルトニウムをウランプルトニウム核分裂性物質の混合物から分離する。約 10E+6Bq/ml のプルトニウム硝酸塩を含む溶剤は、Pu 硝酸塩を水相に残すために抽出されるが、その前に多数のキャビネット内でサンプリングされる。1 月 12 日にキャビネット内の計器への溶剤流量が制限されたため、プルトニウムを含む溶剤がキャビネットの床に溢れ出し、プラントの運転区域の床にまで達した。異常な被ばくはなく、また、空気汚染も発生しなかった。当該区域の除染が行われた。全体の流出量は 6x10E+9Bq[Pu(α)]及び 0.8x10E+10Bq[Pu241]で、放射能に換算すると 1x10E+10Bq[Pu(α)]に相当する。「所内」の漏えい基準では、数百 GBq の Ru106 の放射線等価量と比較する必要がある。Pu(α)は Bq 当たり Ru106 に比べて約 10E+4 倍である。そのため、漏えい量は Ru106 換算で 1x10E+14Bq に相当する。従って、レベル 2 が選択される。
23	イギリス	Sellafield	1992 年 9 月 8 日	3	燃料再処理 施設	セル内でのプルト ニウム硝酸塩の 漏えい	配管腐食	腐食した配管から格納セルにつながる配管が腐食したことにより、プルトニウム硝酸塩が漏出し、ガラス状の固体となって蓄積した。作業区域及び環境への放出はなかった。漏出物は除去され、プラントは修理され再起動した。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
24	フランス	AREVA NC	2016 年 9 月 7 日	1	燃料再処理 施設	一般運転規則 違反	換気システムの不 具合	2016 年 9 月 7 日、AREVA NC 社のラ・アーグの再処理プラント（UP2-800）において、換気システムの不具合により、ガラス固化のための 仮焼炉及びロータリーキルンの減圧機能が一般運転規則で定められる上限を超える時間（38 分）にわたり失われた。 （出所）ASN、2016 年 9 月 13 日付事象情報、 https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Absence-de-depression-durant-38-minutes-dans-le-calcinateur
25	フランス	AREVA NC	2014 年 7 月 25 日	1	濃縮プラント	ガス拡散ユニット 内への湿った空 気の混入	作業員の操作ミ ス	2014 年 7 月 25 日、AREVA NC 社のジョルジュ・ベス II 濃縮プラントにおいて、濃縮後のウラン残渣を除去するプロセスで作業員の操作ミス により、ガス拡散ユニット内に湿った空気が混入した。 （出所）ASN、2014 年 8 月 4 日付事象情報、 https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Introduction-d-air-humide-dans-un-groupe-de-diffusion-gazeuse
26	フランス	AREVA NC	2014 年 5 月 15 日	1	燃料再処理 施設	一般運転規則 違反	作業員のミス	2014 年 5 月 15 日、AREVA NC 社のラ・アーグの再処理プラント（UP3）において、試薬調合中の勘違いで、使用済燃料の処理に使用 される溶液中のリン酸トリブチル（TBP）濃度が上昇し、一般運転規則の要件に違反する事象が発生。TBP 濃度は、爆発リスクを避けるた め、低レベルに維持する必要がある。 （出所）ASN、2014 年 5 月 30 日付事象情報、 https://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controle/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires/Non-respect-des-RGE-Depassement-limite-de-la-teneur-en-solvant-d-une-solution

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
27	フランス	AREVA-FBFC	2012 年 9 月 26 日	2	燃料製造施設	湿分を含む核分裂性物質のラベル付け、貯蔵及び施設内輸送に適用する要求の不適合に関連した事象のフランス原子力安全当局(ASN)によるレベル 2 への格上げ	湿分を含む物質のラベル付け、貯蔵及び施設内輸送に適用する要求の不適合、安全文化の欠如	2012 年 9 月 26 日、FBFC 社(AREVA の系列会社)は、Romans-sur-Isere(Drome)の核燃料製造施設内で湿分を含む核分裂性物質の梱包、貯蔵及び施設内輸送に適用する要求の不適合に関連した事象について、ASN に通報した。 AREVA-FBFC は、本事象が INES レベル 1 に評価されると ASN に提案した。 事象は、PWR の燃料を製造するための核施設の敷地内で発生した。施設内では、作業場間で核分裂性物質又は湿分を含む核分裂性物質のいずれかを収納したシリンダを用いて時々行われている。 臨界となるリスクを避けるため、湿分を含む核分裂性物質を収納するシリンダに対するラベル付け、貯蔵及び輸送の要求は、乾燥したものよりも厳しいものである。特に、これらの要求では、湿分を含む核分裂性物質を収納するシリンダに対し、ラベルを付けて 1 つずつ手動で取り扱わなければならないと規定している。 2012 年 9 月 24 日、あるシリンダを開けた際、操作員は湿分を含む物質のシリンダが、乾燥した物質のための搬送車に載せられていたことに気づいた。このシリンダは、適切にラベルが付けられてなく、湿分を含む物質のシリンダに対する貯蔵や輸送の要求に適合していなかった。 この異常が明らかとなったすぐ後、施設内の全ての搬送車やシリンダについて確認を行うため、全ての作業場間の輸送が中止させられた。この他にも、湿分を含む物質のシリンダのラベル付け、貯蔵及び施設内輸送に適用する要求からの逸脱も見つけられた。2012 年 9 月 28 日、ASN は施設の検査を行った。それによりいくつかのシリンダについて、湿分を含む物質のラベル付け、貯蔵及び施設内輸送に適用する要求の不適合に関係していたことが明らかとなった。 安全文化や運転経験フィードバックの欠如も指摘されている。 本事象は、作業員や環境への影響はなかった。 しかし、当該事象に関係していたシリンダの数に加え、AREVAFBFC において安全文化や運転経験フィードバックの欠如が認められたことにより、ASN は INES をレベル 2 に格上げした。さらに AREVAFBFC による臨界となるリスク管理の逸脱があったため、AREVAFBFC は、ASN により事象の詳細分析と恒久対策の実施を要求されてきた。AREVAFBFC は、恒久対策を保留し、研磨機からの廃棄物を収納するシリンダの管理に関係する臨界リスクを回避するための暫定的な手段を設定するよう要求されている。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
28	フランス	CENTRACO (Codolet, France)、低レ ベル金属放射性 廃棄物溶融炉	2011 年 9 月 12 日	1	廃棄物処理	CENTRACO 廃 棄物処理・調整 プラントにおける 爆発と火災	文献からは不明 (1 名死亡、4 名負傷)	2011 年 9 月 12 日 11 時 45 分(UTC:9 時 45 分)、Marcoule 原子力サイト(フランス,ガール県)に隣接するがそれとは別のコードレ (Codolet)にある CENTRACO 原子力施設において、低レベル(LL)と極低レベル(VLL)の金属放射性廃棄物を溶かすために使用されている溶融炉が爆発し、火災に至った。火災は、同日の午後 1 時(UTC:11 時)に鎮火した。この爆発により 1 名の作業員が死亡し、重い火傷による重症者 1 名を含む 4 名が負傷した。溶融炉が設置されている建物は、部分的に損傷した。負傷者の放射線汚染による影響はなく、事業者によって行われた建物外の放射線測定で、放射能汚染の痕跡がないことも明らかにされている。本事象では、放射線の問題も、化学物質の放出も伴っておらず、住民に対する防護措置も要求されていない。フランス原子力安全規制機関 ASN は、中央及び地方の緊急時組織を数時間の間、始動させた。ASN は、この事故の根本原因を調査するため、労働監督局と連携して検査を行っている。CENTRACO の低レベル廃棄物、極低レベル廃棄物の処理・調整プラントは、SOCODEI 社によって運転されており、金属スクラップを溶かす溶融ユニットあるいは可燃性や液体の廃棄物(油,溶剤,蒸発させた濃縮物,化学廃液等)を焼却処分する焼却ユニットのいずれかにより、低レベルと極低レベルの廃棄物の処理を専門としている。CENTRACO 施設は、原子炉施設、病院、研究所の保守や解体によって生じた廃棄物について、それらを廃棄する前の処理や再調整を行っている。溶融炉は、ステンレス鋼、炭素鋼で製作され、極低レベルの放射能で僅かに汚染された金属構造物の部品、ポンプ、弁、道具のスクラップを溶かすために使用されていた。事故の際、溶融炉には全放射能 30MBq の金属が 4 トン入っていた。本事象の放射線問題は限定されたものであるが、ASN は、本事象の人的影響を理由に、深刻な産業事故であると考えている。INES 基準への適用としては、溶融炉内で溶融した物質の放射能が低レベルであったことから、レベル 1 の事象と評価した。
29	フランス	LA HAGUE、 UP2-400 再処 理プラント	2009 年 11 月 19 日	2	その他	作業員の汚染	金属線による負 傷に伴う防護服 の破損	2009 年 11 月 19 日、請負会社の作業員が、MAU(中レベル・ウラン)工場のセル内のダスト除去作業中に汚染した。同作業員は防水性があり呼吸器付きのスーツ(防護服)で保護されていたが、作業員は配管の識別用に使用されていた金属線(metalthread)で刺し傷を負い、金属線が彼の右手のグローブを貫いたため、内部汚染となった。最初の医学的検査では、推定された全身の実効線量は、法定年間全身線量限度の 4 分の 1 より高いと結論付けられた。これを基に本事象は、当初 INES レベル 1 と評価された。さらなる医学的検査により、全身の実効線量は、法定年間全身線量限度(20mSv)よりも高いと結論付けられたため、本事象は、INES レベル 2 と評価された。MAU 工場は、現在廃止措置中の UP2-400 再処理プラントの一部である。MAU 工場は、酸性溶液に含まれているウランとプルトニウムを分離し、そしてウランを精製するために使用されていた。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
30	フランス	CADARACHE、 Pu 関連施設 (MOX 燃料製 造)	2009 年 10 月 6 日	2	その他	核分裂性物質に 対する計量管理 の不備	Pu 量の過小推 定、安全文化の 欠如	2009 年 10 月 6 日、フランス原子力庁(CEA)は、規制当局(ASN)に対し、プルトニウム技術を扱い、Cadache プラント内に位置する “AtelierdeTechnologieduPlutonium(ATPu)”と呼ばれる原子力施設において事象が発生した旨通報した。この ATPu は、現在解体中 であり、AREVANC 社により運営されている。また、当該施設の認可取得者は CEA である。CEA は、ASN に対し、施設のグローブボックス内 のプルトニウム付着量を過小に推定したと報告した。施設運転中におけるプルトニウムの付着量は、CEA により、約 8kg と推定された。解体作 業時に回収されたプルトニウムの量は、この値を大幅に超え、現時点で 22kg に達している。CEA によれば、39kg になるであろう。この通報を 受けた後、ASN は、2009 年 10 月 9 日、ATPu 施設において包括的な検査を行い、これによって、CEA が、2009 年 6 月以降、この状態 を把握していたことを確認した。また、ASN は、技術支援組織(TSO)である IRSN に対して、専門家分析を行うよう要請し、その結果が 10 月 13 日に発行された。2009 年 10 月 14 日、ASN 委員会は、核分裂性物質の計量管理に関する確認が得られるまで、ATPu 施設の解 体作業を中断することとした(2009 年 10 月 14 日付 ASN 委員会決定 No.2009-160)。本事象による環境及び公衆への影響はなかつ た。しかし、プルトニウムの量を過小推定したことにより、臨界事故を防止するための施設設計による安全余裕が著しく低下した。ASN は、規則 によって規定されている通り、事象通報の条項を遵守しなかったことに対し、記録を検察官に送付した。ASN は、解体作業時に核分裂物質の 量が過小に推定されていることを見つけれず、ASN への通報が遅れたことにより、設置者と運転機関の両方におけるセーフティカルチャの欠陥 が明らかとなった。そのため、ASN は、本事象を INES のレベル 2 と評価することとした。ATPu 施設は、40 年間運転されており、その主たる活 動は MOX 燃料の製造であった。2009 年 3 月 6 日の行政令(degree)により、当該施設の恒久停止と解体が承認された。
31	フランス	MELOX Fuel process plant	2009 年 3 月 3 日	2	燃料製造施 設	AREVA NC 社 MELOX 施設 (Marcoule)にお ける臨界安全要 件の非遵守	手順書の不整備	2009 年 3 月 3 日、AREVA 社の MELOX 施設(MOX プラント)の試験室で、例外的な運転中に臨界に関連した事象が発生した。最初の 作業員チームは、質量管理された作業場(Workstation)に核分裂物質のサンプルを持ち込んだ。このサンプルは、持ち込み前に本来すべきで あった計量が行われなかった。それは不適切な手順を用いていたためであった。最初のチームが休憩している間、2 番目の作業員グループが、2 つ目の核分裂性物質のサンプルを持ち込んだため、安全質量制限を超えてしまった。2 回目の持ち込みでは手順は遵守された。最初のサンプ ルの重さを計量した際、警報は発生しなかった。このこともあり翌日作業員による当該作業場の通常点検を行うまで、質量制限を超えていたこ とに気付かなかった。分析により、他の施設から持ち込まれた燃料サンプルに対し、適用した持ち込み手順が不適切であったこと、臨界に関係す る作業場の質量管理用の核分裂物質計量用のソフトウェアの不具合が明らかになった。ASN は、本異常事象の原因とその施設の安全への影 響を評価するため、2009 年 3 月 6 日に対応検査を実施した。ASN は、事業者が計画する本異常事象から考えられる必要な運転経験から

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
								の反映事項を確認する予定である。特に事業者は、書類作成体制を完全なものとし、核分裂性物質の計量に関係したソフトウェアを変更し、そして運転員の行為に対するトレーサビリティの改善を図ることとしている。ASN は、臨界の危険防止を焦点に施設の確認を引き続き実施して行く。
32	フランス	FBFC	2008 年 7 月 17 日	1	燃料製造施設	ロマンシュレイゼールの燃料製造工場におけるウラン排出溶液埋設配管の破損	配管の規制要件の未遵守	2008 年 7 月 17 日の午後 5 時、AREVA/NP グループのロマンシュレイゼールにあるフランス・ベルギー 燃料製造工場(FBFC)より、ウラン排出溶液の埋設配管が破損したという報告が原子力安全規制機関(ASN)にあった。ASN は即時点検の実施を決めた。2008 年 7 月 18 日、ASN のリヨン支局の 3 名の検査官が、今回の事象の正確な状況と事業者によって取られた対応を調査するため、施設を点検した。ASN の検査官は、以下を確認した。FBFC の事業者によると破損した埋設配管は数年前から破損していたと推測される。FBFC 事業者は天候災害から関係区域を保護するため是正措置を講じた。FBFC 事業者は、7 月 18 日より汚染された地域の洗浄を実施する。検査官は現在のウラン量を評価するため、回収した全物質を分析するよう要求した。検査官は、本配管が規制側の要求している規格（衝撃に耐え破裂を回避する機械的な能力を十分満足している）を遵守していなかったことを確認している。ASN は、暫定的にこの事象を国際原子力事象尺度(INES)レベル 1 に分類した。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
33	フランス	SOCATRI 社、 ウラン廃液処理 施設	2008 年 7 月 7 日	1	その他	ウラン回収浄化 施設におけるウラ ン廃液の環境放 出	汚染拡大防止安 全対策の不十 分、規制要件の 未遵守、規制当 局への情報提供 の逸脱	2008 年 7 月 7 日から 8 日にかけての夜間、SOCATRI 社施設において異常事象が発生した。ウラン廃液処理施設(STEU)の 1 つのタンクからウラン廃液が、滞留タンクに溢れ出した。この時滞留タンクは漏れを防止する機能を有していなかったため、環境汚染を引き起こした。2008 年 7 月 10 日、4 人の原子力安全規制機関(ASN)の検査官と 2 名の放射線防護・原子力安全研究所(IRS)の専門家が、STEU 施設の詳細な点検を行った。彼らは施設、事象の流れ、事業者が行った最初の是正処置を調査した。検査官は、ウラン廃液の Gaffiere 川への流出が停止していることを確認した。彼らは以下の不法行為を記録した。 ・汚染の拡大防止の安全対策が満足するものでなかった。 ・今回の異常事象の間、運転状態が適切な規制要求を遵守していないことが浮き彫りになった。 ・事業者による危機管理は、規制当局への情報提供に関する欠陥を示すものであった。 この 7 月 10 日の点検報告は、ASN のウェブサイトに掲載されている。これらの不正行為は、7 月 16 日、カルバントラの検察官に提出された。ASN の団体は 7 月 11 日に事業者と会った。そして汚染源である処理施設への廃液の受け入れを一時的に停止し、施設に対し安全な状態にする措置を直ぐに講じるよう、SOCATRI 社に要求を行った。ASN の団体は、また SOCATRI 社に川の中の分析と、周囲の地下水のモニタリングの強化を要求した。そしてその結果を定期的に ASN に送信するよう要求した。7 月 12 日、ASN は事業者が ASN の是正対策要求を実行しているかどうかの状況確認のため、第 2 回目の点検を行った。この ASN による要求事項は、確認点検により SOCATRI 社で適用されていた。この 7 月 12 日の点検報告は、ASN のウェブサイトに掲載されている。最近の環境における計測では、ほとんどの箇所地表面及び地下水の計測値は通常の値に戻っていることを示している。なお 2 箇所の地下水の計測値は、飲料水、灌漑用水用に WHO が推奨している値よりも高い値となっており、専門家が注目している。しかしこのトリカスタン付近の箇所については、既に IRSN によって注目されていた。7 月 4 日のトリカスタンの情報委員会(CIGEET)でもこのことが報告されており、この問題については、9 月のミーティングが議論される予定である。Vaucluse 県は、事象後も計測を継続すること、飲料水、灌漑用水の使用を制限することを決めた。原子力の情報と透明性に関する高等委員会(HCTISN)は、7 月 16 日に SOCATRI 社のヒアリングを行った。このミーティングに ASN も同席した。ASN は、7 月 18 日に行われる CIGEET の臨時のミーティングにも参加する予定である。この事象は、国際原子力事象尺度(INES)レベル 1 に分類される。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
34	フランス	CADARACHE、 MOX 燃料処理 施設	2006 年 11 月 6 日	2	その他	旧 MOX 施設で の制限及び条件 を超えた運転	手順書の不整備、安全文化の 欠如	2006 年 11 月 6 日、旧カダラッシュ MOX 燃料処理施設 ATPu において、定期点検後、過去の工事からの核物質を含んだスクラップの粉碎 操作の準備中に 2 倍の核物質の投入が検知された。調査の結果、記録がない物質の投入であった。長く続いていた秤量器の故障を補うため に、承認されていない手順書が使用された。交替記録における不十分な情報により新しいチームも気づくことは無かった、次の粉碎操作が準備 され、機器への新たな投入も過剰となった。2 重投入事故が粉碎器の安全規定により当初から説明されている事実があり、本件は、作業員や その環境の重要性の認識の無さによるものである。
35	フランス	MELOX Fuel process plant	2004 年 7 月 26 日	2	燃料製造施設	フランス・MOX 燃 料製造工場 MELOX における 放射線作業従 事者の負傷と放 射能汚染	機械装置の落下 による負傷	2004 年 7 月 26 日に MOX 燃料製造工場において、放射線作業従事者が放射線グローブボックスのメンテナンス作業をしているときに放射 能汚染した機械装置が落下して負傷した。当該負傷者は除染されたが、軽度の外科手術が必要であった。施設内での汚染は拡大せず、周 辺環境への影響もなかった。
36	フランス	LA HAGUE、 UP2-400 再処 理プラント	1994 年 8 月 11 日	1	その他	UP2-400 プラン トにおける MAPu 工場(中レベル放 射性プルトニウム 工場)での溶液 溢出	サンプリング容器 からの溢出	1994 年 8 月 11 日、プルトニウム 11mg/リットルを含む溶液約 3 リットルがサンプル格納容器から溢れ出て、中レベル放射性プルトニウム工 場(MAPu)の区画床上に拡がった。この工場では、照射済燃料から取り出される酸化プルトニウムの精錬が行なわれている。この溢出は、洗浄 排水の保管タンクからサンプリングを行った後で発生し、その原因は、サンプリング系に給水するポンプの流量が過剰になったことによるものであ った。事象発生時、工場には誰もいなかった。なお、現在、汚染区画の洗浄が行なわれている。
37	フランス	FBFC	1992 年 12 月 30 日	2	燃料製造施設	FBFC 施設の燃 料加工建屋の長 期の換気系喪失	換気系喪失と手 順の不遵守、手 順書の未整備	非常用換気系の喪失と手順の不遵守により、運転員は放射能の「閉じ込め機能」なしの状態で、1 時間以上作業を行った。空気中の汚染の 測定結果からは、大気の汚染濃度の増加は検出されなかった。電源系間の共通モードにより換気系のすべてが故障した。また警報の伝達に関 する手順に欠陥があった。さらに換気系が長期停止した場合、生産設備の停止を明記した指示書に従っていなかった。

No.	国名	施設名	発生日	INES レベル	施設タイプ	事象タイトル	事象の発生原因 (MRI の判断 で記載)	事象の概要
38	ベルギー	Belgoprocess	2011 年 10 月 4 日	2	廃棄物処理	検査中の作業員 の汚染	プルトニウム容器 の床への落下（ヒ ューマンエラーの可 能性）	EURATOM と IAEA のメンバーによる核分裂性物質のインベントリに関する年 1 回の検査が行われた際、少量のプルトニウムが入った容器が床に落下し、その部屋と隣接する部屋の一部分が汚染した。本事象により、EURATOM と IAEA の検査員 2 名と、Belgoprocess の作業員 1 名の 3 人が汚染した。彼らは直ぐに、専門の研究所に移送され、外部の除染と内部汚染の確認と処置が行われた。3 名の外部汚染に関連した実効線量は、極めて低い値であり、また内部汚染による 50 年間の預託線量は、法定限度の 20mSv を下回るものである。より正確なデータや最初の測定結果を確認するため、内部汚染に対する追加的な測定が行われている。建物の外部への放射能の放出はない。このため本事象による環境や公衆への影響はなかった。
39	ベルギー	FBFC、MOX 燃 料加工	1992 年 11 月 23 日	2	燃料製造施 設	成形加工中の MOX 燃料棒の 破損による作業 員の被ばく	道具との機械的 接触による燃料 棒の破損（ヒュー マンエラーの可能 性）	5%プルトニウム酸化物濃縮工程において、混合酸化物(MOX)燃料要素の成形加工の際、燃料棒が挿入装置から外れ、不完全な状態で収納枠に挿入された。その後の作業において、道具との機械的相互作用により燃料棒が破損した。プルトニウム酸化物によって工場は汚染された。また、作業員 8 人が軽微な外部被ばくを受け、そのうち 1 人は内部被ばくも受けたがそのレベルは限度内であった。
40	ロシア	MAYAK, RT-1	1994 年 8 月 31 日	1	燃料再処理 施設	再処理のための 準備運転中の使 用済燃料の破損	放電現象による 燃料集合体の被 覆管燃焼に伴う 熱的損傷	使用済燃料再処理工場の"ホットルーム"で、1 体の使用済燃料集合体を切断し、溶解槽に装荷する準備が行われていた。下端プラグの切断中に燃料集合体のジャケットチューブを固定する留め具部分で電気的なアークが発生した。運転員は切断作業を中止し、切断機の電源を切った。この電気的なアークが原因で、燃料集合体のジャケットチューブ中で局所的な燃焼が起き、複数の燃料構成要素が熱的損傷を受けた。その結果、"ホットルーム"内の放射性物質の濃度が上昇し、換気空調系を通して大気中へ放射性のエアロゾルが放出(137Cs に対する最大許容放出量の 4.36%)された。作業員の被ばくはなく、工場の運転区域、環境への許容制限値を超えるような汚染はなかった。事象原因を分析した後、再発を防止するために切断機の対策(是正措置)がとられた。

2.2.2 原子炉における MOX 燃料の装荷実績

以下、日本原子力産業協会³²⁴の情報より、世界の MOX の利用状況を記す。

³²⁴ 日本原子力産業協会、「世界の原子力発電開発の動向 2020（2020 年 1 月時点）」、表 23

表 2-2 世界の MOX の利用状況

国名	原子力発電所	炉型	グロス出力 (MWe)	装荷開始	累積装荷対数 (2019 年末時点)	備考
ベルギー	チアンジュ 2 号機	PWR	1,055	1995-2003	0	2003 年 MOX 利用終了
ベルギー	ドール 3 号機	PWR	1,056	1995	96	
フランス	フェニックス	FBR	140	1973	3500	
フランス	サンローラン・デゾー B1 号機	PWR	956	1987		
フランス	サンローラン・デゾー B2 号機	PWR	956	1988		
フランス	グラブリーヌ 3 号機	PWR	951	1989		
フランス	グラブリーヌ 4 号機	PWR	951	1989		
フランス	ダンピエール 1 号機	PWR	937	1990		
フランス	ダンピエール 2 号機	PWR	937	1993		
フランス	ルブレイエ 2 号機	PWR	951	1994		
フランス	トリカスタン 2 号機	PWR	955	1996		
フランス	トリカスタン 3 号機	PWR	955	1996		
フランス	トリカスタン 1 号機	PWR	955	1997		
フランス	トリカスタン 4 号機	PWR	955	1997		
フランス	グラブリーヌ 1 号機	PWR	951	1997		
フランス	ルブレイエ 1 号機	PWR	951	1997		
フランス	ダンピエール 3 号機	PWR	937	1998		
フランス	グラブリーヌ 2 号機	PWR	951	1998		
フランス	ダンピエール 4 号機	PWR	937	1998		

国名	原子力発電所	炉型	グロス出力 (MWe)	装荷開始	累積装荷対数 (2019 年末時点)	備考
フランス	シノン B4 号機	PWR	954	1998		
フランス	シノン B2 号機	PWR	954	1999		
フランス	シノン B3 号機	PWR	954	1999		
フランス	シノン B1 号機	PWR	954	2000		
フランス	グラブリーヌ 6 号機	PWR	951	2008		
フランス	グラブリーヌ 5 号機	PWR	951	2010		
ドイツ	オブリッヒハイム	PWR	357	1972	78	2005 年 5 月 11 日, 閉鎖(CD)
ドイツ	ネッカー1 号機	PWR	840	1982	32	2011 年 8 月 7 日, 閉鎖(CD)
ドイツ	ウンターバーザー	PWR	1,410	1984.12.7	200	2011 年 8 月 7 日, 閉鎖(CD)
ドイツ	グラーフエンラインフェルト	PWR	1,345	1985.9.5	164	2017 年 12 月 31 日, 閉鎖(CD)
ドイツ	フィリップスブルグ 2 号機	PWR	1,458	1989	228	
ドイツ	グローンデ	PWR	1,430	1988.5.22	140	
ドイツ	ブロックドルフ	PWR	1,440	1988.8.16	272	
ドイツ	グンドレミンゲン C 号機	BWR	1,344	1995	376	currently loaded:38
ドイツ	グンドレミンゲン B 号機	BWR	1,344	1996	532	not loaded in 2018
ドイツ	イザール 2 号機	PWR	1,475	1998.9.14	212	
ドイツ	ネッカー2 号機	PWR	1,400	1998	96	
ドイツ	エムスラント	PWR	1,406	2004	144	
インド	カクラパー1 号機	PHWR	202	2003	0	
インド	タラプール 1 号機	BWR	160	1994		

国名	原子力発電所	炉型	グロス出力 (MWe)	装荷開始	累積装荷対数 (2019 年末時点)	備考
インド	タラプール 2 号機	BWR	160	1995		
インド	PFBR	FBR	-	-		
オランダ	ボルセラ	PWR	512	2014	48	
ロシア	ベロヤルスク 3 号機(BN-600)	FBR	600	2003		
スイス	ベツナウ 1 号機	PWR	380	1978	124	
スイス	ベツナウ 2 号機	PWR	380	1984	108	
スイス	ゲスゲン	PWR	1,060	1997-2012	48	
スイス	ライプシュタット	BWR	1,200	装荷認可		
スイス	ミューレベルク	BWR	372	装荷認可		
スウェーデン	オスカーシャム 1 号機	BWR	465	装荷認可		
スウェーデン	オスカーシャム 2 号機	BWR	630	装荷認可		
スウェーデン	オスカーシャム 3 号機	BWR	1,205	装荷認可		
米国	カトーバ 1 号機	PWR	1,205	2005	4	2005 年, 4 体の燃料集合体が装荷された。装荷年数は約 4 年。
米国	ロバート・E・ギネイ	PWR	602	1980-1985	4	1980 年, 4 体の燃料集合体が装荷された。
日本	ふげん	ATR	165	1981	772	2003 年 3 月 29 日, 閉鎖(CD)
日本	もんじゅ	FBR	280	1993		
日本	玄海 3 号機	PWR	1,180	2009	32	
日本	伊方 3 号機	PWR	890	2010	16	
日本	高浜 3 号機	PWR	870	2010	28	
日本	高浜 4 号機	PWR	870	2016	20	2016 年 4 体の燃料集合体が装荷され臨界達成後停止。

国名	原子力発電所	炉型	グロス出力 (MWe)	装荷開始	累積装荷対数 (2019 年末時点)	備考
						その後 2017 年に営業運転開始。
日本	福島第一 3 号機	BWR	784	2010	32	2012 年 4 月 19 日廃止
日本	柏崎刈羽 3 号機	BWR	1,100	装荷認可		日本については旧規制基準での装荷認可
日本	浜岡 4 号機	BWR	1,137	装荷認可		日本については旧規制基準での装荷認可
日本	島根 2 号機	BWR	820	装荷認可		日本については旧規制基準での装荷認可
日本	女川 3 号機	BWR	825	装荷認可		日本については旧規制基準での装荷認可
日本	泊 3 号機	PWR	912	装荷認可		日本については旧規制基準での装荷認可
日本	大間	ABWR	1,383	装荷認可		建設中、日本については旧規制基準での装荷認可

3. 分析

3.1 各国の燃料サイクル分析

3.1.1 アメリカ

アメリカは、世界最大の原子力発電電力量を誇る一方、長らく新たな原子力発電所は建設されてこなかった。2012年に34年ぶりに新規原子力発電所の建設計画が米原子力規制委員会より承認されたが、現在もヴォーグル3、4号機が建設中であり、それぞれ2021年11月と2022年11月に稼働を開始する予定である。

1970年代まではクローズドサイクルの実現を目指し、商業用の再処理施設が建設されたが、政権による核不拡散の観点からの一時的な商業用再処理の禁止によって、それ以降使用済燃料は事業者によって直接処分の方策が採られている。

しかし、直接処分場と想定していたユッカマウンテンにおいては、2011年より検討が中止されており、行き場を失った使用済燃料はサイト内で長期乾式貯蔵する方針となっている。これに対して、使用済燃料処分研究開発予算を米エネルギー省は確保しており、その中で使用済燃料、高レベル廃棄物の地層処分や乾式貯蔵に関連した研究開発を進めている。さらには、燃料サイクル研究開発としてワンススルー戦略、改善したオープン燃料サイクル戦略、完全リサイクル戦略の3つの戦略の検討を進めており、途切れなくこれまで培ってきた再処理技術を最低限維持している。ただし、今後の再処理方策の転換においては、現在開発中の先進炉次第としており、先進炉燃料の製造として先進燃料サイクルの開発が求められている。

上述の背景をまとめると、アメリカでは、ウラン資源確保のニーズが大きくないことから、再処理実施の判断を事業者に委ねているが、再処理を導入することで原子力発電のコストへの影響が増加する傾向にあり、事業者は再処理を選択しておらず、再処理政策転換は先進炉の市場導入次第と言える。

3.1.2 ロシア

ロシアは、世界初の原子力発電所（1954 年）を運転してきた原子力発電の長い歴史を有し、アメリカ、フランス、中国に次ぐ世界第四位の原子力発電電力量を誇る。当初よりクローズドサイクルの実現を政策方針として堅持しており、自国で燃料製造、加工、発電、再処理、MOX 燃料製造までを実施している。これにより自国の廃棄物量低減、資源有効利用、毒性の低減を目指している。

フロントエンドからバックエンドまでのあらゆる発電事業や軍事利用も含めて、国営原子力公社ロスアトムが原子力政策を推進している。すでに原子力産業の巨大なサプライチェーンが国内に築かれ、25 万人を超える雇用を生み出している。

クローズドサイクルの実現に不可欠となる膨大かつ長期的な設備投資や技術開発費は、連邦目標プログラム(FTP)と呼ばれる国家予算により、10 年規模で予算が確保されている。燃料サイクルに係る技術力も高く、高速炉では世界最大出力の実証炉がすでに運開、世界最初の第 3+世代原子炉も稼働中、再処理についても諸外国の使用済燃料を受け入れてきた実績を有する。高速炉での MOX 燃料運転についても、すでに高速炉用 MOX 燃料の製造は完了しており、2022 年には全炉心フル MOX 燃料による実証炉運転が実施される予定である。高速炉の商用炉の完成は 2031～2032 年を見込む。完全なクローズドサイクルの実現に世界で最も近い国家と言えるだろう。

加えて、世界第 4 位のウラン輸出国、ウラン濃縮分野においては世界一を誇るロシアは、ロシア型原子炉の建設、燃料供給、使用済燃料の引き取りをパッケージで諸外国へ提供する。

カーボンニュートラル社会達成に伴う世界的な動きにより、将来的に原子力発電の導入を望む国が増えることから、ロシアが有する提供可能なサービスの広さと実績は、今後も世界的な存在感を示すと考えられる。

上述の背景をまとめると、ロシアでは巨大なエネルギー需要、すでに大きく成長した原子力発電電力量と産業基盤、ウラン資源を有する地質学的な優位性、設備投資や技術開発に投入できる経済力、再処理等を実現する高度な技術力に加えて、将来における世界的な原子力市場拡大の見通しより、核燃料サイクル政策を将来にわたって発展させていく方針を取っていると考えられる。

3.1.3 フランス

フランスは、アメリカに次ぐ世界第二位の原子力発電電力量を誇り、ウラン資源の有効利用の観点と、最終処分する廃棄物量の削減の観点から使用済燃料を再処理するクローズドサイクル政策を行っており、自国で燃料製造、加工、発電、再処理、MOX 燃料製造まで実施している。フロントエンドからバックエンドまであらゆる事業を Orano 社が一貫したサービスを提供している。

原子力発電比率は 2035 年までに現行の 70%程度から 50%に縮減する方針を打ち出している一方、2035 年以降の低炭素電源確保のため、新設を検討しており、原子力を維持する方針を示している。再処理によって発生するプルトニウムについても、21 世紀後半を予定している高速炉導入までの期間に、プルサーマル発電で燃焼させていく方針を固めており、軽水炉で複数回プルトニウムを燃焼させる燃料の研究開発が行われている。

さらに、現状ウラン資源量が十分にある状況ではあるが、昨年に発生した COVID-19 による海外ウラン鉱山の一時的な閉鎖や、SMR 開発などによるウラン資源需給への影響といった将来的な不確実性への対応も重要視しており、再処理事業の維持は、調達面や価格面でも安定的なエネルギー供給に繋がると考えている。

フランスでは、政府の研究開発機関である CEA、サイクル関連事業者の Orano、電力会社である EDF、環境省の間で国が一丸となって将来のサイクル政策に関して常に検討されており、今後のサイクル方針についても、2040 年までは現在のクローズドサイクルと続けていく方針が示されており、様々な研究開発が精力的に行われている。

欧州内ではドイツの脱原子力によって、他国の再処理需要が減少したものの、オランダをはじめとする他国からの再処理を維持している。さらに、今後カーボンニュートラル社会達成に伴う世界的な原子力発電の見直しによって、将来的に資源を確保していく必要が高まることから、フランスの再処理の実績と知見は、今後も欧州内で絶大な存在感を示すと考えられる。既に国内のサイクル産業も長い年月を経て完成され、燃料サイクル事業による地元への経済的貢献や（燃料サイクル事業に直接従事している人だけでも）数千人規模に亘る大きな雇用創出の観点から、今後も燃料サイクル政策を堅持すると考えられる。

3.1.4 イギリス

英国では軍事利用により再処理が開始された後、マグノックス炉の使用済燃料を長期間安全に貯蔵するために商用再処理が開始され、さらに THORP 再処理プラントが建設され、海外顧客向けの再処理も実施されてきた。

その後、THORP 再処理プラントは操業不調により、既存の再処理契約が完了する 2018 年に操業停止され、マグノックス炉使用済燃料の再処理プラントも 2021 年に操業停止する見込みである。その後、英国内での新たな再処理プラントや MOX 燃料製造プラントの建設計画はなく、過去に実施した再処理によって回収したプルトニウムも、仏 Orano 社に委託して MOX 燃料に加工するソリューションの検討されている。

英国政府は、使用済燃料に含まれるプルトニウム等を再利用することの有用性を認識するとしながらも、使用済燃料の再処理を行うかどうかは、当該使用済燃料の所有者の判断に委ねるとしており、国として核燃料サイクル政策を推進する方針は掲げていない。国内では発電事業者である EDF エナジーが再処理の方針を掲げておらず、また海外においても、新たに再処理実施を目指す国は増えていないことから、英国政府としては、再処理は実施しないという産業側の判断を追認している状況であると考えられる。

一方、NIRAB の英国政府向けの年次報告書では、再処理に関しては、短期的には高速炉が実用化する見通しはないため、再処理技術も必要とならないが、英国も含めた将来的な原子力拡大により、長期的には、再処理によるクローズドサイクルが必要となる可能性はあるため、研究開発は維持するべきとの勧告が示されており、政府がこの勧告を踏まえて燃料サイクル分野の研究開発方針を検討中である。上記のとおり、再処理を実施するか否かは産業界の判断次第であるが、将来的な技術進展や国際的な市場環境の変化に備えて、技術は保持し続けることも考えられる。

3.1.5 ドイツ

ドイツでは、過去には国内でのクローズドサイクル構築を目指し、1960年代から当時の西ドイツにおいて再処理プラント、高速増殖炉の計画・開発が進められていた。

再処理はパイロットプラントの運転、商用施設の建設開始まで進められたが、1986年のチェルノブイリ原子力発電所事故発生を経て、すでに1980年代以降高まりつつあった原子力反対運動の影響がより強くなり、手続き遅延、訴訟等による計画遅延とコスト増大を受けて国内再処理の経済性が疑問視された。電力会社の中でも国外再処理拡大を検討する動きが見られ、再処理計画中止を決定した。（1993年には連邦会計検査院が、「コスト比較によると再処理コストは直接処分の倍以上」であるとして、政府に対し核燃料サイクルの再考を促す報告書を出している）。

高速炉は実験炉の運転を経て原型炉を建設、運転直前まで計画が進められたが、当時の立地州政府与党であった社会民主党が原子力に批判的であったことに加え、チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う原子力世論への逆風を背景に、その後の試運転許可がおりず、原型炉は燃料装荷しないまま、1991年に計画中止となった。

その後の脱原子力政策に伴い、2002年原子力法により2005年以降の新規再処理が禁止され、全量直接処分することとなった。過去の再処理分については回収プルトニウムを原則としてMOX燃料に加工し原子力発電所で燃焼することとされている。ドイツは2022年までに全炉閉鎖予定だが、2016年までにドイツ保有分プルトニウムによるプルサーマルが完了している。

上述のとおり、ドイツでは、世論の影響から脱原子力政策を採っており、核燃料サイクルにおいても再処理・高速炉路線を中止している。

3.1.6 ベルギー

ベルギーにおける商用原子力発電は 1975 年に開始されたが、当初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 燃料として再利用する方針が採用されていた。Eurochemic 社がパイロット再処理プラントを操業した実績があるが、同プラントは 1975 年に操業停止した。その後は、フランスに委託して再処理を実施した実績がある。

しかし 1992 年から 1993 年にかけて、議会において再処理オプションに関する議論が行われた結果、将来の核燃料サイクルオプションに関してより詳細な検討を行うこととされた。政府は 1998 年に報告書を公表し、この内容に基づき、1998 年末に『フランス核燃料公社（COGEMA：現 Orano 社）に委託している 225 トンの使用済燃料の再処理契約（1991 年締結）は破棄する。』、『政府の承認なしに、新たな再処理契約を締結しない。』という方針を決定した。

現在もベルギーは、海外に委託しての再処理を凍結しているが、2020 年 9 月現在においても、上記報告書において示された比較検討の結果、使用済燃料の再処理と直接処分オプションのいずれを採用するか最終的な決定はなされていない。

再処理を凍結した際の詳細な議論は明確には分かっていないが、現在に至るまで未だ再処理と直接処分のオプションを決定してこなかったのは、仮に将来的に再処理することが望ましい状況になった場合でも自国で行うことはせずフランスに委託すること（但しフランスが再処理技術を継続保有していることが条件）で対応が可能であることが理由として考えられる。ただし、ベルギーは 2025 年までに国内の既存炉を全て閉鎖する方針であり、MOX 燃料を装荷する原子炉も存在しなくなる見通しであるため、今後使用済燃料の再処理を再開する可能性は非常に低いと言える。

3.1.7 オランダ

オランダは、これまでに2基の商用原子力発電所の運転実績を有するが、その使用済燃料の取扱いの判断を事業者に委ねられており、いずれも使用済燃料を再処理するオプションが選択されてきた。これは廃棄物量の削減が達成できること、再処理をフランスに委託することで経済的な見通しが立つこと、が最大の目的である。

再処理はオランダとして技術は有しておらず、地理的に近い関係にある英仏に委託し、国内の使用済燃料を全量国外で再処理をしてきた。なお、上述の通り使用済燃料を全量再処理しながら、オランダでは従来国内でのプルサーマルは実施せず、再処理で回収されたプルトニウムは国外の MOX 燃料材料として引き取られていた。しかし現在は国内プルサーマルで全量燃焼する方針であり、2014 年以降ボルセラでの MOX 燃料装荷が実施されている。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オランダとフランスの二国間の現協定では、ボルセラで発生した使用済燃料を全てフランスで再処理し、この再処理により発生した放射性廃棄物を 2052 年末までにオランダに返還することが取り決められている。

再処理に係る技術開発に大きな規模での先行的な国家予算を投じているような動きは確認できず、乾式貯蔵などについても諸外国の動向を踏まえて技術導入を判断してきている。マルチリサイクルの政策オプションについても、他国に委託することにより実現する可能性を残している。放射性廃棄物の処分についても国際共同処分もオプションとして除外していない状況である。

なお、原子力産業に対する国内の社会的な反対はほとんどないものの、将来的に原子力政策を拡大継続する機運が高いとは言えない状況である。

上述の背景をまとめると、オランダでは社会的には原子力発電が受け入れられているものの、すでに小規模な原子力発電導入、再処理等の高度な技術の他国依存という現状から、現行の政策を維持しながら、諸外国の MOX 再処理技術開発・導入や国際処分の動きを様子見している状況であり、様々なオプションを残しつつも、現時点の事業者判断において現在の核燃料サイクルを発展させる予定はない。

3.1.8 中国

中国は、自国にウラン資源を有しており、2016年のウラン生産量は世界第8位の1,650tUとなっている。さらに、燃料製造について、中国では加圧水型炉、重水炉が運転されている他、高温ガス炉や高速炉が建設中で多様な炉型のプラントが運転・建設されているが、ほぼ全ての炉型について自国で燃料製造が可能な体制が構築されている。

一方、2020年末時点で設備容量は50～58GWeになり、その場合必要となるウランの量は年間で10,100～12,000tUと見込まれていた。中国ではこうしたウラン資源への需要の伸びに対して、国内生産、海外資源の開発及び国際市場からの調達で対応することとしている。

中国において、使用済燃料の再処理が基本方針となっている他、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。この背景には、今後より一層増加すると考えられる原子力発電需要に対して将来的にも資源を安定的に確保していくという観点が最も大きな動機として存在するのではないかと推測される。

現在、高速炉の使用済MOX燃料の再処理実用化が、目標として掲げられている。高速炉の開発では、実験炉は既に運開し、現在実証炉の建設が進められている。また商用高速炉も、2034年の運転開始が構想されている。将来的に軽水炉と高速炉のマルチサイクル（軽水炉＋UO₂再処理、高速炉＋MOX再処理）が完成すれば、原子力における資源自給率を飛躍的に高めることができると考えられる。

3.2 核燃料サイクル政策の選択における各国の特徴と論点

どのような核燃料サイクルを選択するか（特に再処理や高速炉の導入の可否）は、核燃料サイクル政策を国が先導している国（フランス、ロシア、中国、ドイツ、ベルギー）か、事業者に委ねている国（アメリカ、イギリス、オランダ）かによって、大きく異なってくる。国が先導している場合においては、ウラン資源の確保（エネルギー安全保障）及びその有効利用の観点が再処理を実施するか否かの上での最重要項目となっていると言える。（逆説的には、エネルギー安全保障の観点を重視している国は、再処理の可否を国が先導しているとも言える）。一方、再処理の可否を事業者に委ねている場合においては、まず経済性の観点が第一に重要となる。アメリカでは、ウラン資源確保のニーズが大きくないため、再処理実施の判断を事業者に委ねているが、再処理を導入することで原子力発電のコストへの影響が増加する傾向にあることから、事業者は再処理を選択していない。一方、オランダにおいては、フランスが一定量のコストで再処理を請け負うことが可能であるため、経済性の目途がつき、再処理政策を維持している。

再処理を自国で実施している国においては、上述したウラン資源の確保及び有効利用の観点に加え、放射性廃棄物量の低減、長期的毒性の低減、高度な技術を有する産業の促進による産業力の強化及び雇用創出も、再処理事業による恩恵と捉えている。また、再処理事業が軌道に乗れば、経済性に係る見通しも得られることから、経済性をデメリットとは捉えていない。さらに、再処理事業を長期的に実施していくためには、少なくとも中期的な政府方針の提示が重要である。ロシアにおいては10年規模で予算が確保され、フランスにおいても2040年までは現行のサイクル政策を堅持する見通しを提示することによって、事業者が

設備投資や技術開発を進めることができている。

過去に再処理を実施しており、現在再処理事業を実施していないアメリカにおいては、経済性の観点から再処理事業を実施していないものの、技術力の維持という観点から、政府が研究開発予算を確保し続けており、その結果、現在アメリカ政府が力を注いでいる先進炉開発を支えるサイクル研究に繋がっている。一方、事業者が再処理事業の撤退を考えているイギリスにおいては、国内での再処理需要がなく、海外においてもフランスやロシアが先導している状態において、事業者にとって再処理事業を継続する経済的なインセンティブがない。ただし、政府による検討においては、技術力の維持の観点から、再処理に関する研究開発を維持していく必要性が言及されている。技術力は、一度途絶すると、取り戻すために時間を要するとともに、将来のエネルギー政策オプションの柔軟性を狭めることに繋がるため、両国において維持を検討していることが読み取れる。

更に、2020 年頃から世界的な関心の高まりを見せているカーボンニュートラル社会の実現に向けて、原子力の価値が再度検討され始めている。再処理事業を実施している諸外国においては、今後世界的な原子力発電の増加に伴いウラン価格への影響が生じる可能性を考慮し、再処理事業を堅持する方針を見せており、ますますエネルギー安全保障の位置づけが色濃くなることを見据えている。

令和 2 年度原子力の利用状況等に関する調査報告書
(核燃料サイクル技術等調査)

2021 年 2 月

株式会社三菱総合研究所

二次利用未承諾リスト

報告書の題名：令和2年度原子力の利用状況等に関する調査
報告書 核燃料サイクル技術等調査

委託事業名：令和2年度原子力の利用状況等に関する調査（核燃料サイクル技術等調査）

受注事業者名：株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
17	図1-2	アメリカの原子力発電所及び原子力関連施設の所在地
25	図1-3	ロシア型の原子力発電の開発導入戦略例（炉型別、海外含む）
36	図1-6	0A0 MSZでの回収ウランの利用実績（縦軸は燃料集合体数）
37	図1-7	デュアルコンポーネント原子力システム
58	図1-12	英国における放射性廃棄物の分類
109	図1-17	アメリカにおける各貯蔵方式採用の推移（施設数ベース）
114	図1-18	ロシアのBN型炉の開発状況
140	図1-19	「エネルギー技術革命重点創新行動ロードマップ」におけるバックエンドの研究ロードマップ
148	図1-20	アメリカにおけるPWR及びBWRの燃焼度の傾向
149	図1-21	商業用使用済燃料のインベントリ（2017年12月31日時点）
207	図2-1	Orano社の体制
212	図2-2	Urenco社の体制
219	図2-3	Framatome社の世界における燃料事業立地