

## 第 2 章

### 原子力研究開発動向

## 第2章 原子力研究開発動向

### 1 核融合

#### 1.1 研究開発動向、予算措置状況

##### <米国>

DOE の核融合研究は、科学局 (SC) と国家核安全保障局 (NNSA) が別個に主導している。科学局の核融合研究は核融合エネルギー科学プログラムによって進められており、磁場閉じ込め核融合を対象としている。一方、国家核安全保障局の核融合研究では、核兵器活動の中の慣性閉じ込め核融合点火・高収率キャンペーン (Inertial Confinement Fusion Ignition and High Yield Campaign) によって進められており、慣性閉じ込め核融合を対象としている。

##### 磁場閉じ込め核融合

磁場閉じ込め核融合は、磁場を利用して安定的に閉じ込めたプラズマに対して核融合反応を起こすものである。プラズマを閉じ込める磁場がドーナツ状のものはトーラス磁場方式と呼ばれ、ドーナツ状の磁場に沿った磁力線の捻り方によって、更にトカマク方式、ヘリカル方式等に分類される。

米国においては、1970 年からトカマク方式による実験が開始されている。マサチューセッツ工科大学 (MIT) に建設された ALCATOR や ISX などに続き、1970 年代中頃から中型の装置である PLT、PDX や DOUBLET-III が開発され、1982 年には大型のトカマク核融合試験炉 (TFTR) が建設されている。トカマク方式の装置を用いた研究開発は、国際協力事業として、国際核融合実験炉 (ITER) の開発プロジェクトへと繋がっている。

ヘリカル方式は、1950 年代初めにステラレータ計画としてプリンストン大学で研究が始まったが、1968 年にトカマク方式の装置を用いた旧ソ連による画期的な研究成果を受けて、ヘリカル方式の装置はトカマク方式へと改造された。

##### 慣性閉じ込め核融合

慣性閉じ込め核融合 (ICF) は、熱核爆発の実験室内シミュレーションとしての意味から、専ら軍事目的で進められてきた。慣性閉じ込め核融合および高エネルギー密度 (HED : High Energy Density) 科学の拠点研究施設として、ローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL) において国立点火施設 (NIF : National Ignition Facility) が設置されている。

NIFは1995年に建設計画が始まり、施設は1997年5月に着工し、2009年3月に完成した。NIFの敷地は35万m<sup>3</sup>、施設建屋は150m×90mであり、高さは10階建て構造物相当である。建設費は、35億ドルであった。NIFでの研究は、実験室で慣性閉じ込め方式により核融合点火を実証することを目的として、DOE関連の国立研究所、大学、企業および米国外の研究所からの参加を得て、

「国家核融合点火実証キャンペーン (NIC)」\*1として推進されていた。しかしNIFは点火に失敗し、さらには点火の実証をできないまま2012年9月の(研究)期限を迎えることとなり、公式には「実験失敗」と発表された\*2。

- \*1 192本のレーザー・ビームを使用した水素-重水素 (HD)、三重水素-水素-重水素 (THD) ターゲットの爆縮による点火実験。
- \*2 2012年12月、NIFは、点火失敗の原因や点火失敗が他の計画に与える影響についてまとめた報告書を公表している。失敗の原因について同報告書は、爆縮シミュレーションのために使用したコードが実験を再現していなかったためであるとしている。

### 核融合・プラズマに関する最近の動き

マサチューセッツ工科大学 (MIT) は、2016年9月30日に、同大学のプラズマ科学核融合センター (PSFC : Plasma Science and Fusion Center) の Alcator C-Mod トカマク核融合実験炉において、2.05気圧でのプラズマ封じ込めを達成したと発表した。これは世界記録\*1であり、炉内の温度は摂氏3,500万度以上に達した。なおこの核融合反応は約1m<sup>3</sup>の装置内で発生したものであり、プラズマ封じ込めは2秒間持続した。この成果に関する論文が、2017年6月19日付の学術誌「Nature Physics」に掲載された\*2。

- \*1 これまでの記録は同炉が2005年に達成した1.77気圧。
- \*2 実験炉で実施した実験で得られたデータを利用することにより、核融合エネルギーを効率的に増加させる方法を発見したという。具体的には、通常は水素と重水素の2種類のイオンをそれぞれ5%と95%の割合で混合している燃料に対して、少量の(全体の1%未満)ヘリウム3を添加する事により、従来の10倍のエネルギーが得られることが分かったとのことである。

また、MITは2018年3月9日に、Commonwealth Fusion Systems (CFS)\*と、核融合の速やかな商業化を目的として協力していくことを発表した。MITとCFSは、新たに利用可能となった素材から超伝導電磁石を今後3年以内に開発することを目標にしており、この超伝導電磁石が利用可能になった場合には、核融合装置であるSPARC(熱出力10万kW。電気出力無し)の設計と建設を目指すこととしている。MITとCFSによるとSPARCは、15年以内に核融合による発電(20万kWe)が実現可能であることを実証する装置であるという。なおイタリアのエネルギー企業であるEniは、CFSの株式を取得することでCFS側と合意しており、5,000万ドルの初期投資を行うことになっている(株式取得は2018年の第2四半期までに完了予定)。

- \* 核融合の商業化を加速させることを目的として、かつてMITに在籍していたスタッフと学生によって2017年に設立された企業。

2017年7月9日付のFusion Power Associatesの発表によると、エネルギー高等研究計画局(ARPA-E)は、ARPA-Eが研究支援を行っている核融合炉の概念設計4形式\*1について、コスト(capital cost)\*2)に関するレポートを公開したとのことである。このレポートによると、炉心やタービンプラント等に対する直接費用は、いずれの形式の概念設計においても、核融合炉(を商業運転させるまで)の総費用の5~20%を占めるだけであり、またトリウムの取り扱いも中性子の取り扱いも、核融合炉(を商業運転させるまでの)コストの主要な要因とはならないという。なおこのレポートの分析では、熱交換器やタービン等の周辺機器について、いずれの形式に関するコストの算出においても、現在の標準形式に基づいているとのことである。

- \*1 「Stabilized Liner Compressor」、「Plasma Jet Driven Magneto-Inertial Fusion」、「Staged Z-Pinch」、「Sheared Flow Stabilized Z-Pinch」の4形式。いずれもARPA-Eの

「ALPHA(Accelerating Low-Cost Plasma Heating and Assembly)-Program」にて取り扱われている。

\*2 施設等が商業的に開業・運転されるまでに必要となる費用の総額のこと。

2017年7月25日に、米国のトライ・アルファ・エナジー (Tri Alpha Energy) 社は、グーグル (Google) 社と共同で行った核融合に関する研究が「Scientific Reports」という学術誌に掲載されたことを明らかにした。この論文によると、両社が開発したアルゴリズムを使用することにより、エネルギー損失を半分減らすことでプラズマエネルギーを増加させるという、想定を超えたプラズマの発生方法が見出されたとのことである。なお、トライ・アルファ・エナジー (Tri Alpha Energy) 社とグーグル (Google) 社は、2014年以降プラズマ研究に機械学習 (machine learning) を応用することについて、研究協力を行っており、今回の論文は、公開された初の成果であるという。

### 予算措置動向

2017年5月に、2017会計年度のオムニバス歳出法案 (包括的歳出法案) が、米国議会を通過した\*。これにより、DOE 科学局 (SC) の核融合エネルギー科学局 (Office of Fusion Energy Sciences) に対して、米国内の研究プログラム (ITER 以外) について3億3,000万ドルが拠出されることとなった。なお ITER については、5,000万ドルが拠出されることとなる (2016会計年度は1億1,500万ドル拠出されており、オバマ政権による2017年度予算要求では1億2,500万ドルであった)。また議会は、ITER に対して上記の5,000万ドルとは別に、SC に対する総予算54億ドルから DOE 長官の裁量で更に5,000万ドルを拠出できるようにしている。なお核融合点火・高収率プログラムに対しては、5億2,300万ドルが拠出される。

\* 2017年5月3日に下院、5月4日に上院を通過した。

また、同5月23日には、トランプ政権は、2018年度予算要求を連邦議会に提出した。これによると、DOE の核融合エネルギー科学局に3億1,000万ドルが計上されており、その内、ITER 計画には6,300万ドル、国内の融合炉には2億4,700万ドルが割り当てられている\*。また NNSA の国防計画部 (Office of Defense Programs) の下で行われる慣性閉じ込め核融合に関しては、5億3,300万ドルが計上されている。

\* なお、2018会計年度の歳出法として成立した実際 (enacted) の額は、FES プログラム予算は5億3,200万ドルであり、そのうち4億1,000万ドルが米国内の核融合研究に、1億2,200万ドルが ITER 計画に配分されていた。

2018年9月末に、2019会計年度エネルギー・水資源開発および関連省庁歳出法案 (H.R. 5895 - Energy and Water Development and Related Agencies Appropriations Act, 2019) が成立した。この歳出法案には DOE 予算が含まれており、5億6,400万ドルが核融合エネルギー科学 (FES : Fusion Energy Science) プログラムに割り当てられている。このうち、4億3,200万ドルは米国内の核融合研究に、1億3,200万ドルは ITER 計画への出資に配分される。また今回の歳出法案においては、NNSA による慣性閉じ込め核融合点火・高収率プログラムに、2018会計年度と同額の5億4,500万ドルが配分されている。

2019年3月に公表された2020会計年度のDOEの予算要求においては、科学局における核融合研究予算として4億300万ドルが提案されている。

## 研究プロジェクトへの拠出

核融合科学分野について、2018年8月2日にDOEは、大学、国立研究所、および民間企業において実施される37件の研究プロジェクトに対して、計3,640万ドルの研究助成金を拠出することを発表した。今回研究助成の対象となった研究は、磁場閉じ込め核融合プラズマに焦点を当てたものであり、今回選定された37件の研究プロジェクトは、DOEによる4件の資金提供公募（FOA：funding opportunity announcement）の下\*で実施されるものである。今回の研究助成には、ジェネラル・アトミックス（GA）社が所有するトカマク装置であるDIII-D（米国最大の核融合プラズマ実験装置）を利用した核融合エネルギーの共同研究、球状トカマクに関する理論的・実験的研究プロジェクト、ドイツの核融合装置ヴェンデルシュタイン7-Xを利用して研究を行っている米国の研究者への支援、DOEの「高度計算による科学的発見」（SciDAC：Scientific Discovery through Advanced Computing）プログラムを通じてプラズマのふるまいをモデル化する計算作業、などが含まれている。

- \* 「Collaborative Fusion Energy Research in the DIII-D National Program」の下で8件、
- 「Collaborative Research on International and Domestic Spherical Tokamaks」の下で15件、
- 「Collaborative Research in Magnetic Fusion Energy Sciences on Long-Pulse International Stellarator Facilities」の下で6件、および「Scientific Discovery through Advanced Computing: Runaway Electron Avoidance and Mitigation in Tokamak Plasmas」の下で8件。

2018年12月20日、DOEは、新しい核融合エネルギー研究に対し2019年度から3年間にわたり計1,400万ドルの資金提供を行うFOA「DIII-D国家プログラムにおける核融合エネルギーに関する共同研究」（Collaborative Fusion Energy Research in the DIII-D National Program）を発表した。これらの研究は、DIII-D国立核融合施設から得られたデータに基づき実施されるという。資金提供公募には大学・非営利団体・民間企業が申請可能であり、ピアレビューに基づく審査を経て資金提供対象が決定される。選出された研究計画に対しては、1年あたり5万～150万ドルが提供される。

2019年3月8日、DOEは、国際的なトカマク型核融合実験施設において米国の科学者が行う核融合実験研究に対して3,000万ドルを提供する計画を発表した。この研究は、米国と原子力協力協定を結んでいるEU、韓国およびその他の国の既存の施設で実施される予定である。DOEの関係者は「欧州とアジアにおけるトカマクの研究は、米国の将来の核融合装置においてプラズマの長時間運転に必要な知識を得られる」と述べた。この事業では、米国では利用することができない能力を備えている海外の施設で二国間研究を行う、複数または単一機関の研究チームを支援していくという。3年間にわたる資金提供の対象は、国立研究所、大学ならびに民間企業の中から、査読に基づき選定されることとなる。

## その他

NSAは2018年7月5日に、中核的な研究拠点の整備等を目的とした研究助成プログラム\*の一環として、低エネルギー核物理学（Low Energy Nuclear Science）等の分野について、テキサスA&M大学が主導していくこととなる研究拠点を新たなセンター・オブ・エクセレンス（COE：Center of Excellence）として認定した。この研究拠点の名称は「原子力トレーニング

および大学を基盤とする研究拠点」(CENTAUR : Center for Excellence in Nuclear Training and University-based Research) であり、CENTAUR を主導するテキサス A&M 大学は、5 年間にわたり 1,000 万ドルの助成を DOE から受けることになる。CENTAUR では、放射性ビームおよびターゲットの利用に重点を置き、関連する原子核構造や核反応特性を計測することを目的として、理論的な研究戦略と実験的な研究戦略を組み合わせることとしている。

\* 「Stewardship Science Academic Alliances (SSAA) Program」(SSAA プログラム) という名称の研究助成プログラム。SSAA プログラムは、極端な条件における材料、放射化学、および高エネルギー密度物理等に関する学術研究を助成することを目的として 2002 年に設立された。

## <英国>

### カラム核融合エネルギーセンター

英国の核融合施設としては、カラム科学センター (CSC : Culham Science Centre) 内にカラム核融合エネルギーセンター (CCFE : Culham Centre for Fusion Energy) がある。この施設を運営・管理しているのは、英国原子力公社 (UKAEA) である。同センターは、欧州共同トラス型核融合実験施設 (JET) と、アップグレード中である MAST (Mega Amp Spherical Tokamak) を持っている。研究目標は、エネルギー源としての核融合の実現である。

JETについては、2010~2011年にITER型のベリリウム-タングステン (Be-W) 容器壁タイル取り付けを含む大がかりなJETアップグレードを18か月かけて実施し、2011年5月に完成した。2012年7月、アップグレード後最初の実験を終了し、Be-W壁のITERへの適用性を確認した。

2019年3月29日に、ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) と欧州委員会 (EC) が、JETの契約延長に署名をした。今回の契約延長により、今後2年間でEUから少なくとも1億ユーロの追加の対内投資が確保され、また、英国のEU離脱 (Brexit) の状況に関係なく、2020年末までのJETの運営が保証されるという。

アップグレード中であるMAST については、2017年4月12日にCCFEが、プラズマ放出システムのアップグレードに関して資金拠出 (2,100万ポンド) を受けることになったことを明らかにした。これは、このアップグレードへの資金拠出について、核融合研究を目的としたコンソーシアムであるEUROfusionが第1フェーズとなる資金拠出を承認したことによるものである。2022 年まで続く第1フェーズでの資金拠出は、EUROfusionと英国工学・物理科学研究会議 (UK's Engineering and Physical Sciences Research Council) の協力のもとで行われるという。

2017年12月7日に、BEISは、UKAEAのカラム科学センターにおいて、核融合研究を目的とした国営の研究センター\*を設立するために8,600万ポンドを拠出したことを発表した。

\* National Fusion Technology Platform (NaFTeP)

### トカマク・エナジー社

英国では政府のみならず、トカマク・エナジー社やファースト・ライト・フュージョン (FLF : First Light Fusion) 社のような企業による核融合研究も進んでいる。

トカマク・エナジー社は、2017年4月28日に同社の核融合炉 (ST40) が初めて点火され、正式

に最初のプラズマが生成されたことを明らかにした。ST40については、プラズマ温度について核融合に必要な摂氏1億度を達成させて、2030年までに商業利用が可能になることが目標となっている。2018年6月6日には、ST40がプラズマ温度1,500万度（太陽の中心温度）を達成したと発表した。ST40の次の目標は、地球上において制御熱核融合（controlled fusion）を実現するために必要となる温度\*を達成することであるという。なおトカマク・エナジー社は、2025年までに工業的規模でエネルギー生産を行うことを計画している。

\* 摂氏1億度以上のプラズマ温度（太陽の中心温度の7倍）。

#### ファースト・ライト・フュージョン（FLF：First Light Fusion）社

慣性閉じ込め方式核融合の研究開発を行うファースト・ライト・フュージョン（FLF：First Light Fusion）社\*1は、同社が開発しているパルスパワー発生装置「Machine 3」\*2について、最初の試験照射（test shot）を2018年7月下旬に実施・成功した。「Machine 3」は6基の加速器から構成されており、今回の試験はそのうちの1基に対して実施されたものである。「Machine 3」は、最終的には、最大20万ボルトの電圧と1,400万アンペア以上の電流を2マイクロ秒の間に放出する\*3ことが可能になるという。2019年2月12日にFLF社は、Machine 3の構築と試験が首尾よく成功したと発表した。同社は2019年半ばまでに最初の核融合実証を目標とし、次の段階として2024年までにエネルギー利得を示すことを目指している。

\*1 オックスフォード大学からスピアウトしたスタートアップ企業。2011年7月設立。

\*2 FLFの方式は、慣性核融合の一種でレーザービームの代わりに、電磁加速器で高速の投射体を打ち込んで衝撃波を発生させ、キャビティを崩壊させプラズマを爆縮する方式。Machine 3は、電磁加速器6基で構成されている。

\*3 FLF社によると、落雷が同時に約500回起きた時の電圧と電流に相当するという。

2018年12月6日に、FLF社とUKAEAは、BEISからの一部資金提供を受けている「フュージョン・アイランド」（Fusion Island）プロジェクト\*における協力を発表した。プロジェクト全体の予算規模は13万5,000ユーロであり、うち、BEISからの資金提供はエネルギー・アントレプレナー基金（Energy Entrepreneurs Fund）を通じた9万3,000ポンドである。

\* エネルギー効率や蓄電・蓄熱、発電分野における最先端技術・製品・方式の研究開発を支援するために設計された競争的資金提供の枠組である。

#### <フランス>

##### プラズマ実験装置 WEST

カダラッシュの近くにあるプラズマ実験装置 WEST（Tungsten (W) Environment in Steady-state Tokamak）が2016年12月14日に初プラズマを達成した。WESTは、国際熱核融合実験炉（ITER）を開発するためにプロトタイプ構成要素を実験するもので、ITERの開発を推進するために設計されたものである。WESTを所有している原子力・代替エネルギー庁（CEA）は、プロトタイプの実験を通じて、ITERの構成要素を産業化するための費用とスケジュールに関するリスクを最小にするためにWESTを活用していくとしている。

##### 仏中核融合エネルギーセンター（SIFFER）

CEA は、中国の科学技術省(MOST)と仏中核融合エネルギーセンター(SIFFER:Sino-French Fusion Energy Center)を2017年11月に設立した。SIFFERは、核融合科学および実験物理学に関する研究、核融合エネルギーおよび次世代の核融合研究機器を対象とした安全規格および技術規格に関する研究を行っている。SIFFERを構成する4つの機関は、CEAの研究所であるIRFM(Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique)、ITER-China、中国科学院(CAS)の研究所である科学院等離子体物理研究所(ASIPP: Institute of Plasma Physics)、および中国核工業集团公司(CNNC)の研究所である核工業西南物理研究院(SWIP: Southwestern Institute of Physics)である。

## <ドイツ>

### マックス・プランク・プラズマ物理研究所

マックス・プランク・プラズマ物理研究所(Max Planck Institute for Plasma Physics)に核融合装置ヴェンデルシュタイン7-X(Wendelstein 7-X)が設置され、核融合研究が行われている。ヴェンデルシュタイン7-X自体はエネルギーの生成を行わず、ステラレータ型(ヘリカル型)核融合装置が電力発電に適していることの実証を目的とし、ヘリウムを用いた研究と水素によるプラズマ生成の研究が実施されている。ヴェンデルシュタイン7-Xにおける研究では、プラズマの生成が30分間持続することが目標に据えられている。

2015年12月10日、ヴェンデルシュタイン7-Xにおいて初のプラズマが生成された。約1mgのヘリウムガスにより生成されたプラズマは0.1秒間持続し、温度は約100万度に達した。2016年2月3日には、ヴェンデルシュタイン7-Xが水素による最初のプラズマ生成を達成した。水素により生成されたプラズマは、摂氏8,000万度に達するとともに0.25秒間持続した。

その後、ヴェンデルシュタイン7-Xでは、最初の実験が終了した2016年3月から15か月にわたってアップグレードが行われ、加熱や測定のための新たな機器類や、8,000枚以上の(プラズマ対向)黒鉛壁タイルと10個のダイバータ・モジュールがプラズマ容器内に設置された。これによりヴェンデルシュタイン7-Xは、今まで以上の高温度と10秒持続するプラズマ放出に耐えられるようになった。また、改修前の18倍相当である75メガジュールのエネルギーをプラズマに供給することが可能になったという。これらのアップグレードを終え、2017年8月28日に、ヴェンデルシュタイン7-Xにおいてプラズマ実験が再開された。

なおダイバータの黒鉛タイルは、炭素繊維強化炭素素材(carbon-fibre-reinforced carbon elements)へと数年以内に取り換えられる予定であり、これにより最大30分持続するプラズマ放出に耐えられるようになるとのことである。

2018年6月25日、マックス・プランク・プラズマ物理研究所所属の研究者が、ヴェンデルシュタイン7-Xにおいて、イオン温度約4,000万度、 $1\text{m}^3$ 当たり $0.8 \times 10^{20}$ 粒子密度に到達し、 $6 \times 10^{26}$ 度 $\times$ 秒/ $\text{m}^3$ の核融合積が得られたことを発表した。生成されたプラズマは26秒間持続したという。今回の実験結果は過去最高のプラズマ温度および密度、プラズマ放出の持続時間を記録しており、世界記録を更新したとしている。

## <EU>

### 欧州共同トラス型核融合実験施設 (JET)

欧州共同トラス型核融合実験施設 (JET) は、イギリスのオックスフォード近郊のカラム科学センター (CSC : Culham Science Centre) 内に設置されているトカマク型核融合実験装置である。JET の設計は 1973 年に開始された。1979 年に建設が開始され、1983 年から運転を開始した。

同施設は、英国原子力公社 (UKAEA) によって運営・管理されている。2019 年 3 月に、欧州委員会 (EC) は英国側と JET の 2020 年までの契約延長を締結した。

JET は世界で初めて重水素とトリチウムを核融合の燃料として運転した最初のトカマク型核融合炉である。JET のトカマクは商用には小さすぎるため、発電効率を高めるためには大型化が不可欠である。そのため、フランスは 2006 年に商用に向けて ITER の建設を開始した。(ITER については、1.2 ITER 計画への対応状況に詳細記述)

## <ロシア>

### クルチャトフ研究所

ロシアで核融合研究が開始されたのは旧ソ連時代の1950年代のことである。

IAEAは、1961年から核融合の国際会議を開催しているが、1968年のIAEA主催の核融合会議で、クルチャトフ研究所は、磁場封じ込め方式のトカマク3号機 (T-3) において摂氏1,000万度以上でプラズマを閉じ込めたと発表した。世界の研究者は、「計測に問題があるのだろう」として信用しなかったが、英国のカラム研究所の研究者が、最新式レーザー散乱計測装置をクルチャトフ研究所に持ち込んで測定したところ、摂氏1,000万度達成の事実を確認した。この事実は、世界の研究者に衝撃を与え、米国プリンストン大学でステラレータ型がトカマク型に変更されるなど、世界各地にトカマクブームを呼び起こした。

2010年5月末に開催されたクルチャトフ研究所での作業会合では、ロシア国内でのトカマク型核融合実験炉であるイグナイター (Ignitor) の建設に関するロシアとイタリアの共同作業計画について協議が行われた。同会合にはクルチャトフ研究所とその附属研究所であるトロイツク革新・核融合研究所 (TRINITY : Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research) の研究者、ロスアトム社の代表者に加え、イタリアの研究者も出席した。両国は、原子炉の製造作業はイタリアで実施し、クルチャトフに設置することで合意している。

2011年3月9日、ロスアトム社は、ITER機構と同実験炉の設備の供給に関する合意書に署名した。同設備は約1億ユーロの費用が見込まれており、各国と同様にITERの設備・機器類の9.1%を分担し、ダイバータのドーム部分やブランケットの接続はロシアが100%を担うこととなっている。

また、クルチャトフ研究所では、核融合 - 核分裂ハイブリッド炉の研究も行われている。最初の核融合 - 核分裂ハイブリッド炉T-15は、1977年に開発された。2018年5月にあった報道によれば、新たな核融合 - 核分裂ハイブリッド炉であるT-15MDは2018年末までに組み立てられ、2020

年の起動を目標としているという。T-15MDはトカマク核融合炉と溶融塩炉を組み合わせたものであり、トリウムを燃料として使用する。トカマクで生成された中性子は、トカマクを取り囲む溶融塩ブランケットにより捕獲される。このような核融合-核分裂ハイブリッド炉では、エネルギーを生成するために超高温を必要としないという。

## <中国>

中国はITERプロジェクトに参画しながら、国内では中国核融合工学試験炉（CFETR：Chinese Fusion Engineering Test Reactor）の建設と核融合実験炉（EAST：Experimental Advanced Superconducting Tokamak）を通じた研究が進展している。

### 中国科学院プラズマ物理研究所（ASIPP）

核融合による発電実証を行う中国核融合工学試験炉（CFETR）を2025年に稼働させることを目指しており、2015年にその概念設計を完了し、技術設計が2017年に開始された。このプロジェクトは中国科学院（CAS）のプラズマ物理研究所（ASIPP）が主導しており、約10の中国の核融合研究所と大学が参加している。CFETRはITERよりも小規模ではあるが、性能は同等であり、運転モードによっては核融合点火に必要な温度の最大10倍まで達するとしている。これらの大規模な実験によって、核融合炉を用いた発電所建設に必要な知識が獲得できると期待されている。原子炉は2021年までに建設を開始し、建設が終了した後、2035年までに大規模な実験を開始し、商業炉としての建設は、2050年までに開始する計画である。

CFETRの開発を支援するための研究施設の建設計画も進んでおり、2018年12月14日にサイトの建設準備が開始された。この建設プロジェクトの目的は、原子炉規模の包括的な研究施設を建設し、核融合に重要な構成要素を研究するために必要な原子炉関連条件を提供することである。同プロジェクトは「第13次5か年計画」における主要な科学工学プロジェクトの1つであり、安徽省の省都である合肥市の北西にある庐陽（廬陽）地区において、CASと安徽省政府によって共同で建設されており、工事期間は5年8か月を要する見込みである。

### 中国科学院合肥物質科学研究院（HIPS）

中国科学院（CAS）の合肥物質科学研究院（HIPS）が開発した核融合実験炉（EAST：Experimental Advanced Superconducting Tokamak）は、高さ11m、直径8m、重さ400トンのトカマク型の核融合実験装置である。

EASTは、ロングパルスHモードでの運転において、101.2秒間にわたるプラズマの閉じ込め（steady-state high confinement plasma）を2017年7月3日に達成した。2018年11月13日には、EASTで高温プラズマ中心の電子温度が初めて摂氏1億度を達したことが明らかになった。これは、摂氏1,500万度とされる太陽中心部の温度の約7倍にあたる。

## <韓国>

### 国家核融合研究所 (NFRI)

韓国では、持続可能で安全な未来のエネルギー確保のために2006年に核融合エネルギー法を制定し、その後5年毎に「核融合エネルギー基本計画」を策定し、核融合エネルギーの研究開発を進めている。現在は、2017年4月に策定された「第3次核融合エネルギー開発振興基本計画」(2017~2021年)に基づき、国家核融合研究所(NFRI)を中心に核融合の商業化に向けた主要技術開発と核融合に精通した人材育成に力を入れている。

NFRIは、韓国型次世代超電導核融合研究装置(KSTAR: Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)を2007年に建設し、高性能プラズマの長時間運転の技術開発に取り組んでいる。2016年12月14日に、NFRIはKSTARにおいて70秒間にわたって高性能プラズマを維持し、世界記録を達成したことを発表した。また、内部輸送障壁(ITB: Internal Transport Barrier)\*の形成を伴うプラズマの維持も成功したことも明らかにした。

\* プラズマ中で急激な圧力勾配により熱や粒子を遮断する層であり、プラズマ閉じ込め性能を大きく向上させるもの。

KSTAR\*は、2018年にトカマク核融合研究装置で中心イオン温度1億度以上の超温度プラズマを1.5秒間維持することに世界で初めて成功した。この記録は、今後核融合実証炉に適用することとなる次世代プラズマ運転モードの実験を通じて達成したものであるという。これは、2019年2月13日に科学技術情報通信部(MSIT)の発表により明らかになったものであり、NFRIは、2019年中に中性粒子ビーム(Neutral Beam Injection)加熱装置を追加で導入し、1億度以上の超温度プラズマを10秒間以上安定的に維持することを目指しているという。

なお、MSITの2019年度核融合基礎研究事業費は45億2,300万ウォンであり、クリーンエネルギーである核融合エネルギー開発に必要な核融合分野の研究基盤を拡大し、研究能力向上のための核融合基礎研究を支援していく計画である。

## <インド>

### プラズマ研究所 (IPR)

プラズマ研究は、プラズマ研究所(IPR: Institute for Plasma Research)で実施されている。IPRは、高温プラズマの磁場閉じ込めに関する研究を目的としたADITYAトカマクのほか、超伝導小型トカマクSST-1を運転中である。

また、インドは2005年からITER計画に参加している。

## <カザフスタン>

### カザフスタン国立原子力センター (NNC)

カザフスタン国立原子力センター(NNC)は、ロシアのクルチャトフ研究所と核融合分野での協力を推進している。2010年9月6日には、協力覚書を締結した。同日、NNC内の原子力研究所にあるカザフスタン材料試験トカマク装置(KTM: The Kazakhstan Tokamak for Material testing)で前日の9月5日に初のプラズマを発生させたことも発表した。

KTMについては、標準システム(standard systems)等の機能試験を目的とした作業(physical start-up)が2017年6月9日に完了し、10kAのパルス放電プラズマ生成を翌16日の週に達成したと、ITER機構がウェブ上で紹介した。この報告によると、放電プラズマの持続時間は20ミリ秒、トロイダル磁場(Bt)は0.35テスラを記録したとのことである。またプラズマを生成させるためのガスとして、水素、ヘリウム、アルゴンが使用されたという。なおKTMは、最大20MW/m<sup>2</sup>という熱負荷の状況下において運転することを念頭に設計されており、材料試験のために使用されることになっている。

また2018年3月2日には、「KTM研究プログラム(2018~2020年)」(Research Program on Kazakhstani Material Testing Tokamak for 2018-2020)\*が、原子力の平和利用を目的としたCIS加盟国の委員会(Commission of CIS Member States on Peaceful Uses of Atomic Energy)の会合において承認された。

\* 2011年5月19日にCIS諸国間で締結された「2020年までの原子力平和利用分野におけるCIS諸国の協力の枠組みプログラム」(Cooperation Atom-CIS)に基づいている。

また、日本原子力研究開発機構(JAEA)とも研究協力覚書(2007年4月30日署名)の下、核融合分野においても研究協力を進めることとし、2009年2月2日に次の2件の実施取決めを締結している。

- ・ 原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め
- ・ 核融合エネルギー及び技術分野における研究開発協力のための実施取決め

## <その他>

第27回IEEE(米国電気電子学会)核融合工学シンポジウム(SOFE 2017)が2017年6月5日から5日間に渡って、中国の上海で開催された。SOFE(Symposium on Fusion Engineering)は1965年から2年ごとに開催されているが、米国外で開催されるのは今回が初めてである。今回の会合では、ITER、MAST Upgrade Project(トカマク型、米国)、JT-60SA(トカマク型、日本)、W7-X(ステラレータ型、ドイツ)、EAST(トカマク型、中国)、およびLHD(ステラレータ型、日本)等の最近の動向について情報交換が行われた。

第5回IAEA DEMOプログラムワークショップが、2018年5月7~10日に韓国のテジョンにて開催された。このワークショップは、熱核融合原型炉(DEMO)\*開発における科学的・技術的課題の解決に必要な施設と活動について、専門家が議論を通じて明確にできるように支援する目的で開催された。なお、このワークショップには世界各国から60名以上の核融合研究者・技術者が参加した。

\* フランス・カダラッシュにおいて建設中である国際熱核融合実験炉ITERの、次段階に位置づけられる原型炉。ITER建設と並行し、各国で個別に研究開発が進められている。

## 1.2 ITER計画への対応状況

フランスのサン・ポール・レ・デュランス(カダラッシュ)で2025年の運開を目指して建設が進められているITER計画では、2019年3月現在、EU、日本、米国、ロシア、韓国、中国、

インドが加盟国として活動している。

ITER 計画の資金負担の割合は ITER 条約に定められており、欧州が 45%を出資しており、日本・米国・ロシア・韓国・中国・インドが 9.1%ずつ負担している。また、各国はそれぞれの技術基盤や核融合開発計画に基づき、ITER 建設に必要な設備や機器、部品の物納を分担して行う。各国間の調整や設計統合、全体の組立は、国際機関である ITER 機構が担当している。

#### <米国>

米国は、ITER プロジェクトに対し計画に対し 1988 年に開始された概念設計作業から参加している。ITER 計画における米国の出資負担割合は 9.1%である。米国内の実施機関は DOE 科学局 (SC) の US ITER であり、オークリッジ国立研究所 (ORNL) によって運営されている。米国が担当する機器は加熱装置、計測装置、トリチウムプラント、超伝導トロイダル磁場コイル、超伝導中心ソレノイドコイル、冷却・冷凍系、真空排気である。

2016 年 5 月 26 日、DOE は、米国の ITER プロジェクトへの参加について 2 年間延長することを議会に勧告した。

2016 会計年度予算教書では、科学局 (SC)・核融合エネルギー科学 (FES : Fusion Energy Science) には、4 億 2,000 万ドルが要求された。そのうち、ITER 負担金は、1 億 5,000 万ドルであった。ITER プロジェクトの米国分担総額は、この時点の最良の見積もりで 40~65 億ドルとなっていた。この額は、2003 年に米国が ITER プロジェクト復帰を決定した時点では 11 億 2000 万ドルであり、2008 年に 14~22 億ドルに改定されており、2006 会計年度から 2015 会計年度までの間に 10 億 2,300 万ドルが支出済みである。

2017 会計年度予算教書では、科学局・核融合エネルギー科学には 3 億 9,800 万ドルを要求した。要求額のうち、ITER には 1 億 2,500 万ドルを振り分けている。

2017 年 5 月には、2017 会計年度のオムニバス歳出法案 (包括的歳出法案) が、米国議会を通過した\*。これにより、ITER には 5,000 万ドルが拠出されることとなった。また議会は、ITER に対して上記の 5,000 万ドルとは別に、科学局に対する総予算 (54 億ドル) からエネルギー長官の裁量で更に 5,000 万ドルを拠出できるようにしている。

\* 2017 年 5 月 3 日に下院、5 月 4 日に上院を通過した。

また、同 5 月 23 日に、2018 年度予算要求がトランプ政権より連邦議会に提出された。これによると、ITER 計画に 6,300 万ドルが計上されている。

2018 年 9 月 13 日には、2019 会計年度エネルギー・水資源開発および関連省庁歳出法 (Energy and Water Development and Related Agencies Appropriations Act, 2019) が議会を通過し、同 9 月 21 日に大統領より署名され成立した。この歳出法には DOE 予算が含まれており、DOE 科学局・核融合エネルギー科学プログラムに 5 億 6,400 万ドルが割り当てられた。このうち、ITER 計画へは 1 億 3,200 万ドルが配分される\*。

\* 2018 会計年度の FES プログラム予算において、ITER 計画には 1 億 2,200 万ドルが配分されていた。

2019 年 3 月 11 日に公開された 2020 会計年度の DOE 予算要求においては、科学局・核融合

エネルギー科学プログラムに関する要求額 4 億 300 万ドルのうち、1 億 700 万ドルが ITER 計画に配分されている。

#### <英国>

英国は Euratom を通じて ITER 計画に参加している。

英国原子力公社 (UKAEA) が運営するカラム核融合エネルギーセンター (CCFE) は、ITER および核融合開発のために設立された EU の共同事業体である F4E (Fusion for Energy) から資金を受け、イオンサイクロトロン共鳴部品、中性ビーム及びマイクロウェーブ加熱装置、磁気診断装置の開発を行った。

CCFE には欧州共同トラス型核融合実験施設 (JET : Joint European Torus) が設置されており、1983 年から運転を開始している。JET は核融合用混合燃料 (重水素とトリチウム - 水素の 2 つの同位体) を試験できる唯一のトカマク装置であり、現在は、ITER の建設と運転の準備を主な任務としている。EUROfusion の管理下で、欧州の 28 各国及び 40 以上の研究所が共同で JET を使用している。

#### <EU>

EU は、1988 年に開始された概念設計作業から ITER 計画に参加している。EU は ITER 建設コストの内、45% を出資することになっている。また EU では、Fusion for Energy (F4E) が ITER の EU 実施機関として活動しており、担当する機器は遠隔保守機器、ダイバータ、加熱装置、計測装置、トリチウムプラント、ブランケット、超伝導トロイダル磁場コイル、超伝導ポロイダル磁場コイル、冷却・冷凍系、真空排気と多岐にわたる。また、建屋や居室の提供も担当している。

2010 年 7 月に ITER 臨時理事会が開催され、ITER の全体事業スケジュール及び全体事業コストが承認された。承認された今後の ITER プロジェクト計画では、2019 年 11 月に最初のプラズマの達成、2027 年 3 月に重水素・トリチウム運転の開始が挙げられていた。ただし ITER 理事会は、可能ならば 2026 年に重水素・トリチウム運転が開始できるようにするため、スケジュールの最適化の方策を探るよう ITER 機構に促していた。

また、2010 年 7 月に、ITER サイトの運営責任と所有権をフランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA) から ITER 機構に移転することになった。ITER 機構は、運営責任と所有権を 2010 年 7 月 26 日から引き受け、その後、2010 年 9 月、カダラッシュの ITER 建設予定サイトで掘削作業が開始された\*。

\* ITER 本部建屋は、2012 年 9 月に完成し 10 月 5 日に引き渡し手続きを終え、2013 年 1 月 17 日に開所式が行われた。

2016 年 4 月 4 日、欧州議会は、ITER プロジェクトの 2014 年度予算の用途について EU の予算管理委員会からは承認されなかったことを明らかにした。予算管理委員会は、費用が増大したことと計画の遅延について ITER を批判した。

2017 年 6 月 14 日、欧州委員会 (EC) は、ITER 計画に対する EU の参加に関連し、改定スケジュールと最新の経費見積を示した伝達文書 (communication) \*1 を採択した。この改定スケ

ジュールでは、ITER 計画における新たなベースラインとなる目標期限として、最初のプラズマ生成について 2021～2025 年を予定しているほか、全出力での運転については 2026 または 2028～2035 年を予定している。また最新の経費見積\*2 によると、2021 年から最初のプラズマ生成（2025 年）までに必要となるユーラトム負担分\*3 としての経費については、55 億ユーロとなっている。また、最初のプラズマ生成から全出力での運転（2035 年）までに必要となるユーラトム負担分としての経費については、2026～2027 年に関しては 18 億ユーロ、2028～2035 年に関しては 31 億ユーロである。

\*1 伝達文書（communication）は、EC による政策文書の一種である。EC は、伝達文書という形を取って、導入を検討する重要な法案について前段階としての構想を示すことがある。

\*2 2008 年時点の貨幣価値に換算すると、2021 年から最初のプラズマ生成（2025 年）までに必要となるユーラトム負担分としての経費については、38 億 8,000 万ユーロである。また、最初のプラズマ生成から全出力での運転（2035 年）までに必要となるユーラトム負担分としての経費については、2026～2027 年に関しては 12 億ユーロ、2028～2035 年に関しては 20 億 6,000 万ユーロである。

\*3 EU の予算および ITER のホスト国としてのフランスの予算等の合算金額。

2018 年 4 月 12 日、EU 理事会は、ITER 計画の改定について、欧州委員会による 2017 年 6 月採択の伝達文書（communication）に沿った結論（conclusions）を採択した。EU 理事会は、21 世紀後半に核融合エネルギーの実用化を目指す欧州のロードマップにおける ITER 計画の重要性を強調し、計画遅延や費用の増大に対応するための新ベースラインに沿った事業ガバナンスの改善や新経営陣の努力を評価した。またこの結論（conclusions）において EU 理事会は、ITER 計画の完遂に向けて欧州が今後も関与を継続すること、および、次期の EU 多年次財政枠組み（EU Multiannual Financial Framework）において必要な資金の確保に取り組むことを再確認した。これらを踏まえ、EU 理事会は、ITER 計画の新ベースラインを閣僚レベル ITER 理事会において認可するよう指示した。

2018 年 5 月 2 日、EC は 2021～2027 年 EU 予算案を発表した。この予算案では、ITER 計画に対して 60 億ユーロ\*が計上されている。EC は、環境に優しく安全なエネルギー源の開発において ITER 計画に対する戦略的貢献の重要性を強調している。この予算案については、欧州議会（European Parliament）の同意を得たのちに欧州理事会（European Council）に送られ、2019 年 5 月までに合意に達することを目指すという。

\* 2017 年 6 月に採択された伝達文書（Communication）において示された ITER に係る事業見積に沿った金額である。

ITER 機構とカナダは、カナダの ITER 計画への参加を検討する了解覚書（MOU）を 2018 年 4 月 17 日に締結した。この MOU についてカナダ政府は、カナダが ITER 計画に対して商業ベースで専門知識と技術を提供する\*にあたり、協力可能な領域を特定するために有意義であるとしている。

\* カナダは現在 ITER 計画には出資していないため、加盟国ではない。一方でカナダは核融合エネルギーに関する研究・技術の蓄積を有しており、また、CANDU 加圧重水炉運転の副産物として生産されるトリチウムは ITER 計画で不可欠な燃料となる。

## <ロシア>

ロシアは 1988 年に開始された概念設計作業から ITER 計画に参加しており、ITER 計画に対

し 9.1%の出資を行っている。国内実施機関の役割は 2011 年まではクルチャトフ研究所が担っていたが、2011 年以降は ITER 計画センター（Project Center ITER）が実施機関として活動している。担当する機器は、ダイバータ、加熱装置、計測装置、ブランケット、超伝導トロイダル磁場コイル、超伝導ポロイダル磁場コイル、真空容器である。

#### <中国>

中国は ITER 計画に 2003 年から参加しており、9.1%の出資を行っている。中国国際核融合エネルギープログラム（China International Nuclear Fusion Energy Program、通称 ITER-CHINA）が、国内実施機関である。担当する機器は、計測装置、ブランケット、超伝導トロイダル磁場コイル、超伝導ポロイダル磁場コイルである。

#### <韓国>

韓国は2003年からITER計画に参加しており、超電導磁石、トリチウム挙動解析装置、電力供給システム、ブランケットの開発を目指している。ITERの主要目標の1つにテストブランケット・モジュール（TBM：Test Blanket Module）の開発があり、韓国が提案している2種類のTBM概念は、ヘリウム冷却固体増殖方式（HCSB）とヘリウム冷却溶融リチウム方式（HCML）である。HCSBは短期的に、HCMLは長期的に増殖ブランケットに適用可能と考えられている。2014年5月、NFRIは、ITER機構とTBMの供給に関する約定を締結した。この締結に基づき、韓国型TBMを設計・製作し、2021年までにITER機構に供給することとなった。また、2018年12月11日には、IVCバスバー（IVC BUSBAR）\*の設計および制作事業について韓国のビツロテック（VITZROTECH）社がITER機構と契約を締結した。145億ウォン規模の同事業の契約により、ビツロテック社は2022年までにIVC BUSBARの設計と検証、そして段階別な装置供給を行う予定である。

\* IVC BUSBARは、核融合内部の超高温プラズマの不安定性を制御するために、内壁コイル（In Vessel Coil）に電流を伝達する装置である。

科学技術情報通信部は、2019年度のITER開発事業に333億5,400万ウォン（前年比23億8,200万ウォン減）を投資する計画であり、韓国が担当している機材の製造・調達およびITER機構への勤務者拡大大増員等に使われる予定である。

#### <インド>

2005 年から ITER 計画に参加したインドは、9.1%の資金を負担している。国内実施機関は ITER-India であり、原子力エネルギー庁（DAE）傘下のプラズマ研究所（IPR）内にオフィスが設けられている。インドの担当機器は、加熱装置、計測装置、真空容器、冷却・冷凍系である。

#### <カザフスタン>

2017 年 6 月 11 日に、カザフスタン国立原子力センター（NNC）と ITER 機構は協力協定に署名した\*。この協定は、両機関間における専門家の技術交流の実施、材料試験を目的としたカ

ザフスタン材料試験トカマク装置 (KTM) の利用、ITER の診断システムの開発等を対象としているとのことである。

\* なお ITER 機構が ITER 非加盟国との間で協力協定を締結するのは、2016 年 9 月にオーストラリア科学技術機構 (ANSTO) との間で締結した件に続き 2 件目である。

### <オーストラリア>

オーストラリアは ITER 非加盟国ではあるが、オーストラリア科学技術機構 (ANSTO) と ITER 機構の間で、2016 年 9 月に協力協定を締結している。協定においては、超電導技術や核融合プラズマ理論およびモデリング等の戦略的に重要な分野における協力が定められている。また、ANSTO に加え、オーストラリア国内の大学\*も参加するとされている。

\* オーストラリア国立大学 (ANU : Australian National University)、シドニー大学、カーティン大学、ニューカッスル大学、ウーロンゴン大学、マッコリー大学。

### <スウェーデン>

2019 年 1 月 29 日、オランダの原子力研究・コンサルタントグループ (NRG) は、ペッテンにあるオランダエネルギー研究センター (ECN) の高中性子束炉 (HFR : High Flux Reactor) \*1において、国際熱核融合実験炉 (ITER) の試験プログラムで使用される Eurofer97 鋼の照射試験が完了した\*2と 2019 年 1 月 29 日に発表した。NRG はスウェーデンのスタズビック (Studsvik) 社と共同で、ITER の試験で使用される低放射化鋼である Eurofer97 鋼の研究を行っており、今回の照射試験は、Eurofer97 鋼が ITER の放射線環境に対して十分に耐性があることを実証するために実施されたものである。Eurofer97 鋼のサンプルへの照射は 2016 年 12 月に開始し、合計 4 回実施され 2018 年に予定通りに完了したという。Eurofer97 鋼は 2019 年 1 月現在、ITER の試験設備に適しているかどうかの特性を詳細に分析するために、Studsvik 社へ輸送されている。

\*1 HFR は、欧州委員会 (EC) が所有し、NRG によって運転・管理されている研究炉。

\*2 同試験の資金は F4E (Fusion for Energy) より調達されたものである。F4E は、EU 予算より資金提供を受けている。

## 2 次世代炉

### 2.1 全般、共通、G I F一般

#### 2.1.1 研究開発動向

##### <米国>

米国では、第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）に沿って、超高温ガス炉（VHTR）、ナトリウム冷却高速炉（SFR）、熔融塩炉（MSR）、鉛冷却高速炉（LFR）の研究開発が進められている。また、小型モジュール炉（SMR）の研究開発も進んでいる。

2015年1月6日、アルゴンヌ国立研究所（ANL）は、次世代型原子炉の設計・建設・運転に関する技術的な課題について3企業（アレバ社（当時）、ウェスチングハウス（WH）社、GE日立）と共同で取り組む計画を明らかにした。

2015年11月6日、ホワイトハウスは、DOEによる「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ」（GAIN）の創設等を発表した。GAINは、新規および先進的原子炉の商業化に必要となる技術的、財政的、規制的支持を提供するためのものである。またGAINでは、既存の原子力エネルギー関連のインフラに関する「原子力インフラ・データベース」を公開する。

##### 連邦法

米国は次世代炉に関する法律等を設け、次世代炉の研究開発に取り組んでいる。

2016年2月19日、米国下院は「原子力エネルギー・イノベーション法案」（H.R. 4084）を全会一致で可決した。

- ・「基本エネルギーとしての原子力利用法案」（H.R.1320）および「先進的核燃料利用法」（H.R.6140）

2018年7月12日、下院のエネルギー・通商委員会（Energy and Commerce Committee）が可決した。「基本エネルギーとしての原子力利用法案」は、NRCの機能を見直すものであり、先進炉の許認可審査に必要な規制枠組を整備する旨が記載されている。また、「先進的核燃料利用法」は先進炉に用いられるHALEU（high-assay low-enriched uranium、濃縮度が5%以上20%未満の低濃縮ウラン）に関する法律である。HALEUは、米国において開発中の幾つかの先進炉設計において利用される予定である。しかしながら米国内においてはHALEUの商業生産能力が欠落していることを受け、この連邦法では、米国製HALEUを十分に供給するために必要な措置を取るとともに、関連する輸送インフラを整備することにも焦点を当てている。

- ・「原子力イノベーション能力法」（NEICA : Nuclear Energy Innovation Capabilities Act）

DOEに対し先進炉概念の検証における民間事業者との連携強化や高速中性子源炉の開発等を指示し、新しい原子炉技術の審査期間中にNRCによって請求されるライセンス料の一部をまかなう費用分担型補助金プログラムの創設を求める法律である。2018年9月28日に、トランプ大統領の署名により成立した。

## 規制・許認可審査の環境整備へ向けた動き

### ・規制に関するビジョン・戦略文書

NRC は、非軽水炉技術について効果的・効率的にレビューするためのビジョン・戦略文書として「NRC ビジョンと戦略:効果的・効率的に非軽水炉ミッションへの準備を達成」(NRC Vision and Strategy: Safely Achieving Effective and Efficient Non-Light Water Reactor Mission Readiness) を公開している。

### ・主要設計基準 (PDC) 作成の動き

DOE と NRC は、先進炉の研究開発促進を目的とした共同作業グループを設置し、指針として先進炉のための主要設計基準 (PDC) を作成している。

作成作業は 2 段階で行われた。第 1 段階として DOE の作業チームが技術レポートをとりまとめ、それを基に第 2 段階として NRC の作業チームが規制指針 (RG : Regulatory Guide) \* を作成した。

\* 規制指針は、許認可所有者 (licensee) および申請者 (applicant) に対し、NRC 規則 (regulation) の特定の部分を履行する、あるいは満たすための指針、特定の問題や想定される事故を評価する際に NRC スタッフが用いる技術、許認可申請のレビューにおいて NRC スタッフにより必要とされる情報を提供する。規制指針は規則に代替するものではなく、許認可所有者や申請者は必ずしも規制指針に準拠する必要はない。

2 段階で行われる PDC の作成作業は、2014 年 12 月にアイダホ国立研究所 (INL) によって発行された指針「先進炉 (軽水炉以外の原子炉) の主要設計基準を策定するための指針」(Guidance for Developing Principal Design Criteria for Advanced (Non-Light Water) Reactors INL/EXT-14-31179 Rev.1) を受けて行われる。この指針は、NRC と DOE の主導の下で、INL とアルゴンヌ国立研究所 (ANL)、およびオークリッジ国立研究所 (ORL) が共同で作成したものであり、これまで許認可の主な対象であった軽水炉とは別に、先進炉 (軽水炉以外の炉) に関する規制の枠組みにおいて鍵となる部分について検討することを目的として、先進炉の設計と許認可に「必要なこと」に特化して議論したものである。

これを受けて DOE の作業チームは、PDC 作成のための第 1 段階として技術レポートをとりまとめ、先進炉の設計規準 (ARDC : Advanced Reactors Design Criteria) を策定した。ARDC においては、これまで軽水炉を対象として使用されてきた「原子力プラントのための一般的設計規準 (10CFR50 : General Design Criteria for Nuclear Power Plants) 付録 A」には含まれていない新たな内容が含まれている。また、ARDC に合致する技術上の設計規準として、HTGR および SFR の 2 つについて、先進炉の代表として検討を進めた。また前者から策定された代表的設計についてはモジュール型高温ガス炉設計 (mHTGR-DC)、後者から策定された代表的設計についてはナトリウム冷却高速炉設計 (SFR-DC) と呼ぶこととしている。

PDC 作成の第 2 段階として、NRC の主導のもとで今回の成果についてレビューを行い、関連した規制指針が発行されることとなった。なお先進炉を対象とした新たな規制指針について NRC は、①先進炉の開発者の立場で、許認可取得について規制による不確実さを低減させること、②先進炉の許認可申請について審査する NRC スタッフに対する指針となること、③許認可申請者と NRC スタッフの双方にとって、許認可取得に係る活動について適時性と効率性が期待

できる、という3点において有用であるとしている。

2017年4月18日、NRCは、SMRやその他の新技術（軽水炉以外の原子力施設）に対する新たな緊急時対応要件に関する規制基盤の草案について、パブリックコメントの募集を行っていることを明らかにした。草案はNRCのオンラインデータベースにて入手可能であり、コメントの受付期限は6月27日とされた。

2018年4月9日には、これらの議論を受け、「軽水炉以外の原子炉の主要設計基準を策定するための指針」（Regulatory Guide 1.232: Guidance for Developing Principal Design Criteria for Non-Light-Water Reactors）がNRCにより発行された。

・その他

2018年7月5日、原子力エネルギー協会（NEI）は、先進炉の規制対応について、原子炉開発者（reactor developers）を対象としたガイドライン\*1を公表したことを明らかにした。このガイドラインは、先進炉の許認可審査等について原子炉開発者とNRCが早期に交流を行うことを支援する目的で策定されたものである。今回NEIが策定したガイドラインは、規制関与計画（REP: Regulatory Engagement Plan）\*2の策定に向けて複数のステップを踏むことを提案するものであり、規制当局と原子炉開発者等の間のコミュニケーションと意思決定を促進するとともに、これにより、新たな原子力技術の開発・展開プログラム全般における規制リスクを最小限に抑えることを目的としている\*3。

\*1 「Guidelines for Development of a Regulatory Engagement Plan (NEI 18-06, Rev. 0)」。このガイドラインは、産業界およびNRCからの情報提供と、原子力イノベーション連合（Nuclear Innovation Alliance）の協力により作成されたという。

\*2 REPに対する規制要件は無い。REPにおけるトピック等の選択については、許認可申請者の自由意思に任されているが、許認可申請者とNRCスタッフとの間で合意することが必要である。

\*3 NuScale社製のSMR（既存の軽水炉に基づいた設計）のケースでは、許認可申請を行う前に行ったNRCとの調整のために8年以上を費やすとともに、規制手続き上の手数料のために1,200万ドルを費やしている。

2018年8月28日付の報道によると、NRCは、SMRに対して設定する緊急時計画区域（EPZ: Emergency Planning Zones）について、原子力発電所（軽水炉）を対象とした現行のEPZ\*1よりも縮小することが可能であるとの考えを明らかにしたとのことである。この判断は、テネシー峡谷開発公社（TVA）が申請していたクリンチリバー・サイトの事前サイト認可（ESP）\*2についてNRCが実施している安全評価の一部として明らかになったものであり、現時点でNRCはSMRのEPZ基準を定めてはいないとのことである。NEIによるとNRCは、ESP申請において提示されているTVAの方法論について、SMR全般に対するEPZの広さを決定する際の「合理的な技術的根拠」（reasonable technical basis）になるものであるという。

\*1 米国では、原子力発電所の中心から半径10マイル（16.1km）内をEPZとして設定している。

\*2 2016年に、TVAがSMRの設置と運転を前提として申請したものである。TVAは、SMRに対して設定するEPZを縮小するための技術的根拠（technical basis）として、4つの異なるSMR設計（BWXT社のmPower、ホルテック・インターナショナル社のSMR-160、ウェスチングハウス社のSMR、およびNuScale社のSMR）からの情報をESP申請において用いている。

## <英国>

英国政府は、先進的な原子力技術について、産業戦略およびクリーン成長グランドチャレンジ

(Clean Growth Grand Challenge) を達成するために重要な要素であるとしている。英国政府は既存の第3世代技術(軽水炉)を用いたSMRと第4世代炉を「先進的原子力」(Advanced Nuclear)市場として捉え、財政や規制準備、サプライチェーンの開発、サイト選定などの支援を行うほか、先進小型モジュール炉フィージビリティ開発プロジェクト (AMR F&D project : Advanced Modular Reactor Feasibility and Development project、2.1.3 予算措置状況にて詳述) を実施している。

AMR F&Dプロジェクトに関して、2018年10月25日にヌヴィア (Nuvia) 社が、AMR F&Dプロジェクトのフェーズ1におけるテクニカルアドバイザーに指名されたことを明らかにした。ヌヴィア社は、AMR F&Dプロジェクトに選出された事業者から提出されるフィージビリティスタディの評価を行い、プロジェクト終了時にはBEISに対し、各フィージビリティスタディの妥当性・信頼性・完全性の評価をまとめた報告書を提出することになる。この報告書は、フェーズ2の事業者選定の際に参考されるという。

BEIS は、SMR 及び AMR の包括的設計審査 (GDA) プロセスを 2019 年以降に開始すること、および先進的製造・建設プログラム\*1の補助金申請に関連して 2018 年末までに「関心表明 (Expressions of Interest)」の募集を開始することを 2018 年 11 月 7 日に明らかにした。これは、11 月 5～6 日に開催されたイベント (Commercialisation of Small Nuclear in the UK) において、R. ハリントン (Richard Harrington) 産業・エネルギー担当大臣が示したもので、原子力セクターディール (Nuclear Sector Deal) (2018 年 6 月 28 日発表) \*2に関する情報である。

\*1 先進的製造・建設プログラムは、英国政府と民生用原子力部門が共同で持ち上げて、重要かつ価値の高い原子力機器やシステム、プロセスなどの設計方法を実証していく予定で、政府が最大 2,000 万ポンドを融通し、産業界も少なくとも 1,200 万ポンドを投資する。同プログラムは、Nuclear Innovation Program を基に進められる。

\*2 原子力セクターディールでは、①2030年までに新規建設計画に係るコストを30%減らす、②廃止措置に係る費用を現在の見積額と比較して20%抑える、③原子力に携わる女性の割合を40%にする、④20億ポンド(26億ドル)以上の国内外の契約を獲得するためにより競争力を高めるという4つの目標が掲げられている。

## <フランス>

EDFは稼働中の原子炉について、一部の炉をEPRに代表される第3世代炉に置き換えていくシナリオを検討している\*。また、このシナリオでは、2040年頃に第4世代炉の運転が可能になるとの想定の下で研究開発を実施している。また第4世代炉国際フォーラム (GIF) の場も活用して、2020年代に実証炉を実現することを想定している。

\* EDFとアレバ社(当時)は、EPR(165万kWe)をベースに改良型(EPR-NM: EPR New Model)を開発する予定であった。

高速炉については、1973～2010年にかけて原型炉としてフェニックス炉(26万kWe)、1985～1998年にかけて実証炉としてスーパーフェニックス炉(124万kWe)の運転経験を有しており、増殖性については確認済みである。

## 第4世代炉に関するレビュー

2015年4月27日、放射線防護・原子力安全研究所（IRSN）は、第4世代炉についてレビューしたレポートを発表した。GIFにより選定された6種類の第4世代炉\*について、21世紀前半中に原型炉の建設ができる程度の完成度に達しているのはナトリウム冷却高速炉（SFR）のみであると結論付けた。また超高温ガス炉（VHTR）については、高温ガス炉（HTGR）で得られた運転経験により、特に炉心溶融の防止という意味において第3世代炉よりも安全性が向上していると評価している。ただしレビュー対象のすべての炉型に関して、第3世代炉と比較して安全性の面で顕著な改善が見られるものはないとした。

\* ナトリウム冷却高速炉（SFR）、超高温ガス炉（VHTR）、ガス冷却高速炉（GFR）、鉛冷却高速炉（LFR）、溶融塩炉（MSR）、超臨界水冷却炉（SCWR）の6種類の第4世代炉である。

## <EU>

### 持続可能な原子力エネルギー技術プラットフォーム（SNETP）

#### ・欧州技術・プラットフォーム（ETP）の果たす役割

欧州での研究開発では、民間主導の研究開発組成的な組織である欧州技術・プラットフォーム（ETP：European Technology Platform）が重要な役割を果たすようになっている。これは当初、産業界主導の非公式な討議の場、自主的な連携組織として設立されたものであったが、次第にEU内での認知度を上げ、現在、主要企業・中小企業・金融関係者・国および地方の諸機関・研究団体・大学・NPO・市民団体が参画している。

ETPは、特定の技術分野を対象として様々な組織が自主的に参加する場であるが、技術開発から市場の普及に至るまでの戦略を策定してプロジェクトを進める。EUの研究開発の受け皿となっている。

ETPの役割は、次の通りである。

- ・産業界主導で関係者が集まり、共通の技術的なビジョンを作成する
- ・戦略的研究行動計画（SRA：Strategic Research Agenda）を作成する。その計画の中で中期から長期の技術目標やスケジュール等を明らかにする
- ・人的および財政的な資源を結集し、SRAを実施する

#### ・SNETPの設立

ETPの一つとして、2007年9月に「持続可能な原子力エネルギー技術プラットフォーム」（SNETP）が設立された。SNETPには欧州各国の電気事業者、原子炉機器製造業者、研究機関、大学が加入し、メンバーは75機関である。SNETPは、2007年11月にECが発表した欧州戦略的エネルギー技術計画（SET計画）に基づき、核分裂分野で以下の研究開発目標を掲げている。

- ・現行の技術の安全性と競争力の維持・第4世代炉とクローズド燃料サイクル技術の開発
- ・発電以外の原子力利用：産業規模での水素生産、海水淡水化、その他熱利用

2009年6月、SNETPはこれらの目標を達成するためのSRAを発表し、その実施に必要な主要行動内容を、2010年5月に展開戦略（Deployment Strategy）で発表した。

2010年11月15日のEUのSET計画の会議において、SNETPは、2010年11月「欧州持続可能な原子力産業イニシアチブ」（ESNII：European Sustainable Nuclear Industrial Initiative）を

スタートさせた。ESNIIは、2007年11月に発表されたSET計画の一環として、第4世代高速中性子炉の技術開発における欧州のリーダーシップを促進するとともに、EUの温室効果ガスの排出量削減目標の達成と欧州におけるエネルギー需要の増加に対応するための次世代原子炉の開発を援助するものと位置付けられている。

ESNIIの目的は次の3点である。

- ・第4世代原子炉技術の実証
- ・長寿命放射性廃棄物の管理の解決策の提供
- ・原子力利用の拡大（水素生産、熱・脱塩等）

このESNIIの支援対象として、①フランスで開発が進められているナトリウム冷却高速炉（SFR）であるアストリッド（ASTRID）、②ベルギー原子力研究所（SCK・CEN）で開発が進められている、鉛ビスマス高速炉と加速器駆動システムの複合装置であるMYRRHA、及び③ガス冷却炉（GFR）であるアレグロ（ALLEGRO）が挙げられている。

## <ロシア>

ロシア政府が2009年11月に承認した「2030年までのロシアエネルギー戦略」（Energy Strategy of Russia for the Period up to 2030）に「核燃料サイクルおよび原子力エネルギー産業」（Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Energy Industry）という項が設けられており、その中で「高速中性子炉の実験炉および商業炉の設計」が戦略として設定されている。また、次世代炉としてナトリウム冷却高速炉（SFR）による原子力発電所、鉛・鉛ビスマス冷却高速炉（LFR）および高温ガス炉の実証炉の運転を目指すとしている。モジュール性のある高温ガス炉については、熱供給源としての活用も視野に入れている。

また、2010年に政府が承認した連邦目標計画（FTP）「2010～2015年と2020年までの新世代原子力技術」では、少なくとも2030年まではVVERを基本とすることになっているが、その後は高速中性子炉と燃料再処理によるクローズド燃料サイクルの確立を目指すことになっている。

2016年8月発表の政令においては、ナトリウム冷却高速炉BN-1200（2017年5月に詳細設計完了）2基の運転開始時期の目標を、それぞれ2031年と2033年に設定している。

国営原子力会社であるロスアトム社も、高速炉を組み込んだクローズド燃料サイクルを優先事項のひとつに位置付けており、高速炉を既存の原子力発電システムに組み込むことで、長寿命放射性廃棄物の処理や燃料製造用材料の確保、燃料資源枯渇対策を目指すとしている。

ロシアは2006年からGIFに参加しており、SFR、LFR、熔融塩炉（MSR）、超臨界圧水冷却炉（SCWR）の開発に加わっている。

### Proryv（ブレイクスルー）プロジェクト

Proryv（ブレイクスルー）プロジェクトは、高速中性子炉を使用したクローズド燃料サイクルに基づき、新世代原子力技術の創出を提供するものとしてロシアの主要な部門ごとの科学者および専門家により実施されているものである。

同プロジェクトは、高速炉の資本費の削減などを基本方針に挙げ、高速炉を用いたクローズド燃料サイクルを基本とした新たな原子力発電技術の開発を目的としており、SFRに加え、LFRの開発も並行して実施し、120万kW級での実用化を目指している。このプロジェクトの一環として実験的デモンストレーション複合施設をシベリア化学コンビナート(SCC)に建設する計画が進められており、SCC内には鉛冷却高速実証炉 BREST-OD-300(30万kW)も建設される。

### <インド>

インドは、国内に豊富なトリウム資源を有し、資源の有効活用とエネルギー安全保障の観点からトリウム燃料サイクルを長期的な原子力政策として目指している。この目標を達成するステップとして、3段階の燃料サイクルを計画している。

現在、第1段階は商業利用、第2段階は技術実証、第3段階は技術開発の段階にある。

#### 3段階からなるトリウムサイクル開発計画

	担当機関	利用炉	目的と役割	燃料の生産
第1段階	NPCIL	加圧重水炉 (PHWR)	発電 次の段階の <sup>239</sup> Puの生産	天然ウランを燃焼させ、使用済み燃料から <sup>239</sup> Puを取り出す。
第2段階	IGCAR BHAVINI	高速増殖実験炉 (FBTR) 高速増殖原型炉 (PFBR)	発電 次の段階の <sup>233</sup> Uの生産	減損ウランと取り出した <sup>239</sup> Puを用いた(Pu-U)O <sub>2</sub> を炉心燃料とし、 <sup>232</sup> ThをThO <sub>2</sub> の形状でブランケット燃料とする。使用済み燃料から <sup>239</sup> Puと <sup>233</sup> Uを取り出す。
第3段階	BARC BHAVINI	改良型重水炉 (AHWR) 商用炉 (CFBR)	発電(自己継続可能なサイクル) [ <sup>232</sup> Th→ <sup>233</sup> U]	( <sup>233</sup> U- <sup>232</sup> Th)O <sub>2</sub> をAHWRの燃料として <sup>233</sup> Uを得る作業を繰り返す。 商用炉(CFBR)は金属燃料炉心を用いる(加速器駆動システムを利用した <sup>232</sup> Thからの <sup>233</sup> Uの生産もあるという)。

NPCIL (Nuclear Power Corporation of India Ltd.) : インド原子力発電公社

IGCAR (Indira Gandhi Centre for Atomic Research) : インディラ・ガンジー原子力研究センター

BHAVINI (Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited) : バラディヤ・ナビキヤ・ビジュト・ニガム社

BARC (Bhabha Atomic Research Centre) : バーバ原子力研究所

第2段階に相当するFBRの開発と設計は、インディラ・ガンジー原子力研究センター(IGCAR)が担当し、FBTRの運転(1985年から運転開始)、および50万kW出力の高速増殖原型炉(PFBR)の技術開発を実施している。PFBRはカルパッカムで建設中であり、2016年4月以降に臨界を達成する予定であったが、計画は遅延しており、2020年に初臨界を達成すると予想されている。PFBR計画の実施主体は、2003年10月に設立されたBHAVINI社である。なお、PFBRの次段階に相当するCFBRについてはPFBRの経験を反映して、設計・開発が実施されることとなっている。

第3段階に相当するAHWRの開発を担うのはBARCで、現在トリウムの利用と安全性の実証を目的とした30万kW級AHWRの技術開発を進めている。

### 原子力開発の経緯（初期）

インドは1948年に、インド原子力委員会（AEC）を設立し、ウランの探査と採掘を開始した。その後、1954年8月に原子力の技術開発と商業運転を担当する原子力庁（DAE）が設置され、同年にバーバ原子力研究所（BARC）も設立された。1964年には再処理工場を建設し、CIRUS炉の使用済み燃料からプルトニウム抽出に成功した。1971年には DAE 傘下の組織として IGCAR が設立された。

1974年5月18日に、CIRUS炉の使用済み燃料から抽出されたプルトニウムを用いて、核実験を実施した。さらに1984年に自主開発した加圧重水炉（PHWR）の運転開始にも成功し、翌1985年には高速増殖実験炉が臨界に達した。核実験の実施により、国際社会からの協力を得られなくなったため、独自の開発路線を歩むこととなったが、昨今では、クダンクラム原子力発電所の建設など商業用原子炉建設においてロシア側との協力が見られる。核実験は、1974年5月以降24年間行われなかったが、1998年5月に再度実施された。

なお、CIRUS炉は2010年に恒久閉鎖されている。

### 原子力開発動向

インドの原子力発電事業は当初 DAE が直接実施していたが、1987年9月に国有企業としてインド原子力発電公社（NPCIL）を設立した。3段階からなるトリウムサイクル計画の第1段階に相当する PHWR の設計、建設、運転、保守はその NPCIL が行っている。

1969年にインド初のタラプール原子力発電所1、2号機（BWR、各16万kW）が運転開始したことに引き続き、カナダから輸入した CANDU 炉が1972年11月に運転を開始した。これ以降、合計で18基の PHWR が完成している。

### <スイス>

ポール・シェラー研究所（PSI）では、第3、第4世代の受動的安全性を有する軽水炉の開発が行われており、「ALPHA プロジェクト」と呼ばれている。これは、米国の安全規制当局から依頼を受けて研究をしているもので、PANDA と呼ばれる長期崩壊熱除去のための実験施設を用いて実施されており、その成果は、新型炉コンセプトの実証に用いられている。

## 2.1.2 国際協力動向

### <米国>

米国は第4世代原子炉国際フォーラム（GIF：Generation IV International Forum）の創立メンバーであり、超高温ガス炉（VHTR）、ナトリウム冷却高速炉（SFR）、熔融塩炉（MSR）、鉛冷却高速炉（LFR）を中心に研究を行っている。

2013年6月、米国、ロシアおよびフランスは、新たなタイプの核燃料や冷却材等の開発に向けて、共同研究を実施することで合意した。この合意を受けて、ロシアで多目的研究用高速炉（MBIR）の建設が進められている。

### <英国>

2017年7月27日、ヘイワード・タイラー・グループ（Hayward Tyler Group）と上海阿波羅機械股份有限公司（Shanghai Apollo Machinery Co）が、原子力協力についての戦略的協力協定に合意した。今後2社は、英国の原子力計画、小型モジュール炉（SMR）開発計画、第4世代炉技術、廃炉の分野において、機器の開発と販売の機会を協力して模索していくこととなる。

BEISは、2018年9月13日に米国エネルギー省（DOE）原子力エネルギー局（NE）と「民生用原子力研究開発アクションプラン」（Civil Nuclear Energy Research and Development（R&D）Action Plan）に署名した。このアクションプランは、両国の民生用原子力分野における先進技術研究開発への協力を容易にするためのものであり、「原子炉技術」等の6作業部会\*1が設置されるという。DOEによると、このアクションプランは既存の協力構造を代替するものではなく補完するものであり、大学、研究所、産業部門における両国間の現在の協同を基にしているという。また、このアクションプランに加え、DOE オークリッジ国立研究所（ORNL）と英国国立原子力研究所（NNL）が、原子力分野の研究協力についての了解覚書（MOU）を締結した。このMOUに基づき、両機関はアイデア共有や人材交流、合同ワークショップを通じて、先進炉のためのモデリング・シミュレーションツールの開発等、原子力関連分野における協力\*2を行うとしている（MOUの有効期間は3年間）。

\*1 このほかの作業部会として、「宇宙技術に利用するRI」、「先進燃料」、「燃料サイクル技術」、「先進的モデリングおよびシミュレーション」、「イネープリング・テクノロジー（enabling technology, 実現技術）」が設置される。

\*2 この他、事故耐性燃料概念の探索、使用済み燃料に関する管理・アセスメント技術の開発、宇宙・医療・工業利用のためのRI製造の継続といった分野が協力の中に含まれている。

また、英国は第4世代原子炉国際フォーラム（GIF：Generation IV International Forum）の創立メンバーであり、2018年まではEuratomを通じて活動していた。

2018年11月19日、BEISは、GIF 枠組み協定を批准したと発表した。この枠組み協定は、2018年10月17日にBEISとNEA（原子力機関）により署名されたものである。BEISによると、今回の批准により、英国は第4世代炉システムに関連する研究開発プロジェクトに「積極的に関与」することが出来るようになるという。GIFへの参加は2019年より開始される。

## <フランス>

CEAはGIFに参画しており、高速炉とクローズド燃料サイクル（SFRとGFR）について優先的に研究を行っている。更にCEAは、産業界におけるパートナーとの緊密な協力のもとで、60万kWt級のVHTRの開発を行い、2025年の電力市場のニーズを満たすことを目標としている。またCEAは、原子力以外の低炭素エネルギーの研究を早くから行ってきており、環境、再生可能エネルギー、材料、情報・通信をも研究開発の対象としている。

CEAと米国DOEは、2018年4月26日にSFR\*における協力強化に関する声明書(statement of intent)に署名した。高速炉について両機関は今後、モデリング、シミュレーションと妥当性確認、技術試験、およびサプライチェーン・実験施設・先進材料の利用など、SFRの研究開発において、更なる協力が可能な領域がないか探ることとなる。

\* SFRについて、CEAは実証炉ASTRIDの開発を行っている。

## <ロシア>

2017年6月26～29日に、IAEAは、高速炉システム国際会議（FR17）\*をロシアのエカテリンブルクにおいて開催した。FR17は、ロスアトム社を通じてロシア政府が主催しているものであり、高速炉を巡り、原子炉設計概念、原子炉の安全性、許認可、運転と廃止措置、燃料、冷却材、核拡散抵抗性と核物質防護、および専門家の育成等について議論が行われるとのことである。なおFR17へは、30か国以上から、約700名の原子力技術者、原子力科学者、原子力の政策決定者が参加している。

\* The International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles: Next Generation Nuclear Systems for Sustainable Development

2017年6月26日、ロスアトム社とV4G4 Center of Excellence\*は、「多目的研究用高速炉（MBIR）に基づいた国際研究センター」（International Research Center on the Basis of Multi-Purpose Research Reactor (MBIR)）共同事業への参加に関する了解覚書（MOU）に署名した。今後両者は、この共同事業への参加条件等について調整を進めていくことになるという。

\* 2013年にチェコ、スロバキア、ハンガリー、ポーランドの4か国が設立した次世代炉研究に関するコンソーシアムの研究開発拠点。

2018年11月6日、ロスアトム社の子会社であるOKBMアフリカントフ（OKBM Afrikantov）社と中国核工業集团公司（CNNC）は、福建省霞浦県において建設中の60万kWe級の高速実証炉（CFR-600）プロジェクトに関する契約を締結した。この契約には、機器およびサービスの提供、ソフトウェア使用权に関するライセンス供与、書類審査関連サービスが含まれている。

## <中国>

アブドラ国王原子力・再生エネルギー都市（K.A.CARE）と中国核工業建設集团公司（CNEC）は、サウジアラビアにおける高温ガス炉（HTGR）建設の実現可能性\*について議論することを目的として、両国の専門家（計40名程度）からなる共同作業部会の第1回会合を2017年5月15日に北京で開催した。3日間にわたって実施されたこの会合では、サウジアラビアにおけるHTGR建設プロジェクトについて、知的財産とサプライチェーンにおける協力、および資金調

達に関する議論が行われたほか、原子力規制制度に関しても議論が行われた。

\* HTGR 建設プロジェクトのフィージビリティスタディに関する報告書は、2017 年中に中国側からサウジアラビアの内閣へ提出される予定であるとされた。

2017 年 8 月 24 日、CNEC とサウジアラビアのサウジ技術開発投資会社 (TAQNIA : The Saudi Technology Development & Investment Company) \*<sup>1</sup>は、HTGR を用いた淡水化共同事業に関する了解覚書 (MOU) \*<sup>2</sup>に署名した。この MOU によると両者は、HTGR を用いた海水の淡水化計画についてフィージビリティスタディを共同で実施するとともに、HTGR を使用した淡水化事業について合弁会社を設立するための交渉等を開始するとのことである。

\*<sup>1</sup> 2011 年 6 月、技術をサウジアラビア国内で現地化すること、および (サウジアラビア国内に設置されている) 研究開発センターの成果を商業化することを目的とした国王令によって設立された。TAQNIA はサウジアラビアの公的投資基金 (PIF : Public Investment Fund) が所有している。

\*<sup>2</sup> Memorandum of Understanding on HTGR Desalination Joint Venture between CNEC and TAQNIA

2017 年 11 月 28 日、科学技術省 (MOST) とフランスの原子力・代替エネルギー庁 (CEA) が、中仏核融合エネルギーセンター (SIFFER) の設立で合意したことが明らかになった。両機関は SIFFER の設立について、11 月 23 日に「枠組み協力合意」(framework cooperation agreement) に署名し、翌 24 日には「政府間政治的宣言」(Intergovernmental Political Declaration) および「実施協定」(Implementing Agreement) に署名したとのことである。今回署名された「枠組み協力合意」により両国は、核融合について、科学技術研究開発における協力を強化していくこととなる。なおこの合意により SIFFER を構成する 4 つの機関\*は、核融合分野において科学技術研究開発を共同で実施することができるようになった。

\* CEA の研究所である IRFM (Institut de Recherche sur la Fusion par confinement Magnétique)、ITER-China、中国科学院 (CAS) の研究所である ASIPP (Institute of Plasma Physics)、および中国核工業集団会社の研究所である SWIP (Southwestern Institute of Physics)。

2018 年 3 月 15 日、鉛冷却高速炉の技術開発に関する国際シンポジウム (the International Symposium on Lead-Cooled Fast Reactor Technology Development) \*が深圳で開催され、中国広核集団有限公司 (CGN) や中国内外の研究機関の成果が発表された。なおこのシンポジウムへは、IAEA、第 4 世代原子炉国際フォーラム (GIF)、およびロシア・イタリア・ベルギー・韓国・スウェーデンの研究機関、ならびに中国国内から科学技術部 (MOST)、国家能源局 (NEA)、国家国防科技工業局、および中国科学院 (CAS) から 100 名以上の専門家の参加があったという。

\* 国際鉛基快堆技術発展研討会。

## <スウェーデン>

2018 年初めより、スウェーデンのレドコールド (LeadCold) 社とオランダの原子力研究・コンサルタントグループ (NRG) は、小型の鉛冷却炉である SEALER (Swedish Advanced Lead Reactor) \*の安全解析において、今後複数年にわたる協力を開始した。この協力は、両社が独立して実施する解析を比較する形で行われる。NRG は、高度 3 次元シミュレーション技術を用いることにより、従来のシミュレーション技術では評価が不可能であった設計上の特定の安全機

能について、実現可能性の評価を行う予定である。

\* レドコールド社が設計した小型の鉛冷却炉である。カナダ北部などの遠隔地での設置が予定されている。

### 2.1.3 予算措置状況

<米国>

#### 2019 会計年度予算

2018年9月21日、トランプ大統領は、2019会計年度エネルギー省(DOE)予算を含む2019会計年度エネルギー・水資源開発および関連省庁歳出法(H.R.5895)に署名し、公共法(Public Law 115-244)として成立した。

同法において原子力エネルギー(NE)局の予算は前年度比10%増の13億3,000ドルとなった。原子炉コンセプトR&Dは、37%増の3億2,400万ドルで、多目的高速実験炉(Versatile Fast Test Reactor)R&Dの6,500万ドルと、新規歳出プログラム「他に類を見ない技術開発、設計開発、規制見直し等次世代軽水・非軽水炉・SMR炉工学の支援」に対する1億ドルも含まれる。多目的高速実験炉R&Dは3,500万ドルからの増額で、高速中性子による材料照射目的の研究炉で大学共用施設としての利用が見込まれている。

#### DOEによる先進的原子力技術への支援金

DOEは、DOE傘下の国立研究所や企業および29州の39大学による89件のプロジェクトに対し、先進的原子力技術への支援金として6,400万ドルを拠出している。2018年6月18日に発表された支援金は、DOEによる以下の3種のプログラムを通じて交付される。

- 1) 原子力エネルギー大学プログラム(NEUP: Nuclear Energy University Program)  
大学主導の63件の研究開発プロジェクトに4,700万ドル  
大学の所有する研究炉や設備の改善のための18件のプロジェクトに500万ドル
- 2) 原子力エネルギー実践技術(NEET: Nuclear Energy Enabling Technologies)プログラム  
新型センサーや計測器、新たな製造方法の開発等について横断的研究のための国立研究所等による5件のプロジェクトに500万ドル
- 3) 原子力科学ユーザー施設(NSUF: Nuclear Science User Facilities)プログラム  
核燃料開発や材料研究を行う産業界主導の1件および大学主導の2件のプロジェクトに対し計660万ドル

#### SMR開発に向けた電力研究所(EPRI)への拠出

DOEは、電力研究所(EPRI)に対して250万ドルを拠出している。2017年9月29日に発表されたもので、SMR用の製造技術を開発することを目的とし、EPRIが4年計画で実施している製造技術の実証プロジェクト(総額810万ドル)に対しての拠出である(詳細は「2.8 小型

モジュール炉」で後述する)。

### 先進原子力技術開発に関する米国産業のビジネスチャンス

先進原子力技術の開発を目的とする資金提供公募 (FOA) 「先進原子力技術開発に関する米国産業のビジネスチャンス (U.S. Industry Opportunities for Advanced Nuclear Technology Development)」(官民コスト分担型) は、DOE により 5 年間にわたり四半期ごとに実施されるものである。この FOA は①原子力実証準備事業部門 (First-of-a-Kind (FOAK) Nuclear Demonstration Readiness Projects pathway)、②次世代炉開発事業部門 (Advanced Reactor Development Projects pathway)、③規制補助交付金 (Regulatory Assistance Grants) の 3 種に分かれている。また、「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ」(GAIN) イニシアチブを通じたバウチャー形式\*による支援もあわせて実施される。

第 4 回目までの総交付額は約 1 億 1,700 万ドルにのぼっている。

\* GAIN を通じて選定された企業は、支援金を現金で受け取るのではなく、バウチャーを通じてクーポン券のような形式で、パートナーシップを締結する国立研究所のリソースの利用権が与えられる。

・第 1 回目 (2018 年 4 月 27 日発表)

13 のプロジェクトに対して 6,000 万ドルが提供された。

同 FOA から 8 プロジェクトおよび「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ」(GAIN) イニシアチブから 5 プロジェクトが選定されている。

選定されたプロジェクトは下記の通り。

- 原子力実証準備事業部門を通じた資金交付
  - ① Xエナジー社「先端的高純度低濃縮ウラン燃料TRISO-X製造施設の設計・認可申請進行」4,494,444ドル
  - ② NuScale 社「NuScale SMR FOAK原子力適応実証プロジェクト・フェーズ1」40,000,000ドル
- 次世代炉開発事業部門を通じた資金交付
  - ③ General Atomics社「先進核燃料実用化促進のためのマルチスケールモデリングとマイクロカプセル照射の統合」2,210,995ドル
  - ④ Elysium Industries USA社「塩化物溶融塩高速炉原子炉部材熱伝達と熱流最適化とモデリング」2,560,000ドル
  - ⑤ BWXT Nuclear Energy社「総合先進製造技術とデータサイエンスによる先進原子炉システムパラダイムの確立」5,400,000ドル
  - ⑥ NuVision Engineering社「軽水炉の受動的冷却—ダイナミック自然対流」2,999,657ドル
- 規制補助交付金を通じた資金交付
  - ⑦ Analysis and Measurement Services 社「原子力発電所プロセス機器の較正間隔延伸のためのオンライン・モニタ技術の実施による規制問題解決」499,906ドル
  - ⑧ General Atomics 社「長寿命気体冷却高速炉コアに使用する炭化ケイ素複合材料被覆

炭化ウラン燃料の申請前許認可の評価」 380,655 ドル

- GAINを通じたバウチャー付与
  - ⑨ Terrestrial Energy USA社に対し500,000ドル
  - ⑩ Vega Wave Systems社に対し130,000ドル
  - ⑪ Oklo社に対し417,000ドル
  - ⑫ Urbix Resources社に対し320,000ドル
  - ⑬ ThorCon US社に対し400,000ドル

・第2回目（2018年7月10日発表）

9件のプロジェクトに対して約2,000万ドルを提供された。

同FOAから7プロジェクトが、GAINイニシアチブから2プロジェクトが選定されている。選定されたプロジェクトは下記の通り。

- 原子力実証準備事業部門を通じた資金交付
  - ① NuScale社「NuScale SMRプロジェクト・フェーズ2に向けた2018年の活動」40,000,000ドル
- 次世代炉開発事業部門を通じた資金交付
  - ② Columbia Basin Consulting Group「鉛ビスマス高速炉（LBFR）に基づくSMRの予備概念設計およびコスト予備的試算」400,000ドル
  - ③ GE日立「LNG火力との競合に向けた原子力発電所のコスト削減プロジェクト」1,925,038ドル
  - ④ 電力研究所（EPRI）「事故後の統合型加圧水型原子炉（iPWR）におけるエアロゾル挙動の実験的検証フェーズ3」1,119,699ドル
  - ⑤ Flibe Energy社およびパシフィック・ノースウェスト国立研究所（PNNL）「溶融塩フッ化リチウム-フッ化ベリリウム（溶融塩FLiBe）の処理におけるフッ素化」2,101,982ドル
  - ⑥ Holtec International社「SMRを含む原子力設備製造のためのレーザー・アーク・ハイブリッド溶接（HLAW）の開発および商業化」6,314,612ドル
- 規制補助交付金を通じた資金交付
  - ⑦ Pittsburgh Technical社「ABWR設計の確率論的リスク評価におけるレベル2・3に関係するソースタームの削減を目的とした技術基盤の開発」498,000ドル
- GAINを通じたバウチャー付与
  - ⑧ Yellowstone Energy社に対し160,000ドル
  - ⑨ ThorCon US社に対し400,000ドル

・第3回目（2018年11月13日発表）

11件のプロジェクトに対し1,800万ドルが提供された。

同FOAから6プロジェクト、GAINイニシアチブから5プロジェクトが選定されている。

選定されたプロジェクトは下記の通り。

- 原子力実証準備事業（FOAK Nuclear Demonstration Readiness Project）部門を通じた資金交付

- ① SMR社「SMRにおける受動的安全システム性能の調査・評価のための統合および個別影響試験プログラム」1,624,729ドル
- 新型原子炉開発事業（Advanced Reactor Development Projects）次世代炉開発事業部門を通じた資金交付
  - ② Analysis and Measurement Services社「原子力施設向けのケーブル経年化受容基準の開発」2,812,547ドル
  - ③ Exelon Generation社「固有値および熱的制限値の予測可能性に資するエクセロン沸騰水型原子炉（BWRs）のモデリングおよび解析」5,000,000ドル
  - ④ 電力研究所（EPRI）「モジュール式チャンバー内電子ビーム溶接法の確立」2,925,057ドル
  - ⑤ Public Services Enterprise & Group社、アイダホ国立研究所（INL）、Rolls-Royce North America社「統合的リスク情報を活用した条件に基づく管理能力および自動化プラットフォーム」3,567,190ドル
- 規制補助交付金（Regulatory Assistance Grant）を通じた資金交付
  - ⑥ Terrestrial Energy USA社「一体型溶融塩炉（IMSR）に関するTEUSA - 米国NRC間の許認可前活動」499,232ドル
- GAINを通じたバウチャー付与
  - ⑦ ウェスチングハウス社に対し420,000ドル
  - ⑧ Elysium Industries社に対し500,000ドル
  - ⑨ NexDefense社に対し400,000ドル
  - ⑩ Exelon Generation社に対し480,000ドル
  - ⑪ Eastman Chemical社に対し350,000ドル

・第4回目（2019年3月27日発表）

同FOAから4プロジェクトが選定され、計約1,900万ドルの資金が交付された。

選定されたプロジェクトは下記の通り。

- 原子力実証準備事業（FOAK Nuclear Demonstration Readiness Project）部門を通じた資金交付
  - ① ウェスチングハウス社「eVinci超小型原子炉実証炉準備プロジェクト」12,879,797ドル
- 新型原子炉開発事業（Advanced Reactor Development Projects）次世代炉開発事業部門を通じた資金交付
  - ② ディラック・ソリューションズ（Dirac Solutions）社「先進原子炉におけるモニタリングプロセス監視のためのパッシブタグ（受動タグ）とセンサー」1,000,000ドル
  - ③ カイロス・パワー（KP: Kairos Power）社「KP社製フッ化物塩冷却高温炉（KP-FHR: Kairos Power Fluoride Cooled High Temperature Reactor）のライセンス取得を加速するためのモデリングおよびシミュレーション開発方法」5,000,000ドル
- 規制補助交付金（Regulatory Assistance Grant）部門を通じた資金交付
  - ④ KP社「KP-FHRのための機械的ソースターム開発に関する許認可申請前報告書」500,000ドル

## MEITNER プログラム

DOEは、エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E) の新たなプログラムの一環として、より低コスト・安全・先進的な原子炉の設計が可能となる様な革新的な技術の開発を目的としたプロジェクト (複数) に対して、合計で最大2,000万ドルの資金拠出を行うことを、2017年10月20日に明らかにした。このプログラムは、MEITNER (Modeling-Enhanced Innovations Trailblazing Nuclear Energy Reinvigoration) と称されるものであり、ウランの核分裂を発見した2人の科学者の内の1人であるL.マイトナー (Lise Meitner) に敬意を表して名付けられたものである。

MEITNERプログラムでは、2018年6月に以下のプロジェクトに資金拠出が行われている。

### ジェネラル・アトミックス社

先進原子炉の負荷追従性改善プロジェクト 1,455,762ドル

繊維強化コンクリートによる原子力発電所建設コストの削減 1,532,752ドル

### ホロスジェン社

可搬・モジュール型ガス冷却炉の研究開発 2,278,200ドル

### ノースカロライナ州立大学

先進炉向け半自律式管理・制御システムの開発 3,386,834ドル

### ニューヨーク州立大学バッファロー校

先進炉に設備ベースの耐震技術を用いることによる資本コストの削減 1,443,635ドル

### テレストリアル・エナジー社

IMSR用溶融塩ポンプの開発 3,150,000ドル

### ウルトラ・セーフ・ニュークリア社

EPZをもたないマイクロモジュール炉を可能にする技術 2,350,000ドル

### イリノイ大学

溶融塩炉における負荷追従性 774,879ドル

### ウェスチングハウス社

安全な熱パイプ炉 (Heat Pipe Reactor) 用自己調整式Solid Core Block 5,000,000ドル

### イエローストーン・エナジー社

先進炉のための反応性制御装置 2,599,185ドル

## 多目的試験炉プログラム

2018年10月4日、アイダホ国立研究所 (INL) は、計画中の高速スペクトラム試験炉 (Fast Spectrum Test Reactor) における実験に必要な設備・ツールの開発を行う大学主導の13プロジェクトに対し、約390万ドルの資金提供を行うことを明らかにした。これらのプロジェクトは、DOEの原子力エネルギー局 (NE) の多目的試験炉プログラム (Versatile Test Reactor program) により認められたものであり、先進炉研究開発を支援する新たな試験炉の開発に向けた概念設計・コスト見積への取組の一環である\*。今回資金提供を受けるプロジェクトは、下記の通りである。DOEは、高速スペクトラム照射試験炉の計画を進めるかどうかを2020年に決定する予定である。

- ① ピッツバーグ大学による「革新的原子力技術：密封壁における共鳴センサーおよび誘導型

信号伝達」45万ドル

- ② ウィスコンシン大学マディソン校による「小型規模の液体金属酸素精製・測定システム」35万ドル
- ③ ユタ大学による「照射済み溶融塩の化学分析のための実験車両開発」45万400ドル
- ④ テキサスA&M大学による「核分裂生成物輸送定量化のための革新的測定技術開発」25万ドル
- ⑤ オレゴン州立大学による「機械・腐食の原位置試験」44万ドル
- ⑥ ニューメキシコ大学による「多目的試験炉における照射試験ループ設計を支援する、炉外主要ループの予備的実験」45万ドル
- ⑦ ノースカロライナ州立大学による「多目的試験炉のためのVIM：設計と建設に関する全体論的アプローチ」31万9,000ドル
- ⑧ テキサスA&M大学による「ラビット・システムの設計およびデモンストレーション」40万ドル
- ⑨ アビリーンクリスチャン大学による「多目的試験炉の計装・データ解析・シミュレーションの相乗効果に関する調査」15万ドル
- ⑩ マサチューセッツ工科大学（MIT）による「多目的試験炉の実験を支援するライブデータによる高度なデータ取得およびシミュレーション」15万ドル
- ⑪ アイダホ大学による「先進的溶融塩フローセンサー」10万ドル
- ⑫ コロラド・スクール・オブ・マインズによる「ビッグ・ディープ・スマートデータによる多目的試験炉実験の設計および検証」16万9,000ドル
- ⑬ ジョージア工科大学による「多目的試験炉実験プログラム用IBDパワーモニタ」19万6,000ドル

\* 米国企業による先進炉開発過程においては、既存の商業原子力技術とは異なる試験施設が必要とされている。しかし、高速中性子炉技術を試験できる設備は世界でも数少なく、また米国には存在していない。このためDOE原子力諮問委員会（NEAC：Nuclear Energy Advisory Committee）は、2017年報告書において、DOEのNEに対し新たな試験炉を支援するための予備的概念設計を進めるよう提言していた。このNEACの提言に応じて、NEは多目的試験炉プログラムを創設した。

## <英国>

ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）が、新たな原子力研究開発プログラムに2,000万ポンドを拠出すると2016年11月3日に発表した。この資金は核燃料開発・燃料サイクル等の5つの分野を対象にしたものであり、次世代炉の研究開発に500万ポンド、将来的なモジュール炉の建設・製造に500万ポンドが割り振られている。

2017年12月7日には、BEISが次世代原子力技術開発を支援するために資金を拠出することを発表した。英国政府は、2段階にわたって実施される先進小型モジュール炉フィージビリティ開発プロジェクト（AMR F&D project：Advanced Modular Reactor Feasibility and Development project）を通じて、研究開発のために今後3年間にわたり最大5,600万ポンドを拠出するとした。発表の時点では、フェーズ1においては、フィージビリティスタディのために最大400万ポンド、原子力規制者の能力を更に整備するために最大700万ポンドを拠出するとされていた。フェーズ2においては、AMRの研究開発プロジェクト（複数）に対して最大4,000万ポンド、原子力規制

者に対して最大500万ポンドを拠出することとなっていた。

2018年9月5日、BEISは、AMR F&Dプロジェクトに最大で計4,400万ポンドの投資を行う\*1ことを発表した。このプロジェクトは、AMR設計のためのフィージビリティスタディへの資金提供を行うフェーズ1\*2と、フェーズ1において成果を上げた事業を選出し資金提供を行うフェーズ2\*3の2段階で構成されている。同プロジェクトのフェーズ1の対象として8社による事業が選出された。8件の事業は以下の通りである。

- ① Advanced Reactor Concepts社によるナトリウム冷却高速炉ARC-100
- ② DBD社による高温ガス冷却炉 (High Temperature Gas Cooled Reactors)
- ③ Blykalla Reaktorer Stockholm AB (LeadCold)社によるSEALER-UK (Small, Economic and Agile Lead-cooled Reactors for the UK)
- ④ Moltex Energy社による熔融塩炉 (Stable Salt Reactors)
- ⑤ Tokamak Energy社による先進モジュール式核融合一球状トカマク (Advanced Modular Fusion -Spherical Tokamak)
- ⑥ U-Battery Developments社による小型高温ガス冷却のAMR (small high temperature gas-cooled Advanced Modular Reactor)
- ⑦ Ultra Safe Nuclear社による高温ガス冷却炉MMR (Micro-Modular Reactor)
- ⑧ ウェスチングハウスUK社による鉛冷却高速炉 (Lead-cooled Fast Reactor)

\*1 2017年12月7日の発表当時は、3年間にわたり最大で計5,600万ポンドを投資するとされた。

\*2 フェーズ1では、最大で計400万ポンドを、AMR設計のためのフィージビリティスタディに投資する。各契約は最大30万ポンド。

\*3 フェーズ2では、開発活動を行うための費用として、フェーズ1から選出された事業に対し、最大で計4,000万ポンドを投資する。また、これらとは別に、開発支援を目的として、規制当局を対象として最大で計500万ポンドが拠出される可能性もある。

なお、AMR F&Dプロジェクトは、イノベートUK (Innovate UK) \*が所管している。2017 - 2018会計年度のイノベートUKには、BEIS支出総額861億1,200万ポンドから9億7,300万ポンドが割り当てられている。

\* イノベート UKは、イノベーションを奨励し資金供給を行う英国政府の研究資金助成機関である。高等教育及び研究に関する新たな法律「高等教育・研究法 (2017年)」 (Higher Education and Research Act 2017) に基づき、イノベート UKと7つの研究会議 (Research Council) が2018年3月30日より統合されてできた新組織である英国リサーチ・イノベーション機構 (UKRI: UK Research and Innovation) の一部となっている。UKRIはBEIS傘下の非省庁公的機関 (NDPB) の一つ。

## <フランス>

フランス政府は、CEA と 2010 年にナトリウム冷却高速炉 (SFR) 実証炉の建設計画を立ち上げ、ASTRID 事業の予算として、2017年までに6億5,160万ユーロの支出を決定した。その後、さらに2020年までの予算として3億5,000万ユーロが追加された。

## <ロシア>

2010年に政府が承認した連邦目標計画 (FTP) 「2010~2015年と2020年までの新世代原子

力技術」において、2016～2020年にかけて高速炉に600億ルーブルが投じられることになっている。この予算がナトリウム冷却高速炉、鉛冷却高速炉（SVBR、BREST）の研究に当てられる。このうちSVBRに対しては132億3,000万ルーブルが配分されるとしている。

研究開発については、上記FTPの案の段階で、2009年7月22日にメドベージェフ大統領（当時）が、2010～2020年の11年間で1,283億ルーブルを配分すると発表している。

ロシアが研究開発中の次世代炉に関する予算としては、鉛冷却高速炉BRESTについては、原子炉開発・建設に250億ルーブル、関連する燃料サイクル施設に170億ルーブルの予算が配分されている。2017年には、追加予算として11億ルーブルが配分された。多目的研究用高速炉MBIR複合施設に対しては合計10億ドルが割り当てられており、既に3億ドルがFTPから配分されている。鉛ビスマス冷却高速炉SVBRには、FTPに基づき132億3,000万ルーブルが拠出されている。

## 2.2 超高温ガス炉（VHTR）

### <米国>

2013年、ジェネラル・アトミックス（GA）社を中心とし、ロシアとの共同開発を進めていたGT-MHR（小型モジュール型の高温ガス炉）の開発が終了した。この開発プロジェクトには、ロシアのほかフランス（アレバ社（当時））や日本（富士電機）が参画していた。

2016年8月22日、X-エナジー社は、開発を進めている高温ガス炉（Xe-100、約5万kWe）の商業化に向け、サザン・ニュークリア社と協力する契約を締結した。

### <フランス>

2012年、NGNP産業連携（Next Generation Nuclear Plant（NGNP）Industry Alliance）\*は、次世代原子炉の最適設計としてアレバ社（当時）のブロック型炉心蒸気サイクルの高温ガス冷却炉（SC-HTGR）を選定した。しかし、その後の続報がない。

\* 高温ガス冷却炉を開発するNGNPプロジェクトを進めている。

### <ロシア>

ロシアはGIFにおいてはVHTRの研究開発に参加していないが、独自にVHTRの研究を行ってきた。高温ガス炉については、モジュール型の実験炉であるVGMや原型炉であるVG-400の設計開発などを進めてきたが、いずれも実用化されずに中断されている。その後は、米国等との国際協力により小型モジュール型の高温ガス炉であるGT-MHRの開発を進めていた。GT-MHRの開発プロジェクトは米国のジェネラル・アトミックス（GA）社を中心にして進められているものであり、フランスのアレバ社（当時）や日本の富士電機も参画していたが、2013年に終了している。

その後は、MHR-T（被覆粒子燃料を用いたモジュール型ヘリウムVHTR）やMHR-100（LEU燃料を用いたモジュール型ヘリウム冷却炉）といった、GT-MHRをベースにしたVHTRの研究

開発が行われており、いずれも 2017 年にフィージビリティスタディが完了している。

#### <中国>

1986年に発表された国家高技術発展計画（国家863計画）では、高速炉に加えてペブルベッド型燃料を用いた高温ガス炉の実用化が課題とされていた。その開発は、2006年に政府により発表された2006年から2020年までの科学技術中長期計画でも重点課題の一つに置かれ、清華大学核能与新能源技術研究院（INET）が中心となって研究開発を進めることとなった。INETはドイツから技術と機器の支援を得て1995年にペブルベッド型高温ガス実験炉（HTR-10）（熱出力1万kW）の建設を開始し、2000年に完工、2003年には北京電力網に併入している。

その後、INETは2005年1月、中国華能集团公司、中国核工業建設集团公司（CNEC）との共同出資により、山東省威海市の石島湾サイトにペブルベッド型燃料を用いた高温ガス実証炉（HTR-PM）（各熱出力25万kWの2基で構成、電気出力21万kW）を建設する計画を発表した。このペブルベッド型高温ガス炉は、ヘリウムガス冷却で、清華大学が研究開発を進めてきた第4世代原子力発電技術の商業化プロジェクトである。福島事故により計画は約2年間中断されたが、2012年12月に着工した。同建設プロジェクトでは複数の炉を建設する計画であり、今回は第1期の試験段階である。総工費は約30億元（一部報道では40億元）で、華能集团公司と中核建設集団が共同出資者となっている。2017年4月にHTR-PMの燃料要素（球状、黒鉛）の炉心への装荷が開始された。2018年9月には最初の蒸気発生器の空気圧試験が完了した。送電網への接続は2019年末を予定している。

中国核工業建設集团公司（CNEC）は商用高温ガス炉2基（HTR-600、各電気出力60万kW）の建設に関するプレ・フィージビリティスタディを2015年4月に完了した。江西省瑞金市に建設を計画しており、着工予定時期は2017年（2025年までの運転開始を目標）であったが、計画は遅延している。

中国はこの分野では、ロシア（ガスタービン概念設計）、米国（研究交流）、日本（黒鉛構造物、蒸気タービン経済評価、研究交流）、韓国（水素ガス製造研究）と協力関係を結んでいる。

なお、海外輸出にも積極的に取り組んでおり、CNECは2016年1月19日にサウジアラビアのアブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市（K.A.CARE）との高温ガス炉（HTGR）建設に関する了解覚書に署名したほか、8月1日には、インドネシア原子力庁（BATAN）とインドネシアで高温ガス炉を共同開発するための協力協定に調印した。

さらに2017年3月16日にCNECとK.A.CAREは、HTGRをサウジアラビアに建設するための共同フィージビリティスタディに関する協力協定を締結した。今後両国は同協定に基づいて、HTGRに係る投資や建設、知的所有権、サプライチェーン等についての課題を検討していくという。この協力協定は、2017年1月に両国が調印した了解覚書に基づくものである。

#### <韓国>

韓国原子力研究院（KAERI）は、2011年12月に模擬試験が可能な研究施設（超高温ヘリウム

ループ（HELP）を完成させた。主要部品の耐熱性等の性能と水素生産過程に使用される硫酸に対する設備の腐食抵抗性等が実験できる。実験結果は、VHTRの核心機器の設計及び安全解析用コード開発に使われるという。KAERIは、2022年に原子力利用水素生産の実証システムを完工し、2026年までに実証を完了することを目指している。

2013年4月15日に、KAERIと国内の13の企業団体が参加する原子力水素協議体（KNHA）は、米国の14の企業で構成されている次世代原発計画企業連合（NIA）と「水素・工程熱・電気生産のためのVHTR技術開発及び商業化協力協定」を締結した。両国企業連合の間で、VHTR技術の情報交換及び許認可体制の構築、インフラ支援と共同研究、協力プログラムの企画の模索などに協力することが合意された。

2014年5月に、KAERIはVHTRに使用する被覆粒子燃料の試作品の性能試験に成功した。KAERIは2006年に被覆粒子燃料の技術開発を開始しており、2012年に試作品を製作していた。性能試験はHANARO（研究用原子炉）を用いて7か月間行われ、核燃料粒子1,000個余りを一つにまとめたブロック型の燃料体が完成した。

2015年11月には、受動的安全性を持つ原子炉キャビティ冷却システム（RCCS：Reactor Cavity Cooling System）のシミュレーション検証試験を完了した。

## <カザフスタン>

カザフスタンは技術立国を目指しており、高温ガス炉計画を進めている。将来的に、高温ガス炉によるクルチャトフ市の発電と地域暖房を実現する計画であり、水素製造も計画に含めている。

カザフスタン国立原子力センター（NNC）は、カザフスタン高温ガス炉（KHTR、5万kWt）を開発中であり、2008年に予備概念の検討段階を終了している。高温ガス炉については、2011年に発表された「原子力部門発展プログラム」にその建設について記載されている\*。

\* 同プログラムにおけるスケジュールでは、2015年以降にフィージビリティスタディを開始し、2017年以降に基本設計を始め、2021年以降に試運転を開始するとなっていた。

日本は、カザフスタンの高温ガス炉研究開発に関し、2007年4月に官民合同ミッションで「原子力研究開発に関する覚書」を調印して以来、日本原子力研究開発機構（JAEA）\*が設計、安全研究、人材育成など幅広い分野で協力を続けている。

2008年6月、JAEAはカザフスタン原子力委員会（KAEC、当時）と、高温ガス炉の安全性研究に関する情報交換のための協力覚書を締結し、2009年にはNNCと「原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め」を締結した。その後もJAEAは継続的な技術支援を続け、2012年にカザフスタン原子力技術安全センターと高温ガス炉の安全協力に関する実施取決めの署名を行った。

また、2010年9月には、2007年4月に結ばれた協定の下、日本原子力発電（JAPC）と東芝、丸紅が、原子力発電所建設のフィージビリティスタディについての技術協力協定についてNNCと署名をした。2013年2月には、本協定を進展させるための協定を、JAPCと丸紅がNNCとの間で締結した。

JAEA が高温ガス炉の分野で取り交わした覚書には次のようなものがある。

\* NNC と JAEA は 2015 年 6 月、ナトリウム冷却高速炉でも協力することで合意している。

覚書の名称	締結日	分野	締結組織
原子力研究開発における将来の協力のための覚書	2007 年 4 月 30 日	設計	ガザフスタン国立原子力センター (NNC)
高温ガス炉の安全性研究に関する情報交換のための覚書	2008 年 6 月 9 日	安全研究	カザフスタン原子力委員会 (KAEC)
高温ガス炉技術に関する将来の人材育成支援のための協力に関する覚書	2008 年 10 月 9 日	人材育成	国立カザフスタン大学 (KazNU) *2009 年 10 月 14 日、NNC が参加
高温ガス炉技術及び照射試験炉技術に関する研究協力覚書	2011 年 10 月 10 日	基礎研究	国立カザフスタン大学 (KazNU)
将来の原子力エネルギー・産業創生に関する研究開発における協力のための覚書	2013 年 2 月 18 日	産業創生	ガザフスタン国立原子力センター (NNC)

## <インドネシア>

高温ガス炉 (HTGR) の研究開発を進める上で、海外との協力は不可欠であり、今まで日本、ロシア、中国と協力関係を緊密にしてきた。原子力庁 (BATAN) は2014年8月4日に日本のJAEA とのHTGRの研究開発に関する協力文書にも署名した。これは、2007年5月に両者が合意した研究開発協力を延長するものである。BATANは、カリマンタン島やスラウェシ島などの島に産業利用を目的とした電力と熱源を供給するために、小型のHTGR (最大10万kW) の導入を計画しており、商業用炉を導入する前に、HTGRの実験炉と実証炉の建設を検討していた。

その後、2015年4月、インドネシアとロシアのコンソーシアム RENUKO\* が 1 万 kWt の高温ガス炉の小型実験炉を建設するための詳細設計を立てる事業者を選定された。設計作業は5月に開始され、8か月間にわたる作業期間中にフィージビリティスタディも完了した。

\* Rekayasa Engineering (インドネシア EPC 企業)、Kogas Driyap Consultant (インドネシア技術コンサルタント企業)、NUKEM Technologies (ロシア原子力社が所有するドイツ企業)。

一方、中国とは、2016年8月1日、BATAN と中国核工業建設集团公司 (CNEC) がインドネシアで HTGR を共同開発するための協力協定に調印した。この協定に基づき両者は、インドネシアの HTGR 開発プロジェクトと人材育成において協力していくこととなった。

BATANは、2014年から開発が進められていた実験炉 (I-EPR: Indonesia Experimental Power Reactor) \*1について、基本設計 (BED : Basic Engineering Design) が2017年に完了し、詳細設計 (DED : Detail Engineering Design) \*2の策定を2018年から行っていることを2018年3月8日に明らかにした。I-EPRは、ペブルベッド型の高温ガス炉であり、DEDの策定において、事故の発生を想定した安全面での考慮を行うことになっている。

\*1 熱出力は1万kWである。インドネシア語に基づいた略称はRDE (Reaktor Daya Eksperimental) である。なおBATANと中国の清華大学は、I-EPRにおいて使用される高温ガス炉の技術開発について協力を行っている。

\*2 「基本設計」は、設計の対象について、設計の初期の段階において基本的な仕様を決定する作業を指す。基本設計において、基礎データを取得する。「詳細設計」は、基本設計を通じて得られた基礎データについて、工事等が可能になる様に具体化する作業を指す。

原子炉安全技術センター (PTKRN : Center for Nuclear Technology and Reactor Safety and Technology) と中国の清華大学核能与新能源技術研究院 (INET : Institute for Nuclear and New

Energy Technology) が、HTGR に関する共同研究室プログラムの実施について、2018 年 8 月 29 日に合意した。

#### <サウジアラビア>

2017 年 7 月に承認された「王国における国家原子力エネルギー計画」(SNAEP : Saudi National Atomic Energy Project in the Kingdom) では、サウジアラビアは中国の協力下で HTGR (高温ガス炉) 技術の現地化を目指していることが示されている。アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市 (K.A.CARE) は、2016 年に中国核工業建設集団公司 (CNEC) と高温ガス炉建設に関する覚書を締結し、2017 年 3 月にはフィージビリティスタディ実施に関する協定を締結した。SNAEP では、2017 年内にフィージビリティスタディを完了予定とされているが、続報は不明である。

### 2.3 ナトリウム冷却高速炉 (SFR)

#### <米国>

GE 日立とサザン・ニュークリア社は、GE 日立が開発しているナトリウム冷却高速炉 PRISM を含めた高速炉の開発および許認可取得に関する了解覚書 (MOU) を、2016 年 10 月 31 日に締結した。両社は、DOE の先進炉許認可プログラム (advanced reactor licensing programs) においても協力していくことで合意している。

また、GE 日立は、PRISM のノウハウを活かし、カナダにおいて、アドバンスド・リアクター・コンセプト LLC (ARC ニュークリア) 社の ARC-100 (SFR) の許認可取得と建設および商業化に関して協力している。

2018 年 11 月 13 日には、GE 日立が多目的試験炉 (VTR : Versatile Test Reactor) の概念設計、コスト・スケジュール見積、安全枠組設計活動に関する契約を INL から獲得した。VTR の挑戦的な事業スケジュールを達成するためには、既存の成熟したナトリウム冷却高速炉設計を活用することが不可欠であり、GE 日立の PRISM がこれに適するという。

#### <フランス>

##### ナトリウム冷却高速炉アストリッド (ASTRID) の開発

CEA は、ナトリウム冷却高速炉の実証炉である ASTRID (プール型、電気出力 60 万 kW) について、2050 年頃の実用化を目指し、EDF とアレバ社 (当時) の参加を得つつ開発を行っている。開発スケジュールでは、2013~2015 年に概念設計、2016~2019 年に基本設計、2019 年末に建設に向けた判断を行い、2025 年頃の運転開始を想定しているが、計画は遅延している。

CEA は、ASTRID に取り入れることとして次の点を挙げている。

- ・安全性の向上 : 高速中性子とナトリウムの特性を考慮に入れた上で、少なくとも EPR レベルの安全性を担保すること
  - 炉心熔融事故のリスクを防ぐため、ASTRID 向けの革新的な炉心を開発する

－制御棒にトラブルが生じた場合にも原子炉の安全性を担保するための補完的な安全装置を追加する

－ナトリウムと空気・水の反応を防ぐ二重壁を持つ蒸気発生器（SG）等の革新的な解決策を検討する

－地震や激しい外部事象への耐性を有すること

- ・産業的にみて十分なレベルの稼働率を達成すること（運転の開始から数年で ASTRID の稼働率を約 80%にするため、安全検査、保守点検及び改修の方法を大きく改善する）
- ・大規模な核種変換を産業規模で実証すること
- ・技術革新や事業者との協力により投資コストを削減すること

2014 年 8 月 7 日、CEA とアレバ NP 社は、日本の JAEA、三菱重工業（MHI）、三菱 FBR システムズ（MFBR）と、ASTRID 計画及びナトリウム高速炉技術開発協力の実施について合意し、実施取決め\*を締結した。

\* 今後、ASTRID の設計及び関連研究開発に日本の 3 つの組織が実施機関として参加・協力していく。協力対象は、2019 年末の予備段階設計フェーズ終了までの試験研究段階の全体である。

2017 年 10 月 10 日、フランスの CEA とロシアの原子炉科学研究所（RIAR）は、高速実験炉「BOR-60」において（中性子）吸収要素（(neutron-) absorbing elements）の実験サンプルを照射することに関連した研究契約に署名した。照射後試験等の結果は、ASTRID の（中性子）吸収要素の設計を承認するために使用される予定である。

CEA は、2018 年 11 月 30 日に、ASTRID の容量を当初計画していた商業規模の 60 万 kW から 10 万～20 万 kW の研究規模に縮小することをフランス政府に提案し、協議が進められていることを発表した。ただし、CEA は、ASTRID 計画について 2019 年内に研究を中止し、2020 年からは予算を配分しないとする決定に関する日本経済新聞による報道\*には、言及してしない。

\* 2018 年 11 月 28 日付の日本経済新聞の報道では、フランス政府は日本政府に対し 2020 年以降プロジェクトを凍結する意向を伝えたとされている。

## <ロシア>

### BN シリーズの開発

高速炉を開発しているロシアでは、ナトリウムを冷却材に用いたタンク型高速増殖炉である BN-600（60 万 kWe、プール型）を 1966 年に着工、稼働中であるが、閉鎖が予定されている。BN-800 は BN-600 を原型とし、2016 年に商業運転を開始した。現在、BN-600 の置き換えとして、BN-1200 の開発が進められている。

#### ・ BN-600

BN-600 はタンク型高速増殖炉であり、BN-800 の原型である。ウラル地方のペロヤルスク原子力発電所 3 号機として、1966 年に着工し、1980 年に臨界を達成し、1981 年 12 月 22 日に定格電気出力の 60 万 kWe に到達した。2010 年 4 月、出力増強の申告が連邦環境・技術・原子力監督庁（Rostekhnadzor）に提出され、2020 年 3 月 31 日までの運転許可が出された。なお、この運転許可期間はさらに 5 年延長される可能性もある。

#### ・ BN-800

BN-800 は実証炉として位置付けられており、世界で唯一の商業運転中の高速炉である。BN-800 はベロヤルスク原子力発電所 4 号機として建設された。2015 年に送電網に接続され、2016 年から商業運転を開始している。同炉の建設は 1986 年に開始したが、抗議活動等によって建設が中止され、2006 年に再開したが、資金不足のため再び長らく凍結状態にあった。その後資金を獲得して建設が再開したが、機器の供給遅れなどもあって工程は遅れていた。

2012 年 8 月には、サンクトペテルブルグアトムエネルギープロジェクト (SPb AEP) の専門家によって総合安全解析が行われ、BN-800 サイトは風波や水位上昇による洪水の影響を受けないことや、極端な自然事象に対し十分な防護策を採っていること、また原子炉施設の地震分析では、安全に停止した状況で全ての機器の機能を維持できることが確認された。

また、2012 年末に最初の冷却材ナトリウム 18.5 トンがサイトに搬入された\*。固体金属の形で輸送されたため、熔解後、BN-800 の貯蔵タンクに移送された。原子炉の運転を開始するにはトータルで 2,000 トンのナトリウムが必要とされる。

\* 1960 年代に原子炉級ナトリウムの製造を開始したフランスの特殊金属会社の MSSA 社から供給された。同社はフランスのスーパーフェニックス高速炉と日本のもんじゅにもナトリウムを供給していた。

MOX 燃料の供給不足のため、BN-800 では初期炉心として  $UO_2$  燃料と MOX 燃料が装荷されているが、2019 年までにフル MOX へ移行する予定である。

#### ・ BN-1200

閉鎖が予定されている BN-600 の置き換え原子炉として、ベロヤルスク原子力発電所での建設を想定し、BN-1200 の開発が進められている。BN-1200 は 2030 年頃の運転開始を目標としている。

2012 年 5 月に環境影響評価 (EIA) が開始され、同年 6 月、ベロヤルスク原子力発電所が立地しているスヴェルドロフスク州政府も建設を承認した。2016 年 8 月 1 日の政府政令では、ベロヤルスクおよびサウスウラル原子力発電所に 1 基ずつ建設することが承認された。2017 年 5 月に詳細設計が完了しており、ロスアトム社は、BN-1200 を第 4 世代炉設計として GIF に提出することを計画している。

ロスエネルギーアトム社は、当初は 2025 年までに BN-1200 (2 基) の運転を開始する計画であったが、計画が中断され、建設開始の判断は 2020 年以降になると、2015 年 4 月に報じられた。ロスエネルギーアトム社は、原子炉の燃料開発を計画延期の理由としている。

### <韓国>

実用規模のナトリウム冷却高速炉 (SFR) は、KAERI の計画では 2030 年代に商業運転開始としている。SFR は、燃料のリサイクルを通じてウランの効率的な利用 (現在より 100 倍以上活用可能) と放射性廃棄物量の軽減に繋がると期待されている。

KAERI は、SFR の概念炉として 2001 年と 2006 年に韓国先進液体金属炉 KALIMER-150 (出力 15 万 kW) と KALIMER-600 (出力 60 万 kW) を開発した。その後、2009 年から SFR の総合実証試験施設 (STELLA-1 : Sodium Integral Effect Test Loop for Safety Simulation and

Assessment-1) を大田 (テジョン) 市で建設を始め、2012年2月に第1段階の工事を完了した。STELLA-1を拡大した第2段階のSTELLA-2は2019年に完成する予定である。

KAERI は、ナトリウム冷却高速炉原型炉 (PGSFR : The Prototype Generation IV Sodium-cooled Fast Reactor) 開発事業を進めるための技術協力に関する了解覚書 (MOU) を 2014 年 8 月に米国のアルゴンヌ国立研究所 (ANL) と締結した。KAERI は、ANL との技術協力下で PGSFR 開発を推進していくこととした。

2014 年 11 月、KAERI は、PGSFR に使用される高性能の燃料被覆管 (FC92) を開発した。FC92 はステンレス鋼を素材として使用し、HT9、T91 などの海外で開発された既存の SFR 燃料被覆管より耐熱性能が 30%以上向上し、燃料燃焼度が 30%以上高くなっている。また、PGSFR の出口温度を摂氏 510 度から摂氏 545 度まで上げることができるため、熱効率が大きく改善し、発電効率の上昇も期待できるという。

2016年1月にKAERIは、PGSFRに装荷する燃料集合体のプロトタイプを完成し、6月からロシアの高速実験炉BOR-60で照射試験に着手すると発表した。今回完成した燃料集合体は2020年までロシアで照射試験が行われ、その性能と安全性が確認されることとなる\*。

\* KAERIは、2020年までにPGSFRの設計承認を取得し、米韓共同研究を通じて乾式再処理技術 (パイロプロセッシング) による使用済み燃料リサイクル技術の信頼性と安全性を強化した後、2028年までにPGSFRを建設する計画である。

しかし、KAERIが20年近く進めてきたSFR計画は、文大統領の脱原子力政策により暗礁に乗り上げている。2018年12月10日に、韓国政府は、2019年から2025年までの「未来原子力安全性強化方案」を発表する中で、ナトリウム冷却高速炉 (SFR) の研究開発について、2020年に再検討を行い、建設可否を決定するとした。

## 2.4 超臨界圧軽水冷却炉 (SCWR)

### <中国>

中国核動力研究設計院 (NPIC) は、第4世代炉の超臨界圧軽水冷却炉 (SCWR) であるSCR-1000 (約100万kWe) の基礎技術研究の段階を終了したとして、2014年6月に開発ロードマップを発表した。SCR-1000の開発ロードマップは4段階に分けられており、第1段階 (2014年～) では基礎研究をさらに発展させ、第2段階 (2017～2021年) では工学的研究開発を実施し、第3段階 (2019～2023年) で建設を開始し、第4段階 (2022～2025年) に運転開始という計画である。中国は、2003年からSCWRの可能性について研究を開始し、2007年には研究チームを設置してプロジェクト管理事務所を発足させた。しかし、SCWRの開発に関しては、(超臨界から未臨界への減圧過程における) 過渡熱伝導モデルの妥当性確認、(被覆管の鋼材などの) 材料の品質確認、受動的安全システムの実証などいくつかの技術的課題が残されている。

## 2.5 ガス冷却高速炉 (GFR)

### <米国>

EM<sup>2</sup>はGA社による、小型かつモジュール性のあるガス冷却高速炉であり、現在概念設計が行われている。GIFのロードマップには含まれていない。

EM<sup>2</sup>は燃料として使用済み核燃料を用い、燃料交換をせずに30年間の運転が可能であるとされている。EM<sup>2</sup>の使用済み燃料は簡易な乾式処理後、再濃縮はせず、再加工して使用可能であるという。毎回の燃料取出しに伴い、約4トンの核分裂生成物が除去されるが、残り約38.5トンは次のサイクルにおいても引き続き使用される。これにより放射性廃棄物の削減につながるほか、核不拡散上のリスクを低減することが可能であるという。

### <フランス>

CEAは、技術実証のための実験炉アレグロ (ALLEGRO) (出力10万kWt)の建設を計画している。フランスは、「欧州持続可能な原子力産業イニシアチブ計画」(ESNII計画)において、中欧諸国にアレグロの共同開発を提案している。2020年までの開発については、Euratomのプロジェクトとして資金調達を行うほか、チェコ、スロバキアからも調達している。

アレグロについてフランスは、2010年5月に、チェコ、ハンガリー及びスロバキア、2012年6月にポーランドと開発に関する了解覚書(MOU)に署名し、コンソーシアムがスタートした。2013年8月には、研究開発拠点として「V4G4 Centre of Excellence」が設立されている。しかし、その後の進捗状況は明らかにされていない。

## 2.6 鉛合金冷却高速炉 (LFR)

### <米国>

2018年2月22日、ウェスチングハウス(WH)社は、イタリアの新技术・エネルギー・持続可能な経済開発庁(ENEA)およびAnsaldo Nucleare社との間で、鉛冷却高速炉(LFR)技術開発のための協力合意(Cooperation Agreement)に署名したことを発表した。この合意により3者は、LFRの技術に基づいた次世代炉の開発に向けて協力していくこととなる。

### <ロシア>

ロシアでは、原子力潜水艦に搭載するためビスマス冷却炉を運転してきた経験が豊富にある。この経験を生かして、鉛ビスマス冷却炉を商業利用するための研究開発も進めている。鉛の安定同位体であるPb-208の特性を利用して冷却材に鉛を用いる鉛冷却炉は、ナトリウムと比較して化学的に安定で(水と激しく反応するようなことがなく)、融点はナトリウムと同程度であるにもかかわらず、沸点はナトリウムが摂氏883度であるのに対して摂氏1,670度と極めて高いために沸騰する心配がなく、ボイド反応が負となる設計も容易であるため、安全性は高いと考えられている。また、放射性廃棄物が少ないという特徴も備えている。ただし、マイナス面としては、

腐食し易いために、腐食のメカニズムを解明するとともに腐食対策を講じなければならないということがある。

2010年に政府が承認したFTPプログラムでは、2016～2020年にかけて高速炉に600億ルーブルが投じられることになっているが、この予算は、鉛ビスマス冷却SVBR（10万kW）、鉛冷却高速炉BREST（30万kW）、ナトリウム冷却高速炉の研究に当てられる。

#### ① SVBR

AKMEエンジニアリング社は、鉛ビスマス炉の原型炉となるモジュール型SVBR-100（10万kWe）の建設を計画している。同社は、この原型炉をもとに、商用鉛ビスマス冷却高速炉の建設を目指している。まずは、原型炉SVBR-100の建設の資金として160億ルーブル（5億8,500万ドル）を投じる。なお、上述の2010年のFTPでは、SVBRに132億3,000万ルーブルが配分されるとしている。

同社によると、ロシアではSVBR型炉鉛ビスマス冷却原子炉の技術については、すでに原子力潜水艦と実験炉で合計80炉/年の運転経験があるという。AKME社の計算では、SVBRのモジュールを16基並べた発電所の発電単価は、ロシア国内の他のどの方式よりも低いという。

2011年7月11日にアトムエネルゴプロジェクト社は、同社の専門家がSVBR-100を採用した商業用パイロット発電所を設置する予定のサイト（ディミトロフグラード）について技術調査を開始したと発表した。

2012年10月9日、AKME社は、プラハにおいて13のチェコ企業とのSVBR-1000開発に関する協定に署名した。署名により、13のチェコ企業はSVBR-100開発に関して関連機器やサービスの供給者になる機会を得ることとなった。また、2013年2月6日には、SVBR-100の蒸気タービンの開発、製造、供給に関する契約を、コンプレクトエネルゴ（KomplektEnergo）社と締結した。この蒸気タービンは、試験炉と商用炉の両方で使用する予定である。

2013年5月にAKME社は、連邦環境・技術・原子力監督庁（Rostechnadzor）からSVBR-100の建設認可を受けた。SVBR-100のシミュレーターは2013年3月に運転を開始しており、原型炉はディミトロフグラードのRIARに建設され、2019年に運転を開始する予定である。

#### ② 鉛冷却高速炉：BREST

動力工学研究開発研究所（NIKIET）が、30万kW級及び120万kW級の鉛冷却高速炉BRESTの概念設計を担当している。BRESTはロシア語で鉛冷却高速炉を意味する“Bystry Reaktor so Svintsovym Teplonositelem”の頭文字である。

ベロヤルスク原子力発電所では、冷却材に鉛を使用する高速実証炉BREST-OD-300（30万kWe）の建設計画を進めている。BREST設計の高速炉はBNシリーズの後継となるもので、30万kWe原子炉BREST-OD-300は、商業発電炉として広く導入が予定されている120万kWe発電炉BREST-1200の先駆炉となるものである。この開発計画は、通常は廃棄物として処分される放射性物質を燃焼しながらウランをより効率的に利用する方法として高速炉の開発を目指す「2010～2020年革新的原子力技術開発連邦計画」の一環をなす。

トムスク州にあるシベリア化学コンビナート（SCC：Siberian Chemical Combine）は、2012

年 9 月末にロスアトム社と鉛冷却実験炉建設の協定に署名した。協定により BREST-OD-300 の実証炉と、同炉で使用するウラン-プルトニウム窒化物燃料の製造施設を SCC のサイトに建設する。同製造施設の建設は 2014 年 3 月末に開始されており、2014 年 9 月に BREST-OD-300 の技術設計が完了した。

2016 年 8 月 1 日の政府政令で BREST-OD-300 の実証炉を 2025 年までに建設することが承認された。しかし、2017 年 1 月にロスアトム社は、原子炉の建設はまだ 2018 年初頭を見込んでいるが、燃料製造や燃料加工工場を含むプロジェクト全体の延期を提案した。

その後、2018 年 10 月 12 日にロスアトム社は、SCC に建設中の BREST-OD-300 について、2026 年以降の商業運転開始を見込んでいることを明らかにした\*。一方、サイト内の燃料製造施設の建設は予定通り行われ、2021 年に操業を開始し、BREST-OD-300 への燃料装荷開始は 2023 年を予定しているという。この建設計画には、追加の研究開発資金として 2017 年には 11 億ルーブル (1,660 万ドル) が配分されている。BREST-OD-300 および燃料製造施設の建設開始は、原子炉の主要構成要素について追加試験が必要との理由で、複数回延期されているが、ロスアトム社によると、主要技術に関する問題が解決されたため建設の更なる遅れはないという。

\* ロシアでは、クローズド燃料サイクル開発を進めるブレイクスルー事業の一環として実験的デモンストレーション複合施設を SCC に建設する計画が進められており、BREST-OD-300 およびサイト内の燃料製造施設が設置される予定である。

## 2.7 溶融塩炉 (MSR)

### <米国>

#### 溶融塩高速炉 (MCFR)

サザン・カンパニー (Southern Company) およびテラパワー (TerraPower) 社による、液体塩化物塩を燃料・冷却材として使用する高速炉である。

2016 年 1 月 15 日、DOE は、先進炉の設計開発の支援対象としてサザン・カンパニー・サービス社 (溶融塩高速炉 (MCFR) を開発) 他を選定したことを発表した\*。DOE は、選定された 2 企業に対して、数年間にわたり最大で計 8,000 万ドルの投資を行うという。2035 年までに設計技術を実証するために、それぞれの企業のプロジェクトに初期投資として DOE から 600 万ドルが交付されることとなる。

\* DOE による「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ」(GAIN) の枠組みの下で行われている。MCFR の他、X-エナジー社 (ペブルベッド型の新型高温ガス炉を開発) が選出された。

#### 一体型溶融塩炉 (IMSR)

カナダのテレストリアル・エナジー (Terrestrial Energy) 社による溶融塩炉である。黒鉛減速材を含む一次系コンポーネントを炉心の中に密封した構造を「一体型」(integral) と表現している。従来の溶融塩炉では、商業用の高出力による黒鉛減速材の短寿命化、および減速材交換の安全面・経済面からの困難さが課題となっていた。IMSR では、運転寿命を 7 年に設定した交換可能な炉心に黒鉛減速材を組み込み、炉心ごと減速材を交換することにより、安全性と経済性を

確保するとしている。テレストリアル・エナジー社は IMSR の 2020 年代の商業運転開始を目指している。

テレストリアル・エナジー社は、米国初となる商業用 SMR の建設について、アイダホ国立研究所 (INL) を含む 4 か所のサイト調査を実施している。また同社は許認可申請に関する活動も開始している。同社は米国において SMR の許認可申請手続きを開始する意向を NRC に通知したことを、2017 年 1 月 24 日に発表した。同社によると、2017 年内に予備申請作業を開始し、2019 年後半に設計認証 (DC) を申請する予定である。同社は 2016 年 11 月 18 日付の NRC 宛書簡において、2019 年 10 月までに DC を NRC に提出する意向を通知していた。

2018 年 3 月 31 日、テレストリアル・エナジー社米国法人 (Terrestrial Energy USA Inc.) とエナジー・ノースウェスト社は、INL において行う可能性のある IMSR サイト選定、建設、および運転に関する了解覚書 (MOU) を締結した。この MOU によりエナジー・ノースウェスト社は、テレストリアル・エナジー社米国法人に対して、商業運転を目的としたサイトの評価に際して助言を行うほか、プラント設計、許認可取得、製造、建設計画等の助言を行う。

また、カナダでも開発・許認可活動が行われており、同社は 2020 年代に最初の商業用実証炉の建設を目指している。2016 年 2 月 25 日に、IMSR 設計についてカナダ原子力安全委員会 (CNSC) に対しベンダー設計審査 (Pre-Licensing Vendor Design Review) の第 1 フェーズを申請しており、2017 年 11 月に完了している。また、2017 年 6 月 19 日には IMSR の商業用初号機の建設地点について、カナダ原子力研究所 (CNL) 所有のサイト内で特定するためのフィージビリティスタディを開始している (CNL が実施)。

2018 年 9 月 5 日、テレストリアル・エナジー社米国法人は、原子力を利用した効率的かつクリーンな水素製造法の開発を目的とし、サザン・ニュークリア社および複数の DOE 所管国立研究所と提携することを発表した。2 年間の研究開発プロジェクトを通じ、IMSR によるハイブリッド硫化プロセスを用いた工業規模のカーボンフリー水素製造について、その効率・設計・経済性を検証するとしている。このプロジェクトは 20 年にわたるサバンナリバー国立研究所 (SRNL) の研究に基づいており、サンディア国立研究所 (SNL) および INL と共に継続して技術開発をリードしていくという。

## その他

2018 年 6 月 27 日、DOE は、溶融塩炉向けのニッケル基合金 Hastelloy-N に関する研究支援を INL で実施していることを明らかにした。Hastelloy-N はオークリッジ国立研究所で溶融フッ化物塩の容器材料として開発されたもので、高温下における高い腐食耐性を有しており、先進炉開発における有力な素材と目されている。INL では Hastelloy-N の微細構造が腐食時の挙動にどのように影響しているかを研究しており、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の高温テストループにおいてフッ化リチウム/フッ化ベリリウム塩に 1,000 時間曝されたサンプルを用いて、微細構造の変化を観察しているという。INL と MIT は、INL 原子力科学ユーザー施設 (NSUF) プログラムを通じて研究を継続するとしている。

## <英国>

### 燃料ピン型溶融塩炉 (SSR-W)

モルテックス・エナジー (Moltex Energy) 社が、燃料ピン型溶融塩炉 (SSR-W : Stable Salt Reactor - Wasteburner) を開発した。SSR は、炉心に軽水炉の様に燃料ピンを束ねた集合体のみが配置され、減速材構造物を持たない構造である。同社は、2017年12月に開始された政府の新型モジュール式原子炉 (AMR) のコンペに応募し、2018年6月に選定されている。

2018年7月には、カナダのニュー・ブランズウィック (NB) 州が SSR-W を州内のポイントルプロー原子力発電所敷地内で建設することを目指すと発表した。

2019年3月21日には、エストニアにおいて SSR-W を建設するためのサイトに関するフィージビリティスタディおよび適切な許認可制度の開発を行うために、モルテックス・エナジー社がエストニアの Fermi Energia 社\* と了解覚書 (MOU) を締結した。Fermi Energia 社の Kalev Kallemets CEO によると、2030年代初頭までに EU 初の第4世代小型モジュール炉 (SMR) を建設することが、今回の MOU 締結の目的であるという。

\* Fermi Energia 社は、エストニア国内に第4世代炉を導入するため設立された会社である。

## <EU>

### 溶融塩高速炉の安全性評価 (SAMOFAR) プロジェクト

SAMOFAR プロジェクトは、溶融塩炉の安全性を立証することを目標としており、フリーズプラグの構造、容器や被覆管材料、液体燃料の循環中のふるまい等、その他の重要な安全上の項目等を試験することとしている。また、そのために必要な実験施設の建設を計画している。なお、同プロジェクトでは、今後数年の間に実際に原子炉を建設することまでは想定していない。

2015年8月にホライズン2020の研究プロジェクトの一つとして、「溶融塩高速炉の安全性評価 (SAMOFAR : Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor)」が開始された。同研究プロジェクトは、オランダのデルフト工科大学を中心としたコンソーシアム\*によって、4年間の計画 (EUからの助成は500万ユーロ) で実施される。

\* フランス国立科学研究センター (CNRS)、放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN)、原子力・代替エネルギー庁 (CEA)、アレバ社 (当時)、EDF、ECの共同研究センター (JRC)、イタリアの原子核研究大学間コンソーシアム (CIRTEN)、中国の応用研究センター (CINVESTAV)、スイスのポール・シェラー研究所 (PSI)、ドイツのカールスルーエ工科大学 (KIT)、オランダのデルフト工科大学。

2018年3月14日には、カナダのテレストリアル・エナジー社が、欧州委員会 (EC) の共同研究センター (JRC) と技術サービス契約を締結した。この契約は、同社の一体型溶融塩炉 (IMSR : Integral Molten Salt Reactor) の設計について、現在実施されている妥当性確認および検証プログラムの一環として締結されたものである。今後JRCは、IMSR用の燃料と一次冷却材について、検証的研究を行う予定である。

## <中国>

2011年の「第12次5か年計画」における重要な科学技術プロジェクトとしてトリウム溶融塩炉

(TMSR : Thorium Molten Salt Reactor) の開発が定められており、中国科学院上海応用物理研究所 (SINAP) が中心となり、被覆粒子燃料を熔融塩で冷却する固体燃料型のTMSR-SFと液体燃料のTMSR-LFの2種類の開発を進めている。

SINAPによれば、TMSR-SFは、2025年までに1万kWtのパイロットプラント (TMSR-SF1) を建設し、その後10万kWtのペブルベッド型実証炉 (TMSR-SF2)、続いて100万kWtの実証炉 (TMSR-SF3) を建設する予定であるという。

一方のTMSR-LFは、トリウムサイクルやトリウムによる持続可能性ははるかに優れているが、技術的に大変難しいものであるという。最初に2,000kWtの原型炉 (TMSR-LF1) を建設し、2025年までに1万kWtの実験炉 (TMSR-LF2)、2035年まで10万kWtの実証炉 (TMSR-LF3) を建設、その後100万kWtの実証炉を建設する予定である。なお、TMSR-LFの予定はTMSR-SFよりも10年遅く設定されている。

## <インドネシア>

熔融塩炉 (MSR : Molten Salt Reactor) を開発するため、2015年10月27日にインドネシアのNUKI (国営燃料製造会社)、PT PLN (国営電力会社)、PT Pertamina (国営石油会社) の3社は、米国のマーチンゲール (Martingale) 社とMSRである「ThorCon」を建設する了解書 (MOU) を締結した。同3社は、10か月にわたりMSR (ThorCon) の技術面に関するプレ・フィージビリティスタディを完了させたことを2017年3月15日に発表した。ThorConについて、経済的に実現可能であり、すぐにでも建設が可能で、既存の石炭火力発電所を代替できると評価した。原子力庁 (BATAN) が同炉の設計を審査中であり、設計が承認されれば、インドネシアで最初の原子炉としてThorConを建設するように政府に勧告することとなるという。

## 2.8 小型モジュール炉 (SMR)

### <米国>

#### 小型モジュール炉許認可技術支援プログラム

2012年3月22日、DOEは、「小型モジュール炉許認可技術支援プログラム」(SMR Licensing Technical Support (LTS) Program) の公募を開始した (5年間で4億5,200万ドル)。SMRの開発、許認可取得、実用化を支援することを目的としており、公募は2回行われた。

第1次公募においては、2012年11月20日にバブコック&ウィルコックス (B&W) 社が選定された (炉型はmPower)。しかし、B&W社は2014年4月9日にDOEに対して開発計画の軌道修正を申し出るとともに、4月14日には技術開発に集中するために当初のSMR計画を再構築 (縮小) すると発表した。また開発を継続するためには技術的・財政的な支援が必要であるとしており、DOEと協議していく意向を明らかにしている。DOEからB&W社への融資総額は、2013年8月27日に実施された2,050万ドルの追加融資を含めて合計1億100万ドルである\*。

\* 2014年11月を最後にB&Wへの投資は停止している。

第2次公募においては、2013年12月12日に NuScale 社が選定された（炉型は NuScale）。同社の SMR は、軽水炉技術に基づいたものであり、また自然循環で冷却が行われ、地下等で設置が可能な設計となっている。2014年5月28日、DOE は NuScale 社との協議の結果、同社に対して5年間にわたり2億1,700万ドルを拠出することを決定した。また NuScale 社は、2016年に SMR の設計認証を NRC に対して申請し、2023年末には最初の SMR を稼働させる意向を明らかにした。

このプログラムでは、サイト選定についてテネシー峡谷開発公社（TVA）およびユタ州公営電力システム（UAMPS）、SMR 設計について NuScale 社との協力が行われており、サイト許可や SMR 設計に関する許認可取得に向けた活動が行われている。なおこのプログラムは2017年に完了することとなっており、2017会計年度に計画されていた最後の資金を受け取ったと同プログラムは発表している。しかし、引き続き先進的な設計認証申請の審査\*1や SMR で初めてとなる技術設計の促進、および今後数年間にわたる2つのサイト許認可プロジェクト\*2を支援するとしている。

\*1 NuScale 社の SMR の設計認証取得

\*2 ユタ州公営電力システム（UAMPS）と NuScale 社による、INL における NuScale 社製 SMR の建設計画、ならびにテネシー峡谷開発公社（TVA）のによるクリンチリバー・サイトにおける SMR の建設計画

### NuScale 社製 SMR

NuScale 社が開発している SMR は、原子炉容器・蒸気発生器・加圧器・格納容器を含む一体型 PWR を1基のモジュールとし（NPM : NuScale Power Module）、これを最大12基まで連結することで60万 kWe（後に72万 kWe に出力増強）の出力を可能とするものである。特徴としては、大型の原子炉冷却ポンプや大口径配管が不要であり、大規模な冷却材喪失事故が発生しえないこと、輸送・設置にあたっては工場生産が可能であること、総面積0.3km<sup>3</sup>以下の狭い土地に建設可能であること、空冷復水器を利用するため内陸での設置が可能なことが挙げられる。また、発電以外に熱利用や脱塩等、多目的な利用が可能である。

2018年6月6日、NuScale 社は、同社が開発中の SMR の電気出力について、当初の計画よりも20%増強することが可能であることを公表した\*。同社によると、先進的試験（advanced testing）とモデリング・ツール（modeling tools）により可能であることが判明したものであり、同社の SMR の原子炉設計の安全性に影響を与えず、かつ、資本コストの変化（資本コストの増加）を最小限にとどめた状態で実現可能であるという。更に同社は、これにより、当初想定5,000ドルから約4,200ドルへと1kWあたりの設備費用を削減することや、均等化発電原価（levelized cost of electricity）を最大18%低減することが可能になるとしている。なお、20%の出力増強に関しては NRC による別途の審査が必要であるものの、NRC によって進行中の設計レビューや設計認証審査（DCA）には影響しないとしている。

\* 20%出力増強により、1基の出力が5万 kWe から6万 kWe となったことで、12基の合計出力は60万 kWe から72万 kWe に拡大。

2018年11月27日、NuScale 社とカナダのブルース・パワー社は、カナダ市場への NuScale 社製 SMR 技術導入を目指した「投資対効果検討書（business case）\*」を作成するための了解

覚書 (MOU) を締結した。この MOU に基づきブルース・パワー社は、カナダ・オンタリオ州での Nuscale 社工場建設による影響や、提案されている SMR 建設サイトにおけるフィージビリティスタディ、カナダにとって SMR の導入がどのように有益であるかを示すためのリスク評価を含む、評価・計画・許可取得に関する支援を行うとしている。

- \* 公共団体や企業でさまざまな投資を行う際に、その投資が適正かどうか幹部や関係者が判断するため、提案者が投資対効果を示した資料を作成して提示する必要がある。その資料を一般的に投資対効果検討書 (business case) と呼ぶ。

2016 年 8 月 9 日に UAMPS の D.ハンター (Doug Hunter) CEO は、INL において NuScale 社製 SMR を建設するサイト\*を選定したと発表した。NuScale 社は、SMR の建設・運転一括認可 (COL) 申請は、2017 年末か 2018 年初めに提出する計画であると示した。

- \* 同 CEO によると、INL 内の 4 か所の候補地から最適なサイトを選定。その広さは 35 エーカー (14 ヘクタール) であるという。

そして、NuScale 社は、2016 年 12 月 31 日に、NRC に対して自社の SMR の設計認証 (DC) 審査を申請した。SMR の設計としては、初めての申請となった。同社による DC 申請書は、約 1 万 2,000 ページにおよぶ技術情報で構成され、NRC は審査開始前に追加情報が必要かどうかを決定するのに 2 か月を要するという。NRC は、40 か月での DC 審査完了を目標とした。最初の商業用 SMR は INL サイト内に建設予定であり、2026 年の運転開始が予定された。

また NRC は、2018 年 1 月 9 日に安全評価報告書 (Safety Evaluation Report) を発行し、この中で、NuScale 社が同社の SMR の DC 取得の一環として NRC に対して提出していた安全設計\*1 に関する報告書 (Licensing Topical Report) \*2 を承認した。今回の NRC の承認は、NuScale 社の SMR 設計について、原子力発電所の (原子力) 安全に関連した電力システムの設計のために規制上の規格 (regulatory standard) として設定されているクラス 1E\*3 電源 (class 1E power supplies) が必要でないことを認めたものである。クラス 1E 電源が必要でないことを NRC が承認している原子炉設計は、現在のところ NuScale 社の SMR 設計のみである。

- \*1 Safety Classification of Passive Nuclear Power Plant Electrical Systems
- \*2 NuScale 社が提出していた報告書は、同社の SMR 設計が安全に関連した電源が無くとも安全に運転可能であることを示した文書である。
- \*3 原子炉の緊急停止、炉心冷却等、原子炉の熱除去、および環境中への放射性物質放出を防ぐ等のために重要である様な電子機器および電気システムを対象とした原子力安全区分。

## その他の動き

2016 年 1 月 27 日、SMR の開発メーカーを中心とした 9 社\*が、SMR の商業化を促進するためのコンソーシアムである “SMR Start” を設立する了解覚書に署名をした。同コンソーシアムの目的は、SMR の所有者や運転事業者になる可能性がある企業が団結して政策上・規制上の諸課題に対処し、また費用分担のための資金調達仕組みを構築していくことである。今後このコンソーシアムは、軽水炉技術に基づいた SMR に焦点を当てて活動していくこととなる。

- \* BWX テクノロジーズ社、デューク・エナジー社、エナジー・ノースウェスト社、ホルテック社、NuScale 社、PSEG ニュークリア社、サザン社、SCANA 社、TVA。

TVA は、2016 年 5 月 13 日に、クリンチリバー・サイト (テネシー州オークリッジ近郊) における SMR の建設・運転について事前サイト許可 (ESP) を NRC に申請し、2017 年 1 月 12

日に、NRC は ESP の申請を受理したと発表した。その後 TVA は 2016 年末にかけて追加情報を提供している。

2017 年 9 月 29 日、DOE は、SMR 用の製造技術を開発することを目的として、電力研究所 (EPRI) に対して 250 万ドルを拠出することを発表した。この資金拠出は、実物の 3 分の 2 の大きさの実証用 SMR の原子炉圧力容器 (RPV) について、ASME コード (ASME code) \*1 を満たす臨界集合体 (critical assemblies) の製造を目標として、EPRI が 4 年計画で実施している製造技術の実証プロジェクト (総額 810 万ドル) に対して拠出されるものである。このプロジェクトにおいて EPRI は、実物大の SMR の RPV について、製造に必要な費用を 40% 低減するとともに、製造に必要な期間を 18 か月短縮することを最終目的として、6 つの技術\*2 の実証を行う予定である。

\*1 米国機械学会 (The American Society of Mechanical Engineers) が定める標準規格。ボイラー部品や工具、品質保証まで多岐にわたって多くの規格が定められており、原子力発電所用機器の規格も定められている。

\*2 powder metallurgy/hot isostatic pressing (PM/HIP)、electron beam welding、diode laser cladding、bulk additive manufacturing、advanced machining、elimination of dissimilar metal welds の 6 つの技術。

#### ・ WH 社 SMR

2012 年 4 月にウェスチングハウス (WH) 社は、NRC に対して同社の SMR に関する許認可技術課題の安全評価報告書を提出し、2015 年 2 月 27 日、NRC は同報告書について、SMR 設計に関連する試験方法を承認した。WH 社の SMR は、2011 年に NRC から設計認証を取得した AP-1000 型炉に基づいたものであり、また原子炉圧力容器に大口径の貫通部が無く大口径配管も無いので、原子炉冷却ループに中規模・大規模な破断が起きる可能性がないという。

#### ・ ARC ニュークリア社 ARC-100

2017 年 8 月 28 日に、ARC ニュークリア社 (Advanced Reactor Concepts LLC) と GE 日立は、先進の小型モジュール炉 (aSMR : advanced small modular reactor) である ARC-100\* について、その開発と許認可取得に係る協力をどのようなステップで進めていくかを明らかにした。それによると、両社が新たに署名した開発合意 (Development Agreement) により GE 日立は、同社の PRISM 設計に関連した知的財産を ARC ニュークリア社に対してライセンス供与する。また GE 日立は、品質、安全文化、訓練等に関連した原子力インフラプログラム (nuclear infrastructure programs) を ARC ニュークリア社が利用できるようにするとともに、ARC ニュークリア社に対してエンジニアリングと設計に関するノウハウを提供することとなる。

\* ARC ニュークリア社が開発中のナトリウム冷却高速炉 (10 万 kWe) であり、燃料を補充せずに最長で 20 年間運転できる様に設計されている。アルゴンヌ国立研究所 (ANL) が開発したナトリウム冷却高速炉の原型炉 (EBR-II) に基づいた設計である。

#### ・ GE 日立 BWRX-300

GE 日立が開発した SMR である BWRX-300 は、高経済型単純化炉 (ESBWR) を基にした原子炉である。GE 日立は、BWRX-300 の商業化を目指して、ドミニオン・エナジー (Dominion Energy) 社から投資を受けることを、2018 年 5 月 21 日に明らかにした。

#### ・ ホルテック社 SMR-160

ホルテック社とカナダの SNC ラバリン社は、2017年7月17日に、ホルテック社の SMR-160 (16万kWeのPWR)の開発協力に関する契約に署名した。この契約の下で SNC ラバリン社は、SMR-160の許認可取得支援を含む原子力技術サービスに関してホルテック社に協力するという。SMR-160のプロジェクトは、サバンナリバー・サイトにおいて実証される可能性がある SMR プロジェクトの一つとして、2012年に DOE から選ばれているものであり、ホルテック社は2018年末までに最初の許可申請をする予定であるとした。

同 SMR-160 プロジェクトについては、2018年2月14日に、GE 日立、グローバル・ニュークリア・フュエル社 (GNF)、ホルテック社、および SMR インベンテック社 (SMR Inventec LLC または SMR LLC) \*が、ホルテック社の SMR-160 の商業化を加速させるための協力 (procompetitive collaboration) を定めた了解覚書 (MOU) に署名している。今回の4社間の協力の当初の範囲は、GNFの支援による燃料開発と GE 日立設計による制御棒駆動装置 (の開発) であり、後で他の分野へ協力を拡大していくことが見込まれている。

\* SMR LLC は、SMR-160の開発を管理するためにホルテック社が2011年に設立した子会社である。

## <英国>

国立原子力研究所 (NNL) は、SMRに関するフィージビリティスタディ (FS) 報告書を2014年12月3日に発行した。このFSは、英国政府とNNL等によるコンソーシアム\*による費用負担の下で、6つのSMR設計について実施した比較検討についてまとめたものであり、英国政府によるSMR研究の第1フェーズの成果である。対象となった炉は、CNNCのACP-100+、B&W社のmPower、ウェスチングハウス (WH) 社のWestinghouse SMR、NuScale社のNuScale、アレバ社 (当時) のANTARES、ウレンコ社のU-Batteryである。報告書においてNNLは、「全世界におけるSMRの市場規模は2035年まで6,500~8,500万kWとなる可能性があり、2,500億~4,000億ポンド (3,920億~6,270億ドル) の価値がある」と述べるとともに、英国におけるSMRの設備容量の規模について、約700万kWになる可能性を指摘している。

\* Amec, Atkins, KPMG, Lloyd's Register, the Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre, Rolls-Royce, The University of Manchester.

NuScale社は、同社のSMR技術を英国でも展開させる意向を2015年10月5日に明らかにした。2020年代中頃までに英国内で最初のSMRを稼働させる予定であり、そのために英国での共同出資者を求めている。また、2015年10月20日には、WH社がSMRの開発協力を英国政府に提案したことを明らかにした。WH社の提案は、同社が英国にSMRの概念設計を提供し、英国政府や産業界との協力の下で認証手続や実用化を実施していくという内容であるという。

シェフィールド大学の附属施設である原子力先進製造研究センター (Nuclear AMRC) は、WH社製のSMRの原子炉圧力容器 (RPV) の製造方法について共同で開発していくことを2016年3月3日に明らかにした。Nuclear AMRCは、WH社製SMRのRPVの現行の設計について評価を行い、最適な製造方法を確立していくこととした。

エネルギー・気候変動省 (DECC、現BEIS) は、2016年3月17日に英国における次世代SMRの設計・開発に役立つ提案への投資計画に関して、関心表明の募集を開始した。2015年11月に

英国政府は、SMR等の原子力研究開発プログラムに対して、今後5年間で少なくとも2億5,000万ポンド（3億5,200万ドル）を投資する計画を発表していた。

2016年4月15日、WH社は、同社のSMRのRPVを効果的に製造するために必要な能力\*が英国に備わっていると発表した。今回の発表は、Nuclear AMRCによる調査結果を踏まえたものであるという。

\* 必要な能力とは、機器類や製鋼を国内で調達できることやRPVを組み立てられる能力。

2016年7月、下院のウェールズ問題特別委員会は、廃止措置が行われているトローズフィニッド原子力発電所跡地にSMRを建設することを英国政府に対して勧告した。

2018年8月7日、英国の財政専門家ワーキンググループ（EFWG：Expert Finance Working Group）\*は、「小規模原子力の資金調達のための市場の枠組み（Market framework for financing small nuclear）」という報告書を発行した。この報告書では、英国でのSMRプロジェクトの開発における民間投資を促進するためには政府の支援を必要としているとし、また、政府は技術を縮小させるのではなく、明確な政策と市場の枠組みを通じてSMRを可能とさせるべきである等の勧告を提示している。

\* EFWGは、2017年12月にBEISが発表した先進原子力技術構想の一環として、2018年1月に設立された。同グループは、将来的に商業展開を可能にする英国の民間投資を調達するためのSMRプロジェクトの可能性について、政府に対して助言することを目的としている。

英国企業によるSMRの海外への展開も進んでいる。ロールス・ロイス社とヨルダン原子力委員会（JAEC）は、2017年11月9日にヨルダンにおいてロールス・ロイス社製のSMRを建設することを目的とした技術的なフィージビリティスタディを行うための了解覚書（MOU）に署名した。これにより両者は、発電と淡水化を目的としたロールス・ロイス社製SMRを建設するための、技術要件、安全性要件、経済的要件、および融資に関する要件を明確にしていくことになる。なお、このフィージビリティスタディの結果は、SMRの建設計画を実行に移すにあたり、JAECによる投資決定のための情報として使用されることになるという。

## <中国>

中国では、CNNCとCGNによるSMRの開発が進んでいる。

CNNCは、SMRとしてACP-1000（PWR）を小型化したACP-100（10万kWe）の開発を進めている。ACP-100は、CNNC傘下の中核新能源有限公司が発電、暖房、蒸気利用や海水脱塩などに利用する多目的炉として開発し、2014年に予備設計を完了した。また、浮揚式原子力発電所（FNPP）に搭載するSMR（ACP-100S）の開発も進行中である。

2015年4月16日にCNNCは、ACP-100の包括的原子炉安全レビュー（GRSR：Generic Reactor Safety Review）の実施に関して、IAEAと協定を締結した。安全レビューは2015年7月に開始され、IAEAはレビュー期間に同炉の安全性の確認及び環境評価報告書の準備とあわせて、原子炉設計のその他の側面についても検討したという。

2017年5月3日付の報道で、CNNCのACP-100を使用した初のパイロットプロジェクトについて、予備設計の段階が完了したことが明らかになった。

また、2019年3月25日付の報道によると、中国の生態環境部（MEE）がACP-100の建設

を開始するため環境影響評価を進めているという。ACP-100の建設については2019年12月31日に最初のコンクリート打設が行われる予定であり、工事期間は65か月間を所要し、政府の承認を得て2025年5月31日までに運転を開始すると予想されている。CNNCニューエナジーコーポレーション（CNNC New Energy Corporation）\*は、当初福建省中部にある莆田市に実験炉2基を建設する予定であったが、莆田市に大型の原子力発電所が建設されるため、2017年初めにACP-100の建設サイトを海南省昌江（島）へ変更した。昌江原子力発電所にはCNP-600が2基稼働中であり、華龍一号2基の建設も計画されている。なお、ACP-100は昌江原子力発電所の北西に建設される予定である。ACP-100は、57個の核燃料集合体、一体型の蒸気発生器、受動安全特性を持つ設計となっており、地下に設置される予定である。

\* CNNCニューエナジーコーポレーションは、中国核工業集团公司（CNNC）と中国国電集团公司（China Guodian Corp）が設立した合弁会社。

一方、CGNが開発しているSMRは、ACPR-100（14万kWe、設計寿命60年）およびFNPP用のACPR-50S（6万kWe）である。ACPR-50Sについては、2015年12月に国家発展改革委員会（NDRC）によりACPR-50S設計の承認を受けており、2016年11月4日にCGNが、国内初となるFNPPの建設を正式に開始することを発表した。FNPPの実証炉は、2020年までに完成する見通しである。

CNNCおよびCGNのFNPP用のSMRは、2016年1月に革新的エネルギー技術に関する第13次5か年計画の一部として国家発展改革委員会の承認を受けている。

#### 各社の炉型（SMR）

開発中の炉型	CNNC	CGN
小型モジュール炉（SMR）	ACP-100（10万kWe）	ACPR-100（14万kWe）
浮揚式原子力発電所用のSMR	ACP-100S（10万kWe）	ACPR-50S（6万kWe）

#### <韓国>

システム一体型原子炉（SMART）は熱出力33万kWのシステム一体型原子炉で、発電（電気出力最大10万kW）および海水脱塩（4万トン/日）の2つの目的に利用される。設計寿命は60年、燃料交換サイクルは3年と設定されている。安全上の特徴には、固有の安全性の向上、および静的安全系の採用がある。

特定のサイトを想定しない標準炉設計は2002年3月に完了し、2007年12月に科学技術部（MOST、現MSIT）が公表した研究開発ロードマップでは、2017～2018年の完成を目指すとされていた。その後2010年6月15日、KEPCOグループを含む民間事業者13社によるSMARTの開発コンソーシアムが結成された\*。その後、KAERIは2010年12月30日付で設計認証（SDA：Standard Design Approval）を申請し、2012年7月4日に承認されている。

\* 民間事業者らは、SMARTのSDAの早期獲得に向け、合計約1,000億ウォンを出資した。

また韓国は、SMARTの途上国への輸出を視野に入れている。カザフスタン、モンゴル、アラブ首長国連邦（UAE）等への働きかけを背景に\*、輸出の推進を目的として、事業法人のスマー

トパワー (SMART Power Co.) 社が 2014 年 12 月に設立されている。同社は、ポスコ建設、大宇建設等の 6 つの会社からの人材と資本で構成されている。また同社は、産業通商資源部 (MOTIE) や外交部等とともに「SMART 輸出協力活動、民間事業者の支援のための政府支援協議体」を構成し支援していくとしている。

\* 韓国とカザフスタンは SMART の研究開発で協力することを前向きに検討することで合意している。また韓国政府は 2010 年 3 月にモンゴルに SMART の建設を提案しており、これに対してモンゴルは 2010 年 6 月、SMART の導入可能性を検討する意思を示し、共同フィージビリティスタディ (FS) 調査の立ち上げを提案している。

サウジアラビアは、SMART が水不足現象の解消とともに中小規模の都市に電力を供給できると判断し、SMART の導入に関心を示している。2013 年 12 月、KAERI がアブドラ国王原子力・再生エネルギー都市 (K.A.CARE) と原子力技術協力協定を締結し、2014 年 2 月から 1 年かけて SMART の導入に向けた共同フィージビリティスタディ調査を実施している。2015 年 3 月 3 日、韓国とサウジアラビアの両政府は、サウジアラビアにおける SMART の導入に向けた予備的プロジェクト (PPE : Pre-Project Engineering) を共同で実施し、サウジアラビアに 2 基以上の SMART 炉を建設する MOU を締結した。PPE の正式な契約署名は、2015 年 9 月に行われており、その後は 36 か月にわたる PPE が実施されている。SMART の建設費用は、両国が実施した共同 FS 調査結果によると 1 基当たり 10 億ドルと見積もられている。また 2016 年 8 月 31 日、未来創造科学部 (MSIP、現 MSIT) は PPE の一環として、サウジアラビアの原子力研究者 36 名を対象にした SMART の設計教育訓練を 9 月から開始すると発表した\*。

\* KAERI は、2016 年 6 月にサウジアラビアで原子力工学基礎課程の一部を実施した後、7 月からは韓国で上記 36 名を対象に教育訓練を実施してきた。教育課程は 30 か月間にわたり、4 段階に分けて行われる。教育課程が修了すると、成績優秀者には韓国科学技術院 (KAIST)、韓国電力国際原子力大学院大学 (KINGS) 等の国内大学院課程に参加できる資格が与えられるという。

2017 年 7 月 16 日、第 3 回 SMART プロジェクト会議 (Third Meeting on SMART Project) が韓国で開催された。この会議では、SMART の初期技術設計プロジェクト (Initial Engineering Design of Smart Reactor Project) に関連した活動 (プロジェクトが直面する課題を含む) に関するレビューが行われた。

PPE に基づき、SMART の初号機の建設に関する提案書作成を担当していたスマートパワー社が、2018 年 12 月 28 日に「SMART の初号機建設のための計画 (SMART FOAK Construction Plan)」を発行した。同社によると、当初は KAERI を通じて K.A.CARE に提出しようとしていたが、PPE 契約当事者間の今後の事業計画協議が遅れるなどの理由で、単独で建設計画書を作成、発行したという。

## <サウジアラビア>

サウジアラビアは、中小型原子炉の導入も検討しており、2015 年 3 月 3 日、K.A.CARE は、韓国原子力研究院 (KAERI) と韓国製小型モジュール炉 (SMART) \*をサウジアラビアに導入するための予備的プロジェクト (PPE : Pre-Project Engineering) の実施及び原子力人材育成への協力に関する覚書に署名し、PPE 実施に関する協約が 2015 年 9 月 2 日に締結された。K.A.CARE と KAERI が 2014 年 2 月から 1 年かけて共同で実施したフィージビリティスタディ

この結果によると、サウジアラビアにおける SMART の建設費は、10 億ドル（1 基当たり）とされている。更に両国は、SMART の第 3 国市場への進出と販売促進及び人材育成について協力していくこととした。サウジアラビアは、SMART が水不足を解消するとともに中小規模の都市に電力を供給できるものと判断し、関心を示していた。

\* 電気出力最大 10 万 kW のシステム一体型原子炉。海水脱塩（4 万トン／日）にも利用可能。設計寿命は 60 年、燃料交換サイクルは 3 年と設定されている。

PPE に基づき、SMART の初号機の建設に関する提案書作成を担当していたスマートパワー社が、2018 年 12 月 28 日に「SMART の初号機建設のための計画 (SMART FOAK Construction Plan)」を発行した。同社によると、当初は KAERI を通じて K.A.CARE に提出しようとしていたが、PPE 契約当事者間の今後の事業計画協議が遅れるなどの理由で、単独で建設計画書を作成、発行したという。

## 2.9 その他の炉型

### (1) 高速炉

#### <米国>

米国は、高速炉実験炉として、1963～1975 年において Fermi 炉（6 万 kW<sub>e</sub>）や 1964～1998 年において EBR-II（Experimental Breeder Reactor II、2 万 kW<sub>e</sub>）等の運転経験を有し、商業化を目指していた。しかし 1977 年にカーター政権が核不拡散政策へと舵を切ったことにより高速炉計画は先送りされることとなり、商業化へ向けた取組みは延期された。現在は技術を維持することを目的として、国際協力の枠組みにおいて、放射性廃棄物対策の観点から研究開発を行っている。

カリフォルニア州サニーバレーに拠点を置く Oklo（オクロ）社は、独自の高速炉設計について申請前活動を開始しており、2016 年および 2017 年に NRC によるミーティングが開催されている。Oklo 社によるマイクロサイズの高速度炉は SFR と VHTR の特徴を併せ持つものであるという。

#### <英国>

1955年に高速炉の実験炉としてドーンレイ炉（DFR）の建設が始まり、1959年に初臨界に達してからは基礎的な実験が行われ、1977年に閉鎖された。また、1966年に高速原型炉（PFR）の建設が始まり、1974年に臨界に達し、商用実証炉の開発を視野に入れて研究が行われた。しかしながら、PFRの研究開発や運営には想定以上に莫大な費用がかかったこと、世界で多くのウラン資源が発見された1980年以降にウランの価値が下落したこと等により、英国政府は1988年にPFRの開発中止を決定した。これを受けてPFRは1994年に運転が停止された。その後は欧州型高速炉（EFR）計画に参加することとなったが、EFR計画自体、社会・経済的な理由により概念設計の完了後に中止されている。

## <ロシア>

### 多目的研究用高速炉 (MBIR)

ロシア、米国及びフランスは、2013年6月に新たなタイプの核燃料、建築資材及び冷却材の開発を目指し、ロシアのヴォルガ地区のディミトロフグラードで共同研究を実施することで合意した。これにより、2014年8月に連邦環境・技術・原子力監督庁 (Rostechnadzor) は、原子炉研究所 (RIAR) に対して、多目的研究用高速炉 (MBIR) のサイト選定許認可を発給した。

MBIR は、RIAR 内で50年前に建設された研究用高速中性子炉 BOR-60 の後継炉と見做されている。建設される MBIR の出力は15万 kWt で、世界で最も出力の高い研究炉となる。冷却材にはナトリウムその他、鉛や鉛ビスマス、ガスも用いられる。このプロジェクトの費用は、164億ルーブル (4億5,400万ドル) が予想されている。建設許認可は2015年5月8日に取得し、同年9月に MBIR の建設サイトで最初のコンクリート打設が行われた。

2017年3月27日、AEM テクノロジー (AEM-Technology) 社\*が、MBIR の原子炉圧力容器の製造を開始したことを発表した。また、2018年8月29日には、AEM-Technology 社は MBIR の主要な溶接作業が完了したことを発表した。同社によれば、MBIR のバスケットと高圧チャンバーの溶接が行われた。なお、2017年3月から開始している原子炉圧力容器の製造は、2020年に完了する予定であるとしている。

\* ロスアトム社の子会社であるアトムエネルゴマッシュ (Atomenergomash) 社の一部。

MBIR の設備設置については、2019年1月16日に AEM-Technology 社が、MBIR の制御装置設置作業の第1段階の完了を発表した。直径4mの MBIR ケーシングは、厚さが25~50mmの薄さであるという (VVER-1200 のケーシングは300mm)。次の作業としては水圧試験と防護ケーシングの組立作業を予定しており、第2段階ですべての炉内機器の設置が完了される。

なお、2019年3月時点での MBIR のスケジュールについては、2024年に運転を開始し、2025年から全面的に研究利用が開始予定である。また、機器類については、2019年初めにロスアトム社の機械建設部門が MBIR の原子炉容器に関する主要部品の出荷を完了させ、2019年中に原子炉容器の組立作業が行われる予定であるとしている。

2019~2020年における連邦目標計画 (FTP) 「新世代原子力技術 (Nuclear Power Technologies of the New Generation) 」において、MBIR の建設費として55億ルーブル以上が割り当てられる予定であり、研究炉を含めた総合研究施設の建設費用は約600億ルーブルになるという。

RIAR は、試験規模で開発した乾式再処理を利用した MBIR 用クローズド燃料サイクル施設を同サイト内に設置する予定である。

## <中国>

中国では長期的なエネルギー供給の確保とウラン資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物 (HLW) の減量という観点から、1986年の国家高技術発展計画 (国家863計画) の下で高速実験炉 (CEFR、6.5万 kWt) の建設計画が策定された。CEFR の設計・建設は、所有者である中国原子能科学研究院 (CIAE) が担当した。CEFR の概要と開発の変遷は次の通りである。

### CEFRの概要

熱出力	6万5,000kWt
電気出力	2万kWe
炉型	タンク型
炉心高	45cm
炉心直径	60cm
燃料	(Pu,U)O <sub>2</sub>
線出力密度	430W/cm
最高中性子束	3.7×10 <sup>15</sup> n/cm <sup>2</sup> -s
建設費	3億2,500万ドル超

### CEFR開発の変遷

1990年～1992年7月	概念設計
1995年12月	国によるプロジェクト承認
1996年～1997年	ロシアとの共同設計
1998年～2003年	基本・詳細設計
2000年5月	着工
2002年8月	原子炉建屋の完工
2009年4月	主要機器の据付・調整が完了
2010年7月21日	初臨界を達成
2011年7月21日	送電開始
2014年12月15日	最大出力での運転を達成

CEFRはロシアのOKBMアフリカントフ社（OKBM（実験機械製造設計局）の関連会社）が中心となって設計・建設し、機器は欧州各国からの支援を受けプロジェクトが進められてきた。CEFRは2011年7月にCIAE内で送電を開始した。同プロジェクトに対する各国の協力状況を示す。

相手国	協力分野
ロシア	設計コンサルタント、専門家による講演、実験等による人材養成
	建設運転協力取決め調印（2000年7月18日）
	50万kWの実用炉の設計、プルトニウム燃料供給
	CEFRの予備設計、詳細設計、建設、運転に対する支援
	CIAEのエンジニアの訓練、専門家による講義、CEFR設計のコンサルティング、ゼロ出力施設での実験等のサポート
フランス	コンピュータ・コードの協力、ナトリウム設備の譲渡、技術コンサルタント、ナトリウム技術・中性子物理に関する情報交換
	物理的な理論計算、熱流動及び構造解析
	フランスの原子力・代替エネルギー庁（CEA）と中国核工業集团公司（CNNC）との協力関係に基づく、コンピュータ・コードの協力、ナトリウム・コンポーネントや機器の贈与、ナトリウム技術や中性子物理に関する情報交換
イタリア	研究装置・設備の譲渡（ナトリウム試験設備、ナトリウム洗浄装置等）
	CIAEとイタリアの新技术・エネルギー・持続可能な経済開発庁（ENEA）の1993年10月の合意に基づき、イタリアの施設BRASIMONE及びCASSACIAよりナトリウム回路及び設備等（炉心サブアセンブリー、制御棒駆動機構のコンポーネントに用いる大型回路）を提供
	ENEAはESPRESSO、CEDIの2つのナトリウム試験ループ、ナトリウム浄化施設、炉心サブアセンブリー測定器を含む研究施設、機器等を中国に譲渡（ESPRESSOは1998年、CEDIは1999年に譲渡）
オランダ	中国核データセンターとオランダのエネルギー研究センター（ECN）が炉計算のためのコンピュータ・コードシステムを開発
国際原子力機（IAEA）	西側安全基準による安全評価
	中国の関係者によるIAEAの技術委員会参加について、情報や資金面で支援
日本	情報交換

【出典】IAEA-TECDOC等

また、CEFR以降、商業化に向けた予定は以下のとおりである。

- ・高速原型炉（CDFR）の建設：2017年
- ・高速増殖実証炉（CDFBR）の開発：2028年頃までに
- ・商業用高速炉（CCFR）の開発：2030年までに

なお、中国は2009年10月にロシアと80万kWの商業用高速炉BN-800の2基の建設準備と設計に関する契約を締結した（しかし、現在、同計画は進展していないままである）。また、2010年4月には商業規模の高速炉の建設に向け、CNNC、福建投資開発総公司および福建省三明市が合弁会社を設立している。

CNNCは、福建省寧徳市において60万kWeの高速実証炉であるCFR-600（プール型のナトリウム冷却高速炉）の建設を2017年12月29日に開始した。運転開始は2023年を目指すとしている。同炉に関しては、中国核工業二三建設有限公司（CNI23）が2017年12月の初旬に、格納建屋や一次系に関する建設契約を締結していた。

2018年11月6日に、CNNCとOKBMアフリカントフ（OKBM Afrikantov）社がCFR-600への機器とサービスの提供、ソフトウェア使用権に関するライセンス供与および書類審査関連サービスに関する契約を締結した。

CFR-600用の燃料供給については、CNLY（CNNCの一部門）とロシアのТВЕЛ社（ロスアトム社の子会社）が燃料供給契約を2019年1月10日に締結した。この契約には、CFR-600用の燃料の初期装荷および運転開始後7年間の燃料供給が定められている。ТВЕЛ社は契約を履行するために、同社のエレクトロスタリ機械建設工場（Elektrostal Machine-Building Plant）に、CFR-600燃料集合体用の新しい製造ラインを設置する予定である。なお今回の燃料供給契約は、中国における高速実証炉の共同建設および運転に関する政府間合意（2018年6月に締結）の一環であるという。

## <インド>

現在、熱出力4万kWの高速増殖実験炉（FBTR）が稼働中である。インドの原子力開発計画の第2段階にあたる高速増殖炉（PFBR：Prototype Fast Breeder Reactor、50万kWe）は、現在、原型炉（PFBR）がインド原子力庁（DAE）傘下の国有企業BHAVINI（バラティヤ・ナビキヤ・ビジュト・ニガム）社によってカルパッカムに建設中である。

PFBRは2004年10月に建設が開始されており、2015年9月頃には送電網に接続し、2016年4月までに全出力で運転する予定であったが、計画は度々遅延している。

2015年12月1日、BHAVINI社が2030年までに6基の高速増殖炉（FBR）を建設するという計画が明らかになった。この計画は、国内初の高速増殖原型炉（PFBR）について2016年春に初臨界を達成し、その1年後に60万kWの2基の建設を政府に求めるとの内容であった。この2基とは別に、他の地域で4基を建設することも計画しているが、その建設サイトについては検討中とされた。

2019年2月11日には、PFBRの運転開始時期がさらに遅れるとの報道があった。報道によると、DAEは、建設中のPFBRの初臨界の達成時期について、2020年頃を目標にしているという。

## (2) 進行波炉

### <米国>

進行波炉（TWR：Traveling Wave Reactor）は劣化ウランを用いる炉であり、核分裂連鎖反応が波状的に数十年かけてゆっくりと進行することから名づけられたものである。理論的には古くから提唱されていたが、マイクロソフト社の創業者である B.ゲイツ（Bill Gates）氏が出資するテラパワー（TerraPower）社が、東芝と共同で進行波炉を開発すると 2010 年 3 月に発表したことにより注目を浴びることとなった\*。テラパワー社によると、進行波炉は軽水炉と比較して稼働期間中に約 20 億ドルの燃料費を節約することができ、また約 40 年間にわたって燃料を交換することなく運転が可能であるため、運転経費を減らすことも可能であるという。進行波炉の運転開始時期は 2022 年頃が予定されている。

\* 2015 年 9 月、テラパワー社は、TWR の原型炉の共同開発に関して中国核工業集团公司（CNNC）と了解覚書（MOU）を締結した。

2017 年 10 月 2 日、テラパワー社は、中国核工業集团公司（CNNC）との間で合弁会社「グローバル・イノベーション・ニュークリア・エネルギー・テクノロジー社」（Global Innovation Nuclear Energy Technology Co. Ltd）を設立する契約に署名したと発表した。この合弁会社を通じて両社は、進行波炉の設計を完成させること、および進行波炉技術の商業化にむけて協力していくこととなる。

### <中国>

中国核能電力股份有限公司（CNNP）は、進行波炉（TWR）の技術研究を促進するため、新会社として中核河北核電有限公司（暫定名称）を河北省に設立する計画であることを 2017 年 9 月 12 日に明らかにした\*。新会社の資本金は 10 億元（1 億 5,323 億ドル）であり、新会社の株式の 35%を CNNP、30%を神華集団有限責任公司（Shenhua Group）、15%を華電福新能源股份有限公司（Huadian Fuxin Energy Limited Company）、10%を浙江浙能電力股份有限公司（Zhejiang Zheneng Electric Power Co Ltd）、残りの 10%を河北建投能源投資股份有限公司（Jointo Energy Investment Co Ltd Hebei）が出資するという。一方、CNNP の完全子会社である中核技術投資有限公司（CNNP Technology Investment）は、中核河北核電有限公司とは別の新会社として中核行波堆科技投資（天津）有限公司（CNNP TWR Technology Investment (Tianjin) Co Ltd）（暫定名称）を設立する計画であることを明らかにした。こちらの資本金は 7 億 5,000 万人民币元であり、前出の 5 社が中核河北核電有限公司の場合と同じ割合で出資する予定であるとされた。

\* 9 月 26 日には CNNP の親会社である中国核工業集団（CNNC）と神華集団が TWR 技術開発促進のための投資協定に署名した。この契約には浙江浙能電力の親会社の浙江省能源集団（Zhejiang Energy Group）と河北建投能源投資も含まれるという。

## (3) 加速器駆動未臨界システム（ADS）

### <EU>

・欧州核破砕中性子源（ESS：European Spallation Source）

ESS は、材料、エネルギー、健康、環境等の分野での新発見をもたらすことを目的とした欧州研究基盤コンソーシアム (ERIC) の枠組で設立される施設であり、強力な中性子源を中心とした学際的研究施設である。なお加速器は、中性子線を発生させることを目的として、陽子を加速させるために使用される。

ESS は、欧州 15 か国 (メンバー12 か国：チェコ、デンマーク、ドイツ、エストニア、フランス、イタリア、ハンガリー、ノルウェー、ポーランド、スウェーデン、スイス、英国。オブザーバー3 か国：ベルギー、オランダ、スペイン) によるプロジェクトである。2009 年にスウェーデンのルンド市が ESS 建設サイトとして選ばれ、2014 年に建設を開始した。一部の施設を 2019 年に稼働させることを目指して工事が進められている (2019 年 3 月現在、計画の 58%が完了)。

建設費用は約 18 億ユーロであり、立地国であるスウェーデンとデンマークがその半分を負担する。チェコ (270 万ユーロ)、デンマーク (6,760 万ユーロ)、スウェーデン (1 億 9,280 万ユーロ) が 2016 年までに資金拠出済で、英国は資金拠出 (1 億 8,430 万ユーロ) を約束している。

#### <ロシア>

2017 年 9 月 7 日、ロスアトム社と日本原子力研究開発機構 (JAEA) は、放射性廃棄物の処理と管理を目的としたマイナーアクチノイドの核変換に関連し、炉物理試験に関する情報交換を定めた覚書に署名した。マイナーアクチノイドを核変換する技術\* (の開発) により、放射性廃棄物の減容化や有害度の低減が期待できるという。

\* 同技術の対象は、高速炉または ADS である。

#### <中国>

従来の ADS 研究開発を基にした、「加速器駆動先進核能系統 (ADANES: Accelerator-Driven Advanced Nuclear Energy Systems)」という名称の新しいシステムを研究開発している。同システムは、使用済み燃料の核変換を行ったり、燃料としてトリウムを用いた未臨界炉を運転したりするために使用することができるという。

2016 年 3 月 9 日、中国広核集団と中国科学技術院 (CAS) は、ADANES を共同開発することで合意した。

#### <インド>

BARC はトリウム利用に関連した研究開発として、マイクロ波イオン源や電子サイクロトロン共鳴 (ECR) を用いたビーム診断チャンバーやビーム減衰チャンバーなど、未臨界で増殖を行う ADS の設計を完了し、現在、開発中である。

また、BARC は技術実証用の熱出力 100 万 kW の小型高温炉 (CHTR) と水素製造用の革新的高温炉 (HTR) (60 万 kW) の研究も行っている。CHTR はペブルベッド型燃料、熔融鉛冷却で、炉内の熱流体力学的な挙動の研究用の熱中性子解析プログラムが 2007 年度に開発された。

#### (4) 超小型原子炉

##### <米国>

国防権限法 (NDAA : National Defense Authorization Act) が、米国両院を 2018 年 8 月 1 日に通過した。同法案には DOE 長官に対し、国防施設に超小型原子炉 (micro-reactors) を設置するためのパイロット・プログラムに関する報告書の作成を指示する文言が入っており、DOE には、法律成立後から連邦議会に報告書を提出するまでに 1 年間の期間が定められている。また同法案は、超小型炉を発電容量が 5 万 kW 以下の原子炉であると定義している。これらの先進炉技術は NRC への許認可申請がまだ行われていないが、2020 年代半ばまでには行われる可能性がある。

##### <英国>

BEIS では、3 万 kW 以下の規模の SMR を特に超小型原子炉 (MNRs: Micro Nuclear Reactors) と呼称している。

BEIS は、MNRs に関する研究報告書「超小型原子炉の市場と技術評価 (Market and Technical Assessment of Micro Nuclear Reactors)」を 2019 年 3 月 22 日に公開した。MNRs の主な特性の検討および市場と規制課題の評価に関する同報告書は、ヌヴィア社、WSP、Atomic Acquisitions によって 2016 年 3 月 31 日付で作成されたものであるが、公開の遅れについての説明はされていない。同報告書は、2030~2035 年の間に MNRs が大きく進展する可能性があると結論付けている。MNRs のサイズと特性により、2030 年頃までに最大 285 万 kW の潜在的にアクセスできる世界市場が見込まれているとのことである。一方で、MNRs に関連した政治的環境とその関与の度合いは不確実であり、長期的には、産業界が競争製品を開発するよりも前にその関与が変わってしまうリスクが高いことを危険因子として挙げている。

### 3 核燃料サイクル・フロントエンド・バックエンド（廃炉、廃止措置、廃炉研究等）

#### 3.1 核燃料サイクル

<英国>

##### 実施体制

1971年の原子力公社法改訂（Atomic Energy Authority Act 1971）に従い英国原子力公社（UKAEA）が一部改組され、核燃料サイクル業務を担当する英国核燃料会社（BNFL：British Nuclear Fuels Ltd）が有限会社として設立された。その後、BNFLは株式会社へと会社形態を移行した。

2004年のエネルギー法（Energy Act 2004）第3条に基づき、2005年4月1日に非省庁公共機関（Non-Governmental Public Body）として原子力廃止措置機関（NDA：Nuclear Decommissioning Authority）が設立された。NDAの活動に必要な資金は、2004年のエネルギー法に基づいて設立された原子力廃止措置基金（Nuclear Decommissioning Funding Account）から拠出される（廃止措置に係る予算措置）。NDAの役割は、主に①原子力サイト・施設の廃止措置と除染、②BNFLが実施していた核燃料サービスと発電事業の継承、③放射性廃棄物処分、④研究開発である。NDAは少なくとも5年ごとにレビューを実施し、活動の戦略を策定することになっている。

なお、2008年末までにBNFLの子会社や関連会社の株式の売却または国有化が終了したため、BNFLは2009年に活動を終了し、2010年10月14日にキャメロン内閣（当時）がBNFLの解散を宣言した。

##### 再処理

使用済み燃料の再処理はセラフィールド（コールドハーホール、ウィンズケールを含む）にある2か所のプラントで行われている。運営・管理は、NDA所有のインターナショナル・ニュークリア・サービス（International Nuclear Services）に代わり、セラフィールド社（Sellafield Ltd）が行っている。

・マグノックス再処理プラント（ウィンズケール第2再処理プラント、B205）

1964年に操業を開始した。処理能力は年間1,500トンである。2020年の閉鎖を予定している。UO<sub>3</sub>のカーペンハースト（Capenhurst）濃縮工場への移送は、2016/2017会計年度末までに終了予定とされていた。

・酸化燃料再処理プラント（THORP：Thermal Oxide Reprocessing Plant）

1994年に操業が開始された。2012/2013会計年度までに、7,000トンの国内外の使用済み燃料を再処理している。2012/2013年度にドーンレイ増殖炉DFRの使用済み燃料の最初のバッチを受領し、EDFからはAGRの使用済み燃料を引き続き受領中である。これまでに、EDFと海外からの酸化燃料228.5トンをせん断している（目標は408トン）。

2005年4月、放射性物質の漏洩を引き起こした。これ以降、軽微な事故が頻発しており、操業停止と再開を繰り返した。2011年初めに発表された、改訂版 NDA 戦略 (Strategy Effective from April 2011) において、THORP は 2020 年に稼働終了予定とされた。2012年7月に、NDA は、THORP での再処理事業を海外契約も含めて 2018 年までの継続を決定し、2018年11月14日に THORP は操業を終了した\*。セラフィールド社によると、THORP は 11月9日に最後の使用済み燃料を再処理する工程を開始したという。なお、THORP は 2070 年代まで使用済み燃料の貯蔵施設として使用される予定である。

\* 1994年操業開始以来、9か国の30顧客から9,331トンの使用済み燃料の再処理を実施してきた。また、THORP 建設後、再処理の国際的な市場は大きく変化し、大部分の顧客は使用済み燃料について再処理ではなく貯蔵を選んでいるという。

・廃棄物キャニスタ封入施設 (WEP : Waste Encapsulation Plant)

1994年に操業を開始した WEP は、THORP の運転に伴い発生した廃棄物を密閉処理するための施設である。

### FBR 燃料の再処理 (HEU)

ドーンレイ・サイトにおける高速増殖炉の研究開発過程で使用された FBR 燃料は、国内外の研究炉用高濃縮ウラン燃料と共に、ドーンレイ・サイトで再処理をしていた。

2001年に、ドーンレイ・サイトでの再処理の停止が決定した。残存する44トンの FBR 燃料をケイネス (Caithness) からセラフィールドへ輸送することが決定した。そして、2012年12月に輸送が開始された。2015年5月までに11トンの FBR 燃料の搬送が完了した。

### <ドイツ>

#### 脱原子力政策に伴う再処理の中止までの概要

ドイツ (旧西ドイツ) は1955年のパリ協定で、核兵器を製造しないことを条件に原子力発電の開発を開始した。当初は再処理を含めた核燃料サイクルを完結させる方針であり、ドイツ核燃料再処理施設運転会社 (DWK) が、カールスルーエ原子力研究所に設置した使用済み燃料再処理試験施設 (WAK) を1971年から1991年にかけて操業した経験もある。WAKは、商業規模の再処理施設を建設する前段階のパイロットプラントであり、ピューレックス法を用いた年間35トンの処理能力を有する施設であった。20年間の操業期間中に約200トンの使用済み燃料の再処理を行ったが、ドイツ政府が商業規模の再処理を実施しないことを決定したことに伴い、1991年6月に操業を停止した。

1994年の原子力法改正により (再処理をせずに) 直接処分することも選択肢として定められた。ドイツ国内の議論では、自国内での再処理は経済的に不利であるとの主張が多く、ドイツの使用済み燃料の再処理は英国およびフランスと委託契約を結び、国外で行われることとなった。英国およびフランスの再処理工場で再処理され回収されたプルトニウムは、ウラン・プルトニウム混合酸化物 (MOX) 燃料に加工後、ドイツに返還されドイツ国内の原子炉で使用された。

その後、反原子力運動が高まり、また緑の党が台頭して連立政権に加わるようになり、2002年に原子力法改正によって2005年6月を以て使用済み燃料の再処理を止めることが決定された。

以上の経緯によりドイツでは使用済み燃料の再処理は禁止されており、全量直接処分を前提とした管理が行われている。

#### ヴァッカースドルフ再処理工場の建設中止

1970年代には、「バックエンドセンター構想」として再処理工場を含む全ての燃料サイクル関連施設をひとつのサイトに集中させることを計画していたが、社会的に受け入れられず実現しなかった。

その後、電力会社が出資するDWKが、バイエルン州にヴァッカースドルフ再処理工場(WAW)を建設する計画を進め、年間350トンの処理能力を持つ再処理工場の建設に1986年に着手するに至った。しかし原子力反対運動が高まり、また政治的にも脱原子力の方向性が強まり、さらにWAWの建設費が高騰して150億マルクが必要とされ、DWKに出資する電力会社が英国やフランスに再処理を委託した方が経済的に有利であると判断したことから、サイトの整地を済ませ廃棄物貯蔵建屋の建設等が始まった段階で、1989年6月6日にWAWの建設中止が決定した。

### <ロシア>

#### 実施体制

旧ソ連時代より、自国内で全てを完結するクローズド燃料サイクル、およびこれを実現するための製造能力と技術の確立を原子力・核燃料戦略の基本としている。

基本の流れとしては、VVER-440型軽水炉の使用済み燃料をRT-1再処理工場(400tU/年)で再処理し、回収ウラン及びプルトニウムをRBMK型炉の新燃料にするという方針で進めていた。ただし、この方針は主に高速炉向けのプルトニウム燃料及びRBMK向けの燃料(低濃縮の二酸化ウラン)の製造を念頭に置いたものであり、軽水炉用MOX燃料の加工施設は建設されていない。高速炉用のMOX燃料の加工施設としては、以下のものがある。

- ・マヤク・パケット施設(1980年に運開、製造能力:0.5tHM/年)
- ・原子炉科学研究所(RIAR)(1975年に運開、製造能力:1tHM/年)

#### 再処理

ロシアにおける再処理は、1971年にチェリヤビンスク-65のRT-1(マヤク再処理工場)で開始しており、自国の他に東欧諸国のVVER-440から発生した使用済み燃料、またBN-600、研究炉、砕氷船搭載原子炉からの使用済み燃料を再処理している。RT-1は、民生用の再処理を行うための施設で、処理能力は公称400tU/年である。

1980年代に新たにゼレズノゴルスクでRT-2(1,500tU/年)の建設を始めたが、工事は凍結された。RT-2の建設計画は、クラスノヤルスクにおける核燃料サイクル完結総合センター建設の計画に引き継がれているが、運転開始時期も2025~2030年頃まで延期される見込みである。なお、RT-2再処理工場は、ロシアが国外に建設する原子炉の使用済み燃料の再処理も考慮しているという。

ゼレズノゴルスク（クラスノヤルスク近郊）の鉍業化学コンビナート（MCC）では、MOX燃料加工施設の他、再処理技術を実証するための実験実証センター（PDC）が2018～2020年の竣工を目標に建設中である。PDCは、最初はVVER-1000型原子炉から発生する使用済み燃料の再処理のための新技術開発と試験のために使用され、その後は高速炉から発生する使用済み燃料の再処理に関する技術開発が行われる予定である。本格的な再処理工場は、同じMCCのサイトに2025～2030年の間に稼働する予定である。

#### 対外燃料サイクル

##### ・国際ウラン濃縮センター（IUEC）

2006年1月25日、プーチン大統領は、「ロシアはIAEAの管理の下、ウラン濃縮を含む核燃料サイクル・サービスを提供する国際センターを設置する用意がある」と述べ、同年9月には、ロシア連邦原子力庁（当時）のキリエンコ総裁が、東シベリアのイルクーツク州アンガルスク市にあるアンガルスク電解化学コンビナート（AECC）に、国際ウラン濃縮センター（IUEC）を設置すると発表した。

ロシア政府の説明によると、同センターの設置の目的は、原子力発電を新規導入する国が増えているが、そうした国々が自国で濃縮技術を取得することは機微技術の拡散に繋がるため、国際的核セキュリティの観点から、また政治的理由による核燃料の供給停止に備えるという“核燃料供給保証”としての位置づけで設置するという。

2007年5月、ロシアとカザフスタンは、IUECの設置に関する政府間協定を締結し、9月にはIUECが共同持ち株式会社として登録された。その後、2009年8月にアルメニアがIUECへの参加協定に署名し、さらに2009年11月にはウクライナもIUECへの参加協定に署名した。

IUECは、これらの国々の出資からなる株式会社であるが、ロシア側の株式は、国営核燃料輸出企業のテネックス（TENEX : Tekhsnabeksport）社がロシア政府の委託を受けて管理運営している。同社はIUECの敷地内に設置されており、濃縮ウランを市場価格に沿って販売する事業を行っている。

2009年11月27日、IAEA理事会は、IUECでの低濃縮ウラン備蓄について、それを供給するロシアのイニシアチブに関する決議（GOV/2009/81）を採択した。内容は以下の通りである。

- ① IAEA加盟国向けにLEU備蓄を構築するために、ロシアとの協定（GOV/2009/76添付文書1）を締結・履行する権限を事務局長に与える。
- ② この備蓄からIAEAを通じて加盟国がLEU供給を受けるためのモデル協定（GOV/2009/76添付文書2）を承認する。
- ③ 加盟国から要求があった場合、事務局長がロシアとの協定に規定された資格基準を満たすと見なす場合には、理事会の承認を得ることなく、事務局長が加盟国とのLEU供給協定を締結・履行することを認める。ただし、個々の協定の進捗状況が理事会に報告されることを条件とする。

2010年3月29日、IAEA天野事務局長とロスアトム社のキリエンコ総裁（当時）が、IUEC

での低濃縮ウラン備蓄創設に係る協定、「ロシア連邦国内での低濃縮ウラン (LEU) の備蓄の構築と LEU の IAEA 加盟国向けの供給に関する協定」に署名した。この協定の内容は、「ロシアの IUEC に UF<sub>6</sub> の形で 120 トンの LEU (濃縮度は 2~4.95%) を備蓄し、IUEC が IAEA の保障措置下に入り、備蓄 LEU の生産、保管、維持、IAEA 保障措置の適用に関わる費用は全てロシアが負担する」というものである。2012 年 5 月に、LEU を備蓄する燃料バンクはカザフスタンのウルバ冶金工場 (Ulba Metallurgical Plant) に設置されることが報じられた。(低濃縮ウラン燃料バンクについては「3.2 フロントエンド」を参照)

## <韓国>

サイクル技術の開発に関しては、現在は使用済み燃料を集中中間貯蔵する方針を採用しているが、かねてより PWR から使用済み燃料ペレットを取り出して再加工し、CANDU 炉の燃料として供給する DUPIC (Direct Use of spent PWR fuel In CANDU reactors) 燃料サイクル\*の開発を行っている。さらに今後は、米国との協力のもとで乾式再処理 (パイロプロセッシング) の開発を行い、ナトリウム冷却高速炉 (SFR。「2.3 ナトリウム冷却高速炉 (SFR)」を参照) などの第4世代炉における核燃料のクローズドサイクル構築を目指す方針である。

\* 核分裂性物質と核分裂生成物を分離することなく、CANDU 炉の燃料に加工することが可能であるという考えに基づいている。

### ・DUPIC 燃料サイクル

韓国では、PWR、CANDU 炉の双方を利用する戦略であるため、DUPIC は PWR 使用済み燃料の代替的な利用方法として、大きな関心が持たれてきた。DUPIC の調査研究は、カナダ、米国、IAEA の協力の下、KAERI によって実施されている。

DUPIC 燃料サイクルには以下の利点がある。

- ・ PWR 使用済み燃料を再利用することで、CANDU 炉用燃料の製造に必要な天然ウランを節約することができる。
- ・ PWR 使用済み燃料の処分が不要になる。
- ・ DUPIC 燃料は燃焼度が高いため、CANDU 炉からの使用済み燃料の発生量が低減する。
- ・ 発電電力量が同じ場合、DUPIC 燃料サイクルはワンススルー燃料サイクルと比較し、使用するウラン量は 30% 減、使用済み燃料の排出量は 70% 減となる。

DUPIC の開発プロセスは、1991~2001 年のフェーズ 1 (DUPIC 技術の開発・実験的検証)、2002~2006 年のフェーズ 2 (核拡散抵抗性の高い乾式プロセスの開発) を経て、2007 年よりフェーズ 3 (DUPIC 燃料性能の実証) に入り、2007 年から 2011 年の原子力研究開発 5 年計画では、DUPIC 技術の技術・経済的な妥当性を検討し活用方策を探ることが 2007 年以降の目標として示されていた。

しかし、DUPIC 技術が商業ベースで用いられることは無く、2000 年代以降は、KAERI は使用済み燃料の乾式再処理 (パイロプロセッシング) 技術に注目していくこととなった。

### ・乾式再処理 (パイロプロセッシング)

韓国は1991年11月の「朝鮮半島の非核化宣言」により再処理施設の保有を放棄しているが、SFRの開発にあわせ、1997年ごろからパイロプロセッシングの研究を実施している。

KAERIは、2005年から実験室規模（年間0.2トンの処理能力）のパイロプロセスの試験施設であるACPF（Advanced spent fuel Conditioning Process Facility）を用いて、使用済み燃料の前処理工程と電解還元工程などの単位工程技術について研究開発を行ってきた。

韓国は2007年12月に国際原子力パートナーシップ（GNEP、現IFNEC）に加盟し、米国の協力のもとで国内再処理を視野に入れた開発を進める方針を固めている\*。

\* KAERIは、使用済みのDUPIC、VHTR、PWR燃料をパイロプロセッシングの技術を用いて再処理し、SFR燃料として燃焼するサイクルを構想している。

2011年4月13日に韓国は、米国と「使用済み燃料再処理技術に関する共同研究」を実施することで合意した。両国は、乾式再処理技術を含む燃料サイクルの研究を今後10年にわたって3段階に分けて行うとした。

2013年5月にKAERIは、乾式処理試験施設（パイロプロセッシング試験施設）PRIDE（PyRoprocess Integrated inactive DEMonstration facility）を完工した。PRIDEは、年間10t以上のSFの処理能力がある。KAERIは、PRIDEの研究成果を受けて、年間数100t規模の使用済み燃料を処理できる総合パイロプロセッシング施設を2025年に完成させる計画である。パイロプロセッシング技術と高速炉を連携させ、ウランの効率的な利用と高レベル放射性廃棄物の劇的な低減を図る（高レベル放射性廃棄物処分場面積を約1/100にできるという）としている。

2015年11月25日に発効した新たな米韓原子力協力協定により、韓国は国内の既存の研究施設で保有している使用済み燃料（米国由来のウラン含有）を利用し、パイロプロセッシングの前半部工程（前処理、電解還元）が可能となった。後半部工程（電解精錬、電解製錬など）の研究については、両国が実施中の「使用済み燃料再処理技術に関する共同研究（2011～2021）」の\*結果をもとに、新しく設置するハイレベル委員会（次官級会議）にて協議・合意を通じて進めることとしている。

\* 今回の合意により研究期間の第1段階の2年間（2011～2012年）についての詳細が決定された。

しかし、2017年に就任した文大統領の脱原子力政策により状況が大きく変わり、科学技術情報通信部（MIST）はパイロプロセッシング実証計画がなく、2020年に再検討を経て実証炉の建設可否を決定する予定であることを、2018年12月10日に明らかにした。

## <インド>

インドは、国内に豊富に有しているトリウム資源について、資源の有効活用とエネルギー安全保障の観点からトリウム燃料サイクルの実現を目指している（詳細については、「2.1.1 研究開発動向」参照）。

### 再処理

インドの再処理施設は、トロンバイ（PRP）、タラプール（PREFRE）、カルパッカム（KARP）、および2011年1月にタラプールで2番目の再処理施設（100トン／年）が運転開始したことに

より、計4か所存在する。

また、AECは2010年9月に、使用済み燃料の再処理と廃棄物管理の施設を兼ね備えた統合リサイクル・プラントの建設に向けエンジニアリング活動を開始したと述べた。

2011年9月、BARCは、加圧重水冷却炉の使用済み燃料を再処理プラントへ移す自動化システムを開発した。このシステムの予備安全解析書(PSAR)は、BARC安全委員会によって承認されており、自動システムの初号機はタラプール原子力発電所に設置されている。

再処理施設一覧

名称(通称)	処理対象燃料	処理容量	操業開始年
トロンベイ再処理施設 (PRP)	研究炉	50tU/年	1964年
タラプール再処理施設 (PREFRE1)	PHWR	100tU/年	1979年
タラプール再処理施設 (PREFRE2)	PHWR	100tU/年	2011年
カルパッカム再処理工場 (KARP)	PHWR、FBTR	100tU/年	1998年

### <カザフスタン>

#### ウラン供給等、燃料サイクルに関連した契約(最近数年間で主要なもの)

カザトムプロム社は、他国企業等との間で、ウラン供給等の燃料サイクルに関連した契約を締結している。

企業名	合意・契約内容	日付
中国広核集団有限公司 (CGN)	中国の原子力発電所に必要な燃料集合体をカザフスタンで製造するための合弁会社の設立。製造される燃料集合体は、濃縮ウラン換算で200トンになる見込み。	2014年12月
	中国への燃料供給のためカザフスタン国内での燃料集合体の製造工場建設およびウラン鉱床の開発について共同推進	2015年12月
インド原子力庁 (DAE)	インドに対して、2019年までの4年間で5,000トンのウランを市場価格で供給。	2015年7月
中国原子能工業公司 (CNEIC) *	カザフスタンから輸出する天然ウラン精鉱を、中国国内で一時保管してから米国やカナダの西海岸へ輸送することに關する合意。	2015年9月
EDF	2021~2025年の期間において、EDFに対して4,500トンの天然ウラン精鉱を供給。但し、契約の発効は、欧州原子力共同体供給局 (Euratom Supply Agency) の承認待ち。	2015年11月

\* 中国核工業集团公司 (CNNC) の子会社。

カザトムプロム社は2016年9月2日に、中国輸出用の燃料集合体を製造する工場\*1が2019年に稼動する見込みであると発表した。この工場は、カザトムプロム社のウルバ冶金工場(UMZ: Ulba Metallurgical Plant)に建設される予定である。なお、カザトムプロム社によると、UMZと中広核鈾業發展有限公司(CGN Uranium Resources Co., Ltd.)\*2が同日に署名した契約によると、両社は2016年から2018年までの間に180tUの燃料ペレットを製造するとのことである。

\*1 2015年12月に同社とCGNは、中国への燃料供給のためカザフスタン国内に燃料工場を建設する契約を締結していた。

\*2 中広核鈾業發展有限公司: 2006年8月15日に設立されたCGNの子会社。

### <スイス>

スイスは、核燃料サイクル方式とワンスルー方式の両方を併用している。ベベツナウとゲスゲン原子力発電所は、再処理事業者との契約により、再処理プロセスを経て製造された MOX 燃料を使用している。特に、ゲスゲン原子力発電所は全炉心が MOX 燃料である。再処理で得られたウランの一部はロシアに送られ、解体された核兵器のウランと混合されて燃料が製造され、燃料加工はドイツで実施されている。ミューレベルク原子力発電所は、再処理して取り出したプルトニウムを MOX 燃料として使用している。再処理ウランについては、米国の DOE との協議により、米国に送り新しいウランを入手している。

### <ハンガリー>

かつてハンガリーは、メチェックでウラン鉱石を採掘し、エストニアで精錬を行っていたが、1963 年から 1997 年までは国内（メチェック）で精錬を行い、旧ソビエト連邦（途中からはロシア）で濃縮、転換を行い燃料集合体へと加工していた。

2004 年 4 月に、ハンガリーとロシアの両政府は、パクシュ原子力発電所へのロシア製燃料の供給およびその処理のための回収に関する文書に調印した。そのため、現在はロシアの TVEL 社が全ての燃料供給を行っている。

また、2015 年 4 月 20 日、欧州原子力共同体（Euratom）は、パクシュ 2 号機の拡張計画のために締結されたハンガリーとロシアとの間の燃料供給契約を承認した。

## 3.2 フロントエンド

### <米国>

#### ウラン資源

2017年1月時点で、米国では、1kg当たり260ドル未満で回収可能なウラン資源が10万800トン確認されている。

生産量は1980年の1万6,800tU(250鉱山)をピークとして急激に減少し、2003年には220万ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(850tU/年)となった。その後、2015年には371万ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>、2016年には254万ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>、2017年には115万ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>であった。

#### 抽出

サバンナリバー・サイトの「Hキャニオン」施設において高濃縮ウラン(HEU)の抽出が行われている。同施設は、2016年8月5日に5年ぶりに運転を再開した。同施設では、国内外の研究炉由来の使用済み燃料からHEUが抽出され、その後HEUは低濃縮ウラン(LEU)に希釈され、テネシー峡谷開発公社(TVA)の原子力発電所で新たな燃料として使用される。

パシフィック・ノースウェスト国立研究所(PNNL)は、2018年6月13日に、アクリル繊維を使用して海水からウランを抽出し、5グラムのイエローケーキ(原子力発電の燃料を製造するために使用される粉末状のウラン)を生成することに成功したと発表した。

今回行われたウランの抽出は、LCWスーパークリティカル・テクノロジーズ(LCW Supercritical Technologies)社\*が開発したアクリル繊維を使用して、海水中に自然に存在するウランを吸着することによって達成されたものであるという。同社のC.ワイ(Chien Wai)社長は、今回使用された技術を用いて生産されるウランのコストについて、地上での採鉱を通じて生産されるウランのコストに対して競争力を持つ可能性があるとしている。なお、地球全体の海水中には少なくとも40億トンのウランが存在すると推測されている(地上におけるウラン資源の確認埋蔵量の500倍)。

\* アイダホ州のモスコ市に拠点を置くクリーンエネルギー会社である。DOEの原子力エネルギー局(Office of Nuclear Energy)を通じてPNNLが早期支援を行っていた。

また、DOE原子力エネルギー局(NE)は、2018年11月1日にアイダホ国立研究所(INL)の材料・燃料複合施設(MFC: Materials and Fuels Complex)および/またはアイダホ原子力技術工学センター(INTEC: Idaho Nuclear Technology and Engineering Center)における高含有低濃縮ウラン(HALEU: high-assay low-enriched uranium)\*<sup>1</sup>製造提案について、環境評価草案に対するパブリックコメントの募集(2018年11月30日まで)を公表した。DOEは、現在INLに保管されている金属HALEU\*<sup>2</sup>から研究開発に使用可能なHALEUセラミック・金属燃料への転換を行うために、MFCおよびINTECの設備拡張を提案している。また、DOEは、民間開発者および政府関係機関を支援するため、約10トンのHALEU原子炉燃料を製造することを提案している。先進炉設計者がHALEUに関心を示している一方、米国内にはHALEUを製造可能な商業施設がないため、DOEは研究開発を行なうための供給源が必要であると述べている。

\*<sup>1</sup> 濃縮度が5%以上20%未満の低濃縮ウランを指す。

\*<sup>2</sup> 廃止措置中のEBR-II(Experimental Breeder Reactor-II)から出た高濃縮ウランを含有する使

用済み燃料を、MFC が有する電気冶金的処理システムによってダウブレンドすることで製造されたもの。

## 転換

米国唯一の転換施設であるハネウェル社のメトロポリス工場（イリノイ州、1958 年建設）において、酸化物が六フッ化ウラン（UF<sub>6</sub>）に転換されている。生産量は 1 万 7,600tU/年\*である。

\* 生産量は、2020 年に 2 万 3,000tU/年へ増強される予定である。

2017 年 11 月 20 日にハネウェル社は、メトロポリス工場における UF<sub>6</sub> の生産を一時停止すると発表した。同社は、福島事故以降において核燃料需要が 15%下落し、2020 年以前に需要が回復する見込みはないとしたエネルギーリソースインターナショナルの分析を引用し、そのため工場を一時停止し、市場の状態が回復した際に運転を再開できるよう少量分の生産のみを続けるとしている。この決定により、2017 年 10 月に年次の停止期間へ入っていた同社のウラン転換工場は、当初の計画\*通りには生産を再開しないことになる。

\* 2012～2013 年には、福島第一原子力発電所事故後の NRC による基準を満たすためのアップグレードを行っていた。これまでの計画では 2020 年に生産量を 1 万 7,600tU/年から 2 万 3,000tU/年へ増強する予定だった。

## 濃縮施設

米国濃縮会社（USEC）のパデューカ施設（拡散法工場、2013 年停止）や新設のウレンコ（Urenco）社などがある。

### ・ USEC の気体拡散法濃縮施設

連邦政府によって建設された米国最初のウラン濃縮施設である（パデューカ所在）。1952 年に軍用濃縮施設として操業を開始したが、1992 年のエネルギー政策法（NEPA）に基づき公社となった。クリントン政権下の 1996 年 4 月に USEC 民営化法が成立し、1997 年 7 月に民営化が認可され、1998 年 7 月に政府保有株式が公開され完全民営化された。USEC は、ロシアからの兵器級ウランをダウブレンドした低濃縮ウラン（メガトン・メガワット計画）\*取り扱いの窓口であった。

\* 1993 年に開始されたこの計画では約 20,000 発の核弾頭を解体し、約 500 トンの HEU を 4.4%濃縮の低濃縮ウラン 1 万 5,259 トンに転換して、2013 年に終了した。

2001 年にはポーツマス施設（オハイオ州）を閉鎖して、パデューカ施設に作業を集中した。同施設は 800 万 SWU/年の処理能力を持っていた。USEC は、2012 年 5 月に契約した DOE の劣化ウラン（9,000 トン）の処理や、TVA と Energy Northwest への低濃縮ウラン（480 トン）の供給を最後の作業として、2013 年 5 月に操業を停止した。

2016 年 9 月、DOE はパデューカ濃縮工場の管理について、ミッド・アメリカ・コンバージョン・サービス（MCS）社と 5 年契約を交わした。

また、パデューカ濃縮工場サイトの修復について、2017 年 5 月 25 日に、修復に関する請負契約を Four Rivers Nuclear Partnership 社\*と締結した。この契約により同社は、同濃縮工場サイトの特性調査と安定化、地下水の浄化等を行っていくこととなる。契約総額の見積もりは約 15 億ドルであり、修復作業は 3 段階に分けて 10 年にわたって実施される予定である。なお同濃縮工場サイトの修復は、核兵器開発や政府から支援を受けた原子力研究による環境遺産（environmental legacy）のクリーンアップを目的とした DOE 環境管理プログラム（DOE

Environmental Management Program) として実施されるものである。

\* CH2M 社を中心として、Fluor 社と BWX テクノロジーズ社のパートナーシップによって運営される合弁会社である。

・ USEC の遠心分離法工場計画

2007年4月、USECは、ポーツマス・サイトの遠心分離法濃縮工場(ACP: American Centrifuge Plant) の建設・運転・一括認可 (COL) を取得し、5月から建設を開始したが、建設コストの大幅上昇による資金難から作業が遅延した。2009年7月に採用する技術が商業運転規模に達していないとの理由で、融資保証申請取り下げを DOE が勧告したため、建設停止に至った。これについて USEC は取り下げを拒否し、2010年7月に申請を再提出した。また東芝-バブコック & ウィルコックス (B&W) からの合計2億ドルの出資契約を締結した。しかし、2013年12月に USEC は、2014年早々に破産申し立てを行うと発表し、2014年3月5日にデラウェア管区連邦破産裁判所に破産申請を行い、連邦破産法第11条の財政再建計画を提出した。東芝と B&W は、それぞれ2,000万ドルの負債を継承し、新会社の8%の普通株を取得する条件を承諾した。同年9月30日、新会社「セントラス・エナジー」(Centrus Energy Corp) として再スタートし、同社が ACP の建設を目指すこととなった。

また、2012年6月に USEC は DOE と3.5億ドルの共同研究・開発・実証 (RD&D) プログラムの80%を DOE が負担する協約を締結した。これによると2013年末までの政府負担は2億5,700万ドルとなった。

・ ウレンコ社の濃縮工場

2006年、LES (Louisiana Energy Services) \*1は、ユーニス (Eunice) のウレンコ USA 工場 (URENCO USA Facility) の COL を取得し、2010年6月10日に NRC から商業運転の許可を取得した。電力会社が株式をウレンコ社に譲渡したので、LES はウレンコ社の子会社となっている。2012年8月に210万 SWU/年の第2期が新型遠心分離器の稼働で開始した (ライセンスの下りにいる370万 SWU/年は2014年4月に達成)。更に第3期を2015年に開始した。470万 SWU/年を目標とし、2017年までに40億ドルを投じて570万 SWU/年に増強する予定であるとしていた\*2。

\*1 ウレンコ社、エクセロン社、デューク・パワー社、エンタジー社、ウェスチングハウス社の共同体である。

\*2 2012年11月、ウレンコ社は NRC に、処理能力を最終的に1,000万 SWU/年に拡大する認可修正の申請を行い、2015年3月末に NRC は許認可修正を承認した。

・ イーグル・ロック濃縮工場計画 (EREF : Eagle Rock Enrichment Facility)

同計画は、処理能力が330万 SWU/年の施設を、INL 近くのアイダホ・フォールズ (Idaho Falls) に工費20億ドルで建設するというものである。2010年5月20日、DOE は、アレバ社 (当時) が建設を計画しているイーグル・ロック濃縮工場 (EREF : Eagle Rock Enrichment Facility) 計画へ、20億ドルの条件付融資保証を付与した。ACP への融資保証が難航し、アレバ社にスムーズに保証が付いた理由は、アレバ社の技術がすでに30年間使用されていたためである。また、この保証の条件は、同保証が最終決定される前に、NRC から COL を取得することであるとされ、2011年10月12日に NRC が EREF に対して COL を発給した。アレバ社は

2011年12月13日に施設建設開始を一時見合わせることを発表したが、2014年に運用を開始した。

・GE 日立の SILEX 法レーザーウラン濃縮工場建設計画

2006年にオーストラリアの Silex と GE は連邦政府の認可を受けて、SILEX (Separation of Isotopes by Laser Excitation) 法の開発を開始した。GE 日立が 2007年7月、ウィルミントンのグローバル・ニュークリア・フュエル (GNF : Global Nuclear Fuel) 燃料製造施設で研究・開発を行うため、認可の修正を NRC に求め、2008年5月12日に承認された。これを受け、GE 日立グローバル・レーザー・エンリッチメント (GLE : Global Laser Enrichment) はベンチスケールテストを行っていた。更に 2009年6月26日、ウィルミントンにフルスケール・レーザー濃縮施設を建設する許可を申請した。

2009年1月30日に環境報告 (ER) を提出し、2012年2月28日、NRC は最終環境影響評価 (EIS) を公刊した。その間、2010年6月29日、米国物理学会 (APS) は小型で効率の高い燃料製造過程を可能にするという恐れから、NRC の認可規則に核拡散リスク評価を加えるよう誓願した。下院議員有志も 6月30日、NRC のヤツコ委員長 (当時) に同趣旨の書簡を送ったが、2012年7月の NRC-原子力安全許認可会議 (ASLB) の審議を経て、同年9月25日、NRC は最大 600 万 SWU/年設備の COL を発行した。

2007年10月、エクセロン社とエンタジー社は、GE 日立とウラン濃縮契約の基本合意書に署名し、更に必要があれば GLE 商業規模開発を支援するとした。2010年8月、TVA も GLE から 4 億ドルのウラン濃縮役務購入に合意した。2010年4月、GNF で実施していたテストループ第一期は成功裏に完成し、経済的実現可能性が確認されたため、商業化に向けた開発を進めると発表した。2年以内に 600 万 SWU/年 8%濃縮での操業が可能であり、2020年には能力倍増による GLE の拡大が可能であるが、2014年8月、GLE は低調な市場状況を反映し活動を減速したと述べた。

2013年まで運転されていたパデューカ気体拡散法濃縮施設に、GE 日立はレーザー濃縮施設 (Paducah Laser Enrichment Facility PLEF) 建設を申請した (2013年2月)。2013年11月、DOE はこの申請を受けて、貯蔵 DUF<sub>6</sub> の売却とその処理について、パデューカ施設の使用とリースの交渉を GLE と行うと発表した。

Silex は、2018年6月12日、GLE の株式取得を断念することを明らかにした。Silex は 76% の GLE 株式取得を目指して GE 日立と交渉中であったが、Silex の理事会はビジネス上のリスク\*が過大であると判断したという。Silex は 2016年に署名した契約の解除について既に GE 日立に通知しており、これにより GLE に対する Silex の拠出義務が終了した。また、2013年に署名された技術・商用ライセンス契約に基づく技術ライセンス提供に関しても、GLE に終了を通知する予定であるという。この決定により Silex は米国から撤退することとなるが、今後は他国との商業化協力を模索していくとしている。

\* Silex は、2011年の福島第一原子力発電所事故以降の世界的な核燃料市場の衰退、および GLE の組織再編やキャッシュバーン (資本燃焼) にかかわる未解決問題を、理由として挙げている。

・オークリッジにおけるウラン加工施設建設計画

2018年3月23日、DOEは、国家核安全保障局（NNSA）によるウラン加工施設（UPF）計画のうち、主要加工施設（Main Process Building）、回収・責任施設（Salvage & Accountability Building）および加工補助施設（Process Support Facilities）の主要3施設の建設開始を承認した。テネシー州オークリッジにある Y-12 国家安全保障複合施設（Y-12 National Security Complex）に建設されるこの UPF は、冷戦初期に建設された施設に替わって高濃縮ウラン（HEU）の加工を行う、より現代的で安全かつ効率的な施設である。NNSA は 2025 年末までの UPF 建設完了を目指している。

## 再転換

### ・ポーツマスとパデューカ

DOE が貯蔵している  $\text{DUF}_6$  は、オハイオ州ポーツマスおよびケンタッキー州パデューカで過去 60 年にわたり操業していた、核兵器・核燃料製造のためのガス拡散法ウラン濃縮工場\*1からの副産物であり、総量は 80 万トン近くに及ぶ\*2。

\*1 ポーツマス工場は 2001 年に、パデューカ工場は 2013 年に操業を停止している。

\*2 ポーツマスに 25 万トン（さらにオークリッジから 7 万 5,000 トン）、パデューカに 44 万トンの  $\text{DUF}_6$  が貯蔵されている。

2002 年、UDS（Uranium Disposition Services）\*が、DOE からの 5 億 5,800 万ドルの契約で、ポーツマスとパデューカにアレバ社の技術による再転換施設の建設を開始した。2010 年にポーツマス施設（処理能力 1 万 3,500 トン/年）、2011 年にパデューカ施設（処理能力 1 万 8,000 トン/年）が完成した。なお 2010 年 12 月から 5 年間の両施設の運営契約について、B&W（Babcock & Wilcox Conversion Services）が DOE から 4 億 2,800 万ドルで獲得した。

\* アレバ社（当時）と Energy Solutions 社、Burns & Roe 社の共同企業体である。なおアレバ社は 2016～2017 年にかけて、同社の原子炉事業と燃料サイクル事業を分離させており、原子炉製造事業は 2018 年 1 月にフラマトム（Framatome）社へと、燃料サイクル事業は 2018 年 1 月にオラノ（Orano）社へと名称を変更している。

また、2016 年 9 月にパデューカおよびポーツマスの  $\text{DUF}_6$  再転換工場の操業、ならびにポーツマスにある  $\text{DUF}_6$  の保管用シリンダー置き場及びパデューカにあるウラン濃縮工場の管理について、DOE はミッド・アメリカ・コンバージョン・サービス（MCS）社\*と 5 年契約を交わした。その後 2017 年 2 月 6 日、MCS 社は、 $\text{DUF}_6$  再転換工場の運転認可が DOE から下りたと発表した。

\* WH 社、Atkins 社、Fluor 社による合弁会社。

2019 年 1 月 25 日、ポーツマスおよびパデューカの  $\text{DUF}_6$  転換工場の 7 つの生産ラインが全て稼働したことにより、DOE 環境管理局（EM）が 2018 年 10～12 月の 3 か月で 5,110 トンの  $\text{DUF}_6$  転換を達成したことが明らかになった。この転換量は 2019 会計年度の年間目標である 9,000 トンの半分以上に達する。ポーツマスの  $\text{DUF}_6$  の転換については 18 年、パデューカの  $\text{DUF}_6$  の転換については 30 年以内の完了が予想されている。

### ・テイルウラン処理施設

INIS（International Isotopes）は、ウレンコ濃縮工場に近いホップスに、同濃縮工場から出るテイルの処理を目的とした処理能力 3,600t/年（当初予定）の施設を建設する計画の下、2011

年 8 月にニューメキシコ州から 640 エーカーの土地の権利を取得し、2012 年 10 月には NRC から建設および運転認可を取得した。建設計画は 2013 年 8 月に資金難を理由として一時停止されたものの、INIS は資金 7,500 万ドルを調達し、2014 年からの操業開始を予定していた。しかし、原子力産業の低迷を理由に 2014 年半ばに計画の保留を決定した。

## 燃料製造

### ・ MOX燃料

DOEのR.ペリー長官は、2018年5月10日付で上下両院の委員会委員長宛に送付した書簡において、サバンナリバー・サイトで建設中のMOX燃料製造施設（MFFF：MOX Fuel Fabrication Facility）\*1の建設計画を事実上中止したことを明らかにした。この書簡においてペリー長官は、MFFFの建設を中止するため、2018会計年度の国防権限法（National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2018）に定められている適用除外（waiver）の権限を行使しようとしていることを明らかにしている。またペリー長官は、MOX燃料へと加工する予定であったプルトニウムの扱いについて、DOEとしては希釈処分（dilute and dispose）を行う可能性を模索していく意向であることを明らかにした\*2。希釈処分を行う場合には、MFFFにおいてプルトニウムの希釈を行い、その後、廃棄物隔離パイロットプラント（WIPP）において処分を行うことになるという。

そして、10月10日、国家核安全保障局（NNSA）は、MFFFについて、建設事業者に対し契約終了を通告した。今回の通告についてNNSAは、2018年5月にDOE長官が議会の国防関連委員会に提出していた証明書や、契約終了プロセスを開始する部分的作業停止命令に続く措置であるとしている。また、建設中止に伴う労働者や周辺コミュニティ、サウスカロライナ州への短期的影響の軽減支援を行うと述べている。その後2018年11月1日に、MOXサービス社はNRCに対し建設許可の終了を要請する文書を提出していたした。

\*1 MFFFは、余剰兵器級プルトニウムの処分に関するロシアとの合意（2000年）の一部として、兵器級プルトニウム（米露それぞれ34トン）をMOX燃料に加工する目的で2007年に建設が開始されたものであり、当初は2016年に操業を開始する予定であった。MFFFは、工事の約70%が完了した状態である。2012年には政府監査院（Government Accountability Office）から、2019年までの開始は困難であること、および当初見積の49億ドルを上回る77億ドル以上のコストがかかることが指摘されていた。また、NNSAによるプルトニウム処分戦略の見直しもあり、予算額も段階的に削減されていた。一方、原子力規制委員会（NRC）は2014年に、建設事業者のショー・アレバMOXサービス（Shaw Areva MOX services）に対し、2015年までとされていた建設認可を2025年まで延長していた。

\*2 DOEの費用見積によると、プルトニウムについて、希釈処分を行うことにした場合に処分完了までに今後掛かる費用は199億ドルである一方、MOX燃料へ加工することにした場合には、処分完了までに今後掛かる費用は494億ドルである。

2019年2月13日、NRCは、MFFF建設許可の終了要請について、承認したことを明らかにした。NRCの規則において、施設の許認可プロセスは建設許可と核物質所有・使用のための許可の2種により構成される。MFFFは、建設許可を2005年に取得したものの、建設完了後に発給される核物質所有・使用のための許可は有していない。建設許可の終了には環境アセスメントが必要となるが、NRCによればMFFFの建設が完了しておらず核物質も持ち込まれていないため、環境ア

セメントは不要であるという。また、廃止措置も不要であるため、サイトは利用制限なく開放されるとしている。

・供給契約

2018年5月22日、グローバル・ニュークリア・フュエル（GNF：Global Nuclear Fuel）社は、エンタジー・ニュークリア社と、BWR用の燃料供給継続の長期契約を締結したと発表した。同契約は、契約額が2億5,000万ドルであり、2019～2031年にかけて実施され、10回のGNF3\*の装荷が含まれるという。GNF3の先行燃料集合体は、米国のいくつかの原子力発電所で使用されており、その中にはエンタジー社のリバーベンド原子力発電所も含まれている。GNF3は、2019年にリバーベンド原子力発電所に装荷され、2020年にはグランドガルフ原子力発電所にも装荷予定とのことである。

\* GNF製燃料GNF2を進化させたものであり、同社によると、燃料サイクルの経済性の改善、パフォーマンスの向上、柔軟性のある運転を顧客に提供できるという。なおGNF3は、米国内の3つの原子力発電所で設計通りに運転した後、2017年5月にNRCの新型燃料製造導入の承認過程を完了していた。

・先進炉向け燃料

2017年9月6日、X エナジー（X-energy）社\*1とセントラス・エナジー（Centrus Energy）社\*2は、先進炉用の燃料製造に向けた協力を模索するためのMOUに両社が署名したことを明らかにした。このMOUの下で両社は、X エナジー社の三重被覆（TRISO：tristructuralisotropic）燃料技術を市場展開していくための計画を共同で策定し、高度に自動化された燃料製造ラインを設計するとともに、将来において燃料製造施設を商業化するための資金調達方法を模索していくこととなる。

その後、2018年3月に両社は工場の概念設計に関する事前契約を締結し、同年11月29日に両社は新しいサービス契約を締結した。同サービス契約は、X エナジー社が開発中の小型のペブルベッド型高温ガス炉（Xe-100）に装荷されるTRISO燃料の製造加工工場の予備設計を進めるためのものである。この契約に基づきセントラス・エナジー社は、X エナジー社のTRISO燃料の製造工場の予備設計を支援するための専門的知識と資源を提供するとともに、施設の許認可取得に向けた初期作業の他、詳細な原子力臨界安全性の解析、インフラの設計等に関する支援も行うとしている。

\*1 先進炉の設計等を行う企業。ペブルベッド型の高温ガス炉であるXe-100（熱出力20万kW、電気出力7万6,000kW）の開発等を行っている。

\*2 商業炉用の濃縮ウランのサプライヤー。

また2017年9月6日には、ライトブリッジ社とAreva Inc.（アレバNP社（当時）の米国法人／現フラマトム社\*1）が、新たな合弁会社を設立するための基本合意書に署名した。これは、ライトブリッジ社の先進金属燃料技術（advanced metallic fuel technology）\*2等を使用した燃料集合体の開発、製造、商業化を目的としたものである\*3。この燃料集合体（金属燃料）の対象は、PWR（ロシア製のVVERを除く）、BWR、軽水炉技術に基づいた小型炉と中型炉、および研究炉である。この基本合意に基づき、両社は2018年1月25日に、合弁会社としてエンフィッション（Enfission）社を設立したと発表した（出資比率は折半）。この合弁会社は、デラウェア州を拠点とした有限責任会社であり、ライトブリッジ社が設計した金属燃料技術およびその

他の先進燃料に関する知的財産に基づいた燃料集合体について、開発や販売等を行う。

- \*1 アレバ社（当時）の原子炉事業部門。2017年にNew NP社（アレバNP社の子会社）として発足し、2018年1月にフラマトム社に社名変更。
- \*2 ライトブリッジ社によると、同社の金属燃料を軽水炉に使用する場合、電気出力を10%増加させながら燃料交換のサイクルを24か月以上に延長することが可能であり、燃料交換のサイクルを（従来の燃料と同じく）18か月に設定する場合には電気出力を最大17%増加させることができるという。
- \*3 2016年11月2日、ライトブリッジ社とアレバNP社（当時、現フラマトム社）は、この合併会社の設立に係る条件規定書（term sheet）に署名している。

なお軽水炉用の金属燃料技術の開発に関しては、2017年11月15日に、ライトブリッジ社とアレバNP社（当時、現フラマトム社）は、拘束力のある3つの協定\*に署名した。この3つの協定により、両社が共同で行う研究開発活動、および知的財産の所有の在り方が規定されることとなる。このうち既存の知的財産（金属燃料技術についてライトブリッジ社が所有する既存の知的財産）については、ライトブリッジ社に対してロイヤルティを支払うことにより、使用権がアレバNP社に付与されることとなる。一方、将来における燃料の共同開発により産み出される新たな知的財産については、両社が所有権を折半する（各社が50%ずつ所有する）という。

- \* 研究開発業務協定（Research and Development Services Agreement）、共同所有協定（Co-Ownership Agreement）、および知的財産補則（Intellectual Property Annex）。なお2017年9月に両社が合併企業設立で合意した際に、知的所有権等について追加の契約に署名する予定であることを明らかにしていた。

#### ・事故耐性燃料（ATF）

2018年4月19日、原子力エネルギー協会（NEI）は、開発中の事故耐性燃料（ATF：Accident Tolerant Fuel）について、ATFの開発に関わっている全てのステークホルダー（企業等の関係機関）の間で、2023年までに利用可能とすることが重要であると意見が一致した。NEIによると米国において運転されている半分以上の原子力発電所の運転免許は2030年代半ばに期限切れを迎えることとなっており、2020年代半ばまでにATFが利用可能になった場合には、これらの原子力発電所の運転免許の更新を予定している事業者は、ATFの経済性を享受することができるという。そのため燃料業界では、2023～2026年までにATFを大規模に市場展開することが重要であるとの考えが共有されている。

DOEは、グローバル・ニュークリア・フュエル（GNF）社\*1、フラマトム社、およびWH社と協力し、2025年までにATFの商業化を目指している。

DOEの原子力エネルギー局（NE）は、フラマトム社製のATFについて、INLに設置された新型試験炉（ATR：Advanced Test Reactor）\*2において試験を実施中であることを、2018年6月15日に明らかにした。フラマトム社は、クロムコーティングの施された被覆管（chromium-coated cladding）、および酸化クロムを添加した燃料ペレット（chromia-doped fuel pellets）という2点の新たな概念に関する試験を行っている。この試験は、INLにおいて2021年1月までに実施される予定である。なお、これらの試験によって取得されるデータは、NRCが同燃料の認定審査を行う際に活用される予定であるという。

\*1 GE社主導の合併会社。

\*2 燃料サンプルを急速に劣化させることができるほか、中性子による数十年分の燃料損傷と同等の損傷を数か月で生じさせることが可能である。

2018年10月25日、GE社は、先進的燃料棒技術の研究開発について、3,370万ドルの研究プロジェクトをDOEから獲得したことを明らかにした。2年半にわたり実施されるこのプロジェクトは、通常運転時・事故時どちらの条件においても強健で高い性能を示す先進的燃料棒技術の開発を目指している。GE社のグローバル研究センター（Global Research Center）が主導する同プロジェクトでは、GNF社が開発中の燃料被覆材IronClad<sup>\*1</sup>およびARMORコーティング技術について研究が促進されるという。また、GE社の航空機事業からセラミックス基複合材料（CMCs: Ceramic matrix composites）技術が活用されるとしている<sup>\*2</sup>。このプロジェクトには、国立研究所3機関<sup>\*3</sup>が参加し、エクセロン（Exelon）社、サザン・カンパニー（Southern Company）も協力している。

\*1 最先端の燃料被覆材であるジルカロイよりも更に高い耐久性を持つとされる。

\*2 ジェットエンジンにも用いられる高耐熱性材料。今回のプロジェクトでは、燃料棒を囲むチャンネル・ボックスへの適用が検討される。

\*3 INL、オークリッジ国立研究所（ORNL）、ロスアラモス国立研究所（LANL）。

2019年1月には、フラマトム社とWH社が、DOEからの資金提供について相次いで公表した。2019年1月15日、フラマトム社は、改良型事故耐性燃料（EATF）<sup>\*</sup>の開発および商品化を加速するために、DOEより4,900万ドルの補助金を受け取ったと発表した（期間は28か月）。フラマトム社が開発中のEATFは、クロム合金の酸化皮膜を使った燃料ペレットの概念とクロムをコーティングした被覆管の概念に基づいたものである。特にクロムのコーティングは、フラマトム社がDOEの「改良型事故耐性燃料開発プログラム（EATF）」の一環として数年間にわたり開発中のATF設計であり、DOEは2025年までにATFの商業化を目指しているある。

\* これらのEATF設計は、原子力発電所における通常運転中の性能を向上させるとともに、冷却機能が喪失した場合に対応するための時間をより多くオペレータに提供するという。2016年にもフラマトム社はDOEより1,000万ドル（2年間）の補助金を受けている。

また、2019年1月18日にWH社は、同社が開発を進めているATFプログラム（Encore燃料）に関して、DOEより9,360万ドルの資金提供を受けたと発表した。Encore燃料プログラムの第一段階では、腐食耐性を向上させるためにクロムでコーティングしたジルコニウム製の被覆管や、経済性を改善した高密度の燃料ペレット「ADOPT」を開発する。第二段階ではより高い安全性と経済性を提供するために、金属被覆材に炭化ケイ素の混合材料を使用し、また高密度のシリサイド燃料ペレットを導入する。今回の資金提供により、Encoreの鉛試験用燃料棒が含まれている最初の燃料集合体の装荷作業（2019年春にバイロン原子力発電所2号機で予定）が実施されることになる。

## <英国>

### ウラン資源

英国では、ウランの転換・濃縮・燃料製造を国内で行っている。ウラン採掘に関しては、国内にウラン資源が乏しいため輸入に頼っている。

ウラン探査活動は、1945～1951年、1957～1960年、1968～1982年の期間に組織的に行われたことがあるが、（事業として確立する程度の量の）埋蔵資源は見つかっていない。

## 転換

スプリングフィールドズ (Springfields) サイトで、ウラン精鉱が六フッ化ウランへ転換されている。一年当たりの生産能力は、約 5,000 トン (設計値で 6,000 トン)。

## 濃縮

カーペンハースト (Capenhurst) サイトでウラン濃縮が行われている。同サイトでは、3 棟の濃縮工場 (E22、E23、A3) が操業しており、英国ウレンコ社が管理をしている。ウラン濃縮の方法は遠心分離式を採用し、年間 110 万 SWU を濃縮している。

2018 年 7 月 4 日、ウレンコ社は、EDF と新たなウラン濃縮に係る長期契約を結んだと発表した。同契約の下、フランス国内の原子炉から出る使用済み燃料から回収されたウランのリサイクルを支援するためにウレンコ社は EDF へウラン濃縮サービスの提供を行うとしている。

## 劣化ウラン管理施設

英国ウレンコ社が劣化ウラン管理施設 (TMF : Tails Management Facility) \* をカーペンハーストに建設中である。2009 年に英国ウレンコ社の理事会は、2015 年末での操業開始を目標として TMF の建設を承認していたが、その後 2017 年前半へと変更され、2017 年 8 月には 2018 年に遅れると発表していた。その後、2018 年 8 月 7 日のプレスリリースにて、TMF の試運転を開始したこと並びに 2019 年の運転開始を見込んでいることを発表した。なおウレンコグループは、2017 年上半期において 1 億 5,120 万ユーロ (1 億 7,950 万ドル) の投資をしており、そのうち 71% が TMF に関連した投資であるという。

\* 劣化六フッ化ウランの処理管理施設。

## 燃料製造

AGR と輸出用の PWR 向けの燃料製造が、スプリングフィールドズサイトで行われている。マグノックス燃料も、同様にスプリングフィールドズで製造されていたが、GCR 炉の廃炉計画に伴い 2008 年 5 月に製造を終了した。

### ・ MOX 燃料製造

輸出のための MOX 燃料製造は、セラフィールドの MOX 燃料工場\*で行われていた。同工場は 2001 年に操業が開始されたが、2011 年 3 月に起こった福島事故を受け、同年 8 月 3 日に運営者の NDA が同工場の閉鎖を発表した。

\* 設計上の製造能力は、当初、年に 120 トンであったが、後に 40 トンへと変更。また 2010 年までの 9 年間の運転で製造された燃料は 15 トンであった。

一方で 2011 年 12 月 1 日、英国政府は、使用済み燃料は MOX 燃料として利用するのが最適であるとして、MOX 燃料工場の新設を発表し、2019 年着工、2025 年の運転開始を見込んでいる。

### ・ 先進炉向け燃料製造

国立原子力研究所 (NNL) とウッド (Wood) 社が、BEIS と先進炉用核燃料研究に関する 3

年契約を締結したことが、2018年8月8日に明らかになった。この契約に基づき、英国のモデリング・シミュレーション技術に基づいた原子炉物理性能を提供するために必要な研究開発推進、英国内における先進核燃料の設計・認可・製造支援が行われる。今回の契約は、各種先進炉\*およびそれぞれの核燃料における原子炉物理学・熱水力学・燃料のふるまいをカバーする分析手法の開発に焦点を当てている。

\* 先進型水冷却炉(advanced water-cooled reactors)、高温ガス炉(high-temperature gas reactors)、液体金属高速炉(liquid metal fast reactors)等。

#### ・事故耐性燃料(ATF)製造

NNLは、事故耐性燃料の開発について、マンチェスター大学とともにエネルギー・気候変動省(DECC、現BEIS)から総額250万ポンド(390万ドル)の支援を得ることになったと2015年8月に発表した。>NNLは150万ポンド(230万ドル)の支援を受けて、六フッ化ウランとシリコンの反応等に関する研究を行うための機器を設置し、マンチェスター大学は100万ポンドの支援を受けて、燃料の熱耐性を改善するための改良型セラミック被覆管の研究を行う予定である。

## <フランス>

フランスにおける核燃料サイクル部門は、2018年からオラノ(Orano)社が担当し、ウランの採鉱、転換、濃縮、成型加工から再処理までを一貫して行っている。

福島事故以来経営危機に陥ったアレバ社(当時)は2016~2017年にかけて、同社の原子炉事業(アレバNP社を経てNewNP社)と燃料サイクル事業(ニューアレバ社を経てNewCo社)を子会社として分離させており、NewNP社は2018年1月にフラマトム(Framatome)社へと、NewCo社は2018年1月にオラノ社へと名称を変更している。

## ウラン資源

フランスの原子力発電に必要なウランは、オラノ社所有の鉱山からでは賄いきれないため、オーストラリアやカザフスタン、ロシア等と長期契約を結び輸入している。

## 転換

### (1)八酸化ウラン( $U_3O_8$ )から六フッ化ウラン( $UF_6$ )への転換

アレバNC社(当時)の子会社のコミュレックス(Comhurex)社が1963年から事業を展開していたが、コミュレックス社が廃業した2014年以降はアレバ社が実施していた。 $U_3O_8$ は、マルベシ(Malvesi)工場\*で $UF_4$ に転換された後、ピエールラット(Pierrelatte)工場(Comurhex I)で $UF_4$ から $UF_6$ に転換されていた。Comurhex Iは、2017年12月31日に恒久停止した。

\* 2007年、マルベシ工場等のリノベーション等が決定している(コミュレックスIIプロジェクト)。

### (2) $UF_6$ から酸化ウラン( $UO_2$ )への転換

アレバ社の子会社であるFBFC社により、ロマン(Romans)工場で $UF_6$ が $UO_2$ に再転換されていた。また、ドイツのリンゲン工場(Lingen)や米国のリッチランド工場(Richland Fuel)

でも転換事業が実施されている。

### 濃縮

1979年から、トリカスタンのジョルジュ・ベス工場でUF<sub>6</sub>の濃縮が行われていた。2011年4月にジョルジュ・ベスII (Georges BesseII) \*が稼働を開始した。ジョルジュ・ベスIIは、2016年に750万SWU/年のフル生産に達している。なおジョルジュ・ベス工場は、ジョルジュ・ベスIIの稼働に伴い、2012年6月7日に恒久停止となった。

\* 遠心分離法を使用している。この方法は従来の気体拡散法施設と比べて電力使用量は50分の1に、また冷却水も大幅に削減することができる。

また、EDF社は、ロシアのテネックス (TENEX) 社と2018年5月25日に、再処理ウラン (回収ウラン) のリサイクル (濃縮) に関する長期契約を締結した。EDF社がフランス国内の使用済み燃料から生産した再処理ウラン (回収ウラン) のリサイクル (濃縮) について、テネックス社が技術と経験を提供することとなる。なお、この契約内容は2022～2032年に履行される予定であるという。

### 燃料製造 (成型加工)

アレバ社 (当時) の燃料製造に関連した工場は、フランス (ピエールラット、ロマン) の他、ベルギー (デッセル)、ドイツ (カールシュタイン、リンゲン)、米国 (リッチランド) に合計6サイトがある。

### 再処理

フランスでは、バックエンド戦略として当初から、使用済み燃料の再処理を含むクローズドサイクル方式 (全量再処理オプション) を採用している。フランスにおける再処理は、1958年にCEAがマルクルの再処理工場において、黒鉛炉燃料再処理により軍用プルトニウムの生産を開始したのが最初である (この施設は1997年に恒久停止している)。

使用済み燃料は、各原子炉の使用済み燃料プールで短期間保管された後ラ・アージュ (La Hague) 再処理工場の燃料プールへと送られ、3～5年貯蔵された後に処理される。ラ・アージュ再処理工場は、フランス国内だけでなく、外国からの使用済み燃料の再処理も行っている。

再処理によって取り出されたプルトニウムは、メロックス (MÉLOX) 工場へ運ばれ、MOX燃料製造のための材料となる。再処理によって取り出されたウラン (硝酸ウラニル) はピエールラットに運ばれ、コミュレックス工場でU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>に転換される。

オラノ社とウクライナの国営原子力会社エネルゴアトム (EnergoAtom) 社は、2018年5月3日に使用済み燃料の再処理に関する契約を締結した。この契約は、ウクライナが所有するVVER-1000型炉の使用済み燃料を、オラノ社のラ・アージュ (La Hague) 再処理工場処理するにあたって、その実行可能性を評価するものであるという。

### 燃料開発

CEA は、2016 年 1 月にクロム・コーティング・ジルコニウム・ベース被覆管\*の高温（600～1,000 度）蒸気中におけるスウェリング開裂テストを実施した。通常の条件下の安定性を維持しながら、事故時の被覆管の頑健性改善に有望な結果を出したとしている。

\* CEA 原子力エネルギー研究部門（CEA-DEN）が 10 年来開発を進めてきた材料である。近年は EDF やアレバ社（当時）とも開発協力を行っている。

また、フラマトム社は、既存の合金製燃料被覆材にクロムをコーティングする事故耐性燃料（ATF）の技術を開発中である。クロムコーティングは高温時の燃料の酸化耐性を改善するとともに、事故の状況下における水素発生量を削減、通常運転時の摩耗耐性なども向上させることができるという。この燃料開発は、米国エネルギー省（DOE）が 2012 年に開始した「改良型 ATF 開発プログラム（EATF）」の下で行われている。フラマトム社はこの技術を 2023 年にも展開していくことを目指している。（詳細は、米国の 3.2 フロントエンドに記述）

## <ドイツ>

### ウラン資源

2017 年 1 月時点で、1kg 当たり 260 ドル以下で採掘できる発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は 7,000tU である。

## <EU>

現在、EU の 5 つの加盟国（ブルガリア、チェコ、フィンランド、ハンガリー、およびスロバキア）で計 18 基のロシア製の原子炉（VVER）が稼働しており、燃料はロシアからの供給に 100% 依存している。そのため、EU 域内のエネルギーセキュリティ上の懸念が指摘され、燃料供給の多角化を図る動きがある。2015 年 6 月 29 日に EU は、ウェスチングハウス（WH）社および同社の欧州地域における 8 つの欧州企業（欧州コンソーシアム・パートナーズ）に対して、ホライズン 2020 に基づき 200 万ユーロの資金援助をすることを決定した。資金は、ユーラトム計画から支出する。

2017 年 5 月 30 日に WH 社は、欧州安全核燃料供給（ESSANUF : European Supply of Safe Nuclear Fuel）プロジェクト\*に参画する 8 つの欧州企業とともに、EU 加盟国で運転している VVER-440 用の燃料の概念設計を承認したことを明らかにした。WH 社によるとこの設計は、同社が 2001～2007 年にフィンランドのロビーサ原子力発電所に納品した燃料に基づいたものであるとのことである。

\* 2015 年 9 月に始まったプロジェクトであり、EU 内で運転されているロシア製の VVER-440 について、燃料源の多様化を図るとともに原子力安全基準に完全に準拠した燃料を供給することにより、欧州のエネルギー安全保障を強化することを目的としている。

2018 年 3 月 12 日、WH 社および同社と共にコンソーシアムを構成する欧州の 8 企業は、ESSANUF プロジェクトが成功裡に完了したことを発表した。このコンソーシアムは、VVER-440 用の燃料の概念設計を完了するとともに、VVER-440 用の燃料集合体を製造・輸送するため、どの様にして製造とサプライチェーンの再構築が可能であるかについて定めた。

## <ロシア>

### ウラン資源

2017年1月時点で、1kg当たり260ドル以下で採掘できる発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は65万6,900tUである。

2017年3月27日にアトムレッドメットゾラタ（ARMZ：AtomRedMetZoloto）は、シベリア南部のブリヤート共和国にあるVershinnoyeウラン鉱床の開発を開始したと発表した（ウラン埋蔵量は4,577tU）。同鉱床における初のウラン生産についてARMZは、同社の子会社であるヒアグダ（JSC Khiagda）社が原位置抽出法（ISL：In Situ Leaching）を用いて2018年に行う予定であるとしていたが、続報は不明である。

また、ロスアトム社の子会社であるウラニウム・ワン（Uranium One）は、ウランの国際市場において同社のシェアを拡大することを目指し、2017年9月11日に子会社として商社（Uranium One Trading AG）をスイスに設立したと発表した。

ロシアのザバイカリエ地方における第6鉱山の建設に関し、2018年3月12日に、ロスアトム社はロシア・中国地域開発投資基金（Russia-China Investment Fund for Regional Development）と、第6鉱山の建設に係る投資に関するタームシートに署名をした。同基金は、中国核工業集团公司（CNNC）の代理で署名したものであり、このタームシートの下でCNNCは、地上施設の建設等のために、2018～2019年に25億3,000万ルーブル（4,450万ドル）の投資を行う予定である。同基金を通してCNNCは、第6鉱山の建設に対して161億ルーブル（2億8,300万ドル）の投資\*を行う準備ができているという。なおこの投資の見返りとしてCNNCは、鉱山の建設のためにARMZ社と共に設立するジョイントベンチャーについて株式の49%を取得するとともに、同鉱山から採掘される量の50%（年間600トンのウラン）の供給を受けることを定めたオフテイク契約をARMZとの間で3月下旬に締結した。

\* 2018年3月12日、ロシア・中国地域開発投資基金、ARMZ、およびPIMCU社（Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union）の3者は、ロシアのウラン鉱業に対する投資について、ロシア国外の投資家へ開放することで合意している。この合意を根拠として、CNNCは第6鉱山の開発に対して投資を行うことが可能となっている。同プロジェクトは185億ルーブル（3億2,500万ドル）の費用が掛かる見込みで、ロシアの計画では2023年に操業開始を予定している。

#### ・IAEA燃料バンクに関する動向

2018年9月17日、TENEX社とIAEAは、カザフスタンにあるIAEA燃料バンクへのLEU輸送に関する契約を締結した。この契約によりTENEX社は、同燃料バンク用LEUがロシア国内を通過する際のロジスティクス・サービスを提供することとなる。

### 燃料製造

#### ・加圧水型炉向け燃料

TVEL社は、西側諸国で設計された加圧水型炉を対象とした燃料であるTVS-Kを開発している。2018年時点において、すでに設計を完了しており、2019年3月現在、スウェーデンのリングハルス原子力発電所においてこの燃料を使用した試験運転を行っている。なおTVEL社とバッテンフォール・ニュークリア・フュエル社は、2016年12月にリングハルス原子力発電所に対

して 2021 年から TVS-K を供給することを定めた契約を締結している。

#### ・ MOX 燃料

ゼレノゴルスク（クラスノヤルスク近郊）の鉱業化学コンビナート（MCC）で MOX 燃料の加工施設が建設され、2014 年 9 月 16 日に MOX 燃料を初めて製造したことが発表された\*。製造された MOX 燃料は、ベロヤルスク原子力発電所 4 号機として稼働する高速実証炉 BN-800 で使用されることになる。

\* MCC における産業規模の MOX 燃料製造は、連邦目標計画（FTP）「2010～2015 年と 2020 年までの新世代原子力技術」に基づき実施されたものである。

2018 年 12 月 13 日、TVEL 社は、BN-800 用の MOX 燃料集合体の最初の製造分が受け入れ審査に合格したと発表した。この燃料ペレットは、TVEL 社の施設に蓄積されているウラン酸化物と、使用済み燃料の再処理によって取り出されたプルトニウムとの混合物から製造されたものである。この MOX 燃料ペレットの製造に関する基本技術は、TVEL 社の子会社である A.A. ボチパール全口無機材料研究所（High-technology Research Institute of Inorganic Materials named after Academician A.A. Bochvar）によって開発されたものである。

#### ・ 事故耐性燃料（ATF）

2018 年 12 月 27 日、TVEL 社は、同社のノボシビルスク化学濃縮工場（Novosibirsk Chemical Concentrates Plant）で VVER および PWR 用の 2 つの事故耐性燃料（ATF）の実験用集合体\*1 を製造したことを発表した。これらの ATF の実験用集合体は原子炉科学研究所（RIAR）に運ばれ、2019 年 1 月 28 日に PWR 用 ATF の実験用集合体を RIAR の MIR 研究炉に（試験のため）装荷された。TVEL 社によると、この試験は、設計外事象による過酷事故（severe beyond-design basis accidents）でも耐性のあるロシア製 ATF の開発および市場投入に向けたプロジェクトの一部であるという。原子炉での第一段階の試験と試験後の研究は 2019 年中に完了する予定である。その後、得られたデータに基づき、被覆材料の最適な組み合わせを選択、軽水炉炉心の中性子物理的特性を計算し、検証するとのことである。そして、次の段階では、ATF の実験用集合体の商業炉への装荷が実施されるという\*2。

\*1 実験用燃料集合体は、シェル構造の構成材料および燃料マトリックスの 4 種の異なる組み合わせによる燃料棒から構成されている。燃料ペレットは、密度と熱伝導性を向上させた従来の二酸化ウランもしくはウラン-モリブデン合金からなる。また、燃料被覆管の材料には、クロムメッキを施したジルコニウム合金と、クロム-ニッケル合金が用いられているという。

\*2 TVEL 社による ATF の研究、設計および試験は、A.A.ボチパール全口無機材料研究所（Bochvar High-Technology Scientific Research Institute of Inorganic Materials）が提供、調整している。

#### ・ 次世代炉向け燃料

2016 年 8 月 9 日に公表された 8 月 1 日付政府政令で、ウラン-プルトニウム窒化物燃料製造施設の建設が承認された。2016 年 12 月 13 日、TVEL 社は鉛冷却高速炉用の燃料束の試験に成功したと発表した。ベロヤルスク原子力発電所の高速炉（BN-600）で照射後、安定した状態を保持し、鉛冷却炉である BREST-OD-300 への装荷という次の段階へ進むこととなった。

2018 年 7 月 2 日付の報道によると、RIAR と EDF は、ジルコニウム合金の熱安定性研究を行う契約（期間は 5 年間）に署名をしたという。これは、燃料要素の被覆管に使用されるジルコニウム合金における熱的安定性および変形安定性に対する水素の影響について研究を行うもの

であり、RIAR が所有する BOR-60 高速炉において、ジルコニウム合金でできた実験サンプルに対して照射実験を実施するものである。また、この契約に基づき、EDF と RIAR が実験結果を共同で刊行することが可能であるという。

2019 年 3 月 5 日、ロシアの科学技術大学（MISIS）は、同学の材料工学の専門家らが、高い放射能濃度や機械的ストレスだけではなく、長期間にわたり最高 700 度までの温度に耐えることができる独自の 3 層のバナジウム鋼材を開発したと発表した。同鋼材は高速炉用の燃料集合体に使用可能であり、高速炉のクローズド燃料サイクルを可能にするために必要なものであるという。なお、開発者は、新材料の耐放射線レベルを評価するための長期プロジェクトを開始する準備をしているとのことである。

### その他

2018 年 9 月 6 日、ТВЕL 社は、ウラン濃縮度 5%超の軽水炉燃料に関する IAEA テクニカルミーティングを主催したことを明らかにした。会合では、高濃縮ウラン燃料の利用見込みや製造技術、新たな先進燃料開発における傾向、安全・規制に関する問題が議論された。また、会合と併せ、ТВЕL 社が所有する燃料製造施設の視察も実施された。今回の会合について、出席した IAEA 専門家は「高濃縮燃料は、軽水炉燃料利用を最適化するにあたり可能な選択肢であることはおおむね受け入れられた。この技術は、核燃料サイクルおよび使用済み燃料管理に課せられた現行の規制要件により、更なる制限を受ける可能性がある」と述べている。

## <中国>

### ウラン資源

中国は、①ウラン資源の有効活用、②ウラン採鉱・製錬・濃縮に要する費用の軽減、③放射性廃棄物の安全な処分の観点から、国内でのクローズド燃料サイクル（再処理、FBR開発）路線を推進している。また、急速に拡大する原子炉開発による需要を満たすため、内外からのウラン資源調達に積極的に乗り出している。必要なウラン資源の3分の1は国内で生産し、海外の合弁会社による海外のウラン鉱山から3分の1を獲得し、残りの3分の1は国際市場からの供給で満たすことを目指している。近年は、カザフスタン、ウズベキスタン、オーストラリア、ナミビア、カナダ等からのウラン輸入が増加している。

CNNC は 2005 年、国内でのウラン資源開発を強化すると同時に、輸入も視野に入れることとし、海外での資源開発と輸入の本格化のために 2006 年 12 月に中国核海外ウラン資源開発公司（SinoU）を設立した。また、輸入強化の方針を受け 2006 年 4 月には、オーストラリアとの二国間原子力協力協定および核物質の移転に関する合意が締結され、中国はオーストラリアからウランを輸入することが可能となった。また、中国の中鋼集团公司は 3,000 万オーストラリアドルを投資し、南オーストラリア州クロッカーウェルとマウント・ビクトリアのウラン鉱床を、オーストラリアの PepinNini 社と共同開発、操業することに同意した。

CNNC と CGNPC（当時）は 2007 年 9 月、カザフスタンのカザトムプロム社と、ウラン燃料

をカザフスタンから調達する合意文書に署名した。2008年10月には、両社とカザトムプロム社は原子力協力協定を締結した。さらに2010年12月に、カザトムプロム社は中国へのウラン供給に関する契約を受注している。カザフスタンとは、2015年12月にもカザトムプロム社とCGNが、中国への燃料供給のためカザフスタン国内に燃料工場を建設する契約を締結した。この工場は、カザトムプロム社のウルバ冶金工場（UMZ：Ulba Metallurgical Plant）に建設される予定である。なお、2016年9月2日にUMZと中広核鈾業発展有限公司（CGN Uranium Resources Co., Ltd.）\*が契約を締結し、両社は2016年から2018年までの間に180tUの燃料ペレットを製造することに合意した。

\* 中広核鈾業発展有限公司：2006年8月15日に設立されたCGNの子会社。

また、中国はウズベキスタンとの間でも2010年6月にウラン等の購入に関する協力協定を締結している。

中国とサウジアラビアは、2017年3月16日にウランおよびトリウム資源に関する二国間協力について了解覚書（MOU）に署名した。そして同年5月末には、CNNCがサウジアラビアでの現地調査を完了させて資源探査の対象となる地域を特定している。さらに2017年8月24日、CNNCとサウジアラビアのサウジ地質調査所（SGS）は、ウランとトリウム資源に関する協力強化を目的としたMOUに署名した。鉱山開発の拡大について両者は、協力の第1段階目で達成した成果に基づき、引き続き作業を続けるという。

2018年3月12日、ロスアトム社とロシア・中国地域開発投資基金（Russia-China Investment Fund for Regional Development）は、ロシアのザバイカリエ地方における第6鉱山の建設に係る投資に関するタームシートに署名をした。同基金はCNNCの代理で署名したものであり、このタームシートの下でCNNCは、地上施設の建設等のために2018～2019年において25億3,000万ルーブル（4,450万ドル）の投資を行う予定であるという。同基金を通してCNNCは、第6鉱山の建設に対して161億ルーブル（2億8,300万ドル）の投資\*を行う準備ができているという。なおこの投資の見返りとしてCNNCは、鉱山の建設のためにアトムレッドメットゾラタ（ARMZ）社と共に設立するジョイントベンチャーについて株式の49%を取得するとともに、同鉱山から採掘される量の50%（年間600トンのウラン）の供給を受けることを定めたオフテイク契約をARMZとの間で3月下旬に締結する予定であるとしていた。

\* 2018年3月12日、ロシア・中国地域開発投資基金、ARMZ、およびPIMCU社（Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union）の3者は、ロシアのウラン鈾業に対する投資について、ロシア国外の投資家へ開放することで合意している。この合意を根拠として、CNNCは第6鉱山の開発に対して投資を行うことが可能となっている。同プロジェクトは185億ルーブル（3億2,500万ドル）の費用が掛かる見込みで、ロシアの計画では2023年に操業開始を予定している。

中国は、海外のウラン関連会社の買収にも乗り出している。2009年3月に、CNNCの子会社がカナダのウラン探鉱会社であるウェスタン・プロスペクターの買収について合意に至った。また、同年9月にはオーストラリアのウラン探査会社エナジー・メタルの自社株式70%の公開買付がCGNPCの子会社との間で合意された。2010年にはCGNPCによるナミビアのカラハリ鉱山の6億3,200万ポンドでの買収提案をナミビア側が承認し、鉱山の株式43%をCGNPCが取得した。また、CGNPCの子会社（CGNPCウランリソーシズ）が、ナミビア国営のEpangelo

社とオーストラリアの企業からフッサブ鉱床を買収し、2013年4月頃からフッサブ鉱山の開発を開始した。この鉱山のウラン埋蔵量は2億8,000万トンと推定されており、20年間の採鉱が可能と予測されている。

2014年1月には、CNNCの子会社であるCUC社（China Uranium Corporation Limited）が、オーストラリアのパラディン・エナジー（Paladin Energy）社とナミビアのウラン鉱山に関連した共同企業体の株式25%をCNNCが1億9,000万ドルで取得することに合意した。この合意に基づきCNNCは、ランガー・ハインリッヒ（Langer Heinrich）鉱山におけるウラン産出について、株式保有率に応じた分量を、現在の市場価格で購入できることとなった。

2014年5月に、CGNはウズベキスタンの国営企業ナボイ採鉱精錬コンビナートNMMC（Navoi Mining and Metallurgical Combinat）と、2021年までに総額8億ドル相当のウランの供給をうけることで合意した。

一方で、CNNCとCGNは、ウラン燃料を輸入に頼らず中国の国内で製造することを目指し、鶴山地区の龍湾工業団地でウラン燃料工場を建設する計画\*をしていた。建設予定地である広東省江門市が2013年7月4日に建設計画を発表したが、住民の抗議デモを受け、直後の7月13日に江門市が建設計画を撤回している。

\* 総費用370億元の建設プロジェクトでは、2017年に主な建物を竣工させ、2020年には国内の原子力発電所に対してウラン燃料供給を開始する計画であった。

## 濃縮設備

軍事目的で建設され現在民生利用にも活用されている甘粛省蘭州の「ウラン濃縮プラント（ガス拡散法）」は、旧ソ連の援助により建設されたものである。また陝西省漢中の「遠心分離濃縮施設（年間濃縮容量1,000tSWU）」もロシアとの協力に基づいて建設された。

2013年2月22日に、CNNCは独自に開発したウラン濃縮遠心分離器を産業用として初めて設置したと発表した。これまで原子力発電所用の低濃縮ウランの多くは、欧州のウレンコ社やロシアのTENEX社から輸入していた。また、CNNCは2014年6月に、長年の研究開発を経てウラン濃縮技術の完全国産化に成功したことを発表した。

## 燃料開発・製造

中国では、海外から原子炉技術を導入したために燃料も輸入に頼っていたが、国内での燃料開発が進んでいる。

### ・ AP-1000用の燃料

2017年1月19日、内モンゴル自治区の包頭市に拠点を置く中核包頭核燃料元件股份有限公司（China Baotou Nuclear Fuel Co., Ltd）\*は、AP-1000の燃料製造が可能となる資格証明書を米国のウェスチングハウス（WH）社から取得した。この証明書の取得により、AP-1000の燃料を中国国内で製造することが可能となった。包頭市におけるAP-1000燃料生産ラインは2012年3月に着工し、NNSAが2016年3月にウラン搬入を許可していた。同生産ラインは、年間400トンの燃料製造能力を有している。同年6月16日には、中核北方核燃料元件有限公司が、中国国内初と

なるAP-1000用の燃料要素の生産ラインが完成したことを祝う式典を開催した。

\* CNNCの子会社である中核北方核燃料元件有限公司（China North Nuclear Fuel Co. Ltd）の子会社であり、AP-1000用の燃料を製造することに特化した会社である。

・高温ガス冷却炉（HTGR）用の燃料

中核北方核燃料元件有限公司が有する燃料製造施設において、高温ガス冷却炉（HTGR）用の燃料要素の製造が始まり、2017年7月17日に20万個の燃料要素（球状）が製造されたことが、2017年7月に報道された\*1。この製造施設は、年間30万個の燃料要素を製造する能力を持ち\*2、石島湾サイトに建設中の高温ガス実証炉（HTR-PM）用に燃料を供給することとなる。なお、2011年3月、黒鉛製品等の製造会社であるドイツのSGLグループは、HTR-PMへの燃料装荷を目的として50万個の機械加工済み球状黒鉛（machined graphite spheres）を中国側へ供給することを定めた契約を中国側との間で締結している。

\*1 中国核工業集团公司（CNNC）もウェブページ上において、20万個の燃料要素が製造されたと述べている。

\*2 中国科学技術部もそのウェブページ上において、燃料要素の製造能力が年間30万個であると述べている。

・CANDU炉の燃料

中国は、カナダと共同でCANDU炉の燃料開発にも着手している。秦山III原子力発電所（CANDU炉）を運転する秦山第三核電有限公司（TQNPC）など3社はカナダ原子力公社（AECL）と共に、中国国内の使用済み燃料から回収したウランをCANDU炉で再利用を可能とする核燃料の共同開発を進めている。これにより、2020年までに建設が予定される軽水炉の使用済み燃料からウランを回収することで、1,700万kW相当のCANDU炉用燃料が確保できるとされる。この新燃料は2010年3月に初めて秦山III原子力発電所1号機に装荷された。さらにこの4社との間では2009年7月、トリウムをCANDU炉で利用することに関しても協力して開発や実証、商業的・技術的なフェージビリティスタディを行う旨の合意がなされた。

2014年11月8日に、中国とカナダの両首相は、両国による新たな市場の共同開拓、CANDU技術やトリウムを用いた代替燃料サイクルを共同開発する了解覚書を締結した。また、CNNCとCANDUエナジー社が燃料開発において協力することで合意し、中国におけるAFCR（Advanced Fuel CANDU Reactor）建設計画に共同で取り組むとともに、この技術を国際展開させる機会を模索していくこととした。

・CAP-1400用の燃料

国家核電技術公司（SNPTC）がCAP-1400用のプロトタイプ燃料集合体の製造を2015年12月に完了させた。今後は燃料の性能についての実証試験が行われることとなる。この燃料集合体（長さ約4m）は上海核工程研究設計院（SNERDI）が設計したもので、新たに開発されたジルコニウム合金が用いられている点の特徴である。SNPTCによると、この燃料集合体は中国国内および国際的な最新の規制や基準を満たすものであり、また完全に中国独自の技術により開発されたとのことである。

・華龍一号用の燃料

CNNCは、華龍一号に用いる燃料集合体CF3（China Fuel 3）を開発している。CF3は、四川

省宜賓市にあるCNNCのPWR用燃料製造工場において、カザフスタンのウルバ冶金工場製の燃料ペレットを使用して製造されている。

2016年1月29日に最初の照射試験を完了したと発表した。この試験は、CNNCの秦山III原子力発電所2号機の炉心に装荷して実施された。

2019年3月21日、CF3について長期間の照射試験が完了したことが明らかになった。2014年に秦山III原子力発電所2号機（CNP-600）に4つのCF3が装荷され、それぞれの燃料サイクルの間中にプールサイド検査が行われた。CNNCは、試験結果によりCF3の設計性能が国際基準を満たしていることが示されたとしている。

#### ・事故耐性燃料（ATF）

2019年1月22日、中国広核集团有限公司（CGN）は、実証用事故耐性燃料棒への照射試験を開始したと発表した\*。これは中国が開発した事故耐性燃料（ATF）として初めての照射になるという。CGNによると、同社が開発したATFである「2SF PI-A」の燃料棒が、1月20日に中国工程物理研究院（Institute of Nuclear Physics and Chemistry, the China Academy of Engineering Physics）ならびに中国広東省原子力研究所（China Guangdong Nuclear Research Institute）の監督下で研究炉へ装荷されたという。CGNは、ATF構成要素について5年以内に商業炉の適用要件を満たすよう努めるという。

\* 中国は2015年にATFの研究開発プログラムを開始した。開発については、CGNがプロジェクトを主導し、中国科学アカデミー、中国工程物理研究院、清華大学、西安交通大学を含む研究機関や大学のチームを結成して実施されている。CGNによれば、ATFの概念設計完了と事故条件下でのATFの安全上の利点についての事前評価実施に3年かかったということである。

#### ・その他

CNNCは、燃料材料研究開発センターの新設を記念する式典を2018年11月27日に北京で開催した。CNNCによると、同センター設立の目的は、燃料および材料分野における科学技術革新の全体計画を整理するプラットフォームを構築することであり、科学的成果の変容を推進し、企業の産業技術発展を支援することであるという。中国は、原子力発電所のみならず、燃料生産においても自給自足を目指しているが、燃料サイクル全般においては海外企業に依存している状況である。

### <韓国>

2017年4月27日付の報道によると、研究炉用ウラン-モリブデン（U-Mo）板型燃料の性能試験が完了したという。この燃料は増殖リスクのある高濃縮燃料（HEU）と置き換えられる。2012年にベルギー、フランス、韓国、米国が韓国原子力研究院（KAERI）の開発した技術で高密度低濃縮ウラン（LEU）生産技術を開発することに合意した。2013年6月にアメリカから韓国へ低濃縮燃料が提供され、翌年1月に粉末化されフランスへ燃料製造のため輸送された。2015年10月からアイダホ国立研究所（INL）で試験が始まり、2017年4月26日に実証試験が成功した。HEUの代わりにLEUを使うことができるほどU-Mo燃料はウラン-シリコン燃料より密度が高く、研究炉の性能を上げることもできるという。

#### ウラン濃縮

韓国ではウラン濃縮が認められていない。このため、濃縮ウランを輸入して核燃料を製造している。

### 燃料製造

韓国国内のすべての原子炉において使用される核燃料のすべては、韓電原子力燃料株式会社（KNF）が製造・供給している。KNFは、1989年から軽水炉用の燃料を、1998年から重水炉用の燃料を製造している\*。

\* KNFの生産設備容量は、軽水炉用の燃料については550 MTU/年、重水炉用の燃料については400MTU/年である。

2018年12月12日、原子力安全委員会（NSSC）は、韓電原子力燃料株式会社（KNF）が建設中の第3工場における燃料加工事業の実施を承認した。2020年完工予定である同工場は、今回の承認を受けて、完工後に燃料を製造・加工することが可能となった。KNFは、2014年12月に第3工場の燃料加工事業許可申請書を提出し、NSSCと韓国原子力安全技術院が3年間にわたり安全性に関する審査を行っていた。

### <インド>

#### ウランおよびトリウム探査・採鉱・処理

原子力庁（DAE）原子力鉱物局（AMD：Atomic Minerals Directorate）が、ウラン、トリウム、またその他の希土類元素の資源調査、探査、評価を行う。AMDはウラン鉱床の特定と採掘を行うにあたってインド原子力発電公社（NPCIL）の協力を得ている。さらに両者は、原子力発電プラントと放射性廃棄物処分場の地質研究においても協力している。

インド国内のウランの採鉱と精錬は1967年に設立された国有企業のインド・ウラン公社（UCIL）が実施している。国内には、6つの鉱山（ジャドグダ（Jaduguda）鉱山、バチン（Bhatin）鉱山、トゥラムディ（Turmadih）鉱山、バグジャダ（Bagjata）鉱山、ナルワパー（Narwapahar）鉱山、バンダフラグ（Banduhurang）鉱山）がある。

UCILは、ウラン採掘・転換施設の設備稼働率の向上に重点を置いている。すでにナルワパーおよびジャドグダ鉱山では、設備容量以上の生産実績を達成するなどの成果を上げている。UCILは新規鉱山の開拓や採掘設備の拡大にも力を入れており、2007年にはインド国内初の露天掘り方式を採用したBundhuang鉱山を稼働させるとともに、トゥラムディ施設では稼働試験を行った。

また、2012年にはアーンドラプラデーシュ州のカダパ（Kadapa）県にあるトゥマラパル（Tummalapalle）山で、ウラン鉱石の採掘と加工処理のためのプラントが操業を開始したことを発表した。トゥマラパル山の鉱山開発を目的としたトゥマラパル計画では2段階に分けて採掘量を増やすこととしている。1段階目では3,000トン/日のウラン鉱石を採掘、2段階目では4,500トン/日を採掘する。

2014年9月に、インドとオーストラリアとの間で原子力協力協定が締結され、オーストラリアからのウラン輸入が可能となった。また、2015年4月にDAEがカメコ社とウラン輸入に関

する契約を締結し、2015年12月3日にカナダ産のウランが初めてインドに到着した。2013年9月に両国の原子力協力協定が発効したことに基づくものであり、今後、5年間にわたり710万ポンド（約2,730tU）のウラン精鉱をインドに供給することとなる。

### 燃料製造

ハイデラバードの核燃料コンプレックス（NFC）\*においてウランの転換と PHWR、LWR、FBTR 用燃料の製造が行われている。具体的には、重水炉用天然ウラン酸化物燃料、軽水炉用濃縮ウラン燃料、炉心構造物、反応度制御機構、高速炉用のステンレス鋼被覆管と D-9 六方チャンネルを製造している。また、タラプールの先進核燃料製造施設（AFFF）においても、FBTR および PFBR 用の MOX 燃料を製造している。

\* NFC は、国防や宇宙向けに高品質チタン合金やステンレス鋼管も提供している。

2018年6月9日には、ハイデラバードの NFC において製造設備が拡張中であること、およびその NFC とは別に新たな NFC がラジャスタン州のコタにおいて建設中であるとの報道があった。なお、コタにおいて建設中の NFC（NFC-Kota）では、PHWR（70万kW）用の燃料集合体が年間500トン製造されるという。

2015年8月、インド政府は、建設中であるカクラパー及びラジャスタン原子力発電所の4基の運転に必要な核燃料を製造するために新たな核燃料工場を建設する計画を明らかにした。現在、インド国内で稼働中の21基の原子炉のうち、8基の燃料は国内で生産しているが、残りの13基については、ロシアやウズベキスタン、カナダ、カザフスタンから輸入している。

2017年8月7日、ヒンドウスタン建設（HCC）は、インディラ・ガンジー原子力研究センター（IGCAR）における高速増殖炉核燃料サイクル施設の建設契約について、76億3,570万ルピー（1億2,000万ドル）で受注したと発表した。この契約による建設作業は、高速増殖炉用の燃料加工工場のための施設（Nuclear Safety Compliant Structures）およびその関連施設の建設等であるという。なお、この建設計画は、48か月での完了が見込まれるという。

### <オーストラリア>

#### ウラン資源

オーストラリアは、世界最大のウラン埋蔵量を誇る国（世界ウラン資源の3割）であり、採掘したウランの全量を輸出している。輸出先は、オーストラリアとの間で原子力協力協定を結んだ国に限定されている。また、ウランを輸出する際には、「自国ウランが核兵器に使用されないこと」を絶対的条件としている。このため、ウラン輸出の相手国はNPT条約の加盟国で、IAEAの保障措置が実施されている国に限定していた。

しかし、2006年4月に、オーストラリアは核保有国である中国とウラン輸出に関する二国間協定を締結した。中国がIAEAのメンバーであり、かつNPT加盟国としてオーストラリア産のウランを民生利用目的以外に使用しないことを約束したことで、中国へのウラン輸出が可能となった\*。

\* 2010年11月、カメコ社は、広東核電集团有限公司（CGNPC、現CGN）に対して2025年までに2,900万ポンドの酸化ウラン（1万3,150トンのU3O8）を供給するウランの長期供給に合意し

た。

中国に続いて、NPT 条約加盟国でないインドに対し、オーストラリア政府は 2011 年 11 月 15 日にウラン販売禁止を解除する意向を示し、同年 12 月 4 日にオーストラリア労働党の全国大会で投票が行われ、賛成 206 - 反対 185 票で、インドへのウラン売却が可決された。この投票結果を受け、2012 年 10 月 17 日、インドとのウランの輸出交渉の開始が発表された。オーストラリアからの輸入ウランが核兵器に使用されないことを確認するための査察措置に関する交渉から始まり、2014 年 9 月 5 日に両国は原子力協力協定を締結した。同年 11 月 18 日には、インドの N.モディ首相とオーストラリアの T.アボット首相（当時）は、同協定履行のために必要となる早期の実務的な合意に向けての取り組みを加速させることで合意した\*。

\* 2015 年 11 月、両国の首相は、同原子力協力協定の発効に必要な全ての手続きが完了したことを明らかにした。

なお、2017 年 1 月時点で、1kg 当たり 260 ドル以下で採掘できる発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は 205 万 4,800tU である。

## <カザフスタン>

### ウラン資源

ウラン資源に恵まれているカザフスタンでは、2017 年 1 月時点で、1kg 当たり 260 ドル以下で採掘できる発見資源量は 90 万 4,500tU である。これは世界全体の発見資源の 11%に当たり、オーストラリアに続き世界第 2 位である。また、2018 年のウラン生産量は 2 万 1,700 トンである。国営原子力企業のカザトムプロム社がウラン生産を管理している。

カザフスタンはウランの生産量を増やす方針を取っていたが、2017 年 1 月 10 日、カザトムプロム社の A.ジュマガリエフ（Askar Zhumagaliyev）会長は、ウラン市場において供給過剰が継続していることに伴い、ウラン生産量を以前の計画よりも 10%減らすことを発表した。これにより、カザフスタンの 2017 年のウラン生産量は計画よりも 2,000tU 少なくなる。この削減量は、2015 年の統計に基づく全世界のウラン生産量の約 3%に相当するものである。

ウラン鉱山は主に国の中央部から南部にかけて存在し、ウラン鉱山 15 か所の内、坑内掘り（UG）を用いる 1 か所を除き、他は全て原位置浸出（ISL : In Situ Leach）法を用いて採掘している。

カザトムプロム社は日本、ロシア、フランス、カナダ等の企業と共同でウラン鉱山の開発プロジェクトを実施している。また、海外との協力も活発に行っている。

#### ・韓国

2010 年 4 月 21 日に、カザトムプロム社は韓国と原子力分野での協力覚書（MOC）に署名、さらに共同研究、探掘活動と採掘活動の協力に関する MOC にも署名した。

#### ・フランス

2009 年に、カザトムプロム社とアレバ社（当時）は燃料販売を目的とした合弁企業 Integrated Fuel Asia Star (IFASTAR)（持分はカザトムプロム社 51%、アレバ社 49%）を設立した。また、翌 2010 年 10 月にはアレバ社と、ウルバ冶金工場（UMZ : Ulba Metallurgical Plant）におい

てアレバ社の設計による燃料製造工場建設のための合弁企業設立に関する協定を締結した。さらに2011年11月4日には、カザフスタンとフランスは燃料製造工場を建設することで合意し、建設開始は2012年半ばを、稼働開始は2014年を予定していた。なお、同燃料製造工場（Ulba-FA 燃料製造工場）\*については、2016年3月にアレバ社は、同工場の中国広核集団有限公司（CGN）の原子炉用の燃料集合体を年間200トン製造するため設備と支援に関する契約を締結した。また、AREVANP社（当時）とUlba-FAとの間で関連する契約も締結された。この契約では、燃料製造技術、技術文書、主要生産設備の供給、人材育成などのための許可を提供するという。

なお、Ulba-FA 燃料製造工場は、2016年12月に建設が開始された。

\* 同製造工場はカザトムプロム社とCGNの合弁会社「Ulba-FA」が建設している。Ulba-FAの持分は、カザトムプロム社の子会社のUlba Metallurgical Plant JSCが51%、CGNの子会社であるCGN-URCが49%である。

また、フランスとはウラン鉱山を共同で操業している。2017年4月10日に、カザトムプロム社とアレバ社は、カザフスタンでのウラン採掘について協力を強化することで合意した。この合意により、すでにカザフスタンでウランの生産を行っている両社の合弁企業（KATCO）\*について、より発展させ強化していくことになるという。

\* 1996年にアレバ社とカザトムプロム社の合弁企業として設立され、カザフスタン国内で大規模な生産規模を持つウラン鉱山であるKatco（Tortkuduk）鉱山を操業している。

#### ・米国

カザトムプロム社は2016年4月4日に、六フッ化ウラン（UF<sub>6</sub>）の供給について米国のコンバーダイン社\*と協力協定を締結した。カザトムプロム社は、原子力市場の成長によりUF<sub>6</sub>の全世界的な需要が増加していくと予測される中で、カザトムプロム社のウラン生産能力とコンバーダイン社のウラン転換能力を合わせることによって競争力のある供給が可能になるとしている。

\* コンバーダイン社は、米国のウラン転換会社であり、世界の60%以上の原子力発電所に対してUF<sub>6</sub>を納品している。

#### ・カナダ

カザトムプロム社は、1996年3月にカナダのカメコ社と合弁会社JV Inkai\*<sup>1</sup>を設立し、Inkai 鉱山を操業している。2018年1月25日、「南カザフスタン州のInkai 鉱山の操業（Inkai Operation, South Kazakhstan Oblast, Republic of Kazakhstan）」と題するテクニカルレポートをカメコ社が公表した\*<sup>2</sup>。この文書において、JV Inkaiによるウラン生産量について、2017年におけるU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>の生産量は550万ポンド（カメコ社の取り分は320万ポンド）であり、2018年には690万ポンド（カメコ社の取り分は340万ポンド）のU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>を生産する予定であると述べている。なおJV Inkaiは、市況と資源利用契約（Resource Use Contract）次第ではあるが、鉱山寿命が2045年まで継続するとの想定において、年間生産量を1,040万ポンドまで増やすことができるとしている。

\*<sup>1</sup> 2018年1月1日に再編され、カメコ社40%、カザトムプロム社60%の持ち分となった。

\*<sup>2</sup> 公表されたのは2018年1月25日であるが、1月1日付で有効であるとのこと。

#### ・その他

カザトンプロム社は、子会社として商社（TH Kazatom）を 2017 年 4 月 28 日に設立した。商社の設立は、カザトンプロム社が 2015 年 10 月に発表した組織変革計画の一環として実施されたものであり、オフィスをスイスに構え、スポット市場\*においてウランの売買を行うことを目的としている。

\* 商品（例えば石油、鉱物資源等）の売買契約と決済がほぼ同時（契約成立後数営業日以内）に行われる市場。

### IAEA 燃料バンク

カザフスタンは低濃縮ウラン（LEU）を備蓄する IAEA 燃料バンク\*（ロシアが主導する IUEC とは別の LEU 備蓄）の誘致活動を 2010 年初頭から行い、2014 年 2 月にカザフスタンの外務省は、サイトに関する交渉が最終段階に入っていることを明らかにした。

\* 国際市場においてウラン燃料を IAEA 加盟国が調達できなくなった際に、この燃料バンクを通じて IAEA が（市場価格で）ウラン燃料を提供することを目的としたものである。

IAEA 理事会は 2015 年 6 月 11 日に、カザフスタんに LEU の核燃料バンクを設置し操作することに関するカザフスタンとの合意\*1 を承認し、併せて、輸送のために通過することとなるロシアとの合意についても承認した\*2。またこの輸送については、2018 年 9 月 17 日に TENEX 社と IAEA は、IAEA 低濃縮ウランバンクへの LEU 輸送に関する契約を締結した。この契約により TENEX 社は、ウランバンク用 LEU がロシア国内を通過する際のロジスティクス・サービスを提供することとなる。

\*1 IAEA は、LEU の輸送・購入、関連設備の購入・運転および燃料バンクの運営に必要なサービス等を提供する一方、カザフスタン側は事務所およびスタッフ費用を負担することになっている。

\*2 2017 年 4 月 5 日には IAEA と中国国家原子能機構（CAEA）が、LEU の輸送に関する通過協定に署名している。

カザフスタン政府と IAEA は、2015 年 8 月 27 日に LEU の備蓄について合意文書を交わした。これにより、ウルバ冶金工場（UMZ）に燃料バンクを設立し、最大 90 万トンの LEU を備蓄することとなる。また、同燃料バンクの経費は国家等からの自発的な拠出金に依拠しており、経費について IAEA の予算は影響を受けない。経費のために、これまでに約 1 億 5,000 万ドル\* が拠出されており、これにより IAEA 燃料バンクは少なくとも 10 年間は操業できるという。

\* 拠出金の内訳は、核拡散脅威イニシアチブ（NTI : Nuclear Threat Initiative）からの 5,000 万ドル、米国からの 4,954 万ドル、アラブ首長国連邦からの 1,000 万ドル、クウェートからの 1,000 万ドル、ノルウェーからの 500 万ドル、および EU からの最大 2,740 万ドルである。

そして 2017 年 8 月 29 日に、IAEA 燃料バンクの開所式がカザフスタンの首都アスタナで開催され、IAEA の天野事務局長とカザフスタンのナザルバエフ大統領（当時）が出席した。

また、IAEA は 2018 年 11 月 20 日に、IAEA 燃料バンクに貯蔵する LEU の購入契約をカザトンプロム社およびフランスのオラノ・サイクル（Orano Cycle）社と締結した。これは、2019 年の IAEA 燃料バンク始動に向けた準備となるものである。上記 2 社は、核燃料製造の材料となる LEU を、同燃料バンクの貯蔵施設に供給するという。貯蔵施設への燃料搬入を以て同燃料バンクは本格的に始動することになるという。

また、同燃料バンクプロジェクトの一環として、2018 年 6 月 26～29 日にかけて、原子力監

視監督委員会（Committee of atomic and energy supervision and control）の検査官のための訓練\*がロシアのアンガルスクにて行われた。同訓練の目的は、AECC サイト内の IUEC での貯蔵例における LEU 貯蔵に関連する監督活動の実践的な訓練コースをカザフスタンの検査官に提供することであるという。

\* 同訓練には、ロシアの連邦環境・技術・原子力監督庁（Rostechnadzor）のシベリア・極東地方の原子力放射線安全監督のための地域局（Interregional Territorial Department for Nuclear and Radiation Safety Supervision of Siberia and Far East of Rostechnadzor）、IAEA、原子力監視監督委員会、国際ウラン濃縮センター（IUEC : International Uranium Enrichment Center）、アンガルスク電解化学コンビナート（AECC : Angarsk Electrolysis and Chemical Combine）の代表者も参加したという。

## <バングラデシュ>

ルプール原子力発電所で使用される燃料のすべてはロスアトム社から供給され、また使用済み燃料のすべてはロシアへ送り返されることになっている。

## <サウジアラビア>

### ウラン資源

サウジアラビアはウラン資源を有しており、国家原子力エネルギー計画（Saudi National Atomic Energy Project）において、ウラン資源の活用は計画の柱の一つとされている。

2017年3月16日、サウジ地質調査所（SGS : Saudi Geological Survey）と中国核工業集团公司（CNNC）は、ウラン・トリウム資源に関する2国間協力についての了解覚書（MOU）に署名し、次いで、同年8月24日、CNNCとSGSは、ウランとトリウム資源に関する協力強化を目的としたMOUに署名した。8月に署名したMOUでは、鉱山開発の拡大について両者は、協力の第1段階目で達成した成果\*に基づき、引き続き作業を続けるという。また、鉱物資源の探査については、サウジアラビアにおける原子力発電のために必要となる資源に対する需要を満たすように促進させていくことになる。

\* 3月に署名したMOUに基づき、2017年5月末にCNNCのスタッフがサウジアラビアでの現地調査を完了させ、資源探査の対象となる地域を特定した。

## <トルコ>

### ウラン資源

2017年1月時点で、1kg当たり260ドル以下で採掘できる発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は7,000tUである。

## <モンゴル>

### ウラン資源

2017年1月時点で、モンゴルでは、1kg当たり260ドル未満で回収可能なウラン資源が11万3,500tUである。

2009年8月制定された原子力エネルギー法の主な目的は、エネルギー資源を確保し、国家の

持続可能な開発を維持することである。特に、名称が示す通りウラン等鉱山の権益に関する規制が中心であり、ウラン開発に関して自国の権益を損なうことのないよう配慮した規定に大きな特徴が見られる。

例えば、同法第 5 条では、「ウラン探鉱により埋蔵資源が発見された場合、モンゴル政府が無償で当該プロジェクトまたは開発に係る合弁会社の一定割合の所有権を獲得する権利を得る」と規定している。「その割合は、モンゴル政府が探鉱に出資していた場合で 51%以上、政府出資がなかった場合においても 34%以上」としている。

また、探鉱ライセンスを発給された企業は、発給から 60 日以内に国家当局と探鉱契約を締結しなければ許認可を取り消される。探鉱契約に際しては、放射性物質を含む鉱物を探鉱する地区、探鉱の期間、鉱床の種類・等級、フィージビリティスタディで示される技術・生産能力・生産量、販売の条件、環境保護、閉鎖計画を含む全体計画、当事者のその他の権利・義務・責任の提示が求められる（第 29 条）。

なお、この原子力法施行に伴い、従来モンゴル国内でウラン探鉱、採掘権を有していた企業は、原子力法におけるモンゴル政府の所有権等の条件を受け入れたうえで、改めて 2009 年 11 月 15 日までに関連ライセンスを再申請して再登録することを求められた。カナダ系のカーン・リソーシズ Inc. は子会社等を通じ、モンゴル国内で複数のウラン探鉱権、採掘権を有していたが、NEA はライセンスの再発行を認めなかった。モンゴルでは 1994 年の鉱業法制定により複数の外国企業がウラン探鉱、採掘に乗り出したが、このたびの原子力法制定で、ウラン資源に関するモンゴル国家の権利を強く打ち出したことになる。これについて、カーン・リソーシズ社は、2016 年 3 月 6 日に、ドルノド鉱床におけるウラン採掘許可の取り消しを巡る係争に関してモンゴル政府が 2016 年 5 月 15 日までに 7,000 万ドルを支払うことに合意したと発表した。これにより同社も訴訟活動を取り止めることとなり、全ての問題が解決することとなった。

## <スウェーデン>

Vattenfall Nuclear Fuel AB とロシアの TVEL 社は、TVS-K（TVEL 社製の燃料）\* のリングハルス原子力発電所への供給契約を 2016 年 12 月に締結した。

\* TVS-K：TVEL 社が開発した、西側諸国で設計された加圧水型炉を対象とした燃料。

## <フィンランド>

オルキオ原子力発電所へ、ウェスチングハウス（WH）社が開発した BWR 用燃料集合体である Triton11 のうちの最初の 8 体が納入されたことが 2019 年 2 月 28 日に明らかになった。Triton11 は、同発電所 2 号機の次の定期検査期間中に装荷される予定であるという。WH 社によると、Triton11 は新世代の BWR 燃料であり、BWR 燃料設計としては初めて 11×11 構造を採用し、燃料サイクルコストを大幅に削減し総合的な燃料の信頼性を向上させるために開発されたものである。

## <ブルガリア>

コズロドイ原子力発電所用の燃料は全てロシアのТВЕL社が供給をしている。

しかし、同発電所は2019年2月20日に5、6号機用の改良型燃料の認可等に関する調査を行うため、ウェスチングハウス・スウェーデン社と310万ブルガリアレフ（BGN）（180万ドル）の契約を締結したと発表した\*。同発電所はこの契約の目的について、Euratom供給機関（Euratom supply agency）の燃料供給の多様化戦略に応じることと、燃料のセキュリティ確保のためであるとしている。

\* 同発電所によると、ウェスチングハウス（WH）社がТВЕL社以外の唯一の燃料供給業者であるため、競争的な公共調達手続きを開始する代わりにWH社と直接協議したという。

## <ハンガリー>

### ウラン資源

1950年代初頭に、旧ソ連とのジョイントベンチャーによってウラン鉱床（Mecsek deposit）の開発を進めていたが、1956年にハンガリーのみで開発を進めることとなった。ウランの生産は1956年に開始されたが、ウラン市場の変化により採算が取れなくなったことを理由として、ウランの採鉱と製錬は1997年に停止された。2012年に閉山作業とサイト修復が完了し、現在は近隣のモニタリング監視が行われている。

2017年1月時点で、1kg当たり260ドル以下で採掘できる発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は1万3,500tUである。

## <メキシコ>

### ウラン資源

2017年1月時点での、1kg当たり260ドル以下で採掘できるメキシコの発見資源量（確認資源量と推定資源量の合計）は6,700tUである。

また、1kg当たり130ドル未満で回収可能なウラン資源が約3,800tU確認されているが、ウラン生産は行われていない。

なお、メキシコでは法律により、核燃料は国の所有物であり、原子力安全・保障措置委員会（CNSNS）が管理を行っている。

### 3.3 バックエンド（廃炉、廃止措置、廃炉研究等）

#### <米国>

連邦議会上院は、2018年6月20日に次世代炉での利用を目的とした海軍の使用済み燃料リサイクルに関する1,500万ドル規模の試験的プロジェクトについての提案を、87対9の賛成多数で可決した。今回の提案は、処分が課題となっている海軍の原子力潜水艦の使用済み高濃縮ウラン燃料\*1をリサイクルし、高含有低濃縮ウラン（HALEU : high-assay low-enriched uranium）として次世代炉での再利用\*2を図るものである。現在米国には商業規模でHALEUを生産する設備がないため、燃料サイクルの基盤を至急整備すべきであると原子力エネルギー協会（NEI）が警告していた。

\*1 原子力潜水艦等からもたらされる使用済み高濃縮ウラン燃料の量は10万トンに及ぶとされ、処分費用には1,000億ドルを必要とするという。

\*2 アイダホ国立研究所（INL）等で開発されている次世代炉は、燃料として濃縮度5～20%のHALEUを必要とする。

また、DOE環境管理局（EM）は、2018年6月28日に所管する環境遺産\*の管理・クリーンアップ事業における情報技術サービスに関して、エッジウォーター・フェデラル・ソリューションズ（Edgewater Federal Solutions）社と契約を結んだことを明らかにした。これにより、同社はEMに対してITに関する市場調査や戦略計画、専門家の助言を提供するほか、通信センターの技術・管理サポートを請け負うことになる。この契約におけるサービス見積金額は350万ドル、契約期間は12か月だという。

\* 核兵器開発・国主導の原子力研究が行われ、現在は使用されていない施設。DOE環境管理局が管理とクリーンアップの責任を負っている。

#### 使用済み燃料の集中中間貯蔵施設

##### ・テキサス州

2016年4月28日にウェイト・コントロール・スペシャリスト（WCS）社は、使用済み燃料の集中中間貯蔵施設（CISF : Consolidated Interim Storage Facilities）\*の建設・操業の許可をNRCに申請した。

\* 同施設の建設はアレバ社（当時）とNACインターナショナル社との協力に基づいて行われ、2021年には施設が完成する予定である。この申請内容によれば、同施設は40年間で4万トン（重金属換算）を貯蔵する。

NRCは、2017年1月26日に、WCS社から提出されていたCISFに関する申請についての審査の開始を発表した。2019年の第3四半期までに審査に関する最終決定をする予定であったが、2017年4月、WCS社の他社への売却を理由として、WCS社自身の要請により審査が中断された。

2018年6月11日、中間貯蔵パートナーズ（ISP : Interim Storage Partners）社\*は、CISFの建設・操業に関する改訂版許認可申請書をNRCに提出した。今回の申請は2016年4月に提出していた許認可申請書の改定版であり、ISP社はNRCに対して、審査手続きを再開するよう正式に要請したものである。改訂版の許認可申請書は、ISP社の設立やその組織を反映したものであるが、廃止された原子力発電所から出る使用済み燃料を安全に貯蔵・管理するというCISFの方針に変更はないという。

\* オラノUSA (Orano-USA) 社 (旧アレバ社) とWCS社による合弁会社。

NRCは、2018年9月5日に、ISP社が提出していたCISFの建設・操業に関する許認可申請について、安全面および環境面の審査を再開することを明らかにした。NRCスタッフは、CISFの安全・環境評価を2020年夏までに完了したいとしている。

・ニューメキシコ州

2017年3月31日、ホルテック社は、使用済み燃料を対象とした同社の中間貯蔵施設 (HI-STORE Consolidated Interim Storage facility) について、ニューメキシコ州での建設に向けた申請書\* をNRCに対して提出した。2018年3月1日、NRCは、同施設について、ホルテック社による建設・操業の許認可申請の審査を開始したことを発表した。

申請書によるとこの中間貯蔵施設は、ニューメキシコ州内で市街地から離れ、地質学的に安定し、乾燥した場所 (広さは1,000エーカー (405ヘクタール) ) に建設されるものであり、米国内の原子力発電所からの使用済み燃料をキャニスタ1万個まで貯蔵できるとのことである。また、申請書には、この中間貯蔵施設に関する安全評価分析や環境影響報告書等が含まれるとのことである。

#### 高レベル放射性廃棄物 (HLW) 処分

2010年1月、オバマ政権は、「米国の核の将来に関するブルーリボン委員会」(BRC) を設置した。これはオバマ政権がユッカマウンテン処分場計画を中止したことに伴うものである。BRCの任務は、単にユッカマウンテン処分場の代替処分場を探すのみならず、使用済み燃料及び高レベル放射性廃棄物の貯蔵、処理及び処分に関する全ての代替案、先進的核燃料サイクル技術を含む核燃料サイクルにおけるバックエンド政策の包括的な評価を行うことであった。

2012年1月26日、BRCは、最終報告書をDOE長官に提出した。最終報告書には、次の3つのポイントが示されている。なおBRCは、超長期にわたり核物質について責任をもって環境から隔離できる唯一の方法として、深地層処分を挙げている。

- ・ BRC は、同意に基づくアプローチ (consent-based approach) を勧告する。
- ・ BRC は、国の核廃棄物管理プロジェクトの責任を新しい組織に移すことを勧告する。DOE、連邦政府から独立した新組織が、使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物の安全な貯蔵と最終処分の責任を持つこととする。
- ・ 核廃棄物基金 (7.5 億ドル/年) への拠出金の取扱いを変更し、連邦議会の当初の意図通りに使用できるよう政府予算の中で別立てにしておくべきである。

2013年1月11日、DOEは、「使用済み燃料及び高レベル放射性廃棄物の管理・処分のための戦略 (Strategy for the Management and Disposal of Used Nuclear Fuel and High-Level Waste)」を発表した。これは、BRCの報告を受けて策定されたものであり、この戦略においては次のように最終処分場建設までのスケジュールが示されている。なお民生放射性廃棄物管理は、DOE原子力エネルギー局の所管である。

2021年までに：閉鎖原子力発電所の使用済み燃料中間貯蔵パイロット施設の操業を開始

2025年までに：大規模中間貯蔵施設の開設

2026年までに：最終処分場のサイト選定

2048年までに：最終処分場操業開始

DOEは、2017年1月12日に「使用済み燃料及び高レベル放射性廃棄物の集中貯蔵・処分施設のための同意に基づくサイト選定プロセス案」を発表した。プロセス案は、5つのフェーズ（と17のステップ）で構成される。5つのフェーズは以下の通りである。

フェーズ1：開始

フェーズ2：サイト評価

フェーズ3：詳細評価

フェーズ4：合意

フェーズ5：許認可、建設、操業及び閉鎖

・ボアホール処分

2016年12月19日、DOEは、ボアホールのフィールド試験を実施する可能性のある4社とその実施サイトを選定\*したことを明らかにした。最終的にはこのうちの1か所のサイトにおいて、ボアホール処分に関するフィールド試験が実施される予定である。各社は、サイト周辺地域と密接な形で作業を進めることが求められている。

\* 候補として選ばれた企業（サイト）は、AECOM社（テキサス州）、ENERCON社（ニューメキシコ州）、TerranearPMC社（ニューメキシコ州）、RE/SPEC社（サウスダコタ州）。

・放射性廃棄物政策法修正法案

2017年6月28日に米国下院エネルギー商業委員会の小委員会は、放射性廃棄物政策法の修正法案（H.R. 3053 Nuclear Waste Policy Amendments Act）\*を可決した（賛成49票、反対4票）。この修正法案の目的は、米国の放射性廃棄物管理政策を改善し、使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物の処分について米国政府が責務を果たすことができるようにすることであるという。

\* 1982年放射性廃棄物政策法（1987年修正）の修正法案。

2018年5月10日に、米国連邦議会下院は、放射性廃棄物政策法の修正法案（H.R. 3053）を賛成340、反対72で可決した。可決されたH.R. 3053は、その前のバージョンが2017年6月に下院エネルギー商業委員会において可決された時と同様、ユッカマウンテン処分場について使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物の処分を最も迅速に実現するものと位置付けているほか、同処分場が使用済み燃料を受け入れ可能となるまでの期間について、民間による貯蔵を含め中間貯蔵を認める内容になっている。またH.R. 3053は、ユッカマウンテン処分場の建設許可申請に対する最終決定が行われるまでの間について、放射性廃棄物基金のためのいかなる手数料をもDOEが徴収することを認めない内容となっている。

・ユッカマウンテン最終処分場

DOEは、2008年6月3日に、NRCへ、ユッカマウンテン地層処分場建設許認可を申請した。しかしオバマ政権は同処分場の建設を中止する方針を採ったため、2010年3月3日にDOEは許認可申請取り下げ願いをNRC原子力安全許認可会議（ASLB：Atomic Safety and Licensing Board）に提出した。2010年6月20日にASLBはこの申請について、「DOEは、放射性廃棄物政策法に照らして、連邦議会の承認なしに自らの判断で取り下げることはいかなる場合もできない」として却

下した\*。

\* この判断はあくまで ASLB が下したものであり、NRC としての最終判断ではないとして、NRC 委員の判断に委ねられることとなった。しかし、ユッカマウンテン処分場に関する判断が下されることはなく、その間に議会は 2012 年から NRC の許認可審査に予算を付けなかった。NRC は予算の制約から ASLB に 2011 年 9 月までに審査作業を終結するよう指示した。

2013 年 8 月連邦控訴裁判所は残っている予算による審査手続再開を命じ、2013 年 11 月 18 日に安全性評価報告書 (SER : Safety Evaluation Report) を完成することなどを決定して作業を開始した。2015 年 1 月 29 日に、全 5 巻からなる SER の第 2 部「閉鎖前の処分場の安全性」と第 5 部「許認可の仕様」が公表され、SER の全 5 巻が刊行された。

・第 1 部：総論 (2010 年 8 月)

DOE の申請書に記載されているユッカマウンテン処分場の建設、廃棄物受け入れ等に関する一般情報は、連邦規則 10 CFR 63.21(b)(1)-(5)に適合すると評価している。

・第 2 部：閉鎖前の処分場の安全性 (2015 年 1 月)

DOE が許認可申請した処分場設計は、建設認可へのいくつかの付帯条件を前提として、連邦規則 10 CFR 63.111「閉鎖に至るまでの地層処分場操業エリアに関する性能目標」と 10 CFR 63.112「閉鎖前の地層処分場操業エリアに関する要件」及び 10 CFR Part 63, Subpart K「閉鎖前の公衆衛生及び環境基準」に適合していると結論付けている。

・第 3 部：閉鎖後の処分場の安全性 (2014 年 10 月)

DOE の処分場設計は、連邦規則 10 CFR 63.113「地層処分場閉鎖後の性能目標」、10 CFR 63.114「性能評価要件」、10 CFR 63.115「多重バリア要件」及び 10 CFR Part 63, Subpart L「閉鎖後の公衆防護と環境基準」に適合していると結論付けている。

・第 4 部：業務遂行および計画に関する要件 (2014 年 10 月)

管理上及びプログラム上の要件に関して、DOE は 10 CFR 63.21「申請の内容」、10 CFR 63.121「土地の所有と管理」、10 CFR 63, Subpart D「記録、報告、テストと検査」、10 CFR Part 63, Subpart F「性能確認プログラム」等を満たしているとしている。建築認可に関して、将来 DOE が研究・開発を要する安全上の問題を見出したときは、10 CFR 63.32(b)(4)に従って、NRC にプログラムの結果を報告することを条件として付した。また、土地の所有権と水利権に関する 10 CFR 63.121(a) and 10 CFR 63.121(d)(1)の要件 (採掘権、所有権証書、通行権等) は満たしていないとした。

・第 5 部：許認可の仕様 (2015 年 1 月)

NRC の処分場建設認可の条件を示している。前項の土地所有権・水利権の問題を除いて、各分冊記載の付帯条件を満足にするならば、規制上の要件に適合していると結論付けている。

NRC のスタッフは、2016 年 5 月 5 日にユッカマウンテンに提案されている最終処分場に関する環境影響評価書 (EIS : Environmental Impact Statements) の最終補足書\*を公表し、また、8 月 19 日には、ユッカマウンテン処分場に関する公聴会関連文書約 370 万件をオンライン上で公開した。この補足書では、地下水と地表水の流出量の影響は少ないと評価している。

\* ユッカマウンテン処分場に関して DOE が作成した EIS を補足するものである。

これについて、NRC は 2017 年 8 月 8 日に、同建設許認可申請に対するレビューに関連し、更に措置を取ることを承認した。これにより、審査が中断している同許認可申請に関連した情報

収集活動等が行われていくこととなる。特に NRC は、許認可支援ネットワーク (LSN:Licensing Support Network) の再構築またはその代替システムの構築について\*、情報提供と意見聴取を目的として、LSN 諮問審査パネル (Licensing Support Network Advisory Review Panel) の仮想会議 (virtual meeting) を開催することを NRC のスタッフに対して指示している。なお NRC はこの情報収集活動に対する支出について、放射性廃棄物基金 (Nuclear Waste Fund) の残余予算の約 63 万 4,000 ドル (2017 年 6 月末時点) のうち、11 万ドルに限定している。

\* 「許認可支援ネットワーク」(LSN) は 2011 年 9 月に関連予算が削減され、閉鎖された。現在、LSN の文書は NRC が提供する公的な文書保管システム (ADAMS : Agency wide Documents Access and Management System) 内に設けられた LSN ライブラリーに保管されている。

### ハンフォード・サイト

DOE は、ハンフォード・サイトに高レベル放射性廃棄物処理・固化プラント (WTP : Waste Treatment and Immobilization Plant) を建設中である。2016 年 12 月 22 日、DOE は、同施設の建設費用がさらに 45 億ドル必要であり、総費用が 168 億ドルになることを明らかにした。処理プラントの建設は計画から 10 年以上遅れており、費用も 2000 年当初の見積もりから約 4 倍に膨れあがっている。

DOE は、2018 年 7 月 3 日に、WTP 事業における分析研究施設 (Analytical Laboratory) について、ワシントン州エコロジー省が操業許可を承認したことを明らかにした。この研究施設の主要な機能は、WTP の低活性レベル放射性廃棄物 施設 (Low-Activity Waste Facility) で製造されたガラスが規制要件を満たしているか検証することであるという。

ハンフォード・サイトの汚染機器貯蔵用のトンネルにおいて、長さ 20 フィート (6m) 程度の長さの部分が崩落していることが見つかったことを受けて、DOE は 2017 年 5 月 9 日に緊急事態を宣言\*した。この崩落による汚染は確認されていない。翌 10 日には緊急事態は解除された。

\* この緊急事態宣言は、緊急度の区分けのうち最も低いレベルのものであり、施設の敷地境界の外側にいる人員が影響を受けない様な事象である時に発せられるものである。

DOE は、コロンビア川沿いに保管されていた高レベル放射性汚泥について、ハンフォード・サイト内の安全貯蔵施設である T プラント\*への輸送・貯蔵が開始されたことを、2018 年 7 月 3 日に明らかにした。この高レベル放射性汚泥は 1980 年代まで同サイトで行われていたプルトニウム生産に関連したもので、35 立方ヤードの量がコロンビア川河畔の 105-K 西ドックに所在していた。T プラントでの貯蔵にあたり、汚泥は特別に設計された巨大なキャスクに納められているという。作業は 2018 年 6 月から始められており、2019 年中の完了を目標としている。

\* T プラントはコロンビア川から 10 マイル離れているという。

### 廃棄物隔離パイロットプラント (WIPP) : 事故および復旧

2014 年 2 月 5 日、WIPP の地下施設内において車両の火災事故が発生した。火災は放射性廃棄物の処分エリアから離れた区域内で発生したものであり、近くに放射性廃棄物はなく、当日中に鎮火が確認された。しかし、この火災事故をうけ、WIPP は操業を停止した。

続く 2 月 14 日、WIPP において放射性物質の漏洩事故が発生した。放射性物質の漏洩は、第 7 パネル第 7 処分室のロスアラモス国立研究所 (LANL) から搬入された超ウラン廃棄物ドラム

1本の蓋の開裂から発生した。当時、地下施設に作業員はおらず、サイトにいた職員13名に対する健康を損なうような被ばくは生じなかった。なお外部の環境放射線モニターでは、微量のアメリシウム-241とプルトニウム-239/240が検出されている。

2014年9月30日、WIPPの復旧計画スケジュールが発表された。最終的な廃棄物受け入れ操業再開認定は2016会計年度の半ばから2018会計年度の末とされた。また復旧計画によると、第1フェーズ（復旧作業の準備段階）と第2フェーズ（復旧と操業の継続）に分かれて作業が行われることとされた。

#### 第1フェーズ

- ・環境試料の採取と分析
- ・資源保全回復法（RCRA：Resource Conservation and Recovery Act）緊急計画の見直し
- ・事象バイオアッセイの遂行
- ・復旧作業支援のための原子力安全文書の作成
- ・廃棄物昇降機塔・コンポーネントの除染
- ・地下排気系フィルターの交換

#### 第2フェーズ

- ・復旧作業支援のための「状況の安全性評価」と「文書化安全性分析」改訂
- ・パネル6初期閉鎖とパネル7第7処分室閉鎖
- ・暫定的排気系変更
- ・安全管理プログラムの活性化
- ・新規排気系
- ・即応性活動

ニューメキシコ州環境省は2014年12月6日、DOEに対して、5,400万ドル以上の課徴金を課す適合命令（compliance orders）を発した。同省によると、DOEは、WIPPとLANLについて、同州が発行した許認可に対して30以上の違反があったという。なおWIPPへの制裁金の額は合計1,770万ドル、LANLへの制裁金の額は合計3,660万ドルであった。また、同18日には、国家核安全保障局（NNSA）は、WIPPでの事故に関連し、LANLの業務遂行能力が深刻に欠如している（a significant or “First Degree” performance failure）との判定を示し、2014会計年度運営費用部分を625万ドルとすること（当初の6,340万ドルから90%削減）を、LANLの運営契約者であるLANS（Los Alamos National Security LLC）に対して通告した。

2015年4月16日、DOE環境管理局（EM）の事故調査委員会が報告書\*を発表した。同年7月、DOEは、2014年9月の復旧計画スケジュール通りには復旧作業が進まない見通しであることをに表明した。

\* 報告書によると、ドラム缶の蓋が損傷した原因は、2013年12月にLANLで処理されたドラム缶1つの中において、従来使用していた無機物の素材でできた猫砂（cat litter）ではなく、有機物の素材でできた猫砂を吸収剤として処理のために使用したことにより、有機物質と硝酸塩が反応して発熱したことであるとされた。

2016年10月13日、DOEのカールスバッド・フィールド事務所（CBFO）は、WIPPのTRU廃棄物処分エリアの南端部分について閉鎖する意向を発表した。このエリアの閉鎖により、作業者の作業安全が確保されることとなる\*。またCBFOは、この閉鎖による運転再開の準備と廃棄

物定置活動に影響はなく、運転が再開された後に施設の操業能力が制限されることはないとした。

\* WIPP では、2015 年 1 月に第 3 パネルの導坑で天井が崩落し、2016 年 9 月と 10 月にも岩塩の崩落が発見されていた。

同年 12 月 23 日、DOE は、DOE の操業準備審査 (DORR) と契約者操業準備審査 (CORR) で指摘された操業開始前是正措置が完了したことを確認し、WIPP に対する操業再開を承認し、2017 年 1 月 4 日に操業を再開した。

2017 年 7 月 13 日、DOE は、WIPP について、超ウラン核種を含む放射性廃棄物の処分に係る環境保護庁 (EPA) の規則を遵守していると EPA から適合性再認定を受けたことを明らかにした。なお DOE は法律により、WIPP が廃止措置されるまでの間、規則を継続して遵守していることを示す文書の EPA への提出を 5 年ごとに求められている。

DOE 環境管理局 (EM) は、2017 年 11 月 7 日に WIPP での処分のために処理済みであった硝酸塩 (RNS : remediated nitrate salts) について、LANL において (安全な処分のための追加の) 処理が完了したと公表した。この処理は、WIPP での安全な処分を目的として 2017 年 5 月から実施されていたものである。この処理の対象となったものは、LANL 内に保管されている 60 本のドラム缶に貯蔵された RNS であり、これらのドラム缶から取り出してゼオライトと水を混ぜることにより化学反応が起きないようにしてから、新たにドラム缶に貯蔵する等の処置が行われた。なお WIPP での定置用のドラム缶においては、以前に実施された処理により、有機物で作られた吸収剤と硝酸塩が混在した状況になっていた。

DOE の A.ホワイト (Anne White) 環境管理局 (EM) 担当次官補は、2018 年 5 月 14 日、に、WIPP において、新たな地下換気システムである SSCVS (Safety Significant Confinement Ventilation System) の建設を開始することを承認した。SSCVS を導入することにより、WIPP の地下に送ることのできる空気量を大幅に増やすことができるため、保全作業等と同時に TRU 廃棄物 (超ウラン元素含有廃棄物) の定置作業を行うことができるようになるという。また SSCVS はフィルターの交換が容易であり、予防保全 (preventive maintenance) 活動をし易くなるとのことである。なお SSCVS は 2021 年初までに完成する予定である。

#### 塩廃棄物処理施設

2016 年 6 月 7 日、DOE は、サバンナリバー・サイトにおいて塩廃棄物処理施設 (SWPF : Salt Waste Processing Facility) の建設が完了したと発表した。DOE とパーソンズ社\*は、稼動開始への準備として、プラントシステムの試験と運転に携わる要員の訓練に重点的に取り組んでいくという。

\* 建設作業を行ったパーソンズ社によると、予定よりも 8 か月早く、またコスト目標よりも 6,000 万ドル以上安価で済んだという。

#### <英国>

##### 実施体制

2004 年のエネルギー法 (Energy Act 2004) 第 3 条に基づき、2005 年 4 月 1 日に非省庁公共

機関（Non-Governmental Public Body）として原子力廃止措置機関（NDA：Nuclear Decommissioning Authority）が設立された。NDAの活動に必要な資金は、2004年のエネルギー法に基づいて設立された原子力廃止措置基金（Nuclear Decommissioning Funding Account）から拠出される（廃止措置に係る予算措置）。NDAの役割は、主に①原子力サイト・施設の廃止措置と除染、②英国核燃料会社（BNFL：British Nuclear Fuels Ltd）が実施していた核燃料サービスと発電事業の継承、③放射性廃棄物処分、④研究開発である。NDAは少なくとも5年ごとにレビューを実施し、活動の戦略を策定することになっている。

NDAは、旧UKAEAとBNFLが所有していた原子力サイトを引き継いでおり、移管されたサイトは順次、サイトごとに競争入札を行うことにより、廃止措置事業の管理請負事業者として親組織機構（PBOs：Parent Body Organisations）を決定する（但し、PBO方式を採用しないケースもあり）。PBOは、実際に廃止措置事業を実施する主体であるサイト事業者（SLCs：Site Licence Companies）の親会社として、SLCに対して経営陣を送り込みリスク管理や事業策定などの決定を指揮する。SLCではなく、PBOがSLCに経営陣を送り込みリスク管理や事業策定などの決定を指揮するため、PBOになる権利に対して競争入札が行われる。

ドーンレイ・サイトは2005年4月から所有権がUKAEAからNDAに移り、2008年4月1日までUKAEAが管理者となっていた。その後、NDAの下部組織であるドーンレイ・サイト・レストレーション社（DSRL：Dounreay Site Restoration Ltd）がSLCとして管理に当たってきたが、入札により2012年4月2日、バブコック・ドーンレイ・パートナーシップ（Babcock Dounreay Partnership）がDSRLのPBOとなった。2019年3月現在、キャベンディッシュ・ニュークリア（Cavendish Nuclear）社と、米国のJacobs社およびAECOM社によるコンソーシアムであるキャベンディッシュ・ドーンレイ・パートナーシップ（Cavendish Dounreay Partnership）がPBOとなっている。

マグノックス社が2019年9月1日からNDAの子会社になった（なることが、2018年7月2日に発表された。この決定は、マグノックスサイトの廃止措置に関連するCFP（Cavendish Fluor Partnership）\*との契約を解除する意図を表明したNDAの発表（2017年3月）に続くものである。NDAの最高責任者であるD.ピーティ（David Peattie）CEOによると、今回の決定は12のマグノックスサイトを管理するための新たなアプローチであり、同様の簡素化したアプローチへの変更は2016年にセラフィールドで実施しており効率的な廃止措置が進められているという。なお、今回のマグノックス社の子会社化については、ビジネス・エネルギー・産業戦略大臣の許可を受けたものである。

\* CFP（Cavendish Fluor Partnership）は、2014年9月1日にNDAとの契約により、マグノックス社とリサーチ・サイト・レストレーション社（RSRL）の親組織機構（PBO：Parent Body Organisation）となり、両社が責任を持つ12の原子力サイト（総てNDAが所有）での廃炉に取り組むこととなった。CFPは、2019年9月までにマグノックス社を管理し続けるという。

#### NDA 所有サイト

閉鎖サイト	オールドベリー、バークレー、ブラッドウェル、チャペルクロス、ダンジネス、ヒンクリー・ポイント、ハンターストン、サイズウェル、トロースフィニッド、ドーンレイ、ウィルファ
-------	-------------------------------------------------------------------------------------

燃料プラント	スプリングフィールドズ、セラフィールド（コールドホール、ウィンズケールを含む）、カーペンハースト
貯蔵施設	LLW 貯蔵施設
廃止措置研究施設	ウィンフリス、ハーウェル

英国の原子力施設等のうち、EDF エナジー社が所有している原子力発電所の廃止措置については、EDF エナジー社が責任を持つ。また、EDF エナジー社は、内部留保性の引当金を原子力債務基金（Nuclear Liabilities Fund）\*において積み立てることにより、廃止措置に必要な資金を確保している（廃止措置に係る予算措置）。廃止措置に係る費用を原子力債務基金から EDF エナジー社へ支払うには、所定の期間中に NDA に対して申請を行うことが必要である。なお英国政府は、原子力債務基金において資金が不足している場合、その分に限り EDF エナジー社の原子力発電所の廃止措置に係る費用等を負担することとなっている。

\* かつてのブリティッシュ・エナジー（British Energy）社が所有していた原子力発電所の廃止措置に係る費用等を確保する目的で 1996 年に英国政府が設立した基金「Nuclear Generation Decommissioning Fund」が前身である。この基金は 2005 年に原子力債務基金（Nuclear Liabilities Fund）へ改称された。なお EDF エナジー社は 2009 年 1 月にブリティッシュ・エナジー社（当時）を買収している。

#### 報告書関連

BEIS と NDA の共同研究プログラムの一部として、放射性廃棄物インベントリ報告書が発行されている。同報告書は、英国内における放射性廃棄物の在庫量等が記載されており、放射性廃棄物の現状把握や将来予測のため 3 年毎に更新されているものである。2017 年 4 月 3 日に最新版の 2016 年度版（2016 Inventory reports）が公表された。2016 年度版報告書によると、在庫量は極低レベル放射性廃棄物が 286 万 m<sup>3</sup>、低レベル放射性廃棄物が 135 万 m<sup>3</sup>、中レベル放射性廃棄物が 29 万 m<sup>3</sup>、高レベル放射性廃棄物が 1,150m<sup>3</sup> である。

会計監査院（NAO : National Audit Office）は、2018 年 6 月 20 日に、報告書「原子力廃止措置機関：セラフィールドにおけるリスク低減の進捗」\*を公表した。NAO はこの報告書の中で、セラフィールド社（Sellafield Ltd.）の活動について、サイト内の貯蔵池（ponds）や貯蔵庫（silos）にある危険な廃棄物の除去が進むなど、前回報告書が刊行された 2015 年から改善されていると評価している。また、セラフィールドにおける主要プロジェクトでは依然として遅延やコスト超過がみられるが、これについても NDA による改善があったとしている。一方、今後の課題として、NDA と中央政府が NDA の役割を明確にする必要があるとし、また、法的義務を遂行し専門性を発揮してモチベーションを維持するために、セラフィールドにおけるリーダーシップ発揮と決定事項の精査とのバランスを見定める必要があることを指摘している。

\* The Nuclear Decommissioning Authority: progress with reducing risk at Sellafield.

#### 原子力施設関係

EDF エナジー社は、2013 年 1 月 14 日にサイズウェル B 原子力発電所の使用済み燃料のための英国初となる乾式貯蔵施設の建設を開始し、2016 年 3 月 31 日に完成した。同発電所の運転期限まで、または最終地層処分場完成まで同発電所で発生した使用済み燃料を貯蔵するとして

いる。

廃止措置段階にあるブラッドウェル原子力発電所の燃料要素デブリ（FED：Fuel Element Debris）の処理について、NDAは2017年6月21日に完了したことを明らかにした。FEDは同発電所における中レベル放射性廃棄物の元となっていたが、マグノックス社が導入した新たな手法により廃棄物が減量したほか、FEDの処理計画が1年以上短縮されたという\*。

\* 65トンのFEDが同発電所において処理され、固体廃棄物の容量は90%以上が減容化できたほか、FEDの半分以上は低レベル廃棄物として再区分されたという。なお、これまでに140トン以上のFEDが西カンブリヤ地域の処理施設での処理・処分のためにトラデベ社（Tradebe-Inutec）へ輸送された。

その後、マグノックス社が2018年11月29日に、ブラッドウェル原子力発電所の2基の原子炉が安全貯蔵（C&M：Care and Maintenance）の段階に入ったことを発表した。これは、すべての燃料が取り除かれ、またすべての中レベル放射性廃棄物（ILW）が安全にサイト内に貯蔵されたことなどによるものであり、同サイトはマグノックス社が管理しているサイトの中で初めてC&Mの段階に入ったものであるという。また、同発電所がC&Mの段階に至ったことによる経験は、NDAにとって今後の英国内で実施される廃止措置戦略等の一助となることが期待されるという。

マグノックス社は、ハンターストン A サイトにある最大のマグノックス炉使用済み燃料貯蔵池の排水および除染が、2018年9月26日に完了したことを明らかにした。100万ガロン以上の水、10トン以上の不要設備、および放射性汚泥の除去が行われた。この作業には、貯蔵池壁面を除染するための超高压放水およびコンクリート研磨（concrete shaving）といった革新的な廃止措置アプローチがいくつか用いられた。作業にあたっては、放射性汚染水処理のための新たな水処理施設が設置されたほか、作業員が手動で除染作業を行うための水上用足場であるポンツーン（pontoon）が設けられたという。NDAは、このような取組は世界初のものであり、マグノックス社が開発したツールや技法は他の廃止措置においても重要なものであると述べている。

2016年8月5日、DSRLは、閉鎖済みのドーンレイ炉（DFR）の1次系から68トンの液体金属（NaK）の除去が完了し、10年にわたり行われてきた作業を終了したと発表した。NaKの除去作業の大半はすでに2012年に終了していたが、複雑でアクセス困難な配管系に残っていた分を今回の作業で取り除き、完了した。2018年8月17日には、ヌヴィア（Nuvia）社とDSRLがドーンレイ・サイトにおけるナトリウムカリウム合金（NaK）除去に関する契約を締結した。ヌヴィア社は、水蒸気窒素プロセス（Water Vapour Nitrogen process）\*を用いてドーンレイ炉（DFR：Dounreay Fast Reactor）の配管ネットワークに残留しているNaK除去を実施するという。この契約は、2018年7月から3年間有効なものとなっている。

\* 水蒸気を反応させ、水酸化ナトリウム・水酸化カリウム・窒素を生成することで、NaKを除去する。生成物はガス濾過システムおよびイオン交換プラントを用いて回収され、安全に処分されるという。

#### 廃棄物処理・処分

放射性廃棄物管理会社（RWM）は、2016年5月に地層処分に関する研究開発の概要を示した「地層処分に関する科学技術プログラム」を発表した。このプログラムは、地層処分事業を実

施する上で重要なアウトプットをステークホルダーに提示することを念頭に置いて取りまとめたものであり、RWM は、科学・技術研究の進捗を管理するツールとして使用していく考えである。

一方 2016 年 7 月 19 日に放射性廃棄物管理委員会 (CoRWM) が、2015 年度の年次報告書「第 12 次年報 2015-2016 (CoRWM Twelfth Annual Report 2015 to 2016)」を公表し、報告書内で英国政府及び RWM に対して 3 つの勧告を行った。

勧告 1 : RWM は、地層処分場の設置が考えられている 3 種類の岩種 (硬岩、粘土、岩塩) について、岩種による安全特性および施設設計の違いを示すべきである。

勧告 2 : 英国政府は、RWM に対する外部による独立したレビューを実施すべきである。

勧告 3 : 英国政府は、一般市民が CoRWM 及び RWM の過去の文書に容易にアクセスできる方法を検討すべきである。

2018 年 7 月 30 日、NDA と BEIS は、「統合廃棄物管理—放射性廃棄物戦略」(Integrated Waste Management - Radioactive Waste Strategy) を発表した。この戦略は、NDA グループにおいて発生する総ての放射性廃棄物に対して適用されるものである。同戦略は、安全であり、環境的に受容可能 (environmentally acceptable) であり、かつ関係する放射性廃棄物の性質を反映した費用対効果の高い解決策を確保することを目的として柔軟な意思決定を行うための枠組み、および NDA のミッションを支援するために相応しくかつ時宜に適った廃棄物管理の基盤を作るための統合プログラムを提供するものである。なお、同戦略内容に関するパブリック・コンサルテーションは、2018 年 10 月 31 日までに実施された。

Magnox 炉の燃料被覆材に由来する中レベル放射性廃棄物を密閉処理するための施設である Magnox キャニスタ封入施設 (Encapsulation Plant) は、1990 年に操業を開始した。2021 年まで稼働する予定である。

国立原子力研究所 (NNL) とキュリオン (Kurion) 社が実施していた放射性廃棄物の容器内ガラス固化 (ICV : In-Container Vitrification) 施設である “GeoMelt” における試験が 2016 年 6 月 10 日に完了した。その後、汚染土壌を含む腐食したマグノックス燃料スラッジと汚染土壌を混合した処理を実証する、最初の熔融を同施設において実施した。NNL とキュリオン社は、同施設における放射性廃棄物の年間処理容量を 200 トン以上とする計画である。英国では、GeoMelt での熱処理に適した 30 万トンを超える低中レベル放射性廃棄物を有している。

### 低レベル放射性廃棄物 (LLW)

#### ・ドリッグ (Drigg) 低レベル放射性廃棄物処分場

1959 年に操業開始。固体低レベル放射性廃棄物を、浅地中のトレンチまたは地下埋設施設に処分する施設である。同処分場の所有者は NDA、運営者は放射性廃棄物処分場会社 (UKNWM : UK Nuclear Waste Management) である。

2016 年 7 月 18 日にカンブリア州議会は、同処分場における 2 つのボールド処分施設の新設および既存のボールド処分施設の増設等に関する計画申請について承認した。この拡張により

2050年まで施設の操業が継続できることになる。なお、今回承認された計画申請には、既存と新規のボールド処分施設および1988年にボールド処分施設が操業する前の既存の7つのトレンチ処分施設における最終的な覆土工事も含まれている\*。

\* ドリッグ処分場では、7つのトレンチ処分施設で低レベル放射性廃棄物が処分され、1988年以降はコンクリートボールド施設（8号コンクリートボールド施設）での処分をしていたがすでに満杯。承認されたのは、すでに完成している9号コンクリートボールド施設の増設、10号コンクリートボールド施設及び11号コンクリートボールド施設の新規の建設に関するものである。

#### ・ドーンレイ・サイト

ドーンレイ・サイトでは、LLWの処分を行っていたが、処分許容量を超えたため、現在は廃棄物の受け入れを停止している。一方、同サイトの原子炉に係る廃止措置から発生するLLWについては、新たな低レベル放射性廃棄物貯蔵施設を建設し処分する計画をしている。新たな施設について、2014年5月には2つの処分空洞の掘削が完了。翌2015年5月にはLLWの搬入作業を開始しており、同サイトでは2020年までに、さらに2つの処分空洞を完成させる計画である。

### 中レベル放射性廃棄物（ILW）

英国国内で発生したILWは、それぞれの発生サイトで貯蔵されている\*。処分に関しては、2008年の政府白書「放射性廃棄物の安全な管理－地層処分の実施に向けた枠組み（Managing Radioactive Waste Safely: A Framework for Implementing Geological Disposal）」において、高レベル放射性廃棄物と併置処分を行う方針が示されている。この方針は2018年12月に公表された政策文書「地層処分の実施－地域社会との連携：高レベル放射性廃棄物の長期管理のための最新枠組み」（後述）においても維持されている。

\* ILWについて、セラフィールド・サイトでの地層処分場建設計画が1991年にカンブリア州政府に申請されていたが、公開審査の結果、1997年3月に申請は却下された。

### 高レベル放射性廃棄物（HLW）

英国では、高レベル放射性廃棄物を最低でも50年間貯蔵し、その後地層処分を行うとしている。現在は、地層処分場建設に向けて準備中であり、再処理プラントなどで発生した高レベル放射性廃棄物はガラス固化した上で、セラフィールド・サイト、ドーンレイ・サイト、各原子力発電所の貯蔵施設内に貯蔵されている。

2018年12月19日、BEISは「地層処分の実施－地域社会との連携：高レベル放射性廃棄物の長期管理のための最新枠組み」（Implementing Geological Disposal - Working with Communities: An updated framework for the long-term management of higher activity radioactive waste）\*1と題する政策文書を公表し、これと同時に高レベル放射性廃棄物の地層処分施設（GDF）における新たなサイト選定プロセスを開始したことを明らかにした\*2。R.ハリントン（Richard Harrington）産業・エネルギー担当大臣によると、この政策文書は地層処分の実施にあたり、高レベル放射性廃棄物を管理するための政府の包括的な政策枠組みを提示するとともに、サイト選定において政府が地域社会とどのように協力するかを示したものである。な

お、GDF を設置するに好ましい場所はまだ特定されていない。

- \*1 この政策文書は、2014年7月に発表された白書「地層処分の実施—高レベル放射性廃棄物等の長期管理に向けた枠組み」に代わるものである。
- \*2 以前行われた地層処分施設サイト選定プロセスの初期段階で、カンブリア地方の2か所（コーブランドおよびアラデール）が関心を表明していた。しかし、2013年1月に地方議会が次段階への進行に反対する決議を下したため、計画は中止された。

#### 地層処分サイト選定の経緯

2006年7月31日、放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）は、「放射性廃棄物の長期管理に関する勧告」を提示した。同年10月25日、環境・食糧・農村地域省（DEFRA）は、CoRWMの勧告を受け入れ、15の勧告に対する回答をウェブサイト上で公開し、あわせて、高レベル放射性廃棄物等の長期管理方針を決定した。長期管理方針では、誘致自治体とのパートナーシップの重要性を強調し、NDAを地層処分の実施主体として決定したとしている。

2008年6月12日、DEFRAは、「放射性廃棄物の安全な管理—地層処分の実施に向けた枠組み（Managing Radioactive Waste Safely: A Framework for Implementing Geological Disposal）」と題する白書を発表した。また、白書の発表と同時に、誘致自治体の公募を開始した。白書では、サイト選定計画はボランティア（voluntarism）とパートナーシップ（partnership）の原則に基づき進めることを明記している。その上で、地層処分場の立地に関し、次の6段階のプロセスを示した。

- ・ 第1段階（関心表明）  
自治体は、受け入れに関する責任を持たずに忌憚なく政府と協議を行うことができる。
- ・ 第2段階（初期スクリーニング）  
天然資源の存在や地質学的安定性の観点から地層処分に不適切と考えられる地域の自治体にその旨を連絡する。
- ・ 第3段階（自治体の参加検討）  
この段階以降では、自治体はサイト選定プロセスに公式に責任を有することとなる。
- ・ 第4段階（机上調査）  
誘致自治体の地域情報に関する文献調査。
- ・ 第5段階（地表調査）  
候補サイトを決定するための地表調査。
- ・ 第6段階（地下調査）  
サイト適正を確認するための地下調査。

2009年4月24日にCoRWMは、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する報告書のドラフトを公表し、意見公募を経て、同年7月31日に政府へ提出した。また、高レベル放射性廃棄物等の地層処分および中間貯蔵の研究開発に関する報告書のドラフトについても、2009年7月27日に公表し、こちらも意見公募を経て、同年10月30日に政府へ提出した。

また、サイト選定プロセスへの関心表明については、2008年7月にカンブリア州コーブランド市が、2009年2月に同州アラデール市がサイト選定に対し関心表明を行っている。2009年に

はカンブリア州、コーブランド市およびアラデール市の 1 州 2 市が共同で、西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップ\*という諮問組織を設置した。同パートナーシップは、2009 年 11 月、コーブランド市およびアラデール市の全世帯に対して、地層処分場のサイト選定に関する小冊子を送付し、両市の様々な地域で公聴会を開催した。2010 年 6 月には、サイト選定の初期スクリーニング（地質学的調査）を開始していた。

\* The West Cumbria MRWS Partnership。サイト選定プロセスへの参加に関し、議員、農業連名、労働組合や地元住民が参加し、第 4 段階に進むことに関する報告書を作成。

NDA は、2011 年 2 月 23 日に処分システム・セーフティケース (DSSC) の作成を発表した。DSSC は、「処分」「操業」「環境」の 3 つのセーフティケースからなり、放射性廃棄物の輸送、処分場の操業、および処分場の閉鎖後数十万年にわたる環境に関する安全性について説明している。

2013 年 1 月 30 日、候補サイトについて、カンブリア州議会とコーブランド市議会で投票が実施された。コーブランド市議会は 6 対 1 で調査を承認したが、同市を含むカンブリア州議会は 7 対 3 で否決した。これにより、コーブランド市もアラデール市もサイト選定の第 4 段階には進まないこととなった。州議会で否決された理由の一つとして、第 4 段階に進んだ場合、選定プロセスから撤退する権利が法律で担保されていないことが指摘された。また、第 4 段階に進まないという結果をもって、西カンブリア放射性廃棄物安全管理パートナーシップは活動を終えた。

この結果を受け、2013 年 5 月、英国政府は、サイト選定プロセスに関わってきた者や強い関心を示してきた者を対象として「根拠に基づく情報提供の照会」(Call for Evidence) を実施した。“プロセスの改善点”、“インセンティブ” および “自治体が必要とする情報”などを尋ね、その教訓を取り入れてサイト選定プロセスを見直すためとしている。2013 年 9 月、英国政府は、提供された情報を反映させた「地層処分施設のためのサイト選定プロセスのレビュー (Review of the Siting Process for a Geological Disposal Facility)」を発表した。2008 年の白書で示した、「ボランティアとパートナーシップの原則に基づきサイト選定計画を進める」という基本方針は変更せず、サイト選定のプロセスを改善するとしている。また、CoRWM に対し協議文書を示して協力を求めている。同年 12 月、CoRWM は政府に対して、地質データなどの情報収集やセーフティケースの開発などを含む改善案を提示した。

英国政府は、2014 年 7 月 24 日に「地層処分の実施－高レベル放射性廃棄物等の長期管理に向けた枠組み」と題する新たな白書を発表した。この白書では、前白書 (2008 年版) で示されていた 6 段階による選定プロセスに替えて、次の 2 段階の選定プロセスを提示している。

- ・英国政府および実施主体による情報提供期間 (2 年)
- ・関心表明自治体と実施主体との協議期間 (15～20 年)

また、地層処分の実施主体を、NDA から NDA の下に設置される放射性廃棄物管理会社 (RWM) へ移管するとした。一方、地層処分の実施責任は、引き続き NDA が有する。

英国議会下院のビジネス・エネルギー・産業戦略委員会 (Business, Energy and Industrial Strategy Committee) \*は、2018 年 7 月 31 日に地層処分事業基盤 (GDI : Geological Disposal

Infrastructure) に関する国家政策声明書 (NPS : national policy statement) の草案について、精査の結果に関する報告書を公表した。同委員会は、NPS 草案についてこの報告書は全体として目的に合ったものであり、開発者、計画審査庁 (Planning Inspectorate)、担当大臣 (the Secretary of State) が開発同意令 (DCO : Development Consent Order) を提出、勧告するために必要とする十分な説明と詳細な内容を含んでいると結論付けた。また同委員会は、NPS および NPS と関連した「地域との協働」(Working With Communities) 政策 (但し NPS とは別個に位置付けられる) の双方について、GDI に適したサイトの選定にうまく行かなかった以前の試みからの重要な学びを取り入れたものであると評価している。

\* 英国議会上院に設置されている BEIS の特別委員会 (the BEIS parliamentary select committee) である。

2014 年公表の白書「地層処分の実施－高レベル放射性廃棄物等の長期管理に向けた枠組み」に代わるものとして、2018 年 12 月 19 日、BEIS は「地層処分の実施－地域社会との連携：高レベル放射性廃棄物の長期管理のための最新枠組み」(Implementing Geological Disposal - Working with Communities: An updated framework for the long-term management of higher activity radioactive waste) と題する政策文書を公表し、これと同時に高レベル放射性廃棄物の地層処分施設 (GDF) における新たなサイト選定プロセスを開始したことを明らかにした。R.ハリントン産業・エネルギー担当大臣によると、この政策文書は地層処分の実施にあたり、高レベル放射性廃棄物を管理するための政府の包括的な政策枠組みを提示するとともに、サイト選定において政府が地域社会とどのように協力するかを示したものである。なお、GDF を設置するに好ましい場所はまだ特定されていない。

#### 外国への再処理廃棄物の返還

英国では、他国から使用済み燃料を受け入れ、再処理を行っている。その際に発生する再処理廃棄物は、ガラス固化した上で使用済み燃料の発生国へ返還している。

NDA は廃棄物返還に関して、再処理された発生国由来の廃棄物そのものではなく、それと同量の廃棄物を、英国内で貯蔵されている中から代用して送り返す政策を採っている。

2010 年 1 月より、ガラス固化された廃棄物の、各国への返還を開始した。2011 年 9 月 15 日、日本にも、放射性廃棄物を積んだコンテナ 76 基が到着した。積荷は、セラフィールドからバローまで NDA の輸送部門である DRS (Direct Rail Services) によって鉄道輸送された後、8 月 3 日にバロー港から日本へ向けて出発したものである。2013 年 3 月 27 日には、第 3 回目の返還として、ガラス固化体 28 本を積んだ輸送船が青森県むつ市の小川原港に到着した。

#### プルトニウム管理

2013 年 12 月の政府統計によると、英国は分離プルトニウム 123 トン (民生用) を所有し、その内 23 トンは国外の機関が所有している。これらは使用済み AGR 燃料 6,000 トンの中に存在する形でセラフィールドに長期貯蔵されている。しかし貯蔵は暫定手段であり、政府は 2006 年から NDA と共に正式な管理手段について検討中である。

2009年1月、NDAが発表した報告書「プルトニウム戦略」では、更なる検討の必要性を示唆し、結論を先延ばしにしたが、同年9月、当時の労働党政権が報告書「2010年への道」(Road to 2010)で、プルトニウムの長期管理の確立に向けてプロセスを開始すると発表した。しかし、その後の総選挙で敗北を喫し退陣したため、計画は新政権に委ねられた。

2011年2月に新政権が、最終管理方針の決定に向けた協議文書を発表、意見募集を開始し同年5月に意見聴取を終了した結果、MOX方式が妥当であると発表した。

管理方法について、2011年12月にGE日立が英国政府に対して、同社の小型ナトリウム冷却高速炉PRISM利用のプルトニウム処分法を提案している。この提案方法は、プルトニウムを燃料として発電しながら処分する方法で、プルトニウムの処理が完了した後は発電プラントとして運転を行うというものである。2012年4月4日には、GE日立は国立原子力研究所(NNL)と、この処分法に関して研究協力了解覚書(MOU)を調印した。この方法によれば、セラフィード貯蔵のプルトニウム全量は5年で消費できるとしている。また、Candu エナジー社も、英国政府に対して同社のEC6(Enhanced CANDU 6)炉を用いてMOX燃料(2%Pu(CANMOX))で燃焼させる方法(CANMOXアプローチ)を提案している。

これらの提案を受け、NDAは2013年8月1日に、政府提案のMOX燃料化、GE日立やCandu エナジー社による代替処分法、更に、提案正当化に関わる調査アウトラインの展開に関してDECC(当時)が考慮中とする文書を発表している。

一方で、NDAは2012年初めにMOX利用以外の代案も改めて検討する旨を表明している。2012年5月28日～8月20日にかけて、政府提案の「プルトニウムの再利用法の正当化に関する協議」と称して、意見を広く求め、その結果を2013年5月13日に公開した。

### 廃止措置関連

2018年5月8日、BEISは、廃止措置およびクリーンアップの最終段階にある原子力サイトの今後の規制について\*、公開コンサルテーションを開始した(7月3日までの期限)。このコンサルテーションについてBEISは、放射性廃棄物管理を最適化することができる様な(そしてそれによりコストの削減等が可能となるような)より柔軟なアプローチを模索するものであるとしている。BEISは2016年11月、提案の原則に関するディスカッション・ペーパーを公開しており、今回開始された公開コンサルテーションにおいては、特に廃止措置等が最終段階にあるサイトを第三者原子力責任制度の対象から外すための措置や、原子力サイト許可を終了させるための措置を中心として、詳述された提案に対する一般等からの意見の聴取が行われる。

\* BEISは1965年原子力施設法(NIA65)の改定を提案している。この提案では、国際的に合意された基準に照らし合わせた時に廃止した原子力施設が安全な状態になったと認められた場合に、事業者に対してサイト許可を終了し第三者責任制度から離脱することを許可としている。許認可終了後の施設は、非原子力施設と同様に保健安全執行部(Health and Safety Executive)や関連環境省庁の管理下に置かれる。

2018年6月21日、英国のエンジニアリング・技術サービス会社であるウッド(Wood)社\*は、中小企業が開発した廃炉技術に投資する「ウッド原子力イノベーション基金」(Wood Nuclear Innovation Fund)の設置を発表した。この基金は、廃止措置における人間の介入を最小限にし、

生産性を向上させ、廃棄物の取扱いを効率化することで、廃炉・解体プロセスを段階的に改善しようというものである。Wood社は今回の基金について、英国政府やNDAは産業界に対しより安全かつ安価で迅速な廃止措置を要求しており、これを充たすためには新規あるいは既存技術の開発・実装が必要であると、その狙いを述べている。

\* 2018年4月、Wood社とNDAは、廃止措置における技術的支援に関する契約を締結した。

2018年9月24日、NDAは、放射性廃棄物管理の課題に取り組むための産学連携研究プログラム「原子力廃止措置に革新を起こす科学とエンジニアリング」(TRANSCEND: Transformative Science and Engineering for Nuclear Decommissioning)を発表した\*1。TRANSCENDでは、原子力産業界と大学の博士研究員・博士課程学生の連携を図り、統合的な廃棄物管理、廃止措置とサイト修復、使用済み燃料、核物質といったNDAの4つの主要課題に関する研究が行われる。それぞれ最長で4年間の研究プロジェクト(40件)が対象となり、助成金460万ポンドは英国工学・物理学研究会議(EPSRC: Engineering & Physical Sciences Research Council)の支援によるもので(最終的には900万ポンドを超える見通し)、NNL、および原子力関係企業\*2から直接の出資のほか、これらの機関・企業による施設や訓練、専門的知見の提供が行われるという。TRANSCENDには、リーズ大学主導による11大学\*3のコンソーシアムが参加する。

\*1 同プログラムは、DIAMONDプログラム(2013年終了)と、DISTINCTIVEプログラム(2019年初め終了予定)に基づいたもの。実施期間は、2018年10月~2022年9月までである。

\*2 AWE社、Cavendish Nuclear、Low Level Waste Repository Ltd社、Radioactive Waste Management Ltd社、Sellafield Ltd社、TUV SUD Nuclear Technologies社。

\*3 インペリアル・カレッジ・ロンドン、ランカスター大学、クイーンズ大学ベルファスト、パーミンガム大学、ブリストル大学、リーズ大学、マンチェスター大学、シェフィールド大学、サウサンプトン大学、ストラスクライド大学、サリー大学。

## その他(協力動向等)

NDAは、2018年6月28日にオラノ(Orano)社およびEDFと、民生原子力施設の廃止措置等に関する協同ロードマップ(Roadmaps of Collaboration)に署名をした。このロードマップは、2018年初めに英国・フランス両政府間で結ばれた廃止措置に関する宣言\*に基づくものである。ロードマップにおいては、各々の専門性を共有し、廃止措置コストを削減することが可能な事業の特定を目的として、NDAと2組織がどのように協働するかについて定められている。また同日、NDAはEDFとマグノックス炉廃止措置に関する合意にも署名している。

\* 2018年1月18日に署名された、“Declaration of Intent concerning Enhancing Collaboration in Civil Nuclear Decommissioning and Waste Management”。

## <フランス>

### 放射性廃棄物管理

フランスでは、放射性廃棄物は放射能レベルと半減期によって次のように分類される(半減期30年以上を「長寿命」としている)。

- ・高レベル放射性廃棄物
- ・長寿命中レベル放射性廃棄物

- ・長寿命低レベル放射性廃棄物
- ・極低レベル放射性廃棄物（TFA）
- ・短寿命低・中レベル放射性廃棄物（FA-MAVC）

放射性廃棄物管理と処分は、1991年制定「放射性廃棄物等管理研究法」（通称バタイユ法）と2006年制定「放射性物質及び放射性廃棄物の持続可能な管理に関する計画法」（以下、「放射性廃棄物等管理計画法」）の枠組みで実施される。

「放射性廃棄物等管理計画法」は、処分場建設のための基本計画として位置づけられており、3年毎に政府が放射性物質及び放射性廃棄物管理国家計画（PNGMDR）\*を策定することが規定されている。

\* PNGMDRは、廃棄物管理の現状の分析、今後の収容量と貯蔵期間を含む需要評価、研究方向等未確定の最終管理方策への道筋を示し、環境法典（Code de l'environnement）L.542条-1-2によるデクレによって決定される。

2018年7月13日に、放射性廃棄物管理機関（ANDRA）は、放射性廃棄物に関する報告書（National Inventory of Radioactive Materials and Waste 2018）を発行した（同報告書は3年ごとに発行される）。この報告書によると、2016年末時点でフランス国内の放射性廃棄物の総量は約154万m<sup>3</sup>であり、前回2013年末時点から約8.5万m<sup>3</sup>が増加していることが示されている。また、2018年版の報告書では、将来のインベントリ予測として、3つのシナリオを設定し、それぞれ、既存炉58基の運転と解体による廃棄物発生量の予測が示されている。なお、既存炉を建て替えた新規炉から発生する廃棄物量は予測に含められていない。

### 放射性廃棄物管理機関（ANDRA）

フランスにおける放射性廃棄物の実施主体は、放射性廃棄物管理機関（ANDRA）である。

1979年にCEA内に設置されたANDRAは、1991年に放射性廃棄物管理の研究に関する法律によってCEAから独立して環境・エネルギー省、研究省管轄下のEPICとなり、2006年放射性物質・廃棄物処分法により廃棄物の性質確認、廃棄物貯蔵施設の立地、設計、建設、管理を実施する任務が規定されている。ラ・マンシュ（La Manche）低・中レベル放射性廃棄物処分場の管理、オーブ（Aube）低・中レベル放射性廃棄物処分場や隣接する極低レベル放射性廃棄物処分場等の管理に当たっている。現在、地層処分産業施設・高レベル及び長寿命中レベル放射性廃棄物の地層処分産業センターであるCigéoプロジェクトに関する作業を進めている。

[主な任務]

- ・小規模放射性廃棄物発生者への援助
- ・廃棄物の輸送及び処理
- ・安全な条件下での廃棄物の監視及び処分
- ・ラ・マンシュ低・中レベル放射性廃棄物処分場の管理、オーブ低・中レベル放射性廃棄物処分場、隣接する極低レベル放射性廃棄物処分場の管理
- ・高レベル・長寿命廃棄物の管理に関する長期計画の策定
- ・廃棄物パッケージの研究、天然バリア及び人工バリアの研究

- ・地下環境の調査
- ・国際協力
- ・ノウハウの提供

ANDRA の研究開発は、作業に関する次の 5 つのテーマに従って行われる。

- ・処分場サイトの希少資源（収容能力）の保存
- ・要求と必要とされる技術仕様の明確化
- ・処分場建設作業と処分作業に必要な情報・評価法等の提供
- ・診断と情報ネットワーク：処分場と貯蔵廃棄物の管理状況の監視に関する診断と情報共有
- ・処分場材料の最適化：長期貯蔵に耐える処分場の構造と材料に関するもの

### 廃棄物の長期管理

#### (1)極低レベル放射性廃棄物（TFA）

TFA は、オーブ県モルヴィリエにある CIRES（Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage）中間貯蔵場で貯蔵される。CEA 管轄の旧施設解体により大量に発生する廃棄物が主である。2003 年に操業を開始し、貯蔵容量は 65 万 m<sup>3</sup>である。カダラッシュ・サイトの CIRES に移送できない核遺産固体低レベル廃棄物は、同サイトに貯蔵される。

#### (2)短寿命低・中レベル放射性廃棄物（FA-MAVC）

半減期30年未満の低・中レベル廃棄物は、ANDRAが管理するラ・マンシュ低・中レベル放射性廃棄物処分場（CSM：Centre de stockage de la Manche）とオーブ低・中レベル放射性廃棄物処分場（Centre de l'Aube）の2か所で貯蔵される。

CSMは、1969年にフランスで初めて操業を開始した処分場である。CSMは、貯蔵容量の52万7,225m<sup>3</sup>の全量を1994年までに使用し、2003年からデクレ（décret n° 2003-30 du 10 janvier 2003）により300年間の監視段階中にある\*。

\* 廃棄物被覆に局部的障害が発生したが、2011、2012年に修復工事が完了した。

オーブ処分場は、貯蔵容量100万m<sup>3</sup>であり、CSMを引き継ぎ1992年1月に操業を開始した。受領する廃棄物は5m<sup>3</sup>または10m<sup>3</sup>の金属容器ないし200 Lのドラム缶をモルタルで被覆しており、さらに土壌で埋めるという3層のカバーになっている。

#### (3)長寿命高・中レベル放射性廃棄物（HA-MAVL）

2006年「放射性廃棄物等管理計画法」が求める下記3つについて研究が進められた。

- 分離・核変換\*<sup>1</sup>
- 長期中間貯蔵\*<sup>2</sup>
- 可逆性のある大深度地層処分と中間貯蔵施設\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> 管理計画法と PNGMDR は、CEA が ANDRA 他の研究機関の研究を纏めて報告するよう規定している。2010 年末に CEA は、いくつかのシナリオに沿った中間報告を提出した。2012 年末に最終報告が提出されている。

\*<sup>2</sup> 2006 年放射性廃棄物等管理計画法は、ANDRA に対して、最終処分法が決まるまでの期間について十分な収容量等を満たす長期中間貯蔵場の設置が可能となるように研究を継続することを認めている。2009 年 12 月 31 日、ANDRA は報告書を提出した。これに対して 2011 年 7 月 28 日、廃棄物に関する常設専門諮問委員会（GPD）は、ANDRA の報告書について意見書（n° 2011-

AV 0118) を環境大臣及び高等教育・研究大臣に対して提出し、ANDRA による研究継続を勧告している。

- \*3 大深度地層処分場に関する研究は、ANDRA が、1999 年に建設・操業を認められたムーズ・オート＝マルヌ県境のビュール (Bure) 地下研究所で行ってきた。2008 年の PNGMDR デクレに応じて、ANDRA は 2009 年末に、環境大臣及び高等教育・研究大臣に詳細な地質調査を行う候補サイト案を提出した。2010 年 1 月 5 日、ASN は、選択された 30km<sup>2</sup> の深地層候補サイト (ZIRA : zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie) を将来の地層処分場サイト候補の見地から認める意見を明らかにしている。

2011 年 5 月、ANDRA によるこの深地層貯蔵施設プロジェクトは、特に産業計画インプットデータを施設初期設計に反映させることに焦点を置いて審査を受け、地層処分産業センター (Cigéo : centre industriel de stockage géologique) プロジェクトとして承認された。

ANDRA は、環境法 (Code de l'environnement) L.542 条-10-1 (計画法 12 条) によって地層処分場の設置許可を得るための前提要件とされている公開討論会の開催を、2012 年 10 月に公開討論国家委員会 (CNDP : Commission nationale du débat public) に付託した。CNDP は 2013 年 5 月 23 日から 10 月 10 日までの 14 回の公開討論会の予定を組んだが、反対派の妨害による中止が相次ぎ、CNDP は 7 月 3 日に、期間の 12 月 15 日までの延長、多数回の地元会議やインターネット会議の開催、市民会議による総括などの対策を講じ、12 月 17 日に公開討論会は終了した。2013 年 12 月から 2014 年 2 月にかけて 3 回の市民会議が開催され、2014 年 2 月 3 日、市民パネルが取り纏めた見解を公表し、CNDP は同 12 日、公開討論会に関する総括、プロシーディングスを公表した。総括報告によれば、厳しく対立する数多くの意見が寄せられ、例えば、フランス経団連 (MEDEF)、フランス労働総同盟 (CGT)、フランス民主労働総同盟 (CFDT) などは、「放射性廃棄物処分は速やかに解決されるべきでプロジェクトは良い解決案と思われる」とするが、ヨーロッパ・エコロジー緑の党 (EELV) 地方支部などは否定的であった。この結果、ANDRA は策定していた計画 (2015 年に設置許可申請、2025 年に地層処分場の操業開始の計画) のために地層処分に関する公開討論会を実施したが、スケジュールの変更は避けられないこととなった\*。そのため、2014 年 5 月 6 日に ANDRA が新しい地層処分計画案を発表した。新計画案では、2025 年にパイロット操業段階の開始を予定している。

- \* 地層処分場の操業開始に至るには、地層処分場の設置許可申請、可逆性の条件を定める法律の制定、デクレによる設置許可の発給を経る流れとなっている。

同プロジェクトの建設・操業費用について、2016 年 1 月 15 日に S. ロワイヤル (Ségolène Royal) エコロジー・持続可能開発・エネルギー大臣が、基準となる参考費用 (reference cost) を 250 億ユーロ (270 億ドル) と定める法令に署名した\*。

- \* ANDRA は 2005 年、総費用を 135～165 億ユーロ (146～179 億ドル) と見積もっていたが、2009 年には 360 億ユーロ (390 億ドル) と算定し直していた。この算定について ASN は 2016 年 1 月 12 日、楽観的な部分もあり、また現時点では不確実性があることを避けられないとの見解を明らかにしている。

### Cigéo プロジェクト (地層処分産業センター・プロジェクト) の概要

- ・処分対象とする廃棄物 : フランス国内の発電炉から発生する使用済み燃料、再処理及び核抑止力・船舶用原子炉関連作業から発生する高レベル放射性廃棄物及び低・中レベル放射性廃棄物。

- ・処分候補サイト：ムーズ・オート＝マルヌ県境の深地層30km<sup>2</sup> (ZIRA)
- ・事業内容：地表施設と地下施設で構成。地表施設では、廃棄物の受け入れ、検査、調製を行う。地下施設は、地下500mの地層処分場で、100年運用予定である。現在、設計段階にある。なお、地下研究施設は開設済みである。
- ・可逆性の確保：要求されている「可逆性のある地層処分」を実現するために、放射性廃棄物を搬入する装置は、搬出する際にも使用可能となっている。
- ・コスト：廃棄物発生者である原子力基本施設 (INB : Installations Nucléaires de Base) の事業者が負担する。総費用の基準となる参考費用 (reference cost) は、2016年1月15日時点で250億ユーロ (270億ドル) である。

同プロジェクトは、2018年に建設許可申請を行い、2020年の建設開始を目標としているが、計画は遅延している。

### その他

2017年10月23日にASNは、使用済み燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約 (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management) について、国別報告をIAEAに提出した。この報告では、同条約についてフランス側の当事者による履行状況について記述するとともに、規制枠組みの策定、使用済み燃料や放射性廃棄物の管理政策の策定、および原子力施設の廃止措置の進展状況等、この条約下での最新の進展や展望についても記述している。

2017年11月22日、ロスアトム社とANDRAは、放射性廃棄物の最終処分について協力することで合意した。この合意は、放射性廃棄物の管理、科学的・技術的情報の交換等のための国内制度の運用について協力を進めていくことを目的としている。また両者は、放射性廃棄物の最終処分に関連した技術的解決策についてレビューを行うことで合意するとともに、双方の専門家が双方の最終処分施設を視察できる様にすることも合意したとのことである。

### 廃止措置

フランスにおいて原子力施設 (installation nucléaire) \*の廃止措置は、環境法 (code l'environnement) のArticle L594-2の定めにより、施設の運転者 (exploitants) が実施する (廃止措置体制)。また廃止措置に係る費用 (予算措置) については、運転者が内部留保性の引当金 (provision) により積立てることとされている。但し、フランス政府が直接運転する原子力施設については、この限りではない。

\* 環境法のArticle L593-2の定めによると、原子炉、燃料の製造等を行う施設、放射性廃棄物の処理・貯蔵・処分を行う施設等である。

CEAが直接運転するINBの廃止措置については、廃止措置及び環境修復プログラム (D&ER: Decommissioning and Environmental Remediation programmes) に従い実施される。D&ERプログラムの対象となる施設の種類は多岐にわたり、規模も商業炉・研究炉から個々の実験室まで広範囲である。汚染レベルも多様であるため、原子力施設毎に特有のプログラムが必要となる。

## <ドイツ>

### 放射性廃棄物関連法令

放射性廃棄物の最終処分に関する許認可手続きその他の事項は、それぞれ原子力法の下に定められている。

1. 許認可手続き：原子力許認可手続法（AtVfV）
2. 安全規制：放射線防護例（StrlSchV）
3. 資金確保：最終処分場設置の前払い金に関する法令（EndlagerVfV）
4. 損害賠償：原子力補償対策令（AtDeckV）

またこれらとは別に、環境保護については環境適合審査法（UVPG）が定められている。

### 国家放射性廃棄物管理計画

ドイツ政府は、2015年8月12日に「国家放射性廃棄物管理計画」を閣議決定した。2011年7月にEUの「放射性廃棄物および使用済み燃料の管理に関する指令」が採択され、EU加盟国には各国の放射性廃棄物に関する管理計画を2015年末まで提出することが義務づけられているため、今回決定された同計画はEUにも提出された。同計画には、低・中レベル放射性廃棄物の処分場として旧コンラッド鉱山が提案されているが、高レベル廃棄物の処分場のサイトは未定とされた。

### 放射性廃棄物処分政策

ドイツは当初は再処理を含めた核燃料サイクルを完結させる方針であった。しかし、1989年にヴァッカーズドルフ再処理工場（WAW）の建設を中止した後、1994年の原子力法改正により、使用済み燃料の直接処分も選択可能となった。その後は英国およびフランスに使用済み燃料の再処理を依頼していたが、2002年の原子力法改正により、2005年6月をもって使用済み燃料の再処理は禁止された。これ以降、使用済み燃料は、全量直接処分を前提とした管理が行われている。

2016年10月に閣議決定された法律<sup>\*1</sup>において、ドイツ国内の放射性廃棄物の中間貯蔵および最終処分に対してドイツ政府が責任を持つこととなった。2017年3月、連邦環境・自然保護・建設・原子炉安全省（BMUB、当時）と原子力サービス会社（GNS）<sup>\*2</sup>は、事業移管のために合弁会社（BGZ：Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH）を設立した。2017年4月25日に、合弁会社はBMUB傘下の連邦放射線防護庁（BfS）が担っていた放射性廃棄物処分の実施主体としての役割を継承して活動を開始した。同年5月8日、GNSは、同社の中間貯蔵事業をドイツ政府へ移管することでBMUBと合意したことを明らかにした。同年8月に連邦政府が合弁会社の単独所有者となった。

\*1 原子力バックエンドに関する責任分担の刷新法に含まれた2つの新法（基金設置法および義務移管法）。

\*2 輸送容器の供給、放射性廃棄物の処理や貯蔵のほか廃止措置などを行う民間の原子力サービス会社であり、原子力発電所を所有する電力会社7社が株主となっている。

ドイツは放射性廃棄物と使用済み燃料に関して新たな基金を設立することとなり、設立に関して2017年6月16日に欧州委員会（EC）から承認を受けた。同基金は、ドイツにおける放射性

廃棄物と使用済み燃料の管理に係る責任が原子力事業者からドイツ政府へ移管されることに関連したものである。今回の承認は、原子力事業者がこの基金（ドイツ政府が保証）に対して約241億ユーロを支払うことでドイツでの放射性廃棄物管理に関する責務（管理に係る費用の拠出元）を同基金へ移管することを、EUの国家補助規則（state aid rules）に基づいてECが認めたものである。ECの判断によると、同基金は国家補助にあたるものの、同基金によって引き起こされる市場競争の歪みは限定的であるとのことである。

連邦放射性廃棄物機関（BGE）と連邦地球科学・資源研究所（BGR）は、2018年8月22日に高レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定調査および既存の放射性廃棄物処分場の管理について協力することで合意した。この合意は、「高レベル放射性廃棄物処分場のためのサイト探査および選定に関する法律」（Site Selection Act - StandAG）に規定されているように、サイト選定プロセスの期間中を通じて有効であり、また、原子力法の下で実施されるモルスレーベンとコンラッドの両サイトの建設、運転、および廃止措置ならびにアッセII鉱山の廃止措置に関する業務の移管にも適用される予定である。なおサイト選定に関する協力の一環としてBGRは、高レベル放射性廃棄物処分を目的とした施設の建設に適した場所を探査するために、BGEの代理で個別の諸課題について調査を行っていくこととなる。さらにBGRは、関連した研究開発作業をBGEの代理で行うこととなる。

#### 高レベル放射性廃棄物処分検討委員会

2014年4月7日、ドイツ連邦議会（下院）は、高レベル放射性廃棄物を安全に処分するための委員会を設置したと明らかにした。ドイツ国内の原子力発電所の運転は2022年までに終了するが、放射性廃棄物を処分する作業が残されている。将来世代のために、高レベル放射性廃棄物のリスク低減や、適切な処分地確保が必要であることから、高レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定法（2013年7月制定）に基づき、高レベル放射性廃棄物処分のための委員会を設置することとなった。委員数は33名（委員長含む）で、地質、土木、化学、物理学等の専門家、弁護士、環境団体、教会、労働組合の代表などが選定された。委員長は、議決権は持たず、キリスト教民主同盟（CDU）と社会民主党（SPD）が交互に務める。また、議決権を有しない条件の下で、連邦議会の議員も出席することとなる。

同委員会は、2016年7月5日に地層処分に関する勧告等を含んだ最終報告書を政府に提出した。報告書は、安全性の高いサイトを選定するためには3段階の手順を経て決定され、そして連邦法により確定される必要があるとしている。また、サイト選定に関しては、連邦、地域横断、地域の各レベルの組織と共に多くの一般公衆も参加して採択されるべきであるとし、処分場の立地に関しては、塩岩、粘土層、結晶質岩が対象となり得るとしている。

#### 放射性廃棄物処分場

- ・ゴアレーベン・プロジェクトに関する動き

社会民主党（SPD）と緑の党の連立政権は、2000年に原子力発電所を運営する電力会社と脱

原子力について合意した上で、2002年に原子力法を改正して2022年までに原子炉を全廃することを定めた。この決定は、進行中の放射性廃棄物処分場計画の凍結につながった。

キリスト教民主・社会同盟（CDU／CSU）とFDP（自由民主党）による連立政権は、1998年にSPD・緑の党に政権をとって替わられるまで、ニーダーザクセン州のゴアレーベンを候補サイトとして処分のための研究開発とサイト特性調査を進めていたが、新政権は高レベル放射性廃棄物（HLW）の最終処分プロジェクトを一から見直すとして、2000年10月以降のゴアレーベン・プロジェクトの凍結を決めた。

#### ・ゴアレーベン・プロジェクト凍結解除

2009年、CDU／CSUとFDP連立政権が成立し、原子力をつなぎのエネルギー源とする政策を採ったため、2010年3月15日に連邦環境・自然保護・原子炉安全省（BMU（当時）\*）のN.レトゲン（Norbert Roettgen）大臣（当時）は、2000年から続けられていたゴアレーベンにおけるサイト調査凍結を解除するとともに、原子力法上の計画確定手続に向けた準備段階として、HLW最終処分場としての適性を調べる安全評価を実施すると発表した。

\* 2013年11月まで省の名称はBMUであった。その後、2013年11月～2018年3月の間は連邦環境・自然保護・建設・原子炉安全省（連邦環境省、BMUB）という名称であったが、2018年3月15日から連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMU）へと改称された。

2011年6月6日閣議決定の将来のエネルギー政策では重点項目の一つとして放射性廃棄物の処分を挙げ、ゴアレーベンでの調査活動と並行して、実行可能な代替処分オプションを確定するための手続きを検討する方針を示した。これを受けて2011年11月に、BMU大臣と16州代表は発熱性放射性廃棄物\*の最終処分に関する会合（第1回）を開催し、2011年12月15日の第2回会合で新たなサイト選定手続の工程について合意した。同時に公表された工程表「ドイツにおける発熱性放射性廃棄物の安全処分」は、全国民、州、政府の合意の下で決定するなどの基本方針と6段階の選定に関する里程碑を明らかにした。その第6段階ではゴアレーベンをサイト探査・選定の比較対照サイトと位置づけているが、ニーダーザクセン州はこの前提は認められないとした。その後、BMUは連邦放射線防護庁（BfS）に対して2012年9月30日で失効するゴアレーベンの操業計画の3か月間の延長を申請するよう指示し、9月27日に鉱山法による認可が下りた。しかしサイト選定に関する合意事項を考慮してBMU（当時）は、11月30日にゴアレーベンの安全性に関する総ての調査活動を2013年秋までの国会会期中は停止することを発表した。

\* ガラス固化体や使用済み燃料といった高レベル放射性廃棄物は、処分空洞の壁面に熱影響を与えることから、ドイツにおいては「発熱性放射性廃棄物」と呼称されている。また、低・中レベル相当の放射性廃棄物は「非発熱性放射性廃棄物」と呼ばれる。

ゴアレーベン処分場に関してBMUとニーダーザクセン州は、2013年4月、HLW処分場のサイト選定法案（Standortauswahlgesetz für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle）を早期に成立させることで合意した。同法案には、24名からなる委員会を設置し、2015年末までに安全要件などを含むサイト選定基準を提案すること、各サイト選定プロセス段階での決定は連邦議会が行うこと、その他同法案の原則等が盛り込まれている。

同法案は各党の合意により、2013年6月28日に連邦議会（Bundestag）を通過、7月5日に参議院（Bundesrat）を通過した。本法によって、初めてサイト選定の工程が法律的根拠を得たこと

になった。主要な内容は、「委員会の委員数を33名に増員し、委員は科学者や業界の専門家、連邦議会、参議院から選ぶこととする」、「科学的根拠に基づいたサイト探査・選択を確保するために、新たに処分場所を管理する連邦機関を設置する」等である。また、ドイツ国外から返還された再処理廃棄物キャニスタ26基は、ゴアレーベンではなく、オンサイトの中間貯蔵施設に移送することとされた。

#### ・アッセII研究鉱山

アッセII研究鉱山では、1967～1978年に低・中レベル放射性廃棄物の試験的な処分が実施されたが、地下水漏洩が発生し2009年3月改正原子力法により閉鎖が決定された。2011年4月、BfSは、低・中レベル放射性廃棄物回収のための試験的な掘削と調査についてニーダーザクセン州環境省から認可を受けた。2011年6月、放射性廃棄物の回収方法を検討するための調査作業工程を発表し、12月1日に現状確認調査評価の基準を公表した。実際のボーリング作業開始は2012年6月、作業進捗状況とその後の方針を同年12月7日公表した。連邦政府は同年12月6日、廃棄物回収と閉鎖作業の促進を目的とする法案を原子力法§ 57b節の改正(Lex Asse)として閣議決定し、同法案は2013年2月28日、連邦議会で可決された(連邦参議院は3月22日可決)。

### 集中中間貯蔵場

#### ・アーハウス集中中間貯蔵場(ノルトライン・ヴェストファーレン州)

GNSがアーハウス燃料中間貯蔵会社を設立し、1984～1990年に輸送用キャスク貯蔵施設として建設した。329基のキャニスタを貯蔵している。貯蔵認可は2036年末までで、最大3,960トンまで貯蔵できる。

#### ・ゴアレーベン集中中間貯蔵場(ニーダーザクセン州)

GNSがゴアレーベン燃料中間貯蔵会社を設立し、建設した。この施設では海外再処理の返還廃棄物も貯蔵するとされており、1995年から返還廃棄物の受け入れを開始したが、反対運動のため、1997年以降は受け入れていない。

#### ・ノルト集中中間貯蔵場(メクレンブルク・フォアポンメルン州)

旧東ドイツで廃止措置中のグライフスバルト原子力発電所に隣接しており、同発電所とラインスベルク原子力発電所の放射性廃棄物・燃料貯蔵用に1994～1997年に建設され、貯蔵認可は2039年末までである。認可を変更して、カールスルーエ再処理施設、カールスルーエ研究所研究炉、原子力船オットー・ハーンガラス固化廃棄物キャニスタも貯蔵している。

### 廃止措置関連

#### ・廃止措置費用

ドイツにおいて原子力発電所を運転している発電事業者は、法律(原子力法第21条)により、廃止措置、解体、高レベル放射性廃棄物の中間貯蔵、最終処分のための準備金を積み立てることが義務付けられている。2015年時点で電力会社による積立額は396億ユーロに達しており、電力会社は現状の積立金で充分であるとしているが、政府は今後数十年で700億ユーロが必要となる

ため不十分であるとの見解を示している。2015年10月10日、連邦経済省は電力会社4社について、廃止措置費用負担に関する財務ストレステスト\*の結果（鑑定報告書）を公表した。鑑定報告書は「電力会社4社には、自力で対策費用を負担する能力がある」と結論付けており、これにより、電力会社は半永久的に廃止措置費用を負担することになった。

\* このテストは同省が監査法人ワース&クライン・グラントソルントン（WKGT : Warth & Klein Grant Thornton）社に委託して行ったものである。

2015年10月に、連邦経済エネルギー省（BMWi）は、廃止措置と使用済み燃料の最終処分場に対する支払い責任等について検討することを目的とし、「脱原子力資金確保に関する検討委員会（KFK）」を設置した。KFKは、WKGT社が行ったストレステストの結果をもとに、廃止措置活動の進行につれて電力事業者と連邦政府の間で、コストがどのように分担されるべきかについて議論を行い、2016年4月27日に、「廃止措置に係る資金調達のための基金を創設する勧告」をBMWiに提出した。これによるとKFKは、中間貯蔵施設や再処理廃棄物用貯蔵コンテナの生産、中間貯蔵施設から最終処分場までの輸送にかかる資金確保として47億ユーロ、放射性廃棄物貯蔵施設のサイト選定や建設、操業、廃止措置の資金として124億ユーロを、EnBW、E.ON、RWE、バッテンフォール社を含む電力会社が政府の基金に対して支払うよう提言している。またKFKはこれに35%のリスクプレミアムを追加することも勧告しており、電力各社が支払う合計は233億ユーロ（264億ドル）になるとしている。

そして、2016年6月1日に、KFKが提出していた勧告について内閣が承認した。内閣は、放射性廃棄物処分場と最終貯蔵施設の建設費用に関して電力会社が支出するこの基金について、その創設に関する法案を作成することに同意し、2016年10月19日には、廃止措置および使用済み燃料の最終処分に関する法案を閣議決定した。この法律に基づき、原子力事業者（EnBW、E.ON、RWE、バッテンフォール社）は、廃止措置と最終処分にかかる資金として政府の基金に236億ユーロ（259億ドル）を支払うこととなる。なおこの金額には、35%のリスク保険も含まれている。

## <EU>

### 使用済み燃料・放射性廃棄物指令案

EU レベルでの使用済み燃料と放射性廃棄物に関する指令については、ENSREG 等の見解を考慮に入れつつ EC が放射性廃棄物管理に関する新たな指令案の検討を進め、2010年11月3日に EC によって「使用済み燃料および放射性廃棄物の管理に関する指令（案）」が公表された。指令案は、原子炉及び医療・研究施設から発生する使用済み燃料と放射性廃棄物に関して、処分に至るまでの全ての段階において IAEA の安全基準の適用を EU 加盟国に求めるなど、EU 域内での法的拘束力を持つ共通の枠組みの構築を目指すものとなっている。

2003年に正式に提案された原子力パッケージ指令案（2004年6月に棄却）では、遅くとも2008年までに高レベル放射性廃棄物処分場サイトを決定し、2018年までに処分場の操業許可を発給することを加盟国に義務付けるなどの内容が盛り込まれていたが、今回の指令案では、指令採択後4年以内に処分場の建設・管理に関する国家プログラムを策定し、ECに提出することが加盟国に義務付けられている。この国家プログラムには処分場建設のスケジュールや費用見

積り、資金確保策などが含まれるとされており、さらに EC に各国のプログラムの修正を要求する権限を付与している。

さらに指令案は、複数の加盟国が 1 つの処分場を共同で利用することも可能としているが、処分の目的で EU 域外に放射性廃棄物を輸出することは禁止している。一方、EU 市民への情報提供と放射性廃棄物管理に関する意思決定に EU 市民を参加させることを加盟国に求めている。指令案は、医療・研究用を含むあらゆる放射性廃棄物の管理を対象としており、指令が発効した場合、原子力発電所を持たない加盟国も指令採択後 4 年以内に国家プログラムを策定しなければならない。

なお、放射性廃棄物の管理に関連して、EU 加盟国は、2011 年 7 月 19 日、欧州に存在する 143 基の原子炉から発生する約 5 万 m<sup>3</sup>/年（高レベル放射性廃棄物は 500m<sup>3</sup>）の放射性廃棄物を安全な地中に埋めることに合意し、2010 年 11 月に提案されていた「放射性廃棄物および使用済み燃料の管理に関する指令（2011/70/ Euratom）」を採択した。同指令の対象は、原子力発電所の使用済み燃料から医療・研究用施設の放射性廃棄物に至るまでの、全ての種類の放射性廃棄物である。これにより各国は、同指令の発効から 4 年以内（2015 年まで）にそれぞれの廃棄物処理計画を作成することとなった。この計画は、処分場の建設計画や操業、経費も含めた具体的なものでなければならず、提出された計画は EC の安全基準を満たすものかどうか審査を受けることとなる。

2011 年時点で、高レベル放射性廃棄物は冷却する措置として地上施設に貯蔵されていたが、2010 年夏に起こったロシアでの大規模山林火災や福島事故を契機に、地上で貯蔵する危険性が指摘されこの合意に至った。高レベル放射性廃棄物のための地層処分場の理想としては、地下 100～700m の粘土層、または花崗岩等の母岩（Host Rock）に埋設するのが望ましいとした。

指令の主な内容は、以下の通りである。

- EU 加盟国は、指令採択の 4 年以内に国家計画を策定すること。この計画には、最終処分場の建設・操業計画、処分の実施のための段階や活動の詳細を含めた建設の具体的スケジュール、費用見積り及び資金確保制度を含む。
- EU 加盟国は、国家計画を EC に送付する。EC は計画の修正を要求することができる。
- EU の 2 国間または多国間で、それらの国内にある処分場を使用することに関して合意することができる。EU 域外への最終処分のための放射性廃棄物の輸出は許可されない。
- EU 加盟国は一般公衆に対して情報提供を行わなければならない。また、一般公衆が放射性廃棄物管理に関する意思決定に参加できるようにすること。
- IAEA が策定した安全基準に法的拘束力を付与する。処分場の建設に許可を発給し、個別の処分場の安全解析を審査する独立した規制機関を設置すべきことを定めた規定にも法的拘束力が付与される。

## 原子力安全・放射性廃棄物管理

EC は、原子力安全及び放射性廃棄物管理に関する欧州レベルでの法規制の策定に向けた動きを進めている。このうち、原子力安全については、2009 年 6 月に指令案が EU 理事会によって採択され、「原子力安全と原子力施設に関する欧州共同体の枠組みを構築する 2009 年 6 月 25

日の EU 理事会指令（2009/71/ Euratom）」となった。加盟国は 2011 年 7 月 22 日までの同指令の国内法化が義務付けられた。なお、この指令は 2014 年 7 月に改正されている。

## <ロシア>

### 放射性廃棄物管理の実施体制

2008年6月11日、特別事業体ラドンを吸収し、放射性廃棄物管理を行う連邦国家単一企業放射性廃棄物管理企業RosRAO社が設置された。RosRAO社は、ロシア国内に8つの管区を有し、研究所・大学・工場・病院等のRI・放射線利用による放射性廃棄物の処理処分も行っている。

ロシア議会では 2008 年から放射性廃棄物管理法案が審議され、ロシア下院は 2010 年 1 月 20 日、本会議の第一読会で放射性廃棄物管理に関する法案を採択した。同法案の詳細は発表されていないが、次のような内容とみられている。

- ・政府は、原子力平和利用における安全性を保証するため、放射性廃棄物管理システムを構築し、放射性廃棄物の安全管理の責任を有する
- ・放射性廃棄物処分のための費用は、ロスアトム社が特別準備基金を設置すること
- ・国、放射性廃棄物発生者、放射性廃棄物管理組織の義務について
- ・国の規制機関及び処分事業者の特定について
- ・輸出・輸入された放射性廃棄物は、発生国へ返還されるべきであること

2011 年 7 月、ロスアトム社の放射性廃棄物管理計画をサポートすることを目的として、「放射性廃棄物管理法」が制定された。これにより、ロシアでは、高レベル放射性固体廃棄物と長寿命中レベル放射性固体廃棄物は地層処分し、低レベル放射性固体廃棄物と短寿命の中レベル放射性固体廃棄物は浅地中処分することが定められた。

2012 年 3 月、「放射性廃棄物管理法」の定めに従い、ノオラオ（NO RAO）が設立された。NO RAO は、連邦政府の天然資源省の管轄下に置かれた企業で、ロシアにおける放射性廃棄物の管理と処分に責任を持つ会社である。支所は、ゼレノグルスク（クラスノヤルスク）、セベルスク（トムスク）、ディミトロフグラード（ウリャノフスク）およびノヴォウラルスク（スヴェルドロフスク）に置かれている。

2013 年 7 月、規制機関である連邦環境・技術・原子力監督庁（Rostekhnadzor）は、NO RAO の各支所に対し、液体放射性廃棄物の最終処分実施のための許認可（5 年）を発給した。

NO RAO の計画と見積もりによれば、3,200 万 m<sup>3</sup>の放射性廃棄物を処分するために 3,070 億ルーブルが必要で、2035 年までの投資計画を作成している。処分費用の 8 割は放射性廃棄物の所有者が提供し、残りの 2 割は連邦政府が負担することとなっている。処分サイトに関しては、シベリア、ウラル、ヴォルガ地域、北東地域など 18 地域に約 30 の候補サイトを確認している。

### 低・中レベル放射性廃棄物の浅地中長期貯蔵施設

- ・浅地中長期貯蔵施設

2015 年 9 月、ロスアトム社は、低・中レベル放射性廃棄物を長期貯蔵するための浅地中貯蔵

施設を建設するために27億ルーブルを投資することを決定した。施設の建設サイトは、セベルスク (Seversk) 市近郊のシベリア化学コンビナート (SCC) の敷地内であり、2017年着工予定とされたほか、2021年竣工予定、2035年までの操業が予定とされた (5年延長して2040年まで操業する可能性もある)。なお、27億ルーブルは建設費であり、この他に施設の操業費として年間1億ルーブル、施設の管理費として2億9,000万ルーブル (閉鎖後の環境管理費を含む) が必要と見込まれている。

2016年8月9日に公表されたロシア連邦政府政令 (8月1日付) が低・中レベル放射性廃棄物の浅地中処分の建設サイトとして、ウラル電気化学統合プラント (4万8,000m<sup>3</sup>)、マヤク (10万m<sup>3</sup>)、SCC (20万m<sup>3</sup>) を承認した。また、低・中レベル放射性廃棄物の余裕深度処分の建設サイトとしてソスノヴィ・ボール (5万m<sup>3</sup>) を承認した。

2016年12月15日、NO RAO は、ロシア初となる低・中レベル放射性固体廃棄物の浅地中処分場 (PPZRO) (スヴェルドロフスク州ノヴォウラリスク) の操業を開始したと発表した。NO RAO によると、この処分場は鉄筋コンクリート構造で全長140m、幅24m、深さ7mであり、年間300m<sup>3</sup>の放射性廃棄物を受け入れて300年間で15,000m<sup>3</sup>まで貯蔵が可能である。PPZRO では、原子力発電所の濃縮ウラン燃料を製造しているウラル電気化学コンビナート社から発生する放射性廃棄物を貯蔵する予定である。

### 高レベル放射性廃棄物 (HLW)

ロシアでは、使用済み燃料及び高レベル放射性廃棄物 (HLW) は地層処分する方向で検討されている。ロシアのVNIPI プロムテクノロジー (VNIPIPT) は、1970～1980年代にかけて放射性廃棄物を隔離する地質の安定性を調査した。ロシアでは、花崗岩や粘土層などの岩盤の地域を対象として、コラ半島・ノバヤゼムリア諸島・チェリヤビンスク・クラスノヤルスク・極東で調査を行い、2008年にクラスノヤルスク地方のニジネカンスキー (Nizhnekansky) 花崗岩塊と呼ばれる岩盤地帯が候補地として提案され、2012年7月に住民公聴会が行われ、2013年には処分場計画サイトとしてエニセイスキー (Yeniseysky) 市が決定された。

NO RAO は、高レベル放射性廃棄物の最終処分のための地下研究所を2016年に着工し、2024年までにエニセイスキー市に建設することを目指していたが、この計画は遅れて、2018年4月の発表では、2019年に着工する予定であるという。

2016年4月6日、NO RAO は、エニセイスキー市における放射性廃棄物の地層処分に関連して、下層土資源を使用する許可を取得した。この許可は放射性廃棄物の貯蔵可能性を調査するための地下研究所の建設開始を目的としたものである。

2016年8月9日付けのロシア連邦政府政令 (8月1日付) により高レベル放射性廃棄物の地層処分場の建設サイトとしてニジネカンスキー花崗岩塊 (15万9,500m<sup>3</sup>) が承認された。

#### ・使用済み燃料

VVER-1000の使用済み燃料は、ゼレズノゴルスクにある鉍業化学コンビナート (MCC) の使用済み燃料プール (1985年完成) に集中的に中間貯蔵されている\*。同施設は2009～2010年に

かけて容量の拡張工事を実施し、8,400トンの貯蔵容量を有している。なおVVER-1000の湿式貯蔵容量を1万1,000トンまで増やす計画があるという。

\* ウクライナおよびブルガリアにおけるVVERの使用済み燃料も受け入れている。

MCCでは、乾式貯蔵施設が2012年より第1段階として操業を開始した。第2段階では、湿式貯蔵施設よりVVER-1000の使用済み燃料を移し、貯蔵容量を3万7,000トン（RBMK：2万6,510トン、VVER：1万1,275トン）以上に増やすこととしている。

2016年8月25日、全ロシア原子力発電所運転技術開発研究所（VNIIAES、ロスアトム社の子会社）は2016～2018年および2020年までの使用済み燃料管理プログラムを公表した。原子力発電所サイトにある使用済み燃料は、このプログラムを通じて、マヤクの施設で再処理、またはMCCの集中貯蔵施設へ輸送される。

### 余剰兵器級プルトニウムの処分

ソ連崩壊直後、110トンの兵器級プルトニウムが保有されていたとされ、その後もプルトニウムの生産は継続された。ロシアと米国は、2000年9月1日、「防衛目的にとって不要として指定されたプルトニウムの管理及び処分及び関連する協力に関する協定（2000年協定）（PMDA：Plutonium Management and Disposition Agreement）」を締結し、それぞれが34トンの余剰兵器級プルトニウムを処分することとした。

2000年の時点で、ロシアは、軽水炉と高速炉で余剰プルトニウムを処分することを計画していたが、原子力発電戦略とは両立できず順調には進捗しなかった。プルトニウムの処分方法に関しては、米国側は“ガラス固化処分”と“MOX燃料”の二本立てを、ロシア側はMOX燃料での燃焼方式のみを考えていたため、両国で相容れなかったが、2002年1月にブッシュ政権下で、MOX燃料燃焼方式で一本化することを米国側も受け入れ、ロシアではMOX燃料に加工したプルトニウムを軽水炉（VVER-1000）で消費することとなった。しかし、ロシアは更に軽水炉での燃焼にも難色を示して、高速増殖炉BN-600と建設中のBN-800での燃焼を受け入れるよう米国側に求めた。

2007年11月19日、ロシア連邦原子力庁（当時）のキリエンコ長官（当時）と米国DOEのボドマン長官（当時）は、余剰兵器級プルトニウムの処分方法に関する“互いの了解”と両国のコミットメントを再確認する共同声明を発表した。これによって両国は、軽水炉ではなく、高速炉BN-600及びBN-800においてロシアの余剰兵器級プルトニウムを燃焼させることで合意し、2000年協定（PMDA）の改訂が必要となった。なお、ロシアのMOX燃料工場の建設費は、2000年当時で18億ドルと見積もられていたが、その後、41億ドルに上昇したため援助の増額を求めた。しかし、米国はこの要請については2007年に拒否した。

2010年4月13日に、米国のクリントン国務長官（当時）とロシアのラブロフ外務大臣は、ワシントンにおいて2000年協定の改正議定書に署名した。議定書の主な改正内容は、次の通りである。

- ・ロシアの処分は、高速炉 BN-600、BN-800 を使用する。
- ・米国は 4 億ドルを上限とする支援をロシアに対して行う。また、ロシアが第 3 国の支援

を得られるよう努力する。

- ・両国の処分を確認するため、モニタリング調査を実施する。
- ・双方、遅くとも2018年までに処分を開始する。

ロシアは国内のプルトニウムの処分に25億ドルを拠出するとしており、米国は4億ドルの支援を約束している。4億ドル以外の米国や他国からの追加の資金援助はロシア側の処分の履行の条件とはなっていない。同議定書の発効に向けた手続きが行われており、ロシア政府は2000年協定を改訂する議定書を承認し、下院に送付する決定をしたことを2011年2月25日に発表した。

しかし、2016年10月3日、プーチン大統領がPMDAの中断を発表した。

#### その他 (海外との協力)

2017年9月7日、ロスアトム社と日本原子力研究開発機構（JAEA）は、放射性廃棄物の処理と管理を目的としたマイナーアクチノイドの核変換に関連し、炉物理試験に関する情報交換を定めた覚書に署名した。マイナーアクチノイドを核変換する技術（の開発）により、放射性廃棄物の減容化や有害度の低減が期待できるという。

#### <中国>

##### 再処理

再処理については、甘粛省蘭州（Lanzhou）に多目的再処理パイロットプラント（RPP）が2006年に完成している。当初は年間50トンの処理能力であったが、2009年には処理能力が年間100トンまで引き上げられている。

2007年11月にCNNCは、再処理プラントおよびMOX燃料製造プラント建設に関するフィージビリティスタディの実施についてアレバ社（当時）と合意した。2013年4月には甘粛省嘉峪關市で年間再処理能力800tUの再処理工場を建設する計画が合意され、2013年時点では2025年からの営業運転開始を予定していたが、2015年9月の発表によると、2020年に着工し、2030年ごろの完成を目指すとしている。総事業費は1,000億元（約1兆8,800億円）であるという。

。以下同）は、再処理プラント（800トン／年）（およびMOX燃料製造工場）建設の実現可能性を評価するための合意に署名をした。2010年11月に同計画に関する産業協定に署名をし、2013年4月にはアレバ社（当時）との間で同再処理工場の技術仕様を定めたさらなる契約に署名をした。その後、2014年3月には、このプロジェクトに関する計画を立て、それに対するビジネスケースを完成させるために、この問題に関する別の契約に署名をしている。2017年2月21日には、ニューアレバ社（アレバ社の核燃料サイクル部門を統合した会社）とCNNCが、両社の核燃料サイクルに関する活動の協力に関する枠組み合意に署名した。これにより、両社で進行中の計画（特に中国における商用再処理プラントの建設計画）を支援するという。さらに、2018年1月9日にオラノ（Orano）社\*1とCNNCは、中国の商業用使用済燃料処理および再処理工場プロジェクトに関する商業協定の覚書6月25日に、中国において使用済み燃料の再処理工場を建設するための準備工事について、同社の子会社であるOrano ProjetsとCNNCの子会社であるCNLAと

が合意に達したことを明らかにした\*2。この合意による準備工事は、2018年末までの間を通じて実施されるとのことであり、再処理工場建設プロジェクトのための準備としてオラノ社によって事前に実施される作業も含まれているという。

\*1 なお、2015年9月時点では、2020年に着工し、2030年ごろの完成を目指すとし、総事業費は1,000億元（約1兆8,800億円）であるとしていた。サイト選定については

\*2 2018年1月にオラノ社の前身であるニューアレバ社とCNNCが署名した覚書（memorandum of commercial agreement）に続くものである。

2016年8月6日、中核瑞能科学有限公司（CNFR）\*1は、使用済み燃料の再処理工場建設計画が、2016年8月6日に同プロジェクトにおけるサイト選定に向けた初期作業について江蘇省の連雲港市を含めた数か所\*2で実施中であると発表した。しかし同月10日に連雲港市は、計画発表後、地域住民による抗議活動が起こったため、現在進行中のサイト選定の準備作業を一時中断すると発表した。

\*1 CNNC Nuclear Fuel Reprocessing Co., Ltd.（CNFR）：サイト選定および準備作業のために2011年に設立された会社。

\*2 現在2016年8月時点で、山東省、江蘇省、浙江省、福建省、広東省、甘粛省等で使用済み燃料再処理工場のサイト選定の準備作業が進められている。

また、2017年2月21日に、CNNCとニューアレバ社（当時アレバ社の核燃料サイクル部門を統合した会社）は、両社の核燃料サイクルに関する活動の協力に関する枠組み合意\*に署名した。

\* 同合意により、両社で進行中の計画（特に中国における商用再処理プラントの建設計画）を支援するという。

さらに、CNNCとオラノ（Orano）社\*は、2018年1月9日に再処理工場プロジェクトに関する商業協定の覚書に署名をし、2018年6月25日には、再処理工場建設のための準備工事について、オラノ社の子会社であるOrano ProjeetsとCNNCの子会社であるCNLAとが合意に達したことを明らかにしている。この合意は、2018年1月の合意に続くものであり、準備工事は2018年末まで実施される。また、再処理工場建設プロジェクトのための準備としてオラノ社によって事前に実施される作業も含まれているという。

\* 2018年1月にニューアレバ社は、社名を「オラノ（Orano）社」へ変更したと発表した。ニューアレバ社は旧アレバ社の核燃料サイクル事業を引き継いだ企業である。

### 低・中レベル放射性廃棄物管理

中国では、低・中レベル放射性廃棄物については5か所に建設することとなっており、北西部甘粛省の鈹山区にある西北低・中レベル放射性固体廃棄物処分場（西北処分場）および、広東省深圳市の大亜湾原子力発電所サイト内にある広東低・中レベル放射性固体廃棄物北龍処分場（北龍処分場）、四川省の飛鳳山処分場の3か所ですでに処分が行われている。北処分場および北龍処分場は浅地中処分方式を採用しており、施設の建設が開始されたのは1995年と1998年である。処分容量は、西北処分場が6万m<sup>3</sup>、北龍処分場が8万m<sup>3</sup>である。2011年1月にNNSAからそれぞれ操業許可が発給され、操業が開始された。

### 使用済み燃料管理と高レベル放射性廃棄物処分

中国では、高レベル放射性廃棄物（HLW）処分については、2018年1月に施行された原子

力安全法により、集中的に地層処分することが規定されている。原子力発電所で発生する使用済み燃料は各発電所の原子炉建屋内の燃料プールなどで貯蔵されている。

中国における高レベル放射性廃棄物処分の実施主体は、CNNCである。CNNCの地質局が中心となって1985年より深地層処分の実施に向けた研究開発やサイト選定などを実施されてきた。サイト選定作業は、「中国全土のスクリーニング」「地域スクリーニング（1986～1989年）」「エリアスクリーニング」および「サイトの確認」の4つのステージに分けられている。1986年に5つの可能性地域を選定し、地域スクリーニングの段階で候補地としてゴビ砂漠地帯の北山の甘粛地区（花崗岩、閃緑岩地域）に選定され、その中で1990年から最終処分場に適した地点を特定する地質評価が行われている。

2006年2月に発表された「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」では、以下のような項目とそのスケジュールが示されていた。

- ・ 実験室レベルでの研究とサイト選定（2006～2020年）：全体方針、計画、法規、技術基準等の検討
- ・ 地下での試験段階（2021～2040年）：処分工程技術、地質、化学及び安全評価に関する研究、総合試験研究、検証と評価作業
- ・ プロトタイプ処分場の検証実験、処分場建設段階（2041年～今世紀半ば）：プロトタイプ処分場の検証実験、地層処分場建設の研究

また「第11次5か年計画」では、以下の作業が示されていた。

- ・ 前期作業の評価
- ・ 地層処分のシステム工学の検討
- ・ 研究チームの拡充
- ・ 研究開発体制の構築
- ・ サイト候補地である北山における調査研究、予備的評価報告の提出、工学、地学、化学、環境の4分野の歩調をあわせた開発

なお、北山地区が最も有力な候補サイトであることには変更はないが、政府は2011年に、国内に新たに12程度のサイトを選定して、それらを比較検討するとする処分場サイト選定のための新戦略を発表した。検討の結果、新疆ウイグル自治区や内モンゴルに3か所の候補地（母岩は花崗岩あるいは粘土層）を見いだした見出しという。

また中国は、高レベル放射性廃棄物の処分に最も効果的な方法はガラス固化としており、2014年半ばにCNNCが四川省で国内初となる高レベル放射性廃液のガラス固化施設の建設を開始した。

2016年に発表された「第13次5か年計画」では、高レベル放射性廃棄物処分地下実験室の着工と工学障壁研究、処分場サイト調査および3か所候補選定が課題として挙げられている。

## <韓国>

再処理に関する動向（米韓原子力協力協定と再処理）

韓国では、各原子炉から取り出された使用済み燃料と低・中レベル放射性廃棄物は各原子炉サイト内で貯蔵されているが、貯蔵容量の限界に近いサイトもあり、放射性廃棄物対策は急務の課題である。しかし、韓国では1974年の米韓原子力協定及び1992年の朝鮮半島非核化宣言によって、濃縮と再処理が禁じられているため、韓国は2014年3月に期限が満了となる米韓原子力協定の改定に際して再処理の権利を求めていたが、両国の意見の隔たりが縮まらず、2016年3月まで2年間延長することとなった。2010年10月から開始した両国の原子力協力協定の改定交渉は4年6か月にわたる11回の協議を経て2015年4月に妥結された。改定協定は、2015年11月25日に発効され、有効期限は20年間である。韓国が求めてきた使用済み核燃料の再処理やウラン濃縮を米韓による協議対象と位置づけ、一定の道を開いたものの、“再処理の権利”は獲得できなかった。

### 低・中レベル放射性廃棄物

韓国では、放射性廃棄物管理法が2009年1月に施行され、同法に基づいて韓国原子力環境公団(KORAD)が低・中レベル放射性廃棄物処分場の運営を行っている。また、放射性廃棄物管理法第6条に基づき、低・中レベル放射性廃棄物の安全かつ効率に管理するため、産業通商資源部(MOTIE)が「低・中レベル放射性廃棄物管理基本計画」を5年毎に策定し、KORADは「放射性廃棄物管理施工計画」を毎年策定、施行している。

低・中レベル放射性廃棄物処分場は、地下空洞処分施設(第1段階施設、処分量10万本ドラム缶)と浅地中処分施設(第2段階施設、処分量12万5,000本のドラム缶)とで構成されており、第1段階の建設は2014年6月に完了した。第2段階については、2016年7月26日、KORADがMOTIEから処分計画の承認を受けており、現在原子力安全委員会が第2段階の建設・運転許可に関して審査中である。

サイト選定の経緯および、処分場の建設状況を以下のように示す。

2004年、産業資源部(MOCIE)(当時)は、低・中レベル放射性廃棄物処分場と使用済み燃料集中中間貯蔵施設を分け、別個のサイトに立地する方針を決定した\*。その上でMOCIEは、先に低・中レベル放射性廃棄物処分場を自治体から募ることとした。

\* 韓国では当初、低・中レベル放射性廃棄物処分場と使用済み燃料の集中中間貯蔵施設サイトを一緒に選定しようとしたが、住民の反対や地層の問題で計画は幾度も頓挫した。

2005年1月、政府は、以前の失敗は自治体の希望する補償を拒否したことが要因と考え、受け入れ自治体に助成金を交付する法案を国会に提出した。これについて国会は3月「低・中レベル放射性廃棄物処分場立地地域支援に関する特別法」を可決した。

2005年6月、MOCIEは、低・中レベル放射性廃棄物処分場の立地選定を公示し、慶州市がサイトに決定された。特別法に基づき、慶州市には3,000億ウォンの助成金、処分場用地の賃料等の経済的支援が付与された。

2008年8月、教育科学技術部(MEST)(現、科学技術情報通信部(MSIT))は、慶州市での低・中レベル放射性廃棄物処分場の建設許可をKHNPに発給した。

2009年1月、放射性廃棄物の管理事業の実施主体として韓国放射性廃棄物管理公団(KRMC)

が発足した（現、韓国原子力環境公団（KORAD））。

2010年4月、KRMCは、処分場内にある竣工済み受入貯蔵施設の臨時使用許可を申請した。KRMCは同年6月に慶州市から臨時使用承認を受け、すでに飽和していた蔚珍（ハヌル）原子力発電所の放射性廃棄物（ドラム缶約1,000本分）の受け入れが2010年末から開始された。

2014年6月に処分場の第1段階工事が完了し、12月に原子力安全委員会から操業許可を得ており、2015年7月に最初のドラム缶の搬入が行われた。

2016年7月、KORADは、処分計画の第2段階についてMOTIEから承認を受けたことを発表した。

2017年2月8日、KORADは、2016年9月12日に慶州市で発生した地震を踏まえて、処分場の安全性を向上させるための耐震総合対策をまとめたことを明らかにした\*。

\* この対策は、地上で建設される第二段階の施設の耐震性能向上を主な内容とするものであり、耐震性能を0.2G（M6.5）から0.3G（M7）へ向上させるもので、これにより竣工時期が2019年から2020年へ1年延長されることとなった。なお、この耐震総合対策は、第2段階の地表施設だけでなく、現在運営中の第1段階の地下処分施設も対象としており、排水系統および電源供給システムの追加設置、地震加速度計1台の追加設置等の安全性向上対策が実施されることとなる。

KORADの計画では、2018年8月に第2段階の建設・運営許可を取得し、翌9月から主要設備工事に着手、2020年12月に竣工する工程であるが、慶州地震の影響により安全規制が強化されたため原子力安全委員会の建設・運営許可の審査に時間がかかっており、処分場の完工時期がは遅れると予想されるされている。

#### 【韓国原子力環境公団 環境管理センター（慶州処分場）\*】

- ・敷地面積：214万m<sup>2</sup>（月城原子力発電所に隣接）
- ・地下施設の深さ：80～130m
- ・設置サイロ数：6基（直径30m、高さ50m）
- ・処分容量：ドラム缶（200ℓ）80万本
- ・処分対象物：低・中レベル廃棄物、医療・産業RI廃棄物
- ・総事業費：第1段階 1兆5,436億ウォン、第2段階 2,382億ウォン
- ・耐震設計：M6.5（第2段階はM7）
- ・完成時期：2020年12月

\* 建設工事は3段階に分けて行われる計画で、1段階では最大10万本のドラム缶が、2段階では12万5,000本のドラム缶が貯蔵され、最終的には、同施設に80万本の廃棄物ドラム缶が処分されることとなる。

#### 使用済み燃料（高レベル放射性廃棄物）

使用済み燃料に対する基本方針としては、最終処分の方策が決定しないしていないこと、また再処理することも視野に入れていることから発電所内で貯蔵を続けており、貯蔵ラックの工夫により貯蔵容量を拡張している\*。専門家は、国内4か所の発電所にある暫定的な貯蔵施設を拡張することを提案しており、それができれば2024年までの容量を確保できるとしている。

これを受けて、KHNPは、2016年4月に原子力発電所内で使用済み燃料乾式貯蔵施設の建設

に関するプレ・フェジビリティスタディを実施することとした。KHNP は、原子力安全委員会から許認可を得て 2020 年から 2023 年までに乾式貯蔵施設を建設し、2024 年から（中間貯蔵施設が稼動するまで）この乾式貯蔵施設を運営する予定である\*。

\* 現在 KHNP は、古里、ハンビット、ハヌル原子力発電所から発生する使用済み燃料をサイト内の使用済み燃料プールで貯蔵しており、月城原子力発電所で発生するものは使用済み燃料プールで冷却した後に地上で保管している。

サイト選定の経緯は以下のように示す。

2012 年 9 月 2 日、韓国政府は、使用済み燃料政策フォーラムの勧告を受け、2024 年までに使用済み燃料（SF）の中間貯蔵施設を建設することを決定した\*。

\* 使用済み燃料の再処理に関し、韓米原子力協定の更新において米国の承認を得られる見込みが小さく、一方でサイト貯蔵の容量の拡大にも限界があることから、中間貯蔵施設の建設を決定したものである。

2013 年 10 月 30 日、MOTIE は、国民の議論の下で使用済み燃料の解決方法を模索するために「使用済み燃料公論化委員会」\*を発足させた。

\* 同委員会では、使用済み燃料の再処理方策、最終処分の実施方法、（最終処分の実施まで保管する）中間貯蔵など、方法論を集中的に議論し、2014 年末に政府に勧告案を提出する予定であった。

2014 年 11 月 18 日、同委員会は、期間内で最終報告がまとまらなかったため、「使用済み燃料管理に関する課題」と題する中間報告書\*を発表した。その後、同委員会は、意見収集が足りないことを理由に活動期限延長を政府に要請し、2015 年 6 月まで活動期限が延長された。これにより同委員会は、使用済み燃料管理計画に対する政策勧告案を 2015 年 4 月中に MOTIE に提出することとなった。MOTIE は、2015 年 6 月までの委員会の活動およびその後の使用済み燃料管理計画作成等に必要予算として、40 億ウォンを計上した。

\* この中間報告書には、「SF 使用済み燃料の最終処分施設は、2040 年までに建設を完了し、5 年間の試運転を経た後、2045 年から運転できるように準備することが望ましい。サイロの許認可期間が 10 年間延長可能なことを考慮に入れても、遅くとも 2055 年までには操業を開始できるようにする必要がある」との内容が含まれている。

2015 年 6 月末、使用済み燃料公論化委員会は、2051 年までに使用済み燃料の最終処分施設の操業を開始し、地下研究所と処分前の貯蔵施設を同じ場所に建設して管理すべきという内容を盛り込んだ「使用済み燃料管理の最終勧告」を政府に提出した。同委員会によると、2020 年までに処分前の貯蔵施設の敷地を選定して、2026～2027 年にはその貯蔵施設を完成して臨時的な保管を行う。その後、2030 年から実証研究を開始し、2040～2045 年に最終処分施設の敷地を選定し、2051 年に最終的に処分施設を完工するとの計画である\*。

\* その後、政府が専門家を集めて再度検討した結果、処分場サイトを選定するには、基本調査、候補サイトの公募、地域地元住民の意志確認、サイトの詳細調査等のプロセスを経ることとなり、サイトの候補地選定と住民の意見聴取に 8 年、安全性に関する地質調査等に 4 年、合計で 12 年を必要とすると結論された。

2016 年 5 月、MOTIE は、処分場サイトの選定期間を 4 年から 12 年へ変更し、2053 年に最終処分施設の操業を開始するとの内容を盛り込んだ「高レベル放射性廃棄物管理基本計画」案を発表した。

2016 年 7 月 25 日、同計画は、第 6 回原子力振興委員会において承認された。政府は、法律を制定し、2028 年までに高レベル放射性廃棄物処分施設のサイトを選定し、2053 年に施設の操業を開始する計画である\*。

\* なお、処分技術を研究する地下研究施設の建設敷地を、中間貯蔵施設と最終処分施設から離れた別の場所に確保することとしている。

今後のスケジュール案は以下の通りである。

2028年まで	処分前保管施設のサイト選定
2035年まで	中間貯蔵施設の操業開始
2053年まで	最終処分施設の操業開始

ところが、2017年5月に発足した文政権は、2016年7月に策定された「高レベル放射性廃棄物管理基本計画」を再検討する方針であり、2018年5月11日に、産業通商資源部(MOTIE)は、「高レベル放射性廃棄物管理政策再検討準備チーム」を発足し、公論化を通じた使用済み燃料政策を再検討するための事前準備作業に取り掛かった。この準備チームは、活動を予定より2か月延長して2018年11月12日に解散された。

2018年6月3日、斗山重工業(Doosan Heavy Industries & Construction)・韓国電力技術(KEPCO E&C)・韓国原子力研究院(KAERI)の三者は、使用済み燃料管理に関する契約を締結した。三者の技術・経験\*により、使用済み燃料の輸送・貯蔵・処分に関するプロジェクトを推進することを決定したという。斗山重工業によれば、12兆ウォン(112億ドル)規模のプログラムが設定され、50社以上の韓国中小企業がプロジェクトに参加することになる。

\* 斗山重工業はキャスク製造技術を有しており、KEPCO E&Cは使用済み燃料棒の管理における各フェーズの設計が可能である。また、KAERIは使用済み燃料管理システムの研究開発能力を持つという。

## <インド>

### 放射性廃棄物管理

インドの放射性廃棄物は、クローズド燃料サイクルの枠組みの中で管理する方針であり、原子力発電所などで発生する低・中レベル放射性廃棄物は工学バリアを施した処分施設で浅地中処分し、再処理施設で発生する高レベル放射性廃棄物はガラス固化した後に中間貯蔵施設で保管し、最終的に深地層処分することとしている。なお、深地層処分については研究開発段階である。

インドでは、再処理施設に併設されている使用済み燃料貯蔵プールの容量が少なく、再処理作業も恒常的でなく必要が生じた時だけ行われる。また、使用済み燃料の発生量が、再処理施設の収容・再処理能力を上回ることも予想されている。

#### ・放射性廃棄物処分施設

現在、低・中レベル放射性廃棄物はトロンベイ、タラプール、ラジャスタン、ナローラの4発電所に処理・処分施設(WMF)が設置されている。高レベル放射性廃棄物の固化プラント(WIP)はタラプール、トロンベイ、カルパッカムで稼働中である。

高レベル放射性廃棄物の地層処分については、BARCで研究が進められている。

#### ・貯蔵施設

ガラス固化体を一時貯蔵するBARC所有の中間貯蔵施設(SSSF: Solid Storage Surveillance Facility)が、1999年にタラプールで操業を開始した。また、タラプール原子力発電所サイト外

に貯蔵プール（275 トン）、ラジャスタン原子力発電所サイト内に乾式貯蔵施設（570 トン）が設置され、さらに 2007 年にはマドラス原子力発電所から発生する使用済み燃料 800 トンを貯蔵できる使用済み燃料貯蔵施設（SFSF）が設置された。

## <オーストラリア>

### 放射性廃棄物の管理・処分

オーストラリアでは、原子力発電を実施していないため、高レベル放射性廃棄物（HLW）は発生しない。研究炉や医療用、産業用施設から発生する由来の放射性廃棄物が、毎年 45m<sup>3</sup> 発生しており、内訳は中レベル放射性廃棄物が 5m<sup>3</sup> で、低レベル放射性廃棄物が 40m<sup>3</sup> である。

放射性廃棄物については、実務上 5 種に分類している。低・中レベル放射性廃棄物を A、B、C に分類し、寿命の長い核種を含むものを S と、また、これら以外に極低レベル放射性廃棄物を設定している。

カテゴリ S に分類されるものは浅地中処分には適さないため、適切な処分方法を確立するまで、地上の貯蔵庫で貯蔵されることになっている。放射性廃棄物は、国内にある 100 か所以上のサイト（病院や大学、研究施設）で保管されているが、長期保管を行う設備が整っていないため、長期貯蔵または処分のための施設の建設が計画されている。

2003 年 5 月、連邦全体の処分場のサイトとして南オーストラリア州のウーメラ（Woomera）のサイト「40a」が最終候補地として選定され、広さは 100m<sup>2</sup>、深さ地下 20m、緩衝地帯は 2.25km<sup>2</sup> と設定された。しかし、南オーストラリア州が連邦裁判所に提訴し、2004 年の判決により政府は土地を取得できなくなった。政府は 2004 年 7 月 14 日にこの計画案を廃案とし、再度処分場のサイト選定に入った。その後、2007 年 9 月の時点で、ハーツ・レンジ（Harts Range）、マウント・エバーアード（Mount Everard）、フィッシャーズ・リッジ（Fishers Ridge）、マカティ（Muckaty）の 4 か所を低レベル放射性廃棄物処分場と中レベル放射性廃棄物貯蔵施設の候補地とした。しかし、4 サイトについて、自発的にサイト立候補を行ったのはマカティ（北部準州の牧場）のみであり、マカティについても、2014 年 6 月に、同地の土地権利者の代表として外部との交渉を行っている北部土地評議会（NLC : Northern Land Council）が候補地としての資格を辞退したため、同サイトは放射性廃棄物施設の候補地から外れることとなった。

その後連邦政府は、2015 年 11 月に新しい 6 サイト候補地を発表した。2014 年 11 月から 2015 年 5 月にかけて新しい放射性廃棄物施設のサイト候補地を募集し、地権者が自発的に名乗りを挙げた 28 のサイトの中から 6 サイトを選定したものである\*。

\* 6 つの候補地は、南オーストラリア州のコートリナイ（Cortlinye）、ピンカウィリニー（Pinkawillinie）、バーンディウータ（Barndioota）、北部準州のヘール（Hale）、ニュー・サウス・ウェールズ州のサリーズ・フラット（Sallys Flat）、クイーンズランド州のオマン・アマ（Oman Ama）であり、連邦政府は低・中レベル放射性廃棄物施設のサイトを 2016 年末までに決定したいとしていた（2018 年 3 月時点で未定）。

一方、放射性廃棄物に関する法律がサイト選定と並行して承認されている。2012 年 3 月、オーストラリア上院議会は「国家放射性廃棄物管理法案 2010」を承認し、同年 4 月 4 日、同法案は「国家放射性廃棄物管理法案 2012（National Radioactive Waste Management Act 2012）」

として発効した。同法は、既存の放射性廃棄物法に代わる法として、放射性廃棄物の管理施設を建設するために策定されたものである。また、放射性廃棄物管理施設のサイト選定に関して、「国などが候補地を決めるのではなく、それぞれの地域がボランティア精神に基づいて立候補をした場合においてのみ、候補地となる資格を有する」と規定されており、それが基本概念となっている。

上記のサイト選定とは別に、Synroc 中レベル放射性廃棄物処理施設のパイロットプラント建設が計画されている。同計画については、2014年5月15日に放射線防護・原子力安全庁(ARPANSA)が、サイト選定とその建設を承認した\*。

\* Synroc 中レベル放射性廃棄物処理施設は、ANSTO の敷地内に建設中である。Synroc とは、放射性廃棄物の固化技術の一つであり、Synroc はセラミック固化の一つとされている。

また、南オーストラリア州政府は、廃棄物貯蔵・処分施設について同州の核燃料サイクル王立委員会(The Nuclear Fuel Cycle Royal Commission) がまとめた最終報告書を2016年5月9日に公表した。同報告書は、オーストラリア国外からの使用済み燃料や中レベル廃棄物を対象とした貯蔵・処分施設を建設することを、同州政府に対して勧告する内容となっている。

#### ウラン鉱山の閉鎖

レンジャー鉱山(Ranger Mine)について、エナジー・リソースズ・オブ・オーストラリア(ERA)社は2018年6月5日に、段階的リハビリテーションが進行中の同鉱山の閉鎖計画を公表した。今回公表された閉鎖計画は、環境に対する責務を果たすためにEPA社が今後行う必要のあるリハビリテーション作業とその効果の双方について詳述したものである\*。なお、現行の法的枠組によれば、ERA社は2021年1月までに同鉱山におけるウラン採掘等を終了し、2026年までにサイトのリハビリテーションを完了する必要がある。

\* レンジャー鉱山のリハビリテーションは2012年に開始されている。

#### <バングラデシュ>

バングラデシュでは、原子力安全・放射線管理法(NSRC: Nuclear Safety and Radiation Control)法に従って放射性廃棄物の収集と処理を行っている。稼働中の原子力発電所は存在せず、放射性廃棄物は、TRIGA-MARK II 研究炉、放射性同位元素を生産する研究所、医療用・商業用の照射器等から発生したもので、中央放射性廃棄物処理施設(CWPSF: Central Radioactive Waste Processing Facility)の中間貯蔵施設にて貯蔵されている。

#### <インドネシア>

##### 廃棄物処理・処分にに関する動向

・低・中レベル放射性廃棄物

放射性廃棄物は研究、工業、農業、医療の分野から発生しているが、主要なものはBATANが所有する3基の研究炉の運転に伴うものである。

放射性廃棄物に関する政令に基づき、1989年から放射性廃棄物技術センター(RWTC)の放

放射性廃棄物管理ステーション（RWMS：Radioactive Waste Management Station）\*に集約して管理を行っている。

\* RWMSは蒸発装置、圧縮装置、焼却炉、セメント固化システムならびに埋め込み廃棄物中間貯蔵施設（ISEW：Interim Storage for Embedded Waste）及び高レベル廃棄物中間貯蔵施設（ISHLW：Interim Storage for High Level Waste）で構成されている。

またジャワ島、特にトゥバン、セラン、スメダン及びジェパラ地域の付近を中心に放射性廃棄物の最終処分場の立地調査が行われるとともに、2011～2014年にはバンカ島でも行われた。BATANは、スルポン地域にデモンストレーションの処分施設を建設する計画である。

## <台湾>

### 放射性廃棄物

低レベル放射性廃棄物は、台湾本島の南東沖にある蘭嶼（Lanyu）の貯蔵施設で1982年から貯蔵が開始された。しかし、島民の激しい反対により、貯蔵施設の建設は第一工事で打ち切れ、1996年5月には廃棄物の新たな受け入れを中止した。2002年末に貯蔵保管契約期間が終了したため、経済部は貯蔵施設の撤去を決定した。現在、低レベル放射性廃棄物は各発電所に貯蔵されており、政府は新規貯蔵施設建設に向けてサイト選定（台東（Taitung）県達仁郷（T'ajen Hsiang）、または金門県烏坵郷（Wuch'iu Hsiang））を行っている。

2015年4月、原子能委員会（AEC）は、台湾電力に対してサイト選定のための指針を提示した。この指針は、サイト選定に関するIAEA等の判断基準を踏まえたものであり、サイト選定にあたっては、地質構造の変化によって放射性物質保管の安全性が損なわれることなく、また地質環境を危険にさらさない場所であることを求めている。また、サイト選定プロセスの第2段階は2018～2028年に実施予定とされた。

### 廃止措置関連

台湾の原子力法制においては、原子炉の恒久停止予定の3年前までに廃止措置計画を提出する必要があると規定されている。廃止措置の実施には、AECから廃止措置の許可を取得する必要がある。また、許可を得た時点から25年以内に廃止措置を完了させなければならない。

#### ・第1（金山）原子力発電所

第1（金山）原子力発電所は、1号機が2018年12月に運転認可期限の満了に伴い恒久停止し、翌6日より廃止措置段階に移行している。台湾の商業炉で廃炉となるのは、同発電所1号機が初めてである。また、2号機についても2019年7月に恒久停止する予定である。

2016年8月2日、台湾電力は、同発電所1、2号機の廃止措置計画を発表した。計画によると、廃止措置は25年間にわたって4段階で実施されるという。第一段階では2026年にかけて原子炉を停止し燃料を除去し、第二段階では2038年にかけて原子炉の解体を行い、第三段階では2041年にかけて関連した検査を行い、第四段階では2044年にかけてサイト修復を行う。使用済み燃料プールの除去は2027～2031年にかけて実施される予定である。同発電所の廃止措

置計画は2017年6月28日に原子能委員会（AEC）によって承認されており、2016年1月に台湾電力が行政院環境保護署へ提出した環境影響評価（EIA）が承認されれば、AECより廃止措置の許可が下りるといふ。廃止措置に係る作業の開始には、AECの廃止措置許可が必要である。

- \* 同発電所1号機の廃止措置計画は、2019年7月15日に運転認可満了により恒久停止する2号機と共に実施される計画であり、廃止措置計画には両炉の使用済燃料を保管する乾式貯蔵施設の建設を含んでいる。なお、貯蔵施設の建設は2013年に完了しているが、新北市による使用許可は発行されていない。

## <トルコ>

### 廃棄物処理・処分に関する動向

2019年3月現在、トルコにおける放射性廃棄物は工業および医療由来のものに限られている。これらの廃棄物を貯蔵するための中間貯蔵施設が設置され、1989年から運用されている。減容、セメント固化、凝集沈殿等の廃棄物処理も、この中間貯蔵施設で行われている。

アックユ原子力発電所における使用済み燃料や放射性廃棄物の管理については、アックユ原子力発電会社が責任を持つことが、ロシアとの合意において定められている。

## <モンゴル>

### 放射性廃棄物貯蔵施設建設計画

2011年7月18日、日本・米国・モンゴルの3か国が、モンゴル国内に燃料製造から使用済み燃料貯蔵までを一貫して扱う施設を設置することに合意したと報じられた。合意草案である包括的燃料サービス（CFS）によれば、モンゴルが燃料を製造して他国に輸出し、その使用済み燃料をモンゴルが貯蔵するという世界初の枠組みである。しかし、8月19日にモンゴルの外交・貿易大臣は、「モンゴルにおける放射性廃棄物の貯蔵に関する話し合いが行われたことはない」と述べ、2011年10月7日にはモンゴル大統領が、放射性廃棄物貯蔵施設の建設計画について、モンゴル側の関係者が他国政府や国際機関と連絡を取ることを禁ずる大統領命令を発した。

## <ベトナム>

### 放射性廃棄物管理

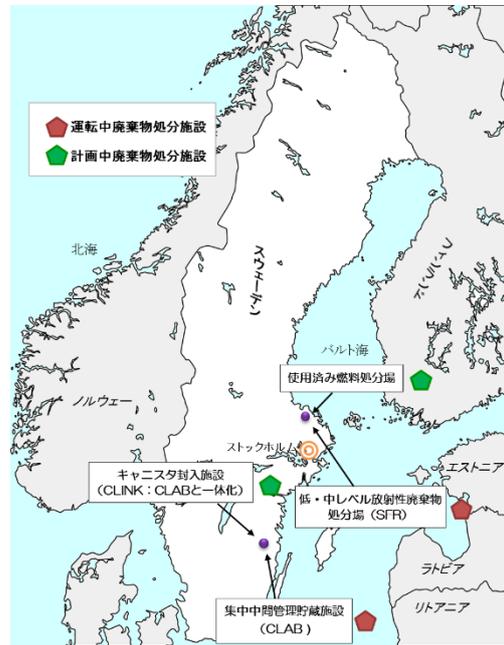
2015年5月18～20日に開催された第2回原子力規制会議において、ニン・トゥアン原子力発電所の建設に先立って放射性廃棄物を管理する国営会社を設立することが提案された。設立を提案した科学者たちは、放射性廃棄物を監視する機関が国内に存在しない点を指摘した上で、放射性廃棄物管理の重要性を強調している。ベトナムには、放射性廃棄物を貯蔵している機関が2か所\*あるが、いずれも外部からの廃棄物は受け入れていない。

- \* ダラット原子力研究所（Da Lat Nuclear Research Institute）の放射線管理部と、ハノイに拠点を置いている放射性廃棄物管理センター（Centre of Radioactive Wastes Management）。

## <スウェーデン>

### (1) 放射性廃棄物処分管理

スウェーデンの原子力発電所から発生する全ての放射性廃棄物処理の実施主体は、スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社 (SKB) である。高レベル放射性廃棄物 (HLW) については、SKB は「KBS-3 処分概念」をもって処分する意向である。「KBS-3 処分概念」とは、①外側が銅、内側が鋳鉄から成る二重構造のキャニスタ (直径 1,050mm、長さ 4,835mm) に使用済み燃料を封入し、②周囲をベントナイト粘土 (緩衝材) で取り囲み、③力学的、化学的に安定した岩盤内に定置するというものである。現在、SKB はオスカーシャム近郊に集中貯蔵施設 (CLAB) を、フォルスマルクに低・中レベル放射性廃棄物処分場 (SFR) を保有しており、新たにキャニスタ封入施設 (CLINK) と使用済み燃料処分場の建設計画を進めている。



### 低・中レベル放射性廃棄物

・低・中レベル放射性廃棄物処分場 (SFR: Final Repository for Short-Lived Radioactive Waste)

低・中レベル放射性廃棄物処分場 (SFR) は、フォルスマルクに位置しており、1988年に操業を開始した。

SFR では、スウェーデン国内の原子力発電所や医療施設・研究・産業活動由来の短寿命放射性廃棄物を貯蔵している。毎年 10~20m<sup>3</sup> のペースで低・中レベル放射性廃棄物を受け入れていたが、将来、原子力発電所の閉鎖に伴う解体作業で発生する放射性廃棄物の受け入れに向けて、SKB は貯蔵容量を 63,000 m<sup>3</sup> から 200,000 m<sup>3</sup> に引き上げる許認可申請を 2014 年 12 月に SSM に提出した。2018 年 1 月 22 日、SSM は環境基準 (Environmental Code) に基づく認可が SKB に対して与えられる見通しであることを明らかにした。この発表は、1 月 17 日に SSM が照会機関として国土環境裁判所 (Land and Environmental Court) に提出した勧告に基づいたものであり、SSM は、SKB による SFR 拡張に用いられる手法は環境基準に適合しているとしている。2019 年秋には、国土環境裁判所のネッカ地方裁判所でヒアリングが実施され、それと並行して、SSM による原子力活動法 (Act on Nuclear Activities) に基づく運転拡大に関する許認可審査が行われる。これらの結果がスウェーデン政府に提出された後、政府が最終的な許認可の可否を決定することとなる。

また、2016 年 4 月 20 日、EDF とスタズビック (Studsvik) 社\*は、Studsvik 社がスウェーデンで実施している、低・中レベル放射性廃棄物取り扱い事業について、EDF Développement

Environnement (EDFの子会社)が3億5,500万スウェーデンクローナ(4,400万ドル)で買収することで合意に達した。また両者は、廃止措置や放射性廃棄物管理について協力していくことにも合意した。

\* Studsvik社は、原子力発電所や核燃料サイクル施設等の保守・管理を行うスウェーデンの会社である。元々は1947年にスウェーデン国立原子力エネルギー研究所(Atomenergi AB)として発足(スウェーデン政府が57%を出資)したが、1990年代に民営化されている。

### 高レベル放射性廃棄物

#### ・集中貯蔵施設 (CLAB : Central Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel)

集中貯蔵施設 (CLAB) は、オスカーシャムから北部 25km に位置しており、1985 年に操業を開始した。

スウェーデンでは、使用済み燃料は再処理をせずに処分するワンスルー方式をとっており、国内の原子力発電所から発生した使用済み燃料は、各原子力発電所での約 1 年間の冷却期間を経て CLAB に輸送され、地下 30m に設置されたプールに貯蔵される。最終的には、計画中の使用済み燃料処分場に輸送される予定である。既に 6,600 トンの使用済み燃料が貯蔵されており、使用済み燃料処分場の操業開始前に貯蔵容量 8,000 トンに到達してしまうことが予想されることから、SKBは2015年に貯蔵容量を11,000トンに引き上げる許認可申請をSSMに提出した。

#### ・キャニスタ封入施設 (CLINK)

オスカーシャムから北部 25km にある CLAB の隣接地に、使用済み燃料を銅製キャニスタに封入する施設を建設する計画が進められている。CLAB と一体化して「CLINK」と総称され、年間約 200 体の銅製キャニスタを使用済み燃料処分場へ輸送することを目指している。

SKBによると、この施設は2020年代に着工し、2030年の運転開始を予定している。

SSMはCLINKの操業に関して、SSMが定める原子力安全と放射線防護の要件をSKBが満たしていると評価したことを2016年3月23日に明らかにした。さらに、2017年6月にSKBは、同計画について、システムエンジニアリングと安全解析に関する作業を開始した。作業が完了するのは2020年の半ばの見込みであるという(作業の外部企業への発注契約総額は4億スウェーデンクローナ(4,600万ドル))。なおSSMは、これらの作業の結果に基づいて許認可審査を行うこととなる。

#### ・使用済み燃料処分場 (Spent Fuel Repository)

CLINKで封入された銅製キャニスタの最終的な処分場所として建設計画が進められている。

フォルスマルクは、2002年に地下処分施設の候補地として地域の住民によって提案された場所、選定プロセスでは他に数か所の候補地が含まれていたが、2009年の地元住民の77%の支持により最終的に選ばれた。2011年3月、SKBは、フォルスマルクを処分場の建設予定地とすることについて、SSMと国土環境裁判所に対して立地・建設の許可申請を行った。当初、SKBは、2025年までに最終処分場の操業を開始したいとしていたが、2015年9月の発表では、2019年に同施設の許認可手続きを終了、CLINK同様に2030年に商業運転を開始する計画を明らかにした。処分場は6,000体の銅製キャニスタに封入した1万2,000トンの使用済み燃料を貯蔵

可能な容量となっている。銅製のキャニスタは漏洩物質を吸収するためにベントナイト粘土で周辺を埋め戻される。処分場は 19 億年前に生成した花崗岩の地下 500m の約 60km の処分トンネルで構成されるという。

2015 年 6 月 24 日、SSM は、SKB が提出した処分場の許可申請についての予備結果を発表し、また 2016 年 6 月 29 日には、使用済み燃料の最終処分について SKB が SSM の定める安全要件を満たす能力を備えていると評価したことを明らかにした。SSM は国土環境裁判所に対して、SKB による地層処分場システムが同国の環境法に基づき許可できるものであると答申している。

2018 年 1 月 23 日、SSM は SKB の使用済み燃料最終処分の申請の規制審査を実施し、安全な最終処分に関して原子力活動法 (Act on Nuclear Activities) の要件を満たす能力があるとして政府への答申を行った。また、SSM は SKB への使用済み燃料処分施設建設の認可を推奨した。また、同日、ナッカ地方裁判所の土地環境法廷が使用済み燃料処分施設の建設認可は環境基準 (Environmental Code) に基づいて許容されうるという声明を政府に提出した。法廷の結論は、SKB の認可申請は実質的で広範なものであるが、処分コンテナに関して調査しなくてはならない不確定部分が残っており、コンテナの防護機能を明らかにする文書を提出した場合に、認可が許容できるというものである。

## (2) 原子力廃棄物基金について

スウェーデンでは原子力発電所の廃止措置や放射性廃棄物の処分等の費用を確保するための基金積み立て制度が確立されている。毎年、SKB の提案をもとに政府が決定する拠出額をもとに、発電電力量 1kW 当たりの単価を基準に事業者が原子力廃棄物基金 (The Nuclear Waste Fund) に対して支払いを行っており、2017 年の原子力廃棄物基金への各電力会社への支払い総額は、21 億スウェーデンクローナであった。また、原子力廃棄物基金で積み立てられた資金の使い道については、SKB が決定する。

## <フィンランド>

### 放射性廃棄物

フィンランド国内の原子力発電所で発生したにおける放射性廃棄物のうち、低・中レベル放射性廃棄物は各々の発電所に設置されている地下処分場で処分されている。高レベル放射性廃棄物 (HLW) は、処分場がないため一時的に中間貯蔵施設で管理されているが、将来的には、建設中のオルキオ使用済み燃料処分場で地層処分されることとなる。

## 低・中レベル放射性廃棄物

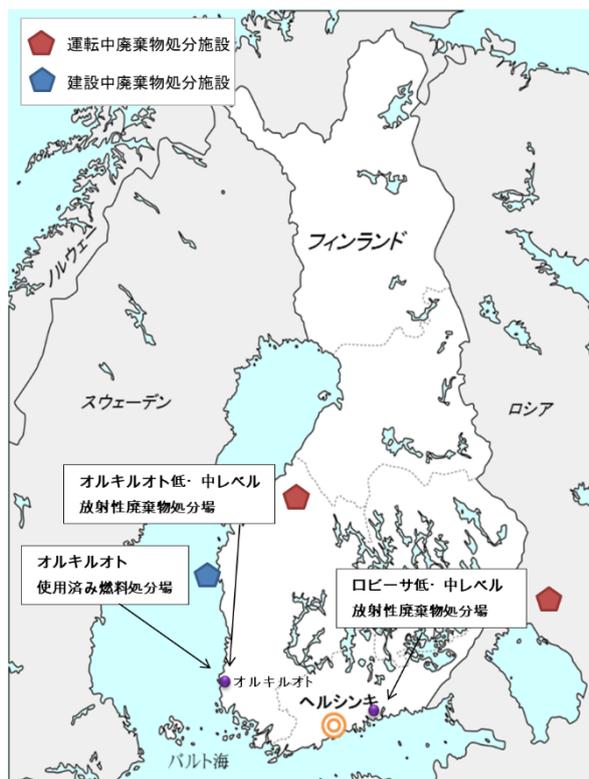
低・中レベル放射性廃棄物は、オルキオト原子力発電所及びロビーサ原子力発電所の地下に設置されている処分場でそれぞれ処分されている。

・オルキオト低・中レベル放射性廃棄物処分場

コンクリートコンテナに詰め込まれた放射性廃棄物は、オルキオト原子力発電所敷地内の地下 60～70m の岩盤内に設置された低レベル放射性廃棄物及び中レベル放射性廃棄物用の 2 つの格納庫へ放射能防護された専用車両によって運搬される。

・ロビーサ低・中レベル放射性廃棄物処分場

ロビーサ原子力発電所の南西 400m に位置する地下 110m の岩盤内の処理場で処理されている。2016 年 2 月 15 日、STUK は、2006 年以降試験運転されてきた低・中レベルの液体放射性廃棄物の固化処理施設について、全面操業許可をフォータム社に対して発給した。



## 高レベル放射性廃棄物

フィンランドでは、使用済み燃料は再処理を行わずに処分するワンスルー方式が採用されている。かつてロビーサ原子力発電所から発生した使用済み燃料は、燃料の供給国であったロシアへ返還されていたが、1994 年の原子力法改正により使用済み燃料の輸出入が禁止されたため、1996 年を最後に行われていない。改正された原子力法では、国内で発生した放射性廃棄物は全て自国内で処分を行わなければならないとされている。現在、オルキオト原子力発電所とロビーサ原子力発電所から発生した使用済み燃料は、燃料プールでの数年間の冷却を経て各原子力発電所で中間貯蔵されている。

これらの使用済み燃料を処理するの実施主体として、ポシバ (Posiva) 社が設立された。ポシバ社は、国内 2 か所の原子力発電所を運転する TVO 社 (オルキオト原子力発電所) とフォータム (Fortum) 社 (ロビーサ原子力発電所) が 6 : 4 の割合で出資し設立した民間企業である。また、ポシバ社は、スウェーデンの放射性廃棄物処理の実施主体である SKB が開発した「KBS-3 処分概念」\*をもって処分する方針である。

\* 使用済み燃料をキャニスタ、緩衝材、埋戻し材、地層といった多重バリアシステムによって隔離する方法。

・オルキオト原子力発電所・オルキオト使用済み燃料処分場

オルキオト使用済み燃料処分場は、稼働中のオルキオト原子力発電所及びロビーサ原子力

発電所から発生した使用済み燃料の最終処分場として使用される予定で、2016年から建設が進められている。

1999年にポシバ社が、原則決定（DIP：Decision-in-Principle）\*を申請し、2001年に国会が原則決定を承認したことから、使用済み燃料の最終処分場の予定地がオルキルトに決定した（建設には別途手続きが必要）。2001年に承認された処分する使用済み燃料は4,000トンであったが、その後、2002年と2010年に追加された。

\* 原則決定（DIP）の手続き：フィンランド特有の手続きで、原子力施設（原子力発電所や放射性廃棄物処分場施設）は、建設許可申請の前の段階において、政府が「その施設の建設が、フィンランドの社会全体の利益に合致する」ことを決定した上で国会が承認することが必要とされている。

DIPは、1987年に原子力法が改訂された際に導入された。

2012年12月28日、ポシバ社は、雇用経済省（TEM）に対して使用済み燃料のキャニスタ封入施設と処分場の建設許可申請を提出した。放射線・原子力安全センター（STUK）は2013年に、申請に伴う安全審査の第一段階が完了したことを伝えた。その後、2015年2月にはポシバ社の建設申請に対する支持を表明し、同年11月12日、TEMが同社に対し世界初となる使用済み燃料処分場の建設許可を発行した。許可内容は、地上部分のキャニスタ封入施設及び地下部分の処分場の建設で、処分量は6,500トンである。2016年11月29日、同社は、使用済み燃料最終処分場の最初のトンネル掘削に関する契約をYITグループ（YIT Group）と締結したことを発表した。契約金額は2,000万ユーロ、工事期間は2年半である。この契約により、最初の中央坑道とこれに通じる車両用坑道の掘削、キャニスタ用リフトのための立坑のレイズボーリングに備えた作業等が行われるという。2016年12月、掘削作業が開始された。同社は2020年の運転許可申請、2023年の操業開始を予定している。

#### オルキルト処分場決定建設決定までの経緯

- 1983年： 実施主体のポシバ社が、使用済み燃料処分場のサイト特性調査を実施。
- 1999年： ポシバ社が、原則決定を申請。
- 2000年： 政府が、原則決定を行う。
- 2001年： 国会が、原則決定を承認。この時点で、エウラヨキ（Eurajoki）のオルキルト処分場の立地が決定。4,000トンの使用済み燃料（ウラン換算）の処分が承認された。
- 2002年： 6,500トンの処分を原則決定（オルキルト3号機からの発生予定分を追加）
- 2010年： 9,000トンの処分を原則決定（オルキルト4号機からの発生予定分を追加）
- 2012年： ポシバ社が建設許認可申請書を政府に提出
- 2015年： 政府はポシバ社に建設許可を発給

オルキルト処分場建設計画の進行とともに、ポシバ社は処分場予定地の地下情報を集める等の目的で、2004年に地下特性調査施設（ONKALO（オンカロ））の建設を開始した。2014年には全ての立坑の掘削が完了し、2015年4月1日に同社の地下特性調査施設（ONKALO（オンカロ））に、処分場の実証坑道トンネル用の大型プラグ（長さ6m、幅6m、高さ7m）の建設

を開始していることを発表した。

また、2018年9月20日に政府はTVO社に対して、使用済み燃料とオルキルト発電所1、2号機の継続運転に伴い発生するその他の放射性廃棄物を現行のオンサイト貯蔵施設に中間貯蔵するための許可を発給した。

・ハンヒキビ原子力発電所使用済み燃料処分場

ポシバ社による使用済み燃料処分場建設計画は進行中であるが、共同出資者であるTVO社およびフォーラム社の運営する原子力発電所の使用済み燃料のみが対象で、フェンノボイマ社が建設計画中のハンヒキビ原子力発電所の使用済み燃料は対象外となっている。そのため、原子炉建設に関して発行された原則決定にハンヒキビ原子力発電所の使用済み燃料処理についての要件が定められており、オルキルト使用済み燃料処分場の利用に関する協力協定書、もしくはフェンノボイマ社独自の処分場建設に係る環境影響評価書（EIA）の提出が求められていたが、フェンノボイマ社は、自社処分場を建設する方向で2016年6月22日にEIAをTEMに提出した。また同日、使用済み燃料の最終処分に関連してポシバ・ソリューションズ社（ポシバ社の子会社）と業務委託契約を締結した。サイト候補であるピュハヨキ（Pyhäjoki）とエウラヨキについて、ポシバ・ソリューションズ社と共同で地質調査を行うことになっている。サイトは2040年代に選定され、2090年代の初めに操業を開始する予定である。

## 国際協力

2016年10月14日、ポシバ社とチェコ放射性廃棄物処分庁（SÚRAO）が、使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物の処分場建設に関する専門知識を提供する契約について合意した。契約期間は4年間で、契約金は275万ユーロ（303万ドル）である。技術支援は、ポシバ社の子会社であるポシバ・ソリューションズ（Posiva Solutions）社と、フィンランドのエンジニアリング会社であるSaanio & Riekkola社によって提供され、スウェーデンのSKB国際ナショナル社とフィンランドの地質調査会社もプロジェクトに参加するという。

2018年6月28日、フォーラム社とEDFが、北欧における廃止措置・放射性廃棄物管理における協力に関する合意に署名した\*。

\* EDFがフランス国内外の組織と同日締結した、廃止措置および放射性廃棄物処理に関する計7件の合意のうちの1つ。

2018年8月21日、フォーラム社およびフィンランドのコンサルティング企業であるAINSグループ（AINS Group）は、中国において放射性廃棄物管理業務を提供することを目的とした了解覚書（MOU）に署名した。このMOUを通じて両社は、中国において低・中レベル放射性廃棄物の管理業務を提供するとともに、VTTフィンランド技術センターやポシバ・ソリューションズ等の他のフィンランド企業や機関間との協力をも強化していくとしている。

2018年12月3日、フォーラム社とVTTフィンランド技術研究センター（VTT）は、研究炉FiR 1（Finnish Reactor 1）\*および原子力発電所構造素材研究所（nuclear power plant structural materials research laboratory）の廃止措置における協力に関する基本合意書に署名をした。両者は、両施設の解体ならびに廃棄物処理の協力に加えて、ロビーサ原子力発電所の解

体作業により発生する廃棄物の中間貯蔵および最終処分の可能性についても調査する予定である。VTTは2017年に研究炉の廃止措置申請を提出しており、実際の解体段階に入るのは早ければ2021年になるという。また、原子力発電所構造素材研究所の廃止措置の準備作業も進められており、2019年から解体作業が開始される予定である。

\* 250kWの研究炉（TRIGA Mark II）。1962年に運転を開始し、2015年6月30日に恒久停止した。

## <スイス>

### 放射性廃棄物

スイスでは、最終処分の方法として、使用済み燃料（高レベル放射性廃棄物）及び低・中レベル放射性廃棄物のどちらも「自国内で地層処分を行う」方針としているが、国際共同処分場への参加も否定していない。処分場の立地や建設に関しては、電力会社などの放射性廃棄物発生者によって設立されたスイス放射性廃棄物管理協同組合（NAGRA）が担当している。

低・中レベル放射性廃棄物については、1993年にNAGRAが、調査結果に基づき「深層処分地点として、ニトバルデン州ベレンベルクが適当である」と提案した。しかし、ベレンベルクで行われた1995年と2002年の住民投票で、2回とも否決され計画は頓挫している。

高レベル放射性廃棄物（使用済み燃料）については、各発電会社が個別にフランスや英国と再処理の委託契約を締結していたが、原子力法が改正され、2006年7月以降10年間にわたり新規再処理契約はできないこととされた。さらに2018年1月の原子力法の規定の改正により、再処理が将来的に禁止された。現在は、燃料プールで使用済み燃料を数年間冷却した後、発電所内または所外の中間貯蔵施設で中間貯蔵している。

#### (1) 放射性廃棄物管理

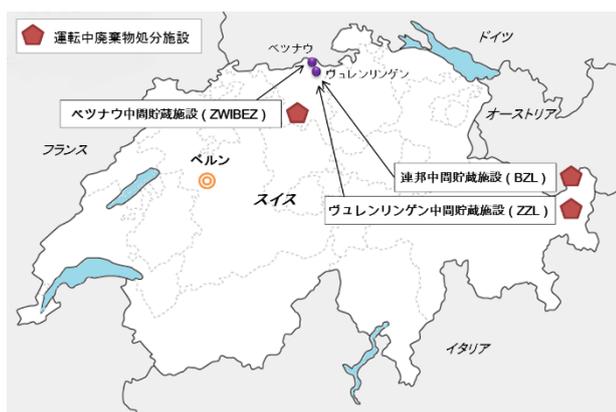
放射性廃棄物の取り扱いは、1959年の連邦原子力法の法的枠組みに基づき1991年に制定された放射線防護法、及び、1994年に制定された関連命令に従って実施されている。

・ ヴュレンリンゲン中間貯蔵施設

(ZZL : Zentrales Zwischenlager)

原子力発電所を保有する4社の出資

により建設されたヴュレンリンゲン中間貯蔵施設は、ZWILAG社によって運営されている。同施設は、アールガウ州のポール・シェラー研究所（PSI）に併設されており、1996年に建設が許可され、2001年から操業を開始した。ヴュレンリンゲン中間貯蔵施設には、使用済み燃料（乾式キャスク貯蔵）、低・中レベル放射性廃棄物、また外国で再処理されて返還されたガラス固化体等が貯蔵されている。高レベル放射性廃棄物は、最短でも40年間貯蔵されることになっている。



・ベツナウ中間貯蔵施設（ZWIBEZ : Zwischenlager des Kernkraftwerks Beznau）

ベツナウ原子力発電所サイト内に設置されているベツナウ中間貯蔵施設は ZWILAG 社によって 2008 年から運営されており、使用済み燃料（高レベル放射性廃棄物、）低・中レベル放射性廃棄物、また外国で再処理されて返還されたガラス固化体等が貯蔵されている。

・連邦中間貯蔵施設（BZL : Bundeszwischenlager）

連邦中間貯蔵施設（BZL）は、PSI によって運営されヴェレンリンゲンにある PSI の敷地内東部に位置している。医療、産業、研究分野で発生した低・中レベル放射性廃棄物等が輸送され、処分場が出来るまでの間保管される。将来的に容量が足りなくなる懸念から、2014 年 5 月に PSI は、低・中レベル放射性廃棄物中間貯蔵施設（Stapelplatz Ost）の建設と運用許可の申請書を連邦エネルギー庁（BFE）に提出した。スイス連邦原子力安全検査局（ENSI）は、2017 年 8 月 17 日に、PSI の建設計画について、建設と運用開始が可能であるとの見解を示したが、計画の実施にあたっては高い耐震裕度を含む条件を満たす必要があることを指摘した。

また、2017 年 10 月 26 日、ENSI は、放射性廃棄物等安全条約（the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management）について、6 回目となる国別報告（national report）\*を IAEA に提出しており、中間貯蔵施設の放射性廃棄物、深地層処分施設のサイト選定過程と候補地についての状況、原子力施設の廃止措置について報告している。

\* 同条約の第32条の定めによると、同条約の締約国は第30条の規定に従い、締約国の検討会合ごとに自国の報告を提出することとされている。

## (2) 専門家グループの設置

環境・運輸・エネルギー・通信省（UVEK）は、高レベル放射性廃棄物処分計画が順調に進展しないことから、技術と社会の両面から問題を検討することとし、1999 年に放射性廃棄物の処分概念に関する専門家グループ（EKRA）を設置した。EKRA は、1 年間の議論をまとめて 2000 年に“監視付き長期地層処分”という概念を提案した。また、概念を提案すると共に、処分を実現するために次のような勧告を示した。

- ・一般市民が放射性廃棄物の管理に関する議論をするように奨励すること
- ・全ての放射性廃棄物の処分概念として地層処分を採用し、それを原子力法で規定すること
- ・処分事業の実施者に“監視付き長期地層処分”概念の具体化を要求すること
- ・放射性廃棄物管理は、発電事業者から財政的に独立して行われるようにすること
- ・オパリナス粘土は、“監視付き長期地層処分”にも適していること
- ・国際共同処分は、スイス自身で処分の問題を解決するための選択肢とはならないこと
- ・処分プロジェクトのスケジュールを設定し、定期的にチェックすること

## (3) 処分場建設計画について

スイス国内に高レベルおよび低・中レベル放射性廃棄物の処理場は存在しておらず、国内の中間貯蔵施設で保管されている。国内で発生した放射性廃棄物は自国で地層処分するという方針のもと、高レベルおよび低・中レベル廃棄物処理場の建設計画が進められている。

2008年4月に連邦評議会によって承認された地層処分場に関する「特別計画」に基づき、3段階となるサイト選定プロセスを経て、高レベル放射性廃棄物と低・中レベル放射性廃棄物の処分場サイトが選定されることになっている。

- ・第1段階：複数の地質学的候補エリアの選定（2008～2011年）
- ・第2段階：2か所以上の候補サイトの選定（2011～2016年）
- ・第3段階：処分サイトの確定、概要承認手続（2016/2017年～）

#### 高レベル放射性廃棄物の処分候補地

高レベル放射性廃棄物の地層処分地とし、NAGRAは、結晶質岩とオパリナス粘土層の2種類の地質の母岩に対してフィージビリティスタディを実施した。調査の結果、どちらの地層も安定しており均質で透水係数は小さく（水の浸入が少なく）、かつ100m以上の厚みを有していることが確認され、処分は実現可能であるとされた。

これを受け、2008年10月にチュルヒャー・ヴァインラント（チューリッヒ北東部）、北部レゲレン、ベツベルク（ジュラ東部）の3つの候補サイトが提案され、サイト選定作業が進んでいる。

#### 低・中レベル放射性廃棄物の処分候補地

低・中レベル放射性廃棄物の地層処分地としては、上記3か所の高レベル放射性廃棄物の処分候補地以外に、ジュラ・ジュートフス、ジュートランデン、ヴェレンベルグの3か所を加えた6か所が選定され、NAGRAは、2015年1月30日にサイト選定の第3段階で調査対象とする地域を提案した。安全性の観点から比較し、6つのサイトのうち、ジュラ東部とチューリッヒ北東部が提案された\*。サイト選定作業のために、低・中レベルおよび高レベル放射性廃棄物のそれぞれについて複数の候補地域を提示する必要があったが、選定された2つのサイトは、低・中レベル、高レベル放射性廃棄物のいずれの安全要件を満たしていた。

\* NAGRAは、この時点で選定されなかった残りのサイト（ジュートランデン、北部レゲレン、ジュラ・ジュートフス、ヴェレンベルグ）について、今後の比較検討の結果によっては候補となる可能性も残っていると示していた。

2015年9月、ENSIは、NAGRAに対して処分施設の安全性の観点からの最適深度に関する追加技術文書の提出を求めた。地下深くに処分場を建設することについて、安全面での不利な点及び「監視付き長期地層処分」へ処分概念が修正された状況において有利に働くのかを示す必要があるという。2016年8月12日、NAGRAはこれに応じて深地層処分施設の技術的実現可能性について、サイトの評価基準に関する補足文書を提出し、当初の想定より深い地点に処分施設を建設することで得られる安全上の利点はないことを示した。その後、2016年9月27日にNAGRAは、ボーリング調査の実施に向けた許可申請書を提出した。同許可については、UVEK

が 2018 年 8 月 17 日付で、NAGRA に対し、3 か所のボーリング調査の許可を発給した。発給された調査許可の対象地域は、北部レゲレン地域\*の 1 か所およびチューリッヒ北東部地域の 2 か所としており、この時点では、2019 年にボーリング調査を開始し、その結果を踏まえて 2022 年頃にサイトを決定することを計画している。

\* 2016 年 9 月、NAGRA は北部レゲレンもサイト候補とすべきであるという意見が安全専門家グループによって表明されたことを明らかにしている。

一方、連邦会議は、2016 年 8 月の時点で、2018 年末までに NAGRA の提案エリアを第 3 段階で検討するかどうかを決定する予定であるとしていたが、ENSI は、2016 年 12 月 14 日に北部レゲレンをサイト候補として、第 3 段階での検討対象とすべきであるとの見解を表明した。

また、ENSI は 2017 年 8 月 3 日に、深地層処分に関連した監督等に関する方針（ENSI 理事会の意見）を示した文書\*を公表している。この文書において、地層処分プロジェクト（SGT : Sectoral Plan for Deep Geological Repositories）の第 2 段階以降においては、ENSI の責務が深地層処分場候補地選定（サイト選定）から地層処分場の建設等の監督へと変わっていくこと、さらに SGT の第 3 段階においては、NAGRA が深地層処分場サイト候補地の提案と包括的な許認可申請準備を行うことを見据えており、その上で、ENSI が、第 3 段階において NAGRA が提案する深地層処分場サイト候補地のチェックに加え、ボーリング孔の掘削時における地質学的調査等、新たな監督活動を行っていくことになるとしている。

\* Supervision of Deep Geological Repositories

2018 年 11 月 21 日、スイスの連邦参事会（内閣）は、現在実施されている深地層処分場候補地のサイト選定プロセスについて、最終段階である第 3 段階へ進め、NAGRA が 3 つの候補地（ジュラ東部、北部レゲレンおよびチューリッヒ北東部）において調査を継続すべきであると決定した。NAGRA は、第 3 段階の準備として、既に 3 つの候補地において三次元地震探査を実施し、2018 年 3 月からは第四紀地層へのボーリング調査を実施している。NAGRA によると、2019 年 1 月に深地層のボーリング調査を開始し、処分場建設に最適と思われる地域を 3～4 年以内に発表するとしている。その後、処分場建設の一般許可申請書を作成し、2024 年までに提出する予定であるという。

#### (4)廃止措置

連邦環境・運輸・エネルギー・通信省（UVEK）は、2018 年 4 月 12 日に、スイスにおける 5 つの原子力発電所の廃止措置と放射性廃棄物の処分の双方に掛かる費用の合計について、246 億スイスフランに達する見通しであることを明らかにした。2017 年末の見積額より 11 億スイスフラン（11 億 5,000 万ドル）多く、これらの費用は、原子力発電事業者による拠出金からなる 2 つの別々の基金\*から支払われるとのことである。

\* 原子力関連施設の廃止措置を目的とした基金と放射性廃棄物の処分を目的とした基金の 2 つである。

#### <リトアニア>

##### 放射性廃棄物処分管理

リトアニアでは、いくつかの処分施設の建設や運転がされている。

・低・中レベル放射性廃棄物の地上貯蔵施設（B25-1 プロジェクト）

イグナリナ原子力発電会社は、イグナリナ原子力発電所（INPP）の廃炉作業で発生する放射性廃棄物を貯蔵・保管するため低・中レベル放射性廃棄物の地上貯蔵施設の建設を進めている。この建設プロジェクトは B25-1 プロジェクトと呼ばれている。2015 年 5 月にイグナリナ原子力発電会社は、同施設の建設と操業に関する許認可申請書を国家原子力安全検査局（VATESI）に提出し、2017 年 11 月 22 日に建設・運転許可が発給された。これにより、承認された技術設計に基づく同貯蔵施設の建設が可能となった。

・極低レベル放射性廃棄物貯蔵施設／処分場（B19-1／B19-2 プロジェクト）

上述の B25-1 プロジェクトとは別に、イグナリナ原子力発電会社は極低レベル放射性廃棄物の貯蔵施設および処分場の建設を計画している。

第一段階である極低レベル放射性廃棄物貯蔵施設の建設計画（B19-1 プロジェクト）については 2013 年に建設が完了している。

第二段階である極低レベル放射性廃棄物処分場（B19-2 プロジェクト）の建設については、2015 年 12 月 23 日に、VATESI がイグナリナ原子力発電会社に対して許認可を発給した\*。処分場は埋め立て式（landfill-type）の施設であり、INPP の近くに建設されるもので、INPP の運転や廃止措置に由来する極低レベル放射性廃棄物が処分される予定である。この処分場は 3 つのモジュールからなり、それぞれ最大 2 万 m<sup>3</sup> の極低レベル放射性廃棄物を処分することができるという。

\* 同社は、2016 年中頃までに建設を開始し、2018 年末には操業を開始する予定であるとしていたが、進展していないようである。

・使用済み燃料中間貯蔵施設（ISFSF：Interim Spent Fuel Storage Facility）（B1 プロジェクト）

使用済み燃料中間貯蔵施設（ISFSF）は、INPP の使用済み燃料を貯蔵する目的で建設されたもので、2009 年 9 月に建設許可が発給された。ISFSF は、INPP の 1、2 号機から出た約 18,000 体の使用済み燃料集合体を金属コンクリート製の新型キャスク（CONSTOR RBMK1500/M2）に封入し、50 年にわたり保管するという。

ISFSF では、2017 年 5 月 4 日に 10 台の新型キャスクのホット試験が完了し、翌 5 月 5 日には、VATESI が ISFSF の操業許認可を発給した。イグナリナ原子力発電会社によると、同発電所からの使用済み燃料は 2022 年末までに全て ISFSF に移転され、50 年間で約 190 台（約 1 万 8,000 本の燃料集合体）を貯蔵する計画であるとしている。

2017 年 7 月 24 日にはイグナリナ原子力発電会社が ISFSF の操業を開始していることを明らかにした。2018 年 2 月末に同発電所 2 号機の使用済み燃料の取り出しが完了した。2019 年 3 月現在、97 台のキャスクが定置されている。

・放射性固体廃棄物の処理・貯蔵施設（SWMSF：Solid Waste Management and Storage Facilities）（B2/3/4 プロジェクト）

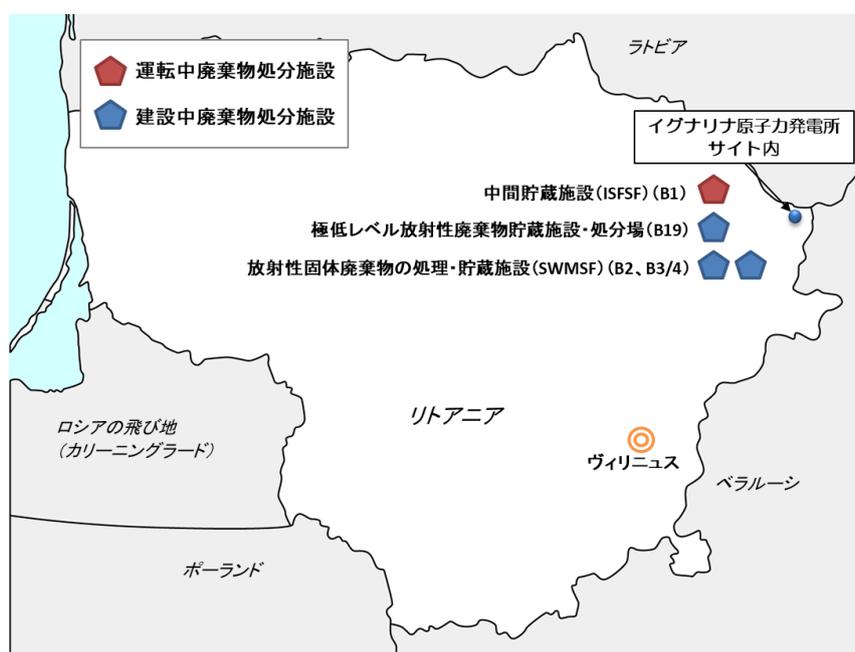
放射性固体廃棄物の処理・貯蔵施設（SWMSF）は、短・長寿命の放射性固体廃棄物について

回収・輸送・分類・包装・特性評価・貯蔵を行う施設である。INPP の運転中に排出した放射性廃棄物および INPP の廃止措置の際に発生する放射性廃棄物を貯蔵するために新規の SWMSF を建設する B2/3/4 プロジェクトが計画されている。B2 プロジェクトでは、固体廃棄物回収施設的设计および建設を実施する。B3/4 プロジェクトでは、固体廃棄物管理および貯蔵施設的设计および建設を実施するものである。

イグナリナ原子力発電会社は、2005 年にドイツの NUKEM technologies 社と設計・建設契約を締結した。2009 年 8 月には VATESI より建設許可が発行され、2009 年 12 月に建設が開始された。

2015 年 6 月には、2021 年より廃止措置によって発生する放射性廃棄物を受け入れるための操業許可を VATESI が発給した。またロスアトム社（2009 年より NUKEM 社の親会社）は、2017 年 5 月 16 日に SWMSF のコールド試験が完了したこと、および主な建設作業や機器の製造と設置も完了していることを明らかにした。2017 年 6 月 8 日には、VATESI がイグナリナ原子力発電会社に対して、SWMSF における実証目的のホット試験を行うための運転許可を発給した。

なお VATESI は、イグナリナ原子力発電会社がホット試験を完了し、かつ放射性廃棄物の回収技術と処理技術が要件に適合していることを INPP が実証した時に、処理施設に対して商業運転を許可することとなる。



## <ブルガリア>

### 放射性廃棄物管理

コズロドイ原子力発電所の使用済み燃料は発電所敷地内の貯蔵施設に保管されている。

コズロドイ原子力発電所 1～4 号機 (VVER-440) の使用済み燃料は 2014 年まで、5、6 号機

(VVER-1000) の使用済み燃料は 2008 年まで、再処理のためロシアに輸送され、高レベル放射性廃棄物としてブルガリアに返還されていた。しかし、現在はロシアへの輸送は行われていない。高レベル放射性廃棄物については、放射性固体廃棄物については圧縮減容、放射性液体廃棄物については濃縮した後にセメント固化し、発電所敷地内の貯蔵施設に保管している。

EU からの要求と政府の決定により、ブルガリアは 2015 年までに自国内に放射性廃棄物の貯蔵施設を建設する必要がある、2013 年 7 月 3 日、政府はコズロドイ原子力発電所近郊の Harlets という村が放射性廃棄物の貯蔵サイトとして選定されたことを声明で明らかにした。しかしながら、同月 22 日、ブルガリア最高行政裁判所 (VAS) は放射性廃棄物貯蔵施設の建設を中止する判決を下した。

また、コズロドイ原子力発電所にある使用済み燃料の乾式貯蔵施設について、ブルガリア原子力規制庁 (NRA : Nuclear Regulatory Agency) は、2016 年 2 月に 10 年間の操業許認可を発給した。なお同施設は、現在廃止措置が行われている同発電所の 4 基 (1~4 号機) からの使用済み燃料を一時的に貯蔵することを目的としている。

上記とは別に、コズロドイ原子力発電所には放射性廃棄物再処理施設であるプラズマ熔融施設 (Plasma Melting Facility) が設置されている。同施設は、コズロドイ 1~4 号機 (いずれも 2002~2006 年に恒久停止) および 5、6 号機 (いずれも運転中) から排出される低・中レベル放射性廃棄物について、プラズマを熱源として使用し、無機廃棄物 (inorganic waste) を溶かすとともに有機廃棄物 (organic waste) を気体状にする施設である。またこの施設は、年間 250 トンの放射性廃棄物を処理する能力を持つという。同施設はスペインのイベルドロウラ社とベルギーのベルゴプロセス社等が建設したものであり、建設費用 3,100 万ユーロのうち 35%をブルガリア政府が、65%をコズロドイ国際廃止措置基金 (KIDSF : Kozloduy International Decommissioning Support Fund) \*が拠出している。2017 年 11 月 30 日に同施設の実証試験操業が完了したことが明らかになり、2018 年 7 月 10 日に操業を開始した。

\* 欧州復興開発銀行 (EBRD) において 2001 年に設立された基金。9 億ユーロ以上が欧州委員会 (EC)、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フランス、ギリシャ、アイルランド、オランダ、スペイン、スイス、および英国から拠出されている。

なお、上記 2 施設とは別にブルガリア国有の低・中レベル放射性廃棄物処分施設が計画されており、2017 年 8 月 29 日に建設が開始した。同処分施設は、コズロドイ原子力発電所に近い Radiana サイトに建設され、浅地中のトレンチ処分をする予定であり、産業、医療、家庭および同発電所 1~4 号機の廃止措置や今後原子力発電所を運転した際に出る放射性廃棄物の処分に使用される予定である。建設の第一段階の費用 7,180 万ユーロ (8,570 万ドル) は、欧州復興開発銀行 (EBRD) が管理するファンドから拠出されるといい、建設の第一段階は、2021 年に完了する見込みであるという。

#### 廃止措置関連

2016 年 9 月 20 日、欧州会計監査院 (ECA : European Court of Auditors) は、ブルガリア、リトアニアおよびスロバキアで閉鎖したソビエト時代の原子炉の廃止措置について、必要な費

用が少なくとも 57 億ユーロ (64 億ドル) になるとの見積もりを明らかにした。なお高レベル放射性廃棄物 (HLW) の処分費用も含めた場合、費用の見積もりはその 2 倍になるとのことである。また廃止措置に必要な費用と調達資金の差が広がっており、ブルガリアについては 2,800 万ユーロが不足しているとのことである。

2018 年 6 月 11～20 日の 10 日間にわたり、IAEA の専門家チームによる総合的放射性廃棄物および使用済み燃料管理、廃止措置および除染レビュー (ARTEMIS : The Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation) が実施された。このミッションは、ブルガリア政府の要請により実施されたものであり、エネルギー省の主催のもとで、NRA、保健省の国立放射線生物学・放射線防護センター (MoH-NCRRP)、国営ブルガリア・エネルギー・ホールディング (BEH)、コズロドイ原子力発電所、およびブルガリア放射性廃棄物管理公社 (SERAW) が参加した。IAEA の専門家チームは、放射性廃棄物と使用済み燃料の安全管理について、ブルガリアが強固な法的基盤・規制的基盤を有していると指摘した一方、地層処分のための資金をブルガリア政府が確保すること等の勧告・提案をも行った。

また、SERAWは、エンプレサリオス・アグルパドス (Empresarios Agrupados) 社とヌヴィア (Nuvia) 社からなるコンソーシアムと、コズロドイ原子力発電所1～4号機における廃止措置・貯蔵プロジェクト管理ユニット (D-R PMU : Decommissioning-Repository Project Management Unit) \*のコンサルタント契約をしている。2019年3月20日には、この契約を3年延長し、2022年までの契約としたことが明らかになった。ヌヴィア社は2013年より同発電所1～4号機の廃止措置計画およびブルガリアの放射性廃棄物施設の建設においてD-R PMUを支援してきたという。

\* D-R PMUの資金は、EBRDによって設立されたコズロドイ国際廃止措置基金 (KIDSF) より提供されている。

## <ハンガリー>

### 放射性廃棄物管理

放射性廃棄物管理と処分、および廃止措置は、放射性廃棄物管理株式会社 (RHK Kft : Public Limited Company for Radioactive Waste Management) (前 PURAM) が行っている。1997 年 6 月には、新原子力法の成立のもと、原子力施設の廃止措置と放射性廃棄物処分のための原子力基金 (Central Nuclear Financial Fund) が設立された。

かつては使用済み燃料の一部をロシアに返還し再処理をしていたが、現在では行っていない。また、使用済み燃料の国内での再処理も行っておらず、今後行う計画もない。使用済み燃料は、1995 年の政策に従い、パクシュサイトの使用済み燃料プールに 5 年間保管された後、同サイト内の乾式中間貯蔵施設で 50 年間貯蔵される。

低・中レベル放射性廃棄物は、1977 年に貯蔵を開始したピュシュペクシラーギ (Püspökszilágy) 放射性廃棄物処分場 (RWTDF) で処分されていた。しかし、2005 年に容量が満杯になったため、新しい処分場の設置に向けて PURAM (当時) は地質調査を行い、パクシュから 30km 離

れたバタアパチ (Bátaapáti) を最終候補地とした。2005 年半ばにバタアパチ住民による投票が行われた結果、処分場建設は可決され、住民投票の結果は議会で承認された。2008 年 10 月に 1 億 5,000 万ユーロをかけた地上施設が完成し、地下施設の工事が行われた。2012 年 12 月 5 日に、バタアパチ放射性廃棄物処分場が完成し、落成式が行われた。式典中には、最初の廃棄物容器が最初の処分チャンバー (処分空洞) に収納された。この処分場には、パクシュ原子力発電所の運転及び廃止措置から生じる低レベル放射性廃棄物と短半減期の中レベル放射性廃棄物全てが処分される。少量の長寿命の中レベル放射性廃棄物と高レベル放射性廃棄物は、これとは別に管理される。最終的には、約 4,000m<sup>3</sup> の放射性廃棄物の処分が認可される予定である。なお、この施設は、ハンガリーが新規炉の建設を決定した場合には拡張することが可能なように、モジュール設計になっている。

また、国内では高レベル放射性廃棄物処分場を建設するために、メチェック鉱床の南西にある粘土層地域を候補地として調査している。深地層処分場のための初期安全評価は完了しており、この施設は 2060 年以降の操業開始が予想されている。

## <メキシコ>

### 使用済み燃料

使用済み燃料は、ラグナベルデ原子力発電所内の使用済み燃料プールで貯蔵されている。プールは原子炉の耐用年数分の使用済み燃料を保管できるように、リラッキングされている。研究炉から出る使用済み燃料も同様に、研究炉敷地内の使用済み燃料プールに保管されている。

なお、米国のホルテック社により、ラグナベルデ原子力発電所において使用済み燃料乾式中間貯蔵設備 (ISFSI : Independent Spent Fuel Storage Installation) の建設が 2014 年に開始され、2016 年に建設が完了した。連邦電力委員会 (CFE) は、2018 年から 2019 年にかけて、乾式キャスク 13 基に使用済み燃料 1157 体分を貯蔵する計画であり、この作業には原子力安全・保障措置委員会 (CNSNS) の承認が必要である。

### 放射性廃棄物

かつてはピエドラで低レベル放射性廃棄物の地下埋設施設が稼働していた (1985~1987 年)。しかし、すでにその容量の 2 万 858m<sup>3</sup> の廃棄物処分を終えている。そのため、エネルギー省は、放射性廃棄物を管理するための専用企業を設置しようとしており、政府の承認と設置のための予算確保の準備を進めている。

またメキシコは、2018 年 2 月 16 日に IAEA の「使用済み燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」(Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management) への加盟した (同年 5 月 17 日発効)。

## <アラブ首長国連邦>

放射性廃棄物処分の実施主体が内閣により決定されるまでは、使用済み燃料を含む放射性物

質に関する許認可を所有する者が、放射性廃棄物の安全な管理および貯蔵に対し責任を有するということが、2009年10月制定「原子力エネルギーの平和利用に関する連邦法6号」(Federal Law No. 6 Regarding the Peaceful Uses of Nuclear Energy)において定められている。また、放射性廃棄物に関する規制の具体的な要件は、連邦原子力規制庁(FANR)によるFANR規則11(FANR-REG-11)、およびFANR規則26(FANR-REG-26)において定められている。

FANR 理事会は、2019年3月26日に、使用済み燃料および放射性廃棄物の処分に関するFANR規則27(FANR-REG-27、Disposal of Spent Fuel and Radioactive Waste)の草案を承認した。これは、一般市民を放射線の危険から守るために使用済み燃料および放射性廃棄物に関する規則の必要性を規定する「原子力エネルギーの平和利用に関する連邦法6号」に基づいている。

## <エジプト>

### 使用済み燃料

エジプト政府は、エルダバ原子力発電所建設計画に関連して、2017年12月4日に使用済み燃料貯蔵施設\*の建設契約をロスアトム社と締結した。この貯蔵施設は、ロシアで再処理する使用済み燃料を貯蔵するための施設であり、2018年8月13日、ロシアのG.カラマノフ(Georgy Kalamonov)産業通商副大臣によると、使用済み燃料の貯蔵施設を2028年までに建設する予定であるという。また、輸送・貯蔵両用の使用済み燃料用コンテナも提供するとしている。

## 4 放射線利用技術開発

### 4.1 医療・健康利用分野

#### <米国>

1988年から30年にわたって、米国内にモリブデン-99 (99Mo) の生産施設は存在していない。2009年以降、国家核安全保障局 (NNSA) は、高濃縮ウラン (HEU) を使用せずに放射性同位体を米国国内で生産するための技術開発を加速することを目的として、民間企業との協力を行っている。

・シャイン・メディカル・テクノロジー社による 99Mo 等生産施設 (ウィスコンシン州ジェインズビル)

2016年2月にNRCは、ウィスコンシン州ジェインズビル (Janesville) 市に建設予定である 99Mo の生産施設について、申請者のシャイン・メディカル・テクノロジーズ (SHINE Medical Technologies) 社に対して建設許可を発給した。この施設では 99Mo 等の放射性同位体を生産することとなるが、生産のために原子炉ではなく加速器を使用する。

2017年8月3日、同施設の建設が始まった。なお、この生産計画はNNSAから2,500万ドルの支援を受けており、2021年には出荷を開始する予定である。

・NWMI社による 99Mo 等生産施設 (ミズーリ州コロンビア)

ミズーリ州コロンビア市ディスカバリーリッジ・リサーチパーク内において建設が予定されている医療用放射性同位体生産施設について、NRCは最終環境影響評価書を2017年5月16日に発給した。この評価書は、安全審査において安全上の問題が確認されなかった場合には、建設許可の申請者であるノースウェスト・メディカル・アイソトープ社 (NWMI: Northwest Medical Isotopes, LLC) に対して同施設の建設許可を発行する事を勧告している。なおこの施設では、低濃縮ウラン (LEU) から 99Mo が生産される予定である。

2018年5月9日、NRCはNWMI社に対して、同施設の建設許可を発給した。NWMI社は、2015年2月5日および7月20日の2回に分けて、建設許可申請をNRCに提出していた。

#### <ドイツ>

放射性医薬品会社 ITM Isotopen Technologien München (ITM) の子会社 ITG (Isotopes Technologies Garching GmbH) と、カナダのブルース・パワー (Bruce Power) 社は、ルテチウム 177 (Lu-177) の生産に関する了解覚書 (MOU) を2018年6月28日に締結した。ブルース・パワー社が所有する CANDU 炉\*での Lu-177 生産の可能性を探ることが目的で、これにより 2064 年までの全世界的需要を充たすことが可能になるという。

\* ブルース・パワー社の CANDU 炉ではコバルト 60 の生産が行われてきた。また、2017年にはアレバ NP (現オラノ) 社と協定を結び、モリブデン 99 (Mo-99) やイリジウム 192 (Ir-192) の商業規模生産のための設備追加を実施している。

## <ロシア>

2017年7月5日、レニングラード原子力発電所の広報は、同発電所で初めて医療用のヨウ素131の商業生産が開始されたことを明らかにした。7月12日には、コンテナ6個分(70~80キュリー)のヨウ素131をカルポフ物理化学研究所(Karpov Institute of Physical Chemistry)へ放射性医薬品として初出荷した。同発電所は1992年以降、近隣の医療施設等に対して医療用アイソトープを提供している。世界的に医療用アイソトープの生産施設が不足していることもあり、同発電所はヨウ素131に加えて、コバルト60( $^{60}\text{Co}$ )やモリブデン99( $^{99}\text{Mo}$ )等をも生産している。

2017年9月6日に、ロスアトム社と沿海州政府(Maritime Territory Administration)は、ルースキー島において核医学センター(Nuclear Medicine Center)を設立することについて、事業権付与契約(Concession Agreement)に署名した。同センターは、放射性核種を用いた診断を行う部署と放射性核種を用いた治療を行う部署等から成り、極東アトムメドテクノロジー社(AMT-DV: AtomMedTechnology-Far East LLC)が設計、建設、医療機器の設置、および人員の訓練を行い、5年後に開所する予定である。またAMT-DVは、今回署名された事業権付与契約に基づき、同センターの運営を管理するとともに医療業務を実施していくこととなる。なお同センターの医療サービスの主な受益者としては、沿海州の住民が想定されている。

2017年10月12日、原子炉科学研究所(RIAR)は、 $^{60}\text{Co}$ に基づいたガンマ線源(がん治療のために使用)の工業規模での生産を開始したことを明らかにした。ガンマ線源の製造設備は、 $^{60}\text{Co}$ 等の放射性同位元素を製造する研究炉であるSM-3(高中性子束炉(HFR))の建屋に設置された。なおRIARでは1995年から2012年まで同様の線源が製造されていたが、2013年に製造施設が廃止・解体されていた。

## 海外との協力動向

Isotope社(ロスアトム社の子会社)とアルゼンチンのLaboratorios Bacon S.A.I.C.社が、医療用放射性同位体の供給に係る2年契約を2018年4月19日に締結した。今回の契約内容は、RIARで製造された $^{99}\text{Mo}$ をアルゼンチンへ毎週供給するというものである。

ロスアトム社とキューバの科学技術環境省が、2018年5月15日に、照射技術の開発と利用に関する了解覚書・戦略的パートナーシップ(Memorandum of Understanding and Strategic Partnership)に署名した。両者は、協力の分野、方法、および主な条件を決定するために、相互に意見・情報交換を行うこととしている。なお、両者の協力が行われる分野の一つとして、キューバのマリエル経済特区(Mariel Special Economic Zone)において、ガンマ線照射施設における多目的訓練センターの整備計画の実施が挙げられている。

ロスアトム・ヘルスケア社と南アフリカ原子力公社(NECSA)が、2018年7月26日に、原子力技術のうち非電力分野における協力協定に署名した。NECSAは世界有数の放射線医薬品製造・輸出入であり、今回の協定は核医学、特にアフリカおよび海外におけるがん治療に関するものである。両者は、放射性医薬品製造用の小型炉・商業用サイクロトロンの南アフリカにおける建設に関する協力も予定している。また両国はロシアおよびアフリカ大陸において、がん治療セ

センターの展開を計画しているという。

2018年11月14日、ロシアの政府系ファンドであるロシア・ダイレクト・インベストメント・ファンド（RDIF）、シンガポールのアジア・アメリカン・メディカル・グループ（AAMG）およびルスアトム・ヘルスケア社は、共同で核医学センターをマレーシアに創設することで合意した。提案されている核医療センター創設計画には、がんの診断と治療に特化した最新の医療機関の設立を含んでいるという。また同センターは、放射性核種診断、放射性核種治療、放射線療法、サイクロトロンに基づく放射線化学施設を専門とする部門が含まれるとのことである。

#### <中国>

中国核工業集团有限公司（CNNC）と蘇州大学（Soochow University）は、核医学および原子力技術応用分野における既存の協力関係を拡大する戦略的協力合意について2019年1月22日に署名した。CNNCと蘇州大学は、「産学共同による産業プラットフォーム」（School-enterprise Co-construction Industry Platform）の設立を加速させ、製造、研究開発における交流、人材育成等への協力を強化するとともに、核医学技術とその他の関連産業の実用化・商業化を促進していくとしている。

#### <韓国>

2017年10月17日、韓国原子力研究院（KAERI）は、ヨルダン研究訓練炉（JRTR）において韓国とヨルダン両国の技術者が医療用放射性同位元素（RI）の製造に成功したことを明らかにした。今回製造されたのはヨウ素131とテクネチウム99mであり、ヨルダンのアブドラ国王大学病院（KAUH）に納入されたとのことである。

2018年7月19日に、韓国原子力研究院（KAERI）は、モリブデン99（Mo-99）の生成工程の実証に成功したと発表した。KAERIは、研究炉HANAROを用いて、ウランが原子炉内で核分裂を起こす際に生成される極微量のMo-99を高純度で精製し分離することに成功した。KAERIの放射性同位元素生産施設では今まで一般のモリブデンを一部生産していたが、比放射能が低く少量しか生産できないため、高性能のMo-99を生産するための研究開発を進めてきた。今後、釜山近くの機張（キジャン）で建設計画中の輸出用新型研究炉（KJRR）\*を用いて高品質の医療用同位元素の生産が可能になれば、国内需要を賄うだけでなく、輸出まで可能になるという。

\* 建設計画中の輸出用新型研究炉（KJRR）では、医療用同位元素の生産のための専用施設を建設する予定であるが、HANAROではその専用施設がないため、大量生産が不可能である。

#### <インド>

BARCが所有する研究炉Apsaraは高濃縮ウラン燃料を使用する英国製スイミングプール型軽水炉（1,000kWt）であり、インド初の原子炉として1956年に運転を開始し、2009年に恒久停止した。その後、改良が実施されApsara-upgraded（Apsara-U）\*として再稼働した。原子力庁（DAE）は、2018年9月10日にApsara-Uが臨界に達した（再稼働した）ことを明らか

にした。Apsara-U はインド国内での医療用 RI の製造量を 50%増加させると見込まれており、また核物理や材料科学、放射線遮蔽等の研究に利用されるという。

\* 低濃縮ウランを使用する分散型プレート燃料要素に切り替えが行われた。改良後の最大熱出力は 2,000kWt である。

### <オーストラリア>

2017年11月30日、オーストラリア原子力科学技術機構（ANSTO）は、新しいモリブデン-99（<sup>99</sup>Mo）製造施設が完成し、施工業者から ANSTO に同施設が引き渡されたと発表した。同施設は、<sup>99</sup>Mo を使用した医薬品に関して全世界の需要の 25%を供給する能力を有しているという。この ANM <sup>99</sup>Mo 製造施設は、オーストラリアが放射性医薬品の製造において世界のリーダーとなるために、同国政府が 1 億 6,880 万オーストラリアドルを投資して開始した ANM（ANSTO Nuclear Medicine）プロジェクトにより建設された。

2018年4月12日には、放射線防護・原子力安全庁（ARPANSA）が、ANSTO に対して ANM モリブデン-99（ANM <sup>99</sup>Mo）製造施設の操業許可を発給した。

2018年6月27日に、ANSTO は、OPAL 炉内の機器の不具合により、医療用 RI であるテクネチウム <sup>99m</sup>（Tc-<sup>99m</sup>）の生産が一時停止していることを明らかにした。これは、同 22 日にトランスファー・コンベア（transfer conveyer）と呼ばれる機器の不具合が確認されたことが原因であるという。ANSTO は、運転再開までの間、米国等の協力により Tc-<sup>99m</sup> 供給における混乱を最小限にとどめるよう努力するとしている。

2018年7月20日、ANSTO は、Tc-<sup>99m</sup> の生産が一時停止している件について、機器の不具合は解消されたが、生産の再開にはまだ数週間かかる見込みであると発表した。

そして、2018年8月3日に、8月第2週に Tc-<sup>99m</sup> の生産を再開すると発表した。

### <フィリピン>

フィリピン原子力研究所（PNRI）は、PNRI テクネチウム <sup>99m</sup>（Tc-<sup>99m</sup>）製造施設において Tc-<sup>99m</sup> の製造を再開したことを 2018年6月7日に発表した。この製造施設の再稼働により、放射性医薬品の平均輸入コストが約 20%低減できるという。今回製造された Tc-<sup>99m</sup> の原料となるモリブデン 99（Mo-99）は、ロスアトム社から供給されたものである。

### <インドネシア>

「メラプティ・ガンマ線照射施設」（Merah Putih Gamma Irradiator）という名称の照射施設と「放射性同位体および放射性医薬品研究所」（Radioisotope and Radiopharmaceutical Laboratories）という名称の研究施設の2施設が2017年11月15日に開所した。照射施設の方は、食料品\*、医薬品、および化粧品の保存を目的とした放射線照射、並びに医療機器・器具の殺菌のために運用され、研究所の方は、放射性同位体と放射性医薬品の開発と利用のために運用される予定である。

\* インドネシアで生産される食品商品には高い商品価値を持つものがあるが、熱帯の気候の下では

直ぐに傷んでしまう。マンゴーの場合、放射線照射により2週間以上腐らなくなり（照射しない場合は2～3日で腐る）、輸出が可能になるという。

## 4.2 農水産業利用分野

関連する公開情報は無し。

## 4.3 産業・環境利用分野

### <ロシア>

2017年6月26日、ロスアトム社は、その子会社である RASU 社\*と韓国の斗山重工業が両社間の協力に関する了解覚書（MOU）に署名したことを明らかにした。この MOU は第 9 回 ATOMEXPO において署名されたものであり、両社は、RASU 社が開発している自動放射線計測装置（ARMS : automated radiation monitoring systems）と中性子束検出器について協力を拡大していくこととなる。なおこれらの装置と機器は、韓国が設計した原子力発電所において使用されるものである。

\* JSC Rosatom Automated Control Systems。ロスアトム社の子会社であり、原子力施設等で使用される計装制御（I&C）システムの設計、開発、運用、メンテナンス、改良等を手掛けている。

### <フィリピン>

フィリピン原子力研究所（PNRI）所有のガンマ線照射施設の更新、および新たな商業用照射施設の設置検討について、IAEA が支援していることが 2018 年 8 月に明らかになった。フィリピンでは食品照射の需要が急増しているが、国内の照射施設は PNRI 所有の 1 か所のみであるため、需要増加に対応できない状況にある\*。PNRI は、IAEA の協力の下で、より強力な新しい線源の購入を含む PNRI 施設の更新に取り組んでいる。また、食品照射の安全性と処理効率の向上を図るため、全自動式システム（新たな照射施設）の導入も検討している。PNRI は、2018 年 7 月、産業界・政府機関等の関係者や IAEA の専門家を招き、新たな照射施設の設立を検討する会合を開催したという。会合では、政府の開発機関が商業用照射施設を建設し、その後は施設を民間に引き渡す計画が検討された。

\* PNRI のガンマ線照射施設は 2018 年 8 月時点で 91 の顧客を抱えているが、放射線源の減衰を理由に施設へのアクセスは制限されている。

## 5 核セキュリティ・保障措置に関する各国の取り組み

### <米国>

2017年5月、国家核安全保障局（NNSA）は、オークリッジ国立研究所（ORNL）において、核物質計量管理国内システム（SSAC：State Systems of Accounting for and Control of Nuclear Material）に関する研修をIAEAと共催した。この研修は2週間にわたって実施されたものであり、21か国から参加した23名の受講者に対して、国際保障措置の要件に従う形で各国の核物質が適切に計量管理されることを目的に、IAEA、ORNL、及びNNSAの専門家による講義等が実施された。

2017年5月9～11日に、NNSAは、第38回トリチウムフォーカスグループ会議\*をパシフィック・ノースウェスト国立研究所（PNNL）において開催した。同会議には、DOE、カナダ、および英国から50名を超える専門家が参加したという。なおトリチウムフォーカスグループは、NNSAを含むDOEにおけるトリチウムの安全、取扱、輸送、保管、運用、および報告について、改善を促進させるために活動しているグループである。

\* 米国内のトリチウム研究者の会合であり、基本的に年に2回、米国内のトリチウム関連研究所の持ち回りで開催されている。

2017年11月、NNSAは、モロッコのラバトにおいて、NNSAとIAEAの専門家による保障措置に関するワークショップを開催した。IAEAは、核不拡散を目的としてIAEA加盟国との間で「追加議定書」（Additional Protocol）を締結することにより、「追加議定書」を署名した加盟国に対しては、それらの国々がIAEAに対して未申請の核物質を保有していないこと、ならびに核拡散に繋がる恐れのある諸活動を行っていないことを検認することができるという「補完的アクセス」（Complementary Access）の権利を有している。このワークショップは、「追加議定書」の未締結国に対して締結を促すとともに、「補完的アクセス」の実施を想定した訓練を行うことを目的としたものであるという。なおこのワークショップは、モロッコの国立エネルギー・原子力科学技術センター（CNESTEN）と共催したものであり、アルジェリア、モロッコ、およびチュニジアから保障措置に携わっている人員15名が参加したとのことである。

2018年8月8日、民生原子力協力に関する日米二国間委員会第5回会合が、東京にて開催された。米国エネルギー省のD.ブルイエット（Dan Brouillette）副長官、日本外務省の森健良外務審議官のほか、関係省庁が出席\*した。会合では、日本のプルトニウム保有量に関する新たな政策ガイドラインについても議論が行われた。この政策について、ブルイエット副長官は「世界的な核不拡散問題において日本が果たすリーダーシップの証拠である」と述べたという。会合をうけ、核不拡散という共通目標の進展に向けた二国間協力を継続する意向を盛り込んだ共同声明が発表された。この共同声明は、日米原子力協定の継続について言及するものであり、原子力平和利用と日米関係の双方のための基礎として極めて重要なものである。次回会合は米国にて開催予定である。

\* 米国からはエネルギー省、商務省および原子力規制委員会（NRC）が出席。日本からは外務省、文部科学省、環境省、資源エネルギー庁、原子力規制庁および内閣府が参加した。

## <英国>

2018年3月26日、英国原子力規制室（ONR）は、ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）が議会に対して「核セキュリティ（国務大臣によるセキュリティ指令）規制 2018」（Nuclear Security (Secretary of State Security Directions) Regulations 2018）を提出したと発表した。この規制により国務大臣（Secretary of State）は、原子力の民生利用において核セキュリティ上の緊急の脅威が発生した場合、原子力産業界に対して指令（directions）を直接発することが可能となる。なお、この規制は2018年10月1日より施行されるされた。

2018年5月1日にONRが議会に提出した2018～2019年の経営計画（Corporate Plan）においては、離脱にあたり、保障措置に関する責任を果たすために新たな規制体制を整備等の10項目が優先事項として掲げられている。

また英国は、Euratom 離脱準備の一環として、2018年6月7日にIAEAと国際保障措置協定を締結している。この協定は、これまでIAEA・Euratom・英国の三者間で結ばれていた国際保障措置協定を、IAEA・英国の二者間協定に修正したものであり、英国の民生原子力施設へのIAEA査察を保証している。

6月26日には原子力安全保障法2018（The Nuclear Safeguards Act）が発効した。原子力安全保障法2018は、Euratom 離脱に伴い英国内の原子力安全保障体制の確立を目指すものであり、ONRにセーフガードに関する機能を付与すること等が盛り込まれている。また、この法律を根拠とする原子力安全保障規則（Nuclear Safeguards Regulations）の策定も進められている。原子力安全保障規則では、ONRに保障措置に関する権限を付与することが定められている。

2018年9月13日に、フレイザー・ナッシュ（Frazer-Nash）社は、ロールス・ロイス（Rolls-Royce）社、国立原子力研究所（NNL）、EDF エナジー社、ヤコブセン・アナリティクス（Jacobsen Analytics）、ランカスター大学、ブリストル大学、およびヨーク大学との協力の下、原子力安全・核セキュリティ研究に関する契約\*をBEISと締結することを明らかにした。ロールス・ロイス社の関係者によると、この研究プロジェクトの目的は、原子力発電のコスト削減のために、安全とセキュリティという2つの重要な要素を統合するよう民生原子力産業を支援することであるという。また、R.ハリントン（Richard Harrington）ビジネス・産業担当大臣は「多様でクリーン、安全な電力供給において原子力は決定的な役割を果たしている」と述べた上で、今後も英国企業に対し支援を継続すると付け加えた。

\* 期間は2年間、金額は360万ポンド。

BEISは2019年2月14日にEuratom 条約離脱に関する2018年第4四半期報告（Report to Parliament on the Government's Progress on the UK's Exit from the Euratom Treaty）を公開した。離脱に向けた準備の第4四半期までの進捗として、前述した国際協定の締結、原子力安全保障規則の議会提出およびパブリック・コンサルテーションへの政府回答公開を挙げている。また、政府により、新たな補償措置体制を確立するための資金提供が行われるとしている。この資金提供には、2019年3月までに国際基準を達成し、2020年までにEuratom 提供によるものと同等の範囲・効力を達成するための費用が含まれている。

## <フランス>

IAEA 専門家チームは、フランスでの国際核物質防護諮問サービス (IPPAS : International Physical Protection Advisory Service) のフォローアップミッションを 2018 年 3 月 23 日に完了した\*1。今回のフォローアップミッションでのレビューの対象は、2011 年に実施されたミッションで提示された勧告に対するフランスの対応、核セキュリティとコンピュータセキュリティに関する規制枠組み、および「核物質の防護に関する条約」(CPPNM : Convention on the Physical Protection of Nuclear Material) \*2 の 2005 年改訂版のフランスにおける履行状況である。IAEA の専門家チームは、同国の核セキュリティ体制が十分に確立していることを確認するとともに、CPPNM の 2005 年改訂版の基本原則 (fundamental principles) を組み込んでいることを確認した。その上で専門家チームは、同国の核セキュリティの強化と維持を支援することを目的とした勧告と提言を行った。また専門家チームは、同国の良好事例について、他の IAEA 加盟国が核セキュリティに関する諸活動を強化する際に参考となるとしている。

- \*1 今回の IPPAS のフォローアップミッションはフランス政府の要請により 2 週間にわたって実施された。
- \*2 同条約は核物質及び原子力施設の防護するための強化された枠組みを提供している。

2018 年 7 月 5 日に、フランス議会で設置された委員会\*1により、フランス国内の原子力施設の安全・セキュリティに関する報告書が刊行された。委員会は報告書の中で、フランス国内の 58 の原子力発電所とその他の施設 (ラ・アーク再処理工場を含む) について、航空機事故や、施設内部におけるサボタージュ、テロのような外部からの敵意ある侵入・攻撃\*2 に対して未だ脆弱な状態にあると述べている。また、Cigéo 深地層処分計画についても、地下火災のリスクを含む脆弱性を指摘している。報告書ではこれらの問題に対して、下請けへの依存度を減らすことや原子力サイトでの警察官配置の強化等、33 の改善策が提案されている。

- \*1 2018 年 1 月設置。原子力推進派・反対派の双方が参加している。
- \*2 報告書では、ドローンによる上空からの侵入やサイバー攻撃もリスクとして挙げられている。

## <ドイツ>

IAEA 専門家チームは、ドイツでの IPPAS ミッションを 2017 年 10 月 6 日に完了した\*。今回のミッションでは、規制の枠組みや核物質、施設の防護とコンピュータセキュリティが含まれたほか、2016 年に改正された CPPNM の履行も焦点となった。専門家チームは、ドイツの核セキュリティ体制が改正 CPPNM の基本原則を取り入れて確立していると判断した。

- \* 今回のミッションはドイツ連邦政府の要請により 2 週間にわたって実施された。

## <EU>

### 核セキュリティへの取り組み

EUは、IAEAの核セキュリティへの取り組み、および核セキュリティ強化に向けた国際的な取り組みを全面的に支援している。

2010年4月、V. ロンパイ (Van Rompuy) 欧州理事会常任議長 (当時) は、米国ワシントンで開催された第1回核セキュリティ・サミットにおいて、EUの核セキュリティに関する姿勢や取り組みを紹介している。V.ロンパイ議長は、EU域内ではIAEAとの緊密な協力の下で超国家的な核物

質の計量管理システムが導入されており、EUはその知見を他の国や地域と共有する用意があるとしている。また、最も高度な核セキュリティ基準と実践の導入には、原子力事業者が重要な役割を果たすと述べている。さらに、EUがアジア、アフリカ、南米、地中海沿岸や中近東および南東欧諸国に対する支援プログラムを通じて、これらの国や地域での核物質防護関連の法制度整備に貢献するとともに、複数の国で原子力の平和利用に関する安全・セキュリティ文化の促進のための研究センターの設立に向けた動きも進めていることを紹介した。なお、同議長は、ECの安定化基金（IfS : Instrument for Stability）や原子力安全協力基金（NSCI : Nuclear Safety Co-operation Instrument）による支援、および2009年に採択されたEUの化学・生物・放射線・核（CBRN）行動計画も核セキュリティ強化に貢献するものと位置付けている。

その後開催された核セキュリティ・サミットにもEUは参加していた。（同サミットは2016年開催の第4回で終了し、2018年3月にIAEAが核セキュリティに関する国際会議として引き継いだ）

- ・核セキュリティ基金への拠出

EUは、2003年からIAEAと核セキュリティに関する協力協定を締結して世界の核テロリズムの予防、発見、対応のための資金をIAEAの核セキュリティ基金（NSF）に拠出している。核セキュリティ・サミットにおいてV.ロンパイ議長（当時）は、2010年末までにEUが3,000万ユーロ以上をNSFに拠出したとしているが、その後、2010年11月には、EUとIAEAの5回目の協定に基づいて、約1,000万ユーロがNSFに拠出されたことが発表された。

この他に2010年11月には、核セキュリティと不拡散に関する協力拡大を促進するために、ユーラトムと米国の国家核安全保障局（NNSA）が新たな協定に署名したことが発表された。NNSAは、同協定では核保障措置、国境監視、核鑑識、輸出管理、放射性物質施設の核物質防護などの分野における米国と欧州間の技術協力拡大に関する枠組みが規定されているとしている。また今回の協定に基づく両者の協力は、NNSAの次世代保障措置イニシアチブ（NGSI）によって管理されるとしている。

- ・TACIS 計画

EUの核テロ関連の対外援助は、TACIS計画として1994年から実施されている。実施主体は、欧州共同研究センター（JRC）のイタリア市民防護安全研究所（IPSC）およびドイツの超ウラン元素研究所（ITU）であり、1994～2004年にはロシア、ウクライナおよびカザフスタンの核施設における核物質の計量管理等の支援を実施した。その後、2005～2012年には、ロシア、ウクライナ、ジョージア、アルメニア、アゼルバイジャン、モルドバ、ベラルーシおよびカザフスタンにおける核物質検知及び核災害対応のための12の対外支援プロジェクトを実施している。

- ・その他

ECは、2017年4月18日に包括的共同行動計画（JCPOA）の枠組みの下で、イランとの原子力安全協力プロジェクトに署名をしたと発表した\*。このプロジェクト（250万ユーロ）では、JCPOAにおいて設置が規定されている原子力安全センター（Nuclear Safety Centre）を設置するためのフェージビリティスタディが実施される他、イラン原子力規制局（INRA）が原子力規

制の枠組みを構築するための支援が行われる等、INRA の能力向上が目的となっている。

- \* このプロジェクトは、2016年にEUが承認した、原子力安全協力に関するEUによる支援の枠組み（INSC：Instrument for Nuclear Safety Cooperation）の下で行われる500万ユーロ（540万ドル）の支援の内の前半に相当するものである。このプロジェクトは2017年7月12日に開始された。一方、後半となるプロジェクトは、ブシェール原子力発電所でのストレステストに関するものである。なおEUは2017年6月21日、INRAに対する支援を継続するため総額400万ユーロにのぼるフォローアッププロジェクトを承認した。

## <ロシア>

2017年10月17～18日、ロスアトム社とロシアの外務省は、イラン原子力庁（AEOI）とともに「25年にわたるロシアとイランの原子力平和利用分野での協力：包括的共同作業計画（JCPOA）付属書IIIの下での新たな展望」と題したセミナーを開催した。セミナーには両国の他、包括的共同作業計画（JCPOA）の当事国の代表者、欧州委員会（EC）の高官、およびIAEA事務局が招待されて出席し、JCPOAの役割についての意見交換などが行われた。

- \* 25 Years of Cooperation between Russia and Iran in the Area of Peaceful Uses of Nuclear Energy: New Prospects under the Joint Comprehensive Plan of Action, Annex III

## <中国>

IAEAの専門家チームは、中国での国際核物質防護諮問サービス（IPPAS）のミッションを完了したと2017年9月8日に発表した。同ミッションは、中国政府の要請により12日間にわたって実施されたものであり、核物質防護および原子力施設の物理的防護だけではなく、核セキュリティのための立法および規制枠組みについても対象とするとともに、2005年に改正されたCPPNMについて中国の履行状況にも焦点があてられた\*。IAEAの専門家チームによると、中国は核セキュリティについて、強固で持続可能な活動を維持しているとのことである。また同チームは、中国に対して継続的な改善のための勧告や提案を行う一方、中国の多数の良好事例を確認したとのことである。

- \* 中国は、2009年に批准し2016年に発効している。

「原子力安全、原子力緊急事態、核セキュリティに関する国際会議」（International Conference on Nuclear Safety, Nuclear Emergency and Nuclear Security）\*が衡陽市で2017年12月4日に開幕した（開催期間は3日間）。この会議は、中国核学会と中国核兵器産業協会の後援の下で南華大学がホストを務めたものであり、IAEA職員や、スイス、ドイツ、パキスタン、インド、南アフリカ等から専門家が参加した。なおこの会議の期間中において、原子力安全、原子力緊急事態、核セキュリティ、および知識管理について、専門家や学者等17名が発表を行った。

- \* 核安全・核应急・核安保国際学术会议

中国外務省と米国防務省は、2018年4月17日に北京において第3回米中核セキュリティ対話（China-United States Nuclear Security Dialogue）\*を開催した。今回の対話では、最新の国際的な核セキュリティの状況について議論したほか、核セキュリティ、原子力安全、および緊急事態への準備と対応に関する両国の政策や経験について意見交換を行った。また両国は、IAEAを含めた多国間の枠組み内での協力強化でも合意し、小型中性子源炉（MNSR）の低濃縮

ウラン燃料への転換や放射線源セキュリティ、放射線検出における協力を強化するなどして、地域的・国際的な核セキュリティ体制に貢献することに合意した。

\* 習近平国家主席は、2015年に訪米した際、オバマ大統領とともに、両国が核セキュリティ対話を毎年実施することを発表していた。2016年にスウェーデンにおいて第1回目の対話が開催された。第2回目は、2017年5月23日にワシントンD.C.にて開催された。

### <インド>

1974年のインドの核実験をきっかけとして設立された原子力供給国グループ(NSG)は、2008年9月6日NSG特別総会で、包括的保障措置を条件としているNSG供給指針のインドへの免除を承認した。2008年10月10日には、米国とインドが原子力協力協定に署名、12月6日に発効した。

また、インドとIAEAは2009年2月6日に、インドが民生用として申告した全ての原子力施設をIAEAの保障措置下に置くとする保障措置協定(INFCIRC/754)に署名した。さらに両者は2009年5月15日に保障措置協定の追加議定書に署名した。この追加議定書は2014年6月24日に批准され、同年7月25日に発効している。

2010年11月8日にシン首相と米国のオバマ大統領(当時)が発表した共同声明では、インドが段階的にNSGを含む4つの多国間輸出管理制度に正式参加することについて、米国が支持する意向を示した。

### <オーストラリア>

2017年11月10日、IAEA専門家チームは、オーストラリアでのIPPASのフォローアップミッションを完了した\*。今回のフォローアップミッションでのレビューの対象は、2013年に実施されたミッションで提示された勧告に対するオーストラリアの対応、核セキュリティとコンピュータセキュリティに関するオーストラリア連邦政府レベルでの法律と規制枠組みの変更、およびCPPNMの2005年改訂版のオーストラリアにおける履行状況である。IAEAの専門家チームは、同国の核セキュリティ体制が十分に確立していることを確認するとともに、CPPNMの2005年改訂版の基本原則(fundamental principles)を組み込んでいることを確認した。その上で専門家チームは、同国の核セキュリティの強化と維持を支援することを目的とした勧告と提言を行った。また専門家チームは、同国の良好事例について、他のIAEA加盟国が核セキュリティに関する諸活動を強化する際に参考となるとしている。

\* 今回のIPPASのフォローアップミッションはオーストラリア政府の要請により2週間にわたって実施された。

### <カザフスタン>

2017年5月12日、核セキュリティ訓練センター(NSTC:Nuclear Security Training Center)が開設された。NSTCは、米国の国家核安全保障局(NNSA)との協力のもとで開設されたものであり、カザフスタン国内に所在する原子力施設や原子力機関の人員を対象として、核物質防護制度、核物質の計量管理制度、対応部隊、安全輸送等の核セキュリティに関連した分野についての訓練が行われることになる。

### <フィリピン>

2018年4月9～10日、IAEAの「放射性物質の許認可と監査に関する地域トレーニングコース」(Regional Training Course on Licensing and Inspection for Radioactive Material)がマニラにて開催された。フィリピンをはじめ東南アジア地域各国\*の政府機関から23名が参加し、原子力・放射性物質や関連施設向けセキュリティ監査プログラムの重要な問題に取り組むことを目的に、IAEAの専門家による講義が行われた。

\* 参加国はブルネイ、カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、ミャンマー、シンガポール、タイ、ベトナム、フィリピンの10か国。

### <インドネシア>

2018年7月10日から13日にかけて、インドネシア原子力規制庁(BAPETEN)は、IAEA保障措置協定に関するワークショップを米国の国家核安全保障局(NNSA)と共同で開催した。このワークショップは、IAEA保障措置協定の追加議定書の実施に関する知識・経験・良好事例を共有し、認識の向上を図る目的で実施された。

### <スリランカ>

2018年3月6～9日、第6回放射線セキュリティに関する地域レビュー会議(Regional Review Meeting on Radiological Security)がスリランカの原子力規制委員会(AERC)の主催で開催された。同会議は米国の国家核安全保障局(NNSA)の放射線セキュリティ局(ORS: Office of Radiological Security)が支援をしたものであり、20を超えるパートナー国と国際機関からの参加者があった。また、同会議期間中に開催されたワークショップでは、規制機関によるプレゼンテーション、法執行機関・緊急時対応・医療施設管理の専門家によるプレゼンテーションが実施された。これらのプレゼンテーションは、放射性物質の盗難や放射線セキュリティ文化への対応について論じたものであったという\*2。

\*1 この地域レビュー会議への協力にあたり ORS は、放射性物質散布装置(RDD: radiological dispersal device)や汚い爆弾(Dirty Bomb)を作るために必要な物質をテロリストが入手することを防ぐため、高放射能線源の安全確保について焦点を当てたという。

\*2 会議開催中には、世界核セキュリティ協会(WINS: World Institute for Nuclear Security)によるセミナーも実施され、高放射能線源に替わる技術の採用によりリスクを低減させることについて議論が行われた。

### <タイ>

原子力庁(OAP)は、2017年3月6～9日にかけて「ASEAN地域の原子力・放射線安全およびセキュリティの能力構築・強化に関するASEANTOMワークショップ」\*をバンコクで科学技術省と共催した。このワークショップには、ASEANTOM加盟国(カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナム等)の原子力規制機関、放射線規制機関やその関連機関から80名を超える参加があったという。

\* ASEANTOM Workshop on Capacity Building and Strengthening the Nuclear and Radiation Safety and Security Network in the ASEAN Region. なおASEANTOMはASEAN諸国の規制機関のネットワークである。

2018年4月、タイの専門家と米国の国家核安全保障局（NNSA）は、原子力・放射線施設に対する緊急時対応計画（contingency plan）の策定についての研修を目的としたワークショップ\*を実施した。このワークショップにおいて NNSA とタイからの参加者は、緊急時対応計画を策定する際に参考となる様な知見等を共有した。

\* 今回の研修は、以前にタイ原子力技術研究所（TINT）職員向けに実施された、核セキュリティシステムの有効性を評価するためのプログラムを開発・実施・維持するためのワークショップに基づいている。

### <マレーシア>

マレーシア原子力庁（MNA）は、2017年10月26日に、パハン州タナラタ所在の放射性核種モニタリング施設である RN42\*において、「RN42 の運営に関する年次会合 2017」（Annual Meeting on Operation of Radionuclide Monitoring Station (RN42) 2017）を開催した。この会合は、RN42 の運営について議論することを目的として隔年で開催されるものであり、今回の会合には MNA の各部署から計 13 名が出席した。この会合において出席者は、包括的核実験禁止条約（CTBT）の活動に関する最新の情報および RN42 の運営に関連した諸課題について共有するとともに、将来において RN42 の運営を強化することを目的とした提案を数件行った。翌 10 月 27 日に MNA は、マレーシア気象局（MMD）のパハン州気象事務所所長の訪問を受けた。同所長は、両機関の既存の協力（特に RN42 の運営に関する協力）を強化することを目的として訪問しており、CTBT に関する説明を受けた後で RN42 を訪問した。

\* CTBT は国際監視制度として世界の合計 321 か所に監視施設（4 種類 337 施設）を設けて条約の遵守を監視することになっている。RN42 はマレーシア国内唯一の監視施設である。

また、2018年6月15日、マレーシアの原子力許認可委員会（AELB: Atomic Energy Licensing Board）が、レバノンおよびオマーンの原子力関係機関を招き、核セキュリティに関するテクニカルビジットを開催したと発表した。この催しは IAEA の協力・ファシリテーションのもとに実施され、マレーシアの専門家は、核セキュリティを担う規制主体の設置過程において得られた知見やベストプラクティスについて、レバノンおよびオマーンの専門家に情報提供を行った\*。また、両国における核セキュリティ支援センター（NSSC : Nuclear Security Support Center）の設置手順についての検討も行われたという。

\* このような開発途上国同士の支援関係は、南南協力（South-South Cooperation）と呼ばれている。

### <スウェーデン>

IAEA の専門家チームは、スウェーデンにおける核セキュリティの法的・規制枠組みについて、IPPAS のフォローアップミッションを 2016 年 10 月 14 日に完了した。

### <フィンランド>

2017年10月5日、放射線・原子力安全センター（STUK）は、2016年版の年次報告書を公開した。この報告書は、核不拡散に関するフィンランドの 2016 年における取組みについて記載したものであり、国内計量管理制度（SSAC）に基づいた査察を STUK が継続して実施している

こと、また核物質管理に関して STUK が人材育成を行うとともに、フィンランド国外の原子力新規導入（予定）国における規制機関の職員を対象として STUK が人材育成を行っていること等が記載されている。

#### <スイス>

2018年5月9日、スイス連邦原子力安全検査局（ENSI）は、スイス主催による原子力安全と平和利用についての国際イベント\*がジュネーブにて開催されたことを明らかにした。このイベントに出席した ENSI の H.ワーナー（Hans Wanner）局長は、核兵器不拡散条約（NPT）における原子力安全の概念の継続的改善の必要性を訴え、2011年の福島第一原子力発電所事故を反映した最終文書を、2020年NPT運用検討会議で採択することの重要性を強調した。

\* 2018年4月23日～5月4日にかけてジュネーブで開催された、核兵器不拡散条約（NPT）運用検討会議のための準備委員会に合わせて企画された。

2018年6月8日、IAEAの専門家チームは、スイスでの国際核物質防護諮問サービス（IPPAS：International Physical Protection Advisory Service）ミッションが完了したと発表した。今回のミッションは、スイス連邦政府からの要請で2週間にわたって実施されたものであり、核物質と原子力施設のセキュリティ、緊急時計画、輸送、およびコンピュータセキュリティのための立法枠組みと規制枠組みをレビューの対象としたものである。またIPPASを実施した専門家チームは、「核物質の防護に関する条約」（CPPNM）の2005年改訂版のスイスにおける履行状況についてもレビューを行っており、スイスの核セキュリティ体制について、きちんと確立されていると述べるとともに、CPPNMとその改訂版の基本原則を取り入れていると述べている。なお、この専門家チームは、レビューの一環として、ベツナウ、ライプシュタット、およびゲスゲンの各原子力発電所を訪問した。

#### <リトアニア>

IAEAの専門家チームは、2017年10月20日にリトアニアにおける核セキュリティの法的・規制枠組みについて、IPPASのミッションを完了した\*。今回のミッションでは、2005年に改正されたCPPNMに関する同国の履行状況も対象とされた（同国は2009年に同条約を批准し2016年に発効している）。IAEAの専門家チームは、改正CPPNMの基本理念をリトアニアの核セキュリティ体制が取り入れていることを確認し、核セキュリティの強化と維持に関して勧告と提言を行った。

\* 今回のIPPASはリトアニア政府の要請により2週間にわたって実施された。

#### <ハンガリー>

2017年7月7日、IAEAの専門家チームは、ハンガリーにおけるIPPASのフォローアップミッションを完了した。このミッションは、2013年に行われたIPPASのフォローアップとしてハンガリー政府の要請に基づき12日間にわたって実施されたものである。IAEAの専門家チームは、ハンガリーにおける核物質防護の方策を確認するためにパクシュ原子力発電所や放射性廃

棄物の処理・処分施設を訪問しており、ハンガリーの核セキュリティ対策について、前回の IPPAS での勧告を反映することなどにより改善されていると結論づけている。

2017年9月20日には、ハンガリー原子力庁（HAEA）とIAEAは2017～2022年の期間を対象としたカントリー・プログラム・フレームワーク（CPF）に署名している。このCPFには、原子力エネルギー、使用済み燃料及び放射性廃棄物、人の健康と栄養学、原子力機関の環境維持発展性と知識管理、核セキュリティと緊急時準備対応、原子力技術の応用の6分野が盛り込まれている。

HAEAと米国エネルギー省（DOE）は、国家核セキュリティ実習（national nuclear security exercise）「Plucky Puli」を2018年11月6～7日に共同開催した。同実習の参加者およびオブザーバーは、ハンガリーの内務省、国防省、ハンガリー科学アカデミーエネルギー研究所、国立環境衛生研究所、HAEAからの代表者であった。実習では、ハンガリーの国家行動計画\*の実現可能性等を試験するために、2つのシナリオをもとに演習が行われたという。シナリオには、実際のハンガリーの現場を設定し、多くの窃盗手法が含まれた。2日目には、行動計画にどのような修正や改善が必要かを判断し、行動計画の範囲拡大の可能性、ならびに他の既存の国家レベルの計画との整合性について議論が行われた。

\* 国家行動計画は、放射性物質の計画的な窃盗が発生した時に備えて必要な措置および通知を規定したものである。2017年10月に同じテーマで開催されたワークショップの後に、参加組織の代表者のワーキンググループによって作成された。

#### <アラブ首長国連邦>

2017年5月25日に、UAEにおける核物質の初期インベントリ（バラカ原子力発電所等が対象）\*について、IAEAの保障措置検査員による検証ミッション完了がし、記録が正確かつ完全であることが確認された。

\* 初期インベントリ：すべての核物質について、UAE国内における所有者と使用者を記録した戦略文書。UAEの国内計量管理制度を元にして連邦原子力規制庁（FANR）が作成し、UAEの政府代表部を通してIAEAに提出されていた。

UAEの連邦原子力規制庁（FANR）は2018年8月5日に、IAEA追加議定書および大量破壊兵器物質識別（Additional Protocol Commodity Identification）に関わる安全保障チームのためのワークショップを3日間にわたって開催したと発表した。このワークショップは、米国のDOE/NNSAより提供されたもので、追加議定書に記載されている核兵器プログラムの開発に使用できる「特に設計（され）もしくは作成された」材料と機器のリストに精通することを目的としている。

## 6 日本のプルトニウム等管理及び返還等に対する懸案

関連する公開情報は無し。