

IPFM

核分裂性物質に関する
国際パネル

プルトニウムの分離を禁止する

高速増殖炉・再処理の夢の実態と核拡散の恐怖

フランク・N・フォンヒッペル 田窪雅文（田窪雅文訳）

「核分裂性物質に関する国際パネル(IPFM)」
<https://fissilematerials.org/>
調査レポートNo.20 (2022年7月発行)
翻訳改訂版

プルトニウムの分離を禁止する 高速増殖炉・再処理の夢の実態と核拡散の恐怖

フランク・N・フォンヒッペル 田窪雅文 (田窪雅文訳)

NPO法人原子力資料情報室発行 2023年7月

表紙: 運転中及び建設中の再処理工場を持つ国々を示した地図

目次

IPFMIについて	1
概観	2
背景	5
民生用プルトニウム分離の起源：増殖炉の夢	5
増殖炉がほとんどないまま続いている民生用プルトニウム分離	8
いかにして米英でプルトニウムの分離が終わったか	12
プルトニウム分離と核兵器拡散	15
なぜ再処理は続くのか	16
兵器プログラムのコネクション	16
受け入れ地域への雇用と補助金の提供	18
再処理廃棄物は、使用済み燃料より危険が小さいという神話	21
再処理における事故の危険性	24
提言	26
あらゆる目的のプルトニウム分離の禁止	26
1997年プルトニウム管理指針の履行の強化	27
軍事的必要にとって余剰と宣言された核物質をIAEAの保障措置下に	28
プルトニウムの安全な処分に関する国際的研究と協力	29
結論	31

図表

表 1 この60年の間に送電線に接続されて運転された増殖実験炉と増殖原型炉	7
表 2 各国の分離済み民生用プルトニウム及び余剰兵器用プルトニウムの宣言量あるいは推定量	9
表 3 民生用再処理施設	9
図 1 IAEAによる1975年時点の世界の原子力発電容量予測と実績	5
図 2 ウラン価格の歴史的推移	6
図 3 増え続ける分離済み民生用プルトニウムの量	8
図 4 フランス・ラアーグ再処理施設	10
図 5 米国の廃止措置後の原発サイトにあるキャスク	13
図 6 ロシアのプルトニウム都市、ジェレズノゴルスクの中央広場	20
図 7 ジェレズノゴルスク使用済み燃料貯蔵・民生用再処理サイト	20
図 8 機能不全となった深地下処分場の上の地上における被曝線量への寄与	23
図 9 1957年マヤク再処理廃液爆発がもたらしたストロンチウム90による汚染	25

IPFMについて

「核分裂性物質に関する国際パネル(IPFM)」は、2006年に設立された独立のグループで、核兵器国及び非核兵器国の両方の軍備管理・核不拡散問題の専門家で構成される。

IPFM の使命は、以下の通りだ。すなわち、高濃縮ウランとプルトニウムの保管体制の強化、保管場所の整理・統合、量の低減などを実現するのに役立つ実地的で達成可能な政策イニシアティブを策定する場合に、その基礎となる技術的問題を分析することにある。これらの核分裂性物質は、核兵器の主要構成材料であり、その適切な管理は、核軍縮の達成と核拡散の防止のために、そしてまた、核兵器がテロリストの手に渡らぬよう保証するために、不可欠な要素である。

核分裂性物質の問題に対処するに当たっては、軍事用と民生用の両方のストックに目を向けなければならない。核兵器国は、未だに、核兵器及び海軍用燃料として、核兵器何万発分もの核分裂性物質を保有している。民生用の側では、同様の数の核兵器を作るのに十分な量のプルトニウムが使用済み燃料から分離されてしまっている。高濃縮ウランは、百カ所以上の場所で民生用原子炉の燃料として使われている。この目的のために使われている量は、合計すると、約1000発もの広島型原爆——テロリスト・グループにとって手の届く技術レベルの設計——を作るのに十分なものである。

IPFM は、2015年からプリンストン大学のアレクサンダー・グラザー教授及びジア・ミアン博士と長崎大学の鈴木達治郎教授が共同議長を務めている。それ以前は、ブラジルのサンパウロ大学のホセ・ゴルデンバーグ教授(2006～2007)、インド、ニューデリーのジャワハルラル・ネルー大学のR・ラジャラマン博士・名誉教授(2007年～2014年)、そして、プリンストン大学のフランク・フォンヒッペル教授(2006年～2014年)が共同議長を務めた。

IPFMのメンバーには、17カ国の核問題専門家が含まれる(ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、インド、イラン、日本、オランダ、ノルウェー、パキスタン、韓国、ロシア、南アフリカ、スウェーデン、英国、米国)。7カ国は、核兵器保有国、10カ国は非核兵器国である。

IPFM の研究・報告書は、国際機関、各国政府、非政府団体等と共有される。IPFMの会合やワークショップは、しばしば、IPFMのパネルや専門家が発表を行う国際会議と合わせて開催される。

プリンストン大学の「科学・世界安全保障プログラム」が IPFM の事務・研究サポートを提供している。

IPFM は、ジョン・D・アンド・キャサリン・T・マッカーサー財団(シカゴ)及びカーネギー・コーポレーション(ニューヨーク)からプリンストン大学に提供された助成金によって支えられてきた。

概観

人工の元素プルトニウムがキログラム単位で最初に原子炉で製造され、使用済み燃料から化学的に分離されたのは、80年近く前のことだ。米国の核兵器プログラムの中でのことだった。最初の核爆発は、1945年7月。6キログラムのプルトニウムを使った設計の実験だった。これと同じ設計の核爆弾が翌月、長崎市を破壊するのに使われた。それ以来、プルトニウムは、ほとんどすべての核兵器で重要な役割を果たしてきた。いくつかの国々では、発電用原子炉の燃料で使われている。今日、世界全体の分離済みプルトニウムの量は、約55万キログラム(約550トン¹)に達する。さらに、何千トンものプルトニウムが保管中の使用済み燃料の中に入っている。

冷戦終焉時の1990年、世界の分離済み(未照射)プルトニウムの量は300トン強だった。その3分の2以上は兵器用プルトニウムだった。この95%以上はソ連と米国で製造されたものだった。この時点までに、米国、ロシア(ソ連の核兵器と核分裂性物質を継承)、英国、フランス、中国は、核兵器用プルトニウムの製造を中止していた。しかし、イスラエル、インド、パキスタン、北朝鮮は、製造を続けた。もっとも、最後の4カ国がこれまで製造した量は、冷戦の遺産の量の約1%に過ぎない。

1993年、国連総会は、「核分裂性物質生産禁止条約(FMCT:Fissile Material Cutoff Treaty)」の交渉を義務付けた。核兵器用のプルトニウムその他の核分裂性物質の製造を禁止する条約だ。しかし、本格的な交渉はまだ始まっていない。

一方、世界の民生用の——だが核兵器に利用可能な——分離済みプルトニウムの量は、大幅に増えた。冷戦終焉時約100トンだったものが2021年末には310トン以上に達している。さらに、米国とソ連/ロシアの核兵器用プルトニウムの合計100トン近くが「余剰」と宣言されている。このため、民生用プルトニウムと、核兵器以外の用途に使える核兵器用「余剰」プルトニウムを合わせた総量は、約410トンになる。この増大を続ける「民生用に使用可能な」プルトニウムの量は、2021年末現在、核兵器の中あるいは核兵器プログラム用に留まっているプルトニウム(推定約140トン)よりずっと多くなっている。

米「科学アカデミー(NAS)」の1994年の研究報告は、すべての分離済みプルトニウムは、民生用と軍事用とを問わず、「米国の、そして、国際的な安全保障に対する『今そこにある危機』を意味する」との結論を下した¹。8kgのプルトニウムがあれば単純な設計の核兵器1発の製造に十分とする国際原子力機関(IAEA)の保障措置上の想定に従うと、上述の「民生用+軍事用余剰」のプルトニウムの合計量410トンは、長崎型核爆弾5万発の製造に十分な量だ。

民生用プルトニウムの分離は、1960年代から70年代にかけて、発電用原子炉の使用済み燃料を化学的に「再処理」することによって始まった。その目的は、将来の液体ナトリウム冷却プルトニウム「増殖炉」の初期装荷用燃料を入手することにあった——増殖炉の大規模な商業利用が1990年代に始まると予測されていた。増殖炉は、プルトニウムを燃料として使用しながら、連鎖反応を起こさないウラン238を「核変換」させて連鎖反応を起こすプルトニウムに変える。消費したプルトニウム以上の量のプルトニウムを生み出すのだ。したがって、最終的には、ウラン238が増殖炉の燃料となるということだ。天然ウランには、連鎖反応を起こすウラン235の140倍の量のウラン238が含まれている。現在の発電用原子炉のエネルギーのほとんどを生み出しているのはウラン235の核分裂だ。

理論的には、増殖炉は、普通の岩石に含まれる微量のウランを燃料とすることもできる。平均的な地殻岩石にはトン当たり3グラムのウラン238が含まれている。この3グラムは、プルトニウムに転換された後に核分裂すると、10トンの石炭の燃焼と同量のエネルギーを生み出す。このため、原子力のパイオニア達は、実質的に、「岩を燃やす」ことができると主張した。彼らは、現在のエネルギー

¹ この報告書においては、「トン」は[ポンド・ヤード法のロング・トンやショート・トンではなく]メートル・トンを指す。

消費のレベルで人類の文明を何百万年も維持できるエネルギー源を開発できたと考えた²。

1970年代を通して期待されていたのは、電化のますます進む世界において原子力が支配的なエネルギー源になり、2010年以降は原子力において増殖炉が支配的になるという展開だった。だが、この期待は間違っていたことが明らかになる。世界の原子力発電容量は、2000年以降、横ばいとなり、退役する容量が新しい容量をほぼ帳消しにした。そして、増殖炉はいまだ商業化されていない。資本コストと燃料サイクル・コストが高く、信頼性が低いためだ。

今日、原子力は伸びを続ける世界の発電量の約10%を提供しているが、これは、1996年の約18%というピークより低くなっている。一方、太陽光パネルや風力タービンを使った低コストの発電は、原子炉による発電とほぼ同レベルに達しており、化石燃料後の世界の発電においては支配的になると見られている³。現在の原子炉の総発電コストの数%にしか達しないウランは、低コストで入手可能な状態が続くと予測されている。原子力を現在のレベルで少なくとも100年間は維持することができるだろう。

2021年に運転中の増殖原型炉は世界全体で2基しかない。どちらもロシアにある。古い方は、40年ほど運転されていて、プルトニウムではなく濃縮ウランを燃料にしている。世界でこの他、3基が建設中だった。2基が中国、1基がインドだ。だが、どちらも二重目的炉のようだ。電力に加えて、核兵器用プルトニウムを製造する目的を持つということだ。

名目上は「民生用」のプルトニウム・プログラムが核兵器の獲得に使われる可能性について世界が初めて気づいたのは、1974年のことだった。インドが米国の「アトムズ・フォー・ピース(平和のための原子)」プログラムの援助を得て分離したプルトニウムの一部を使って核実験を行い、核兵器プログラムを開始したのだ。そして、ブラジル、パキスタン、韓国、台湾が——当時すべて軍事政権下にあった——同じ道を歩もうとしていることが判明した。

米国「原子力委員会(AEC)」が世界で促進してきた民生用プルトニウム・プログラムが核兵器の拡散を招いているという認識は、1976年の大統領選挙の争点となった。そして、1983年、数年間の激しい国民的論議と、米国の計画中の増殖「実証」炉の費用予測の急騰(当初予測の5倍)の末、米国議会は、米国の増殖炉商業化プログラムに終止符を打った。これによりプルトニウムの市場がなくなった結果、米国の原子力発電電力会社は使用済み燃料の再処理を放棄し、深地下処分場における直接処分のための法案を支持した。処分場はエネルギー省が建設するという計画だ。同省は、議会在1974年にAECを解体した後、その原子力関連の責任のすべてを——規制部門を除き——継承していた。

カーター政権(1977-80年)は、継続中の民生用プルトニウム・プログラムを持つ国々に対し、それを中止するよう説得することには成功しなかった。ドイツは、最終的には中止するに至った。そして、英国の再処理事業は2022年7月に終了となった。だが、中国、フランス、インド、日本、そしてロシアは、民生用使用済み燃料再処理プログラムを続けている。

フランスと日本は、増殖炉「実証プログラム」を「中断」しているが、紙の上での研究を続けている。フランスは、分離済みプルトニウムを劣化ウランと混ぜて薄め、「混合酸化物(MOX)」燃料にして、従来型の発電用原子炉用低濃縮ウラン燃料の10%に代えて使っている——プルトニウムを分離し、MOX燃料を製造するコストは、それで代替する低濃縮ウラン燃料と比べ、一桁多くなるにも拘わらず。日本は、数千トンの使用済み燃料の再処理を英仏両国に委託した。日本はまた、2023年現在、国内で大型の再処理工場の運転をまもなく開始しようとしている。この工場は、約30年に亘って建設中となっているものだ。日本は、フランスの例に倣って、プルトニウムをMOX燃料にして従来型の発電用原子炉で「リサイクル」しようとしている。

フランスと日本の原子力「研究・開発(R&D)」エスタブリッシュメントは、その非経済的なプルトニウム・リサイクル・プログラムを正当化するために次のように論じる。使用済み燃料からプルトニウムを分離すると、深地下で処分される放射性廃棄物が環境にもたらす危険の寿命を短縮できる。だが、

米国とスウェーデンでの公式の研究では、酸化プルトニウムは、地下深くの使用済み燃料処分場からの放射線リスクにおいて支配的ではないと結論づけられている。なぜなら、酸化プルトニウムは、比較的、水に溶けにくく、食物連鎖で濃縮されず、ヒトの胃腸による吸収もわずだからだ。

高いコストに加え、使用済み燃料の再処理は事故のリスクを伴う。ロシアの亡命者によって明らかにされるまで、20年間に亘って秘密にされていたが、1986年のチェルノブイリ事故以前の世界最悪の核事故は、1957年にソ連で起きたものだ。ソ連の最初の軍事用再処理工場の高濃度放射性廃液のタンクが干上がって爆発した。汚染された風下1000平方キロメートルの地域の住民の避難が必要となった——2011年に起きた日本の福島事故の後に住民が避難を強いられたのとほぼ同じ広さだ。

英国は、現在、世界最大の量の分離済み民生用プルトニウム——約140トン——をどう処分するかという問題に直面している。この中には、日本のために分離され、英国に置き去りにになっている約22トンが含まれる。フランスや日本の政府と異なり、英国は、分離済みプルトニウムをMOX燃料として使用することを電力会社に強制していない。このため、英国では、プルトニウムを安定した形の廃棄物にして深地下処分するという代替案が検討されている。

英国のプルトニウム製造・分離サイトの除染コストは、1000億ドル[1ドル=140円換算で14兆円]相当以上に達すると推定されている。使用済み燃料の空気冷却式容器での貯蔵——将来深地下処分場が使えるようになるまでの間——のコストとリスクは、これと比べると小さい。

日本は、現在再処理をしている唯一の非核保有国だが、他の非核兵器国が日本の例に倣うことになるのではと懸念されている。近年では、韓国が米国に対し、その原子力協力協定を書き換えて、日本と同じ再処理の権利を韓国にも与えるよう迫っている。米国は2011年に10カ年共同「フィージビリティ・スタディー(実現可能性研究)」に同意することでこの要求を暫定的にかわしたが、近いうちにまた議論が始まるかもしれない。

プルトニウム239——ウラン238が中性子を捕獲することで作られる主要な放射性同位元素——の半減期は2万4000年、製造した国々より長く生き続ける。この事態はすでに起きている。1991年、ソ連が崩壊した時のことだ。ロシアが継承した大量の核兵器利用可能物質の保安状態を確保するため世界的な支援が試みられた。

本報告書は、使用済み燃料再処理の終焉を加速するとともに、近い将来に使用する計画のない既存の分離済みプルトニウムを処分するために、以下の二つの方策を提案する。

1. 提案されている「核分裂性物質禁止条約(FMCT)」の対象を広げ、如何なる目的のものであれ(軍事用及び民生用)プルトニウムの分離を禁止するものとし、未照射の民生用プルトニウムと非軍事化された兵器用プルトニウムの両方をIAEAの保障措置下に置くこと。
2. 再処理及び再処理廃棄物の深地下処分と比較して見た場合に、使用済み燃料の深地下直接処分が環境に与える危険についてコンセンサスを得るための国際的研究プログラム、それに、余剰プルトニウムの処分に関する国際協力を立ち上げること。

背景

民生用プルトニウム分離の起源：増殖炉の夢

従来型発電用原子炉の使用済み燃料を化学的に「再処理」することによって、増殖炉研究・開発用のプルトニウムを分離するプログラムは、1960年代から70年代にかけて始まった。当時、世界の原子力発電容量は将来に亘って指数関数的に増え続け(図1)、世界のウラン資源——従来型の発電用原子炉の経済的運転を可能にする価格で得られるもの——は急速に枯渇していくと考えられていた⁴。

実際はというと、図1が示しているように、1986年のチェルノブイリ事故の後、世界の原子力発電容量は横ばい状態に達し、また、図2が示すように、実質ドルでのウラン価格は、その長期的平均の約\$100/kgU(2018年ドル)の2倍から2分の1に上下に変動しているが、上昇傾向にあるわけではない。「経済協力開発機構(OECD)」「原子力エネルギー機関(NEA)」と「国際原子力機関(IAEA)」が2年ごとに出している共同報告書 *Uranium Resources, Production and Demand* [ウラン資源量・生産量・需要:通称レッドブック(表紙の色から)]の2020年版は次のように結論付けている。

発電および他の用途(熱・水素生産など)を低炭素で行うのに必要な原子力の継続的利用と、原子力発電容量の相当の伸びとを長期的に支えるのに十分なウラン資源が存在している。(260ドル/kgUでの)既知可採資源量(確認資源量と推定資源量を含む)は、2019年1月1日現在のウラン必要量から言って、向こう135年に亘って十分なものだ⁵。

しかし、1960年代から70年代にかけて——原子力の伸び率の予測の高さと、受容可能なコストでのウラン資源量の予測の低さが相俟って——当時の先進工業国は、通常の原子炉よりウランをずっと効率的に使うというプルトニウム「増殖炉」の開発に鳴り物入りで取り組み始めた。「増殖炉を最初に開発できた国は、原子力エネルギーにおいて大きな競争優位性を持つことになるだろう」というエンリコ・フェルミの1945年の誤った予言が、何十年にも亘って原子力の世界の考え方に影響を与え続けた⁸。

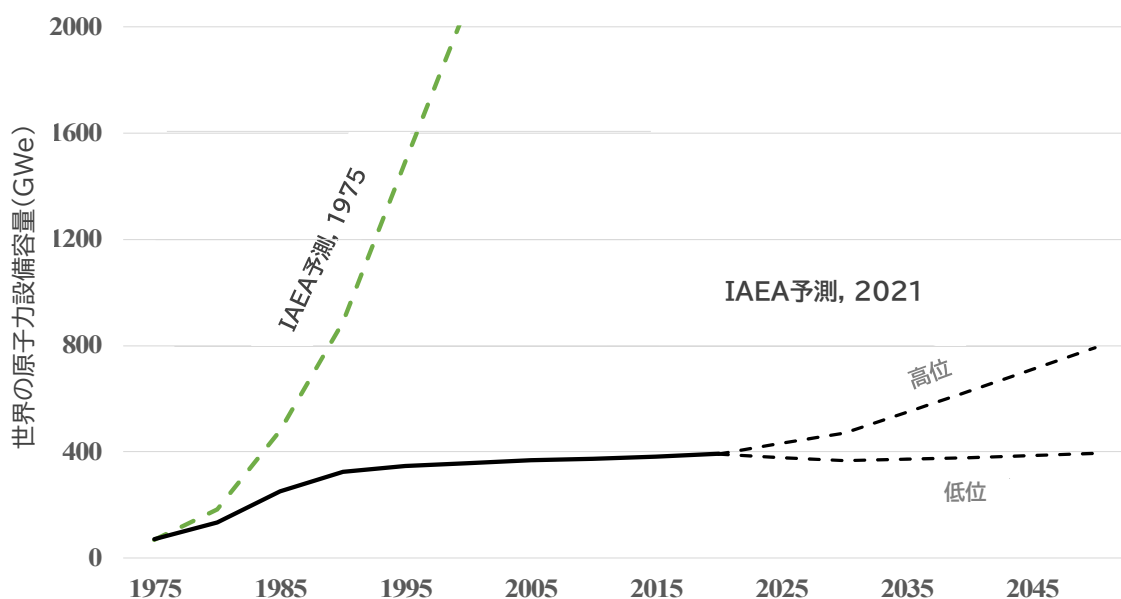


図1 世界の原子力発電容量に関する「国際原子力機関(IAEA)」の1975年の予測と、実際に起きたこと。出典:IAEAデータ⁶

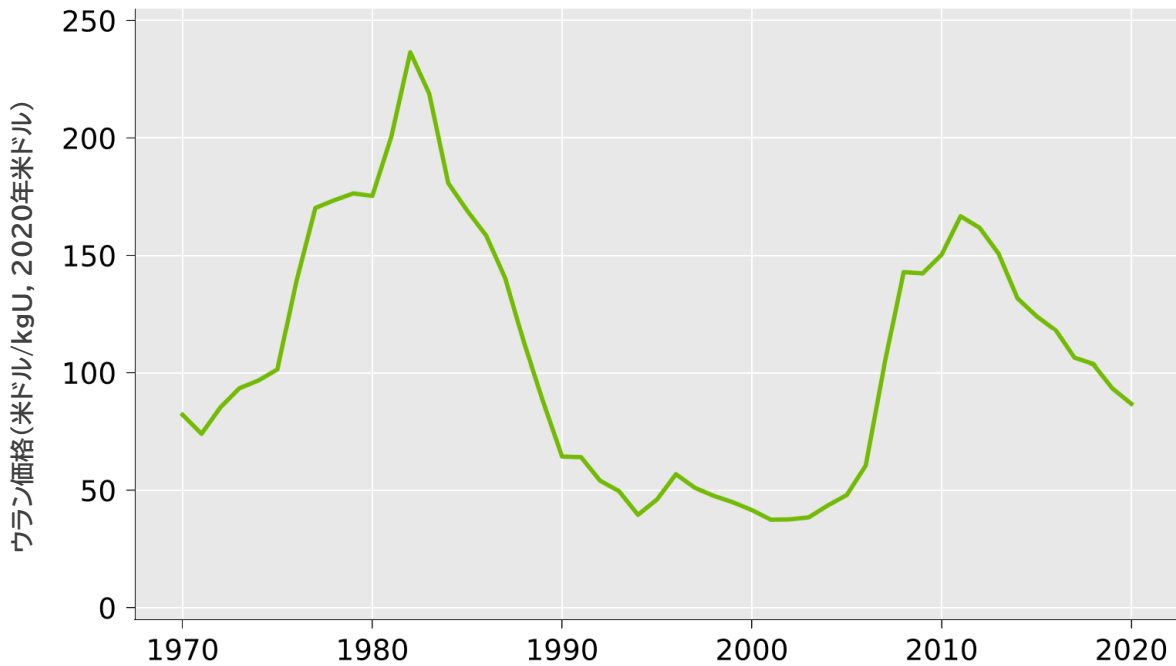


図 2 実質ドルで示したウラン価格の歴史的推移。出典:米国商務省及び米国エネルギー情報局のデータ⁷

従来型の「軽水」冷却発電用原子炉(LWR)は、主として、低濃縮ウランの中の連鎖反応を起こすウラン235をエネルギー源としている。天然ウランにおけるウラン235の割合が0.7%であるのに対し、低濃縮ウランの中のその割合は3~5%に高められている。軽水炉では、燃料の中の残りの95%強を占める連鎖反応を起こさないウラン238の方はごくわずかしか核分裂を起こさない。このため、プルトニウム「増殖」炉の開発が開始された。天然ウランの中の99.3%を占める連鎖反応を起こさないウラン238を、連鎖反応を起こすプルトニウムに変えられることを期待してのことだった。増殖炉の最初の燃料となるプルトニウムは、主として軽水炉の使用済み燃料から抽出したものだ。その後は、増殖炉の炉心の中、それに、炉心から漏れ出してくる中性子を捕獲するために炉心の周りに設置されたウラン「ブランケット」の中で製造されるプルトニウムによって、維持されることになる。

消費した以上のプルトニウムを生み出すには、プルトニウム増殖炉における連鎖反応は、「高速」中性子によってもたらされなければならない。核分裂で生み出された際のエネルギーをほとんど失っていない中性子だ。高速中性子は、プルトニウムの核分裂一回当たり発生する中性子の平均数を大きくする。この余分な中性子が原子炉を実質的なプルトニウム生産炉にするのだ。

中性子は、水を構成する水素原子の中に一個だけ存在する陽子と衝突すると、そのエネルギーの相当部分を奪い取られてしまう。このため、高速中性子のエネルギーを維持するにはもっと重い原子核を持った冷却材が必要となる⁹。様々な選択肢が検討されたが、これまで運転された原型炉はすべて液体ナトリウムを使っている。その融点は約100 °Cだ¹⁰。

フランス、ドイツ、日本、ロシア、英国はすべて、液体ナトリウム冷却増殖原型炉を建設した。中国、インド、ロシア(溶融鉛冷却炉)が現在、建設中だ(表1)。

しかし、ナトリウムは空気中や水中で燃える。したがって、増殖炉では、燃料交換中に空気を遮断するために、複雑で多大な時間を要する手はずが必要となる。また、修理のために炉を開ける前にナトリウムを完全に除去しなければならない。

ナトリウムを冷却材として使うことの利点もある。ナトリウムは沸点が高いため(882 °C)、タービ

ン発電機の駆動用の高圧蒸気を発生させるのに必要な温度(300 °C)を達成するのに加圧する必要がない。だから、原子炉を取り囲む分厚い圧力容器は不要だ。また、液体ナトリウムの熱伝導特性は水よりも優れており、このため、ナトリウム冷却炉は、よりコンパクトにできる。

このような液体金属冷却炉の利点は、米ソの潜水艦設計者らにとって魅力的だった。米国では、1955年にリッコーバー提督——米国の原子力潜水艦プログラムの「父」——が、彼の2隻目の原子力水艦にナトリウム冷却炉を取り付けた。

しかし、翌年、リッコーバーは、その原子炉を水冷却炉に取り換えさせた¹¹。彼の宣告——ナトリウム冷却炉は「建設費が高く、運転が複雑で、わずかな故障によっても長期の運転停止になりやすく、そして、修理は困難で時間がかかる」¹²——は、先見の明のあるものであったことが後に判明する。これまで建設され、送電線に電力を送るために使われた増殖実験炉及び原型炉10基の平均累積「設備利用率」は約20%だ。この設備利用率(capacity factor)——IAEAはこれをload factorと呼ぶ——は、当該原子炉がその生涯に亘って生み出した電力量を、その原子炉が全期間に亘ってフル出力で運転された場合の理論的電力量で除した値だ。軽水炉の平均設備利用率は、約80%だ¹³。

今日まで、増殖炉の資本コストは、軽水炉のものより高いレベルにある。発電容量1キロワット当たりの資本コストが同じとしても、設備利用率20%のナトリウム冷却炉の1キロワット時当たりの平均資本コストは、設備利用率80%の軽水炉の場合と比べ4倍となる。新設の原子力発電所の発電コストの最大部分が資本コストであることを考えると、ほとんどの国における増殖炉が経済的に失敗に終わっているのは容易に理解できる¹⁴。

増殖炉の商業化に成功した国はないが、ロシア、インド、中国は、研究・開発・実証(RD&D)のための試みを続けている。

送電線接続の増殖炉(国名)	出力 (MWe)	送電	生涯設備利用率 (パーセント)
ドーンレイ高速炉(DFR) (英国)	11	1962-77	35
フェルミ (米国)	61	1966-72	0.9
フェニックス(フランス)	130	1973-2010	40
高速原型炉(PFR) (英国)	234	1976-94	18
KNK-II (ドイツ)	17	1978-91	17
BN-600(ロシア)	560	1980-	76 (~2020年)
クリンチリバー増殖炉 (米国)	350	キャンセル 1983年	完成せず
スーパーフェニックス (フランス)	1200	1986-1998	3
SNR-300 (ドイツ)	300	キャンセル 1991年	完成するも運転されず
もんじゅ (日本)	246	1995-2017	0
BN-800 (ロシア)	789	2015-	71 (~2020)
中国高速実験炉(CEFR)(中国)	20	2011-	0.002 (~2016)
高速増殖原型炉(PFBR)(インド)	470	建設開始 2004年	—
中国高速炉(CFR) I (中国)	642	建設開始 2017年	—
中国高速炉(CFR) II (中国)	642	建設開始 2020年	—
BREST-300 (ロシア:溶融鉛冷却)	300	建設開始2021	—

表 1 この60年の間に送電線に接続されて運転された増殖実験炉と増殖原型炉の数は合計すると10基だ。現在も運転されているのは3基(中国の実験炉1基を含む)。2基は、完成あるいは運転前にキャンセルとなった。4基は建設中(うち、3基の目的は疑わしい)。

出典: IAEA, Power Reactor Information System, 2021.

ロシアは、2022年に世界で2基だけ運転中となっているナトリウム冷却増殖原型炉を保有していた。BN-600 と BN-800だ。それぞれ、1980年と2015年に送電線に接続された。(ロシアの発電用原子炉の名前の最後についている数字は、その炉の発電容量の概数をメガワット[1000kW]で示している。[それぞれ、60万kWと80万kW])

BN-600の最初の14年間に起きた14回のナトリウム火災の後¹⁵、BN-600とBN-800はともに、2020年のロシアの軽水炉とほぼ同等の設備利用率で、比較的良好に運転されている。しかし、両炉の次に続くBN-1200の建設は、少なくとも2030年代まで延期されている。資本コストの高さのために、軽水炉と競争力を持ち得ないと見られているためだ¹⁶。

増殖炉がほとんどないまま続いている民生用プルトニウム分離

図3は、過去四半世紀の世界の未照射のプルトニウムの総量と、報告されている民生用プルトニウムの増大の歴史を示している。

5カ国(中国、フランス、インド、日本、ロシア)が、未だに、使用済み燃料の再処理計画を維持している(表3)。中国、インド、ロシアは、未だに、増殖炉研究・開発・実証プログラムを継続している。中国とインドが蓄積してきたこれまでのところ比較的少量の分離済み非兵器級プルトニウムは、両国の増殖炉実証プログラムにおける必要性の面から正当化し得る。

しかし、ロシアは、予見できる将来に利用し得るよりもずっと大量の分離済みプルトニウムを蓄積してきている。ソ連/ロシアが1977年に民生用再処理を開始して以来²⁰、ロシアは、40年間に亘って、将来の増殖炉の燃料とするためとして、原子炉級のプルトニウムを分離してきたが、そのプルトニウムをほとんど使っていない。ロシアの増殖原型炉は、プルトニウムではなく、濃縮ウランを燃料としてきたからだ。その結果、2021年末現在、ロシアは、分離済み民生用プルトニウムを約60トンも蓄積している。長崎型原爆1個に8キログラムというIAEAの計算方法を使うと7500発分(「有意量(SQ)」)に相当する。さらに、ロシアは、兵器級の分離済みプルトニウム約40トンを軍用としては「余剰」と宣言している。合計すると約100トンだ。

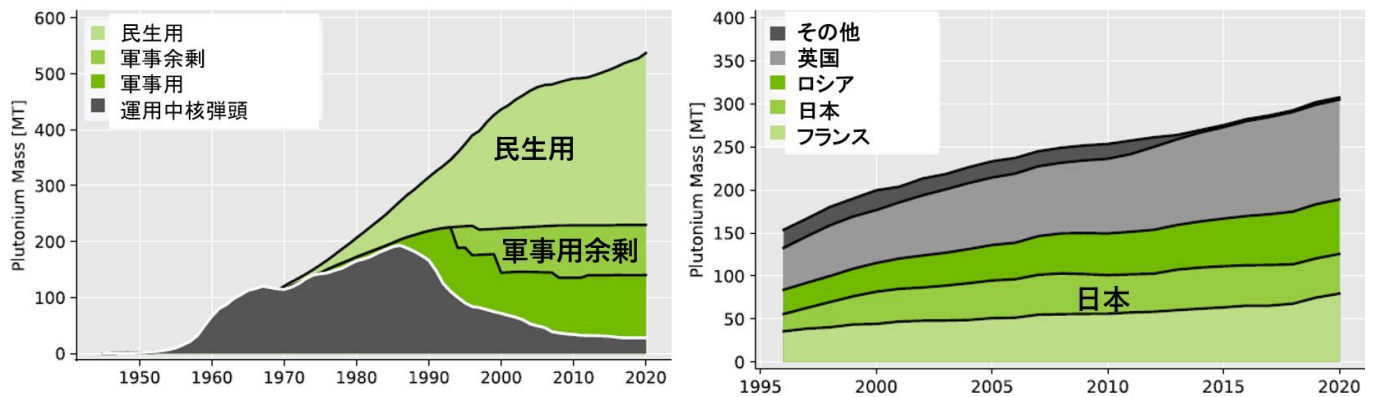


図3 増え続ける分離済み民生用プルトニウムの量:(左)世界の分離済みプルトニウムの量。軍用プルトニウムの生産のペースは、冷戦終焉とともに劇的に鈍化した。そして、米口の核弾頭保有量も激減し、プルトニウム処分問題を生み出した¹⁷。しかし、増殖炉の商業化の失敗にも拘わらず、民生用プルトニウム分離のペースは上がったのだ！(右) 民生用プルトニウムの量において、現在、支配的なのは4カ国。フランス、日本、ロシア、英国だ¹⁸。「その他」は、英仏と再処理契約を有していたが、これを更新しなかったヨーロッパの国々を意味する。ここでは、比較的少量を保有する中国とインドは示されていない。両国についての推定は、表2に示されている。出典:IPFM.

国名	分離済み民生用プルトニウム及び余剰と宣言された兵器用プルトニウム（単位:トン）
中国	0.04（2016年末）
フランス	84.9
インド	4-13（推定）
日本	45.8
ロシア	104
英国	116.5
米国	49.4
合計	約410

表 2 各国の分離済み民生用プルトニウム及び余剰兵器用プルトニウムの宣言量あるいは推定量（特段の記載がない限り、主として2021年末）。宣言量は、INFCIRC/549の下での各国によるIAEAへの次の報告から: Communication[s] Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium

国名	施設名/地名	運転	設計処理容量 （使用済み燃料中の重金属トン/年）
ベルギー	ユーロケミック	1966-74	60
中国	酒泉パイロット・プラント(甘肅省)	2010-	50
	金塔(甘肅省)I	2025-?	200
	金塔(甘肅省) II	2030-?	200
フランス	マルクール	1958-97	960
	UP2 ラアグ再処理施設	1966-	1000
	UP3 ラアグ再処理施設	1994-	1000
ドイツ	WAK[再処理施設]カールスルーエ	1971-1990	35
インド	PREFRE [発電用原子炉燃料再処理]I タラプール	1977-	100
	PREFRE [発電用原子炉燃料再処理] II タラプール	2011-	100
	カルパッカム	1998-	100
イタリア	ITREC[燃料処理・再製プラント] トリサイア	1966-74	5
	ユーレックス	1970-83	35
日本	東海	1977-2006	90 ¹
	六ヶ所	2006-	800
ロシア	RT-1 オジョルスク	1977-	400
	EDC [実験実証センター] ジェレズノゴルスク	2018-	250
英国	B-205	1964-2022	1500
	THORP [ソープ:酸化物燃料再処理工場]	1994-2018	1200
米国	ウエストバレー(ニューヨーク州)	1966-72	300
	バーンウェル(南カロライナ州)	完成せず (1983年キャンセル)	1500

表 3 民生用再処理施設 ここに挙げている21施設のうち、運転中は9施設。9施設が閉鎖され、廃止措置中。2施設が建設中、1施設が完成されなかったものだ。関連している10カ国のうち5カ国（中国、フランス、インド、日本、ロシア）が今も再処理政策を継続している¹⁹。



図 4 英仏海峡に面したラアーグにあるフランスの再処理施設 外国の原発保有電力会社のほとんどが再処理契約の更新を拒否して以来、ラアーグの約5000人の労働者らは、ほぼ、フランスの原発保有電力会社「フランス電力(EDF)」のみによって支えられている。(出典: Wikipedia)²⁸。

フランス(図4)と日本は、その増殖原型炉を閉鎖し、高速炉計画は紙の上だけになっているにも拘わらず、軽水炉から出てくる使用済み燃料からプルトニウムを分離するプログラムを継続している。プルトニウム燃料を必要とする増殖炉がない中、フランスは、自国と顧客国の軽水炉の一部において、プルトニウム・ウラン「混合酸化物(MOX)」燃料の形でプルトニウムをリサイクルする方法を他に先駆けて開発した。日本は、フランスで日本の使用済み燃料から分離され、MOX燃料に製造されたプルトニウムをリサイクルしているが、そのペースは遅々としたものだ。日本はまた、国内で建設中の使用済み燃料再処理施設とMOX燃料製造施設が運転開始となった際には、国内で分離されたプルトニウムをリサイクルすることを計画している。

フランスと日本のプルトニウム・リサイクル・プログラムは、うまく行っただとしても自国の「低濃縮ウラン(LEU)」燃料の使用量を10%しか減らすことができず、しかも、そのコストがLEU燃料の「回避コスト」より一桁大きいにも拘わらず、継続されている²¹。

しかし、フランスと日本は、両国が分離しているペースではプルトニウムを使っていない。その結果、2021年末現在、フランスの未照射分離済みプルトニウムの量は84.9トンに、日本の方は45.8トンに達していた。

2018年7月、米国の圧力の下で、日本の原子力委員会は、「我が国は…プルトニウム保有量を減少させる」と宣言した²²。この時点で、日本のプルトニウム保有量は、46.6トンだった²³。2020年末には46.1トンだった²⁴。日本の六ヶ所再処理工場が運転し始めると、日本は、国内における分離済みプルトニウム量の増加を相殺するために、英国にある日本の分離済みプルトニウムの所有を英国に移さなければならなくなるかもしれない。その場合は、英国に支払いをすることになる。しかし、

日本政府にとって、この方針を国民に説明するのは難しいだろう。日本の原発保有電力会社に対して、英国にあるその分離済みプルトニウムを英国で処分するための費用を支払うように強制する一方で、日本におけるさらなるプルトニウムの分離の費用の支払いを強制することになるからだ。

日本の2016年～21年の平均プルトニウム使用量は、0.5トン／年以下だった²⁵。それにも拘わらず、日本は、2023年6月現在、4半世紀以上計画遅れとなっている国内再処理工場（建設費総額3.21兆円ⁱⁱ）を「2024年度上期のできるだけ早期」に完成させ²⁶、その後5年かけて年間800トンの使用済み燃料再処理という設計能力を達成することを計画している。計画通りなら、年間約7トンのプルトニウムを回収するようになる²⁷。

英国は、2022年5月、その最後の運転中の再処理工場の運転を同年7月に停止すると発表し、これを実行した²⁹。しかし、英国は2021年末現在、約140トンのプルトニウムを蓄積していた。これには約24トンの外国籍のプルトニウム（日本の約22トンを含む）が含まれていた。英国のMOX燃料工場の失敗の結果英国に置き去りにされているものだ³⁰。

世界全体で半世紀に亘って合計1000億ドル以上の資金が投入されてきたにも拘わらず³¹、如何なるプルトニウム増殖炉もMOX燃料使用の軽水炉（LWR）も、ワンス・スルー方式の軽水炉——低濃縮ウランを燃料に使い、その使用済み燃料の中のプルトニウムは分離しないままにして、深地下処分場での処分を待つという方式——と競争できるコストで発電をできるに至っていない。

このように、民生用プルトニウム分離プログラムは、「ゾンビ」³²なのだ。経済的には死んでいながら、「リビングデッド」として続いている。なぜ続くのか？

この制度的惰性の部分的な理由について以下で議論する。原子力の将来が暗くなってきているという文脈においては、状況は余計に際立っている。三つの大きな事故——1979年の米国におけるスリーマイル・アイランド、1986年のソ連におけるチェルノブイリ、そして2011年の福島——の後に強化された規制、さらには、建設中の原子力発電所が少なくなったことから来る専門的建設労働者の喪失などのため、新しい原子力発電所からの電力のコストは上がった。その一方で、風力タービン、太陽光発電パネル、天然ガスの燃焼などを利用した発電のコストは、すべて急激に低下した。世界の原子力発電の上昇は止まり、他の電力源からの発電が伸びたため、世界の発電量における原子力のシェアは、1996年のピークの17.5%から2019年の約10%へと下がっている³³。

2020年、IAEAは——従来は原子力の将来について楽観的だったのだが——次のように予測した。原子力は、2050年には、世界の発電量の8.5% ±2.7%を供給する。2020年から2050年の間に運転開始する発電容量は、平均して、8～18GWe（=800万～1千800万kWe）/年だ³⁴。この予測は、以前の予測（例えば図1）よりずっと低いが、それでも高すぎるかもしれない。新しい原子力発電容量の追加は、1990年以来、平均してわずか4.5 GWe/年程度だからだ³⁵。また、IAEAの予測は、2015～19年に42年だった原子力発電所の寿命が³⁶、2050年には約60年へと伸びることを前提としている。

余剰となった冷戦時代の兵器用プルトニウム

冷戦の終焉に伴い、ロシアと米国の運用核弾頭の合計保有数は、1980年代半ばの約7万発から2020年の約8000発に減少した³⁷。両国は、2000年に、それぞれ34トンの兵器級プルトニウムを、軍事用の必要性にとって余剰と宣言することに同意した³⁸。2010年、ロシアは、この34トン

ⁱⁱ 出典「使用済み燃料再処理機構（NuRO）」の再処理等事業費の内訳について。

https://www.nuro.or.jp/pdf/20230626_3.pdf. 設備投資の項目は以下の通り。1) 初期施設（再処理建屋等の既存施設分）2.15兆円。2) 新規規制基準1.06兆円。3) その他の設備投資（設備更新）1.60兆円。1)と2)を合わせると3.21兆円。3)も入れると、4.81兆円となる。

を、最新の増殖原型炉BN-800用のMOX燃料の製造に使うと決めた³⁹。ロシアの場合、この34トン、そして、1994年の米ロプルトニウム製造停止協定で核兵器用に使わないと約束した兵器級プルトニウム6トン⁴⁰、さらに民生用プルトニウムを合わせると、増殖炉の運転開始に使えるプルトニウムは約100トンとなる。これは、出力1GWe（100万キロワット）の増殖炉を6基運転開始し、最初の5年間、燃料の入れ替えをするのに十分な量だ⁴¹。その後は、使用済み燃料及びウラン・プルトニウムから回収されたプルトニウムのリサイクルが取って代わることになる。しかし、ロシアは、現在のところ、プルトニウムを燃料とする増殖炉を一基しか運転していない。それにも拘わらず、ロシアは、軽水炉の使用済み燃料からのプルトニウムの分離を続けており、その分離ペースを上げることがを計画している。

米国は、ロシアとともに、34トンの余剰兵器級プルトニウムを処分するとの約束をしたのに加えて、さらに16トン、合計して約50トンの分離済みプルトニウムを処分すると発表している⁴²。

増殖原型炉の燃料に濃縮ウラン使用

皮肉なことに、ソ連は、何十年も前に、「増殖炉」の初期装荷燃料を提供する最も簡単な方法は濃縮ウランを使うことだと示して見せた。ソ連の最初の2基の増殖原型炉——BN-350（1973-1999）及びBN-600（1980-）——は、ウラン燃料のみを使用してきた。アニューラー（環状）炉心域のウラン235濃縮度は17、21、26%だった（炉心の中心部から外側に向けての順で記載⁴³）。3番目で最新の原型炉——BN-800（2015-）——は、最初は、ほとんどが濃縮ウランの炉心だったが、ロシアのMOX燃料製造容量が拡大する中、プルトニウム燃料に移行し、2022年9月に、全炉心にMOX燃料を装荷して運転するに至った⁴⁴。ロシアは、また、中国初の増殖原型炉の最初の7年間の運転のために濃縮ウラン燃料を供給する契約を結んでいる⁴⁵。

増殖炉研究・開発に取り組む各国が、その原型炉の燃料に濃縮ウランを使っていれば、再処理に伴う巨額の出費をしないで済み、また、分離済み民生用プルトニウムの過剰ストックの問題も回避できていただろう。

いかにして米英でプルトニウムの分離が終わったか

中国、フランス、インド、日本、ロシアでプルトニウムの分離が続いていることを考えると、米国と英国でそれがどのように中止されるに至ったかを理解するのは意義のあることだろう。以下に見るように、両国は、市場の審判を受け入れるようにしたのだ——英国は、それに数十年かかってしまったが。

米国

米国における再処理の終焉の引き金となったのは、世界的核不拡散体制における初期の危機だった。米国も主要提唱国となった「核不拡散条約(NPT)」が発効したのは1970年のことだ。しかし、4年後、インドが核実験を行った。実験で使われたプルトニウムは、インドのプルトニウム増殖プログラムのために、米国の援助の下で分離されたものだった。このため、米国の指導者らは、米国「原子力委員会(AEC)」による世界的なプルトニウム増殖炉の推進が新しい核不拡散体制の土台を壊しているという事実と向き合わざるを得なくなった。

フォード政権(1973-77)は、フランスとドイツがブラジル、パキスタン、韓国、台湾に再処理技術を輸出するのを阻止することに成功した。次のカーター政権(1977-81)は、AECが提案しているプログラム——増殖炉を商業化するとともに、軽水炉でプルトニウムをリサイクルするというもの——の経済性について、再検討を実施した。結論は、増殖炉も、プルトニウムを燃料に使う軽水炉も、低濃縮ウランを「ワンス・スルー」の燃料とし、使用済み燃料を深地下処分場で処分する方式の

軽水炉と経済的に競争することはできないというものだった。その結果、1977年、カーター大統領は、政府資金によるクリンチリバー増殖実証炉(35万kWe)(テネシー州)の建設と、民間資金によりすでに建設中のバーンウェル使用済み燃料再処理工場(サウス・カロライナ州)の両方の許可過程を凍結した。

レーガン政権(1981-89)は、カーター大統領の措置を撤回した。しかし、レーガン政権は、同時に、民生用技術の選択は市場に任せるべきと信じていた。従って、再処理に補助金を出すこともしないし、米国の増殖炉実証計画に対する政府資金の投入を終わらせるという議会決定に反対することもしない、と明らかにした。

米国の原子力発電電力会社は、自社の使用済み燃料の再処理のコストは、回収プルトニウムが増殖炉の初期装荷燃料として使われる際に支払われる代金で相殺できると信じさせられていた⁴⁶。だが、米国の増殖炉商業化プログラムが中止となり、軽水炉におけるプルトニウム燃料の使用の方も経済性がないという状況で、民生用プルトニウムの市場はなくなってしまう。このため、電力会社は、自社の使用済み燃料の最も安い処分方法は、深地下処分場で直接処分することだとの結論に達した。

議会は、時を移さず、1982年「核廃棄物政策法(NWPA)」を通過させた。米エネルギー省に対し、使用済み燃料その他の放射性廃棄物のための国家処分場の場所を選定し、これを建設するよう指示する法律だ。原子力発電電力会社は、自社の使用済み燃料処分のために、原子力発電による1キロワット当たり、0.1セント(約0.1円)を政府に払う。一方、政府は、使用済みの海軍用原子炉燃料と、過去の米国の核兵器用プルトニウム生産から来る再処理廃棄物とのために必要となる追加の



図 5 米国の電気出力56万キロワット(560MWe)のコネティカット・ヤンキー原子力発電所のサイトで残っているのはカスクだけ コネティカット川の東岸に位置する同炉は1968年から96年まで運転された。左側にある40基のカスクには、原子炉の生涯運転から取り出された使用済み燃料の90パーセント以上が入っている⁴⁸。右端にあるカスク(この写真が撮られたときには3基だったが、現在は5基になっている)には、原子炉容器内の放射能で汚染された構造物が入っている。すべてのカスクが、国の深地下処分場あるいは地表集中中間貯蔵施設の許可を待っている。(写真:コネティカット・ヤンキー社ウェブサイトより: <https://connyankee.com/fuel-storage/>)

スペースの分を支払う。

しかし、議会在ネバダ州ラスベガスから100キロメートル離れた場所を選んだ処分場サイトに対する環境面からの批判や地方の政治的反対のため、米国処分場の完成は無期限延期となっている。このため、米国政府は、使用済み燃料を乾式貯蔵容器に入れて、各原子炉サイトで貯蔵するための費用を電力会社に払っている。これは、すべての原子炉が廃止措置となったサイトでは問題となりつつある(例えば、図5を参照)。二つの会社が、それぞれ、テキサスとニューメキシコの州境の両側にある砂漠地帯の一方に集中乾式容器貯蔵サイトをつくることを提案している。一社は、連邦政府の許可をすでに得ており、もう一方はその予定となっている。だが、両州で反対がある⁴⁷。

英国

英国の民生用再処理の終焉の過程は長引いた。英国はドーンレイ高速原型炉を1994年に停止し、その増殖炉開発プログラムを終わらせた。しかし、英国は、民生用プルトニウムをその後約30年に亘って分離・蓄積し続けた——使う当てもないまま。1994年から2018年の間、イングランド北西部のセラフィールド・サイトで二つの再処理工場が運転された。古い方の工場——B-205——は、英国の第一世代のガス冷却発電炉から出てくる金属ウラン燃料を再処理するために建造された。これらのガス冷却炉は、元々は、兵器用プルトニウムと電力の両方を生み出すために開発されたものだ。その燃料は、英国の兵器用プルトニウムの需要が満たされた1995年頃以降は、貯蔵のしやすいセラミック型に移行することもできたはずだが、そうはならなかった。これらの第一世代の原子炉——溶かしやすいマグネシウム合金が金属ウラン燃料の被覆管に使われていたために、マグノックス炉と呼ばれた——の最後の一基は2015年に閉鎖された。使用済みマグノックス燃料の再処理のうち受注残となっていた分の再処理も2022年7月に終了し、B-205は「廃止」となった⁴⁹。

セラフィールド・サイトの最も新しい再処理施設——THORP(ソープ:酸化物燃料再処理工場)——は、政府所有の「英核燃料公社(BNFL)」によって建設された。計画中の増殖炉の初期装荷燃料用とするためにプルトニウムを欲していたヨーロッパ及び日本の電力会社に再処理サービスを提供するためだ。THORPの建設は1979年に始まり、1994年に運転開始となった。ドイツ、イタリア、日本、オランダ、スペイン、スウェーデン、スイスの原子力発電電力会社から合計5000トンの使用済み燃料再処理に関するコストプラス契約を得たことだった。この再処理施設の建設費の支払いに必要な追加の2000トンの「ベースロード」契約を提供するために、英国政府は、二つの国内の電力会社——英国の発電産業の民有化の過程で設立——に対し、両社の使用済み燃料も再処理するよう義務付けた。両社とも、第二世代の「改良型ガス冷却炉(AGR)」を運転しており、これらの炉の酸化ウラン燃料はステンレス鋼の被覆管内に入られているため、マグノックス炉の使用済み燃料と異なり、長期貯蔵が可能であり、また、分離されたプルトニウムを使用することは予定されていなかったにも拘わらず⁵⁰。元々の予定だと「ベースロード」契約が終了することになっていた2004年、BNFLは破産し、サイトは「英原子力廃止措置機関(NDA)」によって引き継がれた。「ベースロード」契約は、その8年後の2012年に終了した⁵¹。

THORPの外国再処理顧客との契約で更新されたものは実質的になかった⁵²。英国の原子力発電会社は、THORPを維持するために、「ポスト・ベースロード」再処理契約(AGR燃料2500トン分)への署名を強要された。プルトニウムの使用の見通しはやはりないままだった。

2009年、英国の16基の60万キロワットのAGRと、英国に1基だけある軽水炉を運転していた電力会社が、「フランス電力(EDF)」に買収された⁵³。フランスでは、EDFはフランス政府所有の再処理工場とMOX燃料工場を支えることを義務付けられている。しかし、フランス政府は、英国における再処理を支える義務は感ぜず、EDFは、英国の子会社の再処理契約の更新を拒否した。このため、2018年、THORPは、既存の契約分を履行した後、閉鎖された。今後は、英国のAGRの使用済み燃料はセラフィールドで貯蔵されることになった⁵⁴。フランスとオランダ以外のヨーロッ

パ諸国では、深地下処分場が使えるようになるまで、地上で使用済み燃料貯蔵を貯蔵しておくというのが一般的となっている⁵⁵。

米・英両国の例は、政府の命令がなければ、市場の「神の手」が再処理の段階的消滅をもたらし、政府が、分離済みプルトニウム、再処理廃棄物、そして汚染された再処理工場の処分の問題を扱うことになることを示している。2018年、「英国会計検査院(NAO)」は、セラフィールド・プルトニウム・サイトの今後の除染費用を910億ポンド(約1200億ドル[約16.4兆円])と見積もった。再処理廃棄物と分離済みプルトニウムの処分費用は含まれていない⁵⁶。

プルトニウム分離と核兵器拡散

プルトニウム分離の「執拗な持続性」は、経済的非合理の興味深いケースというだけにはとどまらない。国際的安全保障も脅かす。世界は1974年にこのことを学んだ。インドが、増殖炉プログラムのために分離したプルトニウムの一部を使って「平和的核爆発実験」を行ったのだ。これが、インドの核兵器プログラムの開始となった⁵⁷。

その17年後にソ連が崩壊した際、膨大な量の高濃縮ウランと未照射のプルトニウムのセキュリティー[保管・保安体制]について世界が懸念した。米国は、ソ連の余剰の兵器級ウランを購入した。核兵器2万発分に相当する。ロシアは、これを希釈して5%の濃縮ウランにし、米国の原子力発電用原子炉の燃料用に売却した。しかし、プルトニウム燃料の商業的市場は存在しない。このため、米エネルギー省⁵⁸と国防省⁵⁹はロシアの余剰の核兵器用物質のセキュリティーを向上させるために10億ドルから20億ドル[約1,400億~2,400億円]を投入した。少量のソ連/ロシアの盗まれた核分裂性物質が途中で「捕捉」されている⁶⁰。もっと大量のものが盗まれたかどうかは、ロシア以外では知られていない。

「兵器級」プルトニウム(プルトニウム239の含有量90%以上)と発電用原子炉の使用済み燃料から抽出された「原子炉級」プルトニウム(プルトニウム239の含有量約50%)は、ともに、「直接利用」可能な核兵器物質だ。第一世代の長崎型核兵器の設計——テロリストに入手可能と言っているもの⁶¹——で原子炉級プルトニウムを使った場合、500トンから2万トン(0.5キロトン~20キロトン)の化学爆薬相当の規模の爆発を起こすだろう⁶²。現在の核兵器の設計なら、原子炉級プルトニウムは、兵器級プルトニウムと同じ規模の爆発を、信頼性のある形で、起こすことができる⁶³。

民生用プルトニウムの分離と使用は、分離済みプルトニウムの保管場所の数を大きく増やした。不安定性の時代において、これは、核拡散とテロリズムの相当のリスクを生み出す。

これらのリスクを相殺できるようなメリットはこの行為にはなく、リスクを正当化することはできない。

なぜ再処理は続くのか

使用済み燃料の直接処分はプルトニウムのリサイクルより安くつく。だから、使用済み燃料の再処理は、政府がそれを義務付ける場合にのみ継続される。

再処理の継続を国が決める場合、制度的惰性に加えて、三つの主要要因があるようだ⁶⁴。

- 兵器プログラムのコネクション
- 巨大な再処理施設に関連した雇用や税制上の利益を維持しようとしてかけられる地方・地域政府及びその地域の選挙で選ばれた代表からの圧力
- 地下深くに埋められた再処理廃棄物は、地下深くに埋められた使用済み燃料より危険が小さいという神話

以下で論じるように、それぞれの要因の影響の度合いは、国によって異なる。

兵器プログラムのコネクション

日本は明らかに例外だが、使用済み燃料の再処理を継続している他のすべての国は、元々は、兵器用にプルトニウムの分離を始めた。中国とインドの場合は、このコネクションは今も大きな力を持っているようだ。

中国

中国のパイロット民生用再処理施設は、甘粛省の「酒泉原子力集合施設[コンビナート]」にある。ゴビ砂漠の南方に位置する閉鎖済みの軍事用再処理施設に隣接している⁶⁵。労働者らは、まもなく、近くに建設中のもっと大きな「実証」再処理施設(400トン/年:二つのラインを持つ)の方に移る予定だ⁶⁶。

これらの施設は、「中国核工業集团公司(CNNC)」が所有している。1998年までCNNCは、「核工業部(省)」と呼ばれていた。同省は、元々、中国の核兵器用にプルトニウムと高濃縮ウランを製造するために設立された。2016年の説明の中で、CNNCは自らについて「国の戦略核戦力と原子力開発における重要な立場にあり、国家安全保障を確実にし、国内の経済発展を促進する使命を[果たしている]と述べている⁶⁷。

この「自己説明」によれば、中国政府から指示があれば、CNNCは、中国の核兵器の数の拡大を図るためにプルトニウムを増産することになる。CNNCはすでにこの指示を受けているように見受けられる。

中国の兵器級プルトニウムの保有量についての最善の独立した推定は、2.3~3.5トンだ⁶⁸。運転在庫を計算に入れても、少なくとも核弾頭500発に十分な量だ。これは、米国情報機関による2020年の次のような推定と呼応する——中国は、2025年までに200発の核弾頭を「大陸間弾道弾(ICBM)」に装填すると予測され、この数を倍にするのに十分な核分裂性物資を保有している⁶⁹。

しかし、2021年の夏、中国が、その北部及び西部の砂漠地帯で約300基のICBMのサイロを建設していることが明らかになった⁷⁰。中国の現在の20基のサイロ配備ICBMの半分は、単弾頭と見られているが、他の半分は5発を搭載と見られている。中国の最新のICBM、DF-41 には、それぞれ3発の核弾頭を搭載することが可能と見られている⁷¹。もし中国が、核弾頭を3発ずつ搭載するミサイルを新しいサイロのそれぞれに配備するなら、ほぼ間違いなく追加のプルトニウムが必要となる。

CNNCが福建省霞浦県の長表島で建設中の2基の出力60万kWeの増殖炉の炉心の周りに配置さ

れた「ウラン・ブランケット」で製造されるプルトニウムは、兵器級となる。このプルトニウムは、原子炉の燃料用にも核弾頭用にも使える。グラザーとラマナがインドの出力50万kWeの原子炉のために行った推定から比例計算すると、中国の出力60万kWeの増殖炉は、一基で、年間約170kgの兵器級プルトニウムを生産することができる。予定通り運転されれば、10年間で核弾頭400発分ほどに十分な量となる⁷²。

この関連で、中国が民生用の未照射プルトニウムに関する年次公開報告書をIAEAに提出するのを中止しているのは憂慮すべきことだ。中国は、1996年の「プルトニウム管理指針」ⁱⁱⁱに参加した際に、年次報告書の提出を約束している。中国の最後の報告は、2016年末現在の保有量に関するものだ。2022年9月現在、「指針」の他の8つの参加国は2021年末現在の保有量を報告している⁷³。このことは、中国がその保有する原子炉級プルトニウムを今も厳密に民生用のものとみなしているかどうかについて疑問を抱かせる。中国の軽水炉の使用済み燃料再処理プログラムの目的は、その増殖炉の初期装荷燃料を生産することだ。だが、増殖炉が中国の兵器用にプルトニウムを生産することになるなら、軽水炉由来のプルトニウムは、中国の核兵器生産プログラムの一部となる。以下に論じるように、この問題は、インドの増殖炉プログラムについては、すでに20年前から存在している。

インド

1964年、インドの「原子力省(DAE)」は、西海岸ムンバイ(旧ボンベイ)近郊に位置するその「バーバ原子力研究センター(BARC)」で小規模の再処理施設の運転を始めた。インド初の研究炉で照射された燃料から核兵器用と増殖炉研究開発プログラム用に兵器級プルトニウムを分離するため⁷⁴。DAEは、その後、別の三つの小規模の再処理施設を建設した。これらは、インドの発電用重水炉の一部の使用済み燃料から原子炉級プルトニウムを分離し、高速増殖原型炉の初期装荷燃料用に使うため⁷⁵。

インドは、その増殖炉プログラムも、これに関連した再処理プログラムも、IAEAの保障措置の下に置くことを拒否している。2005年の米国との協定——1974年の核実験後にインドに対して課せられていた同国への核技術及びウランの禁輸措置の解消への道筋をつけた——において、インド政府は、原子炉級プルトニウムを保障措置下に置くことを拒否するのを正当化するため、増殖炉プログラムを「戦略的」と規定した。これは兵器とのコネクションを示唆している⁷⁶。

このように、中国とインドの両国の再処理及び増殖炉プログラムが「二重目的」——核兵器プログラム用の兵器級プルトニウムの生産と発電の両方——を持っていると疑う根拠が存在する。

日本

日本は現在、核兵器を持っていない国で再処理政策を堅持している唯一の国だ。1977年——1973年のアラブの石油輸出停止と石油価格の高騰が世界経済の混乱を招いた後——日本の総理大臣[福田赳夫]は、日本の増殖炉プログラムは日本にとって「死活問題」だと言っているとカーター政権は理解した。日本の通商産業省(経済産業省の前身)と科学技術庁(当時は原子力政策を管轄)は、輸入ウラン——安い上、備蓄も比較的低いコストで可能——への依存は、輸入石油への依存とは非常に異なることを理解していたに違いない。それにも拘わらず、日本のプルトニウム・プログラムは経産省と日本の第一党である自由民主党の両者内に深く組み込まれている。背景に

ⁱⁱⁱ 1997年、米、露、英、仏、中、日、独、ベルギー、スイスの9カ国が、国際「プルトニウム管理指針」を策定し、「合理的作業在庫の需要を含み、可能な限り早期に[民生用プルトニウム]受給をバランスさせることの重要性を考慮する」ことに合意するとともに、民生用分離済みプルトニウム及び軍事目的にとって不要となったプルトニウムの量を「国際原子力機関(IAEA)」に共通の書式で毎年、報告することを決めた。次を参照:「大丈夫か原子力委員会 自らの歴史も知らないで「日本のプルトニウム利用」解説作成?」、核情報、<http://kakujo.net/npt/aec.pu.html>

は、日本の原子力研究開発コミュニティの頑固さがある。

日本がそのプルトニウム分離及びウラン濃縮プログラムを維持しているのは、一つには、万一の場合に備えて核兵器オプションを維持するためかもしれない。米国が日本を攻撃から守るために提供している「核の傘」が日本の最終的安全保障の担保としては不十分と見えるようになった場合に備えてだ（「核の傘」というのは、必要な場合には、核兵器を使っても同盟国を守るという米国の約束のことを簡略化した表現だ）。

2018年、経済産業省（及びその前身）の元高官（原子力政策を担当）の田中伸男は、次のように述べている。

原子力は安全保障、国防上の理由からも必要である。広島長崎を経験した日本は核兵器を持つつもりは毛頭ないが北朝鮮の核ミサイルが頭上を飛ぶ時代に核能力を放棄することは彼の国からなめられることになる⁷⁸。

日本の防衛「エスタブリッシュメント（体制派）」の一部もまた、日本がプルトニウム分離及びウラン濃縮プログラムを持たなければ、米国も日本の安全保障上の懸念を軽視するかもしれないと見ているようだ。

実際、米国政府の核政策に関する議論においては、米国の特定の核兵器システムを廃止できないとか、米国は核の先制不使用政策を採用することができないとか主張する場合、そんなことをすると日本が独自の核武装を決定するという反応をするかもしれないからだと論じるのが一般的となっている⁷⁹。米国が先制不使用政策を採用するのに反対している佐藤行雄元国連代表部大使は、2017年に出版された『差し掛けられた傘—米国の核抑止力と日本の安全保障』の中で、次のように述べている。「日本の核武装の可能性についての外国の懸念は払拭し切れるものではない。また、米国については若干の懸念が残っていることも悪いことではないとすら、個人的には考えている。米国が日本に核の傘を提供する大きな動機が日本の核武装を防ぐことにあると考えるからだ⁸⁰。」

日本は、核武装するぞと信憑性をもって威迫することができるだろう。日本は、国内に1000発以上の核弾頭を製造するのに十分な未照射の原子炉級プルトニウムを持っている。また、近代的な米国製の戦闘爆撃機を保有しているし、米国の大陸間弾道弾に匹敵する固体燃料型のロケット[イブシロン]を開発している。しかし、これは、核保有能力の信憑性を確立するには、巨大な六ヶ所再処理工場——年間最大8トンのプルトニウムを分離する設計——が必要だということを意味するわけではない。その目的のためには、東海パイロット再処理工場（閉鎖済み）で十分だった。

受け入れ地域への雇用と補助金の提供

辺鄙な低収入地帯で再処理工場を受け入れている地域及び地方政府は、再処理工場の立地について多額の補助金を得ている。これらの補助金や施設の固定資産税、それに再処理工場での雇用は、地方経済にとって不可欠のものとなる。このため、地方・地域の政治的代表らは、中央政府の政策決定過程において、再処理工場の激しい擁護者となる。このような政治力学は、米国の軍事基地、核兵器研究所、宇宙計画施設などでお馴染みだ。原理的には、政府は、もっと有用な別の仕事の方に資金を振り当てることができる。しかし、現在の支出の恩恵を受けている人々は自分たちの立ち位置を理解しているが、別の雇用にマッチした技術を持っている人々の方は、動員するのがずっと難しい。

フランス

ラアーグ再処理施設は、英仏海峡に突き出した辺鄙な半島に位置している。運転しているオラノ（AREVAの後身）が言う通り、施設は「コタンタン半島の主要雇用者」だ⁸³。

しかし、再処理のコストは、「フランス電力(EDF)」にとって、大きな重荷になっている。そして、再処理は、もはや、フランスにとって重要な外貨獲得源ではない。オランダの小さな発電用原子炉1基を除いて、フランスの以前の外国顧客は、再処理とMOX燃料製造の契約を更新しなかったからだ。このため、EDFは、オランダの再処理施設の5000人の経費のほとんど100%を提供しなければならなくなっている⁸⁴。他に、725人の従業員がオランダのメロックス燃料製造工場にいる⁸⁵。さらに、2万9000人の従業員がEDFの56基の発電用原子炉の運転に携わっている⁸⁶。

日本

日本原燃とその関連会社は、約7500人のフルタイムの従業員を雇用している。そのほとんどが、日本の本州の最北端に位置する日本で最も貧しい県の一つである青森県にある六ヶ所再処理工場でのものだ。再処理工場に関連した政府及び電力会社による支払いは、県や村にとって収入の重要な部分を占める⁸⁸。

青森県の政治的指導者らは、六ヶ所施設の将来について少しでも疑義が生じた場合は何時も、「出動」する。実際、2011年の福島事故の後、当時政権を握っていた日本民主党が原子力の段階的廃止を唱えた際、青森からの反対が非常に激しかったため、民主党は原子力を段階的に廃止するが、再処理は段階的廃止をしないとのナンセンスな政策を採用することになった⁸⁹。

2005年、日本原子力委員会は、日本の原子力発電所立地地域が使用済み燃料の長期的敷地内貯蔵に反対しているから、再処理を進めるしかないと主張した。委員会は、そうしないと、原子力発電所立地地域は、日本の原子力の停止を強制的にもたらすことになるだろうと警告した⁹⁰。

しかし、六ヶ所再処理工場の運転開始が四半世紀以上に亘って遅れる中、ほとんどの原子力発電所立地地域は、発電所敷地内での使用済み燃料の長期的貯蔵という考え方を受け入れてきている。原子力発電所がもたらす雇用、助成金、地方税収入などの恩恵が、使用済み燃料の運び出しの時期の延期についての立地地域の懸念を上回っているようだ。

ロシア

冷戦の間、ソ連は、核兵器用のプルトニウムを生産するために三つの隔離された都市を作った。それぞれの人口は10万人ほどだ。これらの都市は、元々は、それぞれ、近くの大きな都市の郵便局私書箱番号で知られていた。ウラル地方のオジョルスクは、元はチェリャビンスク-40、後にチェリャビンスク-65となった。シベリア中央部にあるセベルスクとジェレズノゴルスクは、元は、それぞれ、トムスク-7、クラスノヤルスク-26として知られていた(図6)⁹²。

米国の場合と異なり、これらの都市は、現在も「閉鎖」されたままで、二重フェンスで囲まれており、現在はプーチン大統領の直接指揮の下にある国内軍が出入りをコントロールしている⁹³。

ロシアの核弾頭保有数が冷戦後劇的な形で減少して以来、これらの三つの都市のプルトニウム生産炉と軍事用再処理施設は、すべて閉鎖されている。ただし、オジョルスク郊外のマヤク施設は、ロシアの核兵器用のトリチウムの生産に責任を負っており⁹⁵、セベルスクには、ロシアの4つのウラン濃縮工場の一つがある(4つの濃縮工場は、ロシア及び外国の発電用原子炉用の低濃縮ウランを生産している)。しかし、閉鎖都市を賄うにはほかのミッションが必要だ。セベルスクに溶融鉛冷却増殖炉が建設中となっている理由の一つはそこにあるのかもしれない。



図 7 シベリア中央部にあるロシアのプルトニウム都市、ジェレズノゴルスクの中央広場
2010年 写真:Tatiana Bulyonkova, 3 June 2010, flickr.com.⁹¹



図 6 ジェレズノゴルスク郊外にあるロシアの使用済み燃料貯蔵・民生用再処理サイトは、3重防護フェンスで囲まれている。北側から入っている線路(写真上部)上の列車に載せられた使用済み燃料輸送キャスクが見える(この縮尺では白い破線状)。使用済み燃料貯蔵建屋は二つのグループに分かれていて、それぞれ、燃料受け入れ用のプールを備えている。合計貯蔵容量は、プール貯蔵合計8600トン、乾式貯蔵3万7800トン。2013年時点でのロシアの原子炉の年間排出量にして70年分だ。右側の建物は、このサイトにあると報じられている新しいパイロット再処理施設だ。出典: Google Earth image, 13 July 2021.⁹⁴

マヤクでは、民生用プルトニウムの分離が続いており、その再処理工場「RT(燃料再生)-1」での再処理のペースを上げる計画がある。ロシアは、如何なる予測可能な将来の必要をも上回る量の分離済みプルトニウムを保有しているにも拘わらずだ。

ジェレズノゴルスクは、ロシアのほとんどの原子力発電所の使用済み燃料の送り先となっている。国営原子力企業「ロスアトム」は、この使用済み燃料はすべて再処理されると主張しており、ジェレズノゴルスクにパイロット再処理工場を建設した(図7)。

ソ連の崩壊前は、ジェレズノゴルスクで再処理工場「RT[燃料再生]-2」が運転されることになっていた。年間1500トンの軽水炉使用済み燃料の処理能力を持つ巨大な再処理工場だ。RT-2の建設は、1976年に始まったが、1990年に中止された。資金不足と、エニセイ川沿いの50キロ上流に位置する大都市クラスノヤルスクでの反対のためだ⁹⁶。

RT-2の二つの使用済み燃料受け入れプールは、再処理工場の建設が放棄される前に完成していた。これらは、今では、合計8600トンの軽水炉使用済み燃料を収納するため、ラック(収納棚)の形状・方式を変えて稠密貯蔵を行っている。これらのプールは恐らく、空冷式のキャスクに入れた使用済み燃料を保管するための建造物群の受け入れプールとしての働きもするのだろう。すでに段階的に使用を開始しているこの乾式貯蔵の設計容量は軽水炉使用済み燃料用1万1275トンと、黒鉛減速・水冷却(チェルノブイリ型)炉の使用済み燃料用2万6510トンと報じられている⁹⁷。

英国

イングランド北西部の沿岸にある英国のセラフィールド再処理サイトでの再処理は2022年7月に終焉を迎えたが、サイトには1万1000人ももの従業員がいる⁹⁸。そのほとんどは、一世紀に亘る予定の廃止措置・除染作業に従事している⁹⁹。2020年、隣接するカンブリア州の自治体との話し合いの結果、これらのうちの 하나가国の深地下放射性廃棄物処分場を受け入れる可能性が高まった¹⁰⁰。しかし、この地域やその他の候補地での反対は強い¹⁰¹。処分場受け入れ地が見つければ、セラフィールドは、貯蔵されている約140トンのプルトニウムを他の物質と混ぜて、処分場での処分に適した安定した形態にするという作業を受け持つことになるかもしれない。

再処理廃棄物は、使用済み燃料より危険が小さいという神話

プルトニウム増殖炉商業化プログラムの失敗の後、フランスと日本の両国の高速中性子炉エスタブリッシュメントは、それでも、使用済み燃料からプルトニウムを分離して、それを核分裂させる計画は続けるべきだと主張し始めた。使用済み燃料の有害性の持続期間を減らすのに必要だというのだ。

この主張は、フランスでは、2006年「放射性廃棄物等管理計画法」制定の論拠を提供した。同法は次のように規定している。

「放射性廃棄物の量と毒性の低減は、とりわけ、使用済み燃料の再処理と、放射性廃棄物の処理及びコンディショニングとによって達成を図るものとする¹⁰²」

日本では、プルトニウムを地下に埋めることから来るとされる有害性の議論は、使用済み燃料の再処理の義務付けを維持することを正当化する論拠を提供した。2000年「特定放射性廃棄物最終処分法」は、再処理とMOX燃料製造からの廃棄物しか、計画中の国の処分場に入れてはならないとしている。使用済み燃料の直接処分は除外されているのだ¹⁰³。

日本における原子力の黎明期、再処理の義務付けについて、日本の電力会社からあまり反対の声は上がらなかった。当時、彼らは、比較的早期に増殖炉への移行があると考えていた。しかし、予見できる将来には増殖炉は商業化されそうにないということが明らかになってからは、彼らは、嵌め

られてしまっていると感じるようになった。1999年3月に東京で開かれた会合で、日本の3大原子力発電電力会社の燃料サイクル担当者らが質問された。また決定をする機会があったら同じ選択をするか、と。一人がこう答えた。「とんでもない。だが我々はもう[政策の罫に]嵌められてしまっている」と。他の二人は、同意の意を示すべく頷いた¹⁰⁴。

2016年、福島事故の後、電力自由化の中で日本の電力会社が倒産するかもしれないとの懸念から、再処理関連費用の取りはぐれを無くすため、新たな法律によって、「使用済み燃料再処理機構」が設立された。再処理の資金を確実に徴収するためだ。この法律は、「使用済み燃料の再処理等」（回収されたプルトニウムを使ったMOX燃料の製造を含む）の「着実な実施」のために、原子力発電電力会社が「機構」に使用済み燃料の発生量に合わせて毎年払い込むことを義務付けている。毎年の支払い額は、各社の前年の原子力発電電力量を基に定められる¹⁰⁵。

プルトニウムを除去することが「必要」という論理は、高速中性子炉の必要性について間違った正当化論を提供する。なぜなら、偶数の番号を持つプルトニウム同位体(Pu-238、Pu-240、Pu-242)を効果的に核分裂させるためには、高速中性子が必要だからだ。使用済みMOX燃料に含まれるプルトニウムは、この偶数の番号を持つ同位体の割合が高いため、軽水炉にとっては良い燃料ではない。このため、フランスは、その使用済み燃料の再処理を先送りしている。決定は、将来、高速増殖炉ができるか、できないか様子を見てということだ¹⁰⁶。

フランスの2006年の法律(「放射性廃棄物等管理計画法」)は、高速炉あるいは加速器駆動原子炉を2020年までに運転することを定めている。2012年、「フランス原子力庁(CEA)」(2010年に原子力・代替エネルギー庁と改名されたが頭文字はそのままだ)は、高速炉の建設を提案した。同庁は、この炉をASTRID(アストリッド)——Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration(工業的実証用改良型ナトリウム技術炉)——と名付けた。しかし、CEAは、このプロジェクトの資金の全額を得ることはできず、2016年には、法律で定められた2020年にASTRIDの運転を始めるのではなく、詳細設計作業を2020年に始めると発表した¹⁰⁷。そして、2019年、ASTRIDプロジェクトはキャンセルとなった¹⁰⁸。

日本の増殖原型炉もんじゅは、1995年8月に運転開始となった。しかし、その4カ月後、ナトリウム火災のため運転が停止された。運転状態に戻そうという「日本原子力研究開発機構(JAEA)」の試みにも拘わらず、もんじゅが運転されることはなかった。2015年、数々の安全性規制違反の後、原子力規制委員会は、機構はもんじゅの「運転を安全に行う主体として必要な資質を有していない」と宣言した¹⁰⁹。翌16年12月、日本政府はもんじゅの廃炉決定を行った。この年、これに先立ち、「原子力関係閣僚会議」の下に高速炉推進組織「高速炉開発会議」(議長:経済産業大臣)が設立されていた。もんじゅの終焉にも拘わらず高速炉の研究開発と再処理を継続することを正当化するためのものだ。正当化理由として挙げられたのがフランスのASTRIDプロジェクトとの協力だった。ASTRIDがキャンセルされた後に正当化理由となったのは、米国の「アイダホ国立研究所(ANL)」の「多目的試験炉(VTR)」との協力だった。VTRの運命は、米国議会の支持がなく、風前の灯火となっている¹¹⁰。最新の協力相手案は、ビル・ゲイツのテラパワー社だ。同社は、米国エネルギー省から最高20億ドルのプロジェクト支援資金を得て、ワイオミング州にナトリウム冷却炉「ナトリウム」を建設することを計画している¹¹¹。

しかし、米国とスウェーデンの両政府が委託した研究では、どちらの場合も、プルトニウムを分離して核分裂させることから得られると主張されている安全性上の恩恵は取るに足らないとの結論が出ている。深地下の使用済み燃料処分場が機能不全となった場合、処分場の上の地上に住む人々の被曝線量において、プルトニウムその他の超ウラン元素は支配的ではないからだ。

まず、米国では、エネルギー省が、米国「科学アカデミー(NAS)」に研究を委託した。使用済み燃料の中のプルトニウムその他の超ウラン元素を分離して核分裂(「核変換」)させる技術、コスト、そして、それが環境や健康面にとって持つ便益についての研究だ。1996年に発表されたその研究結果

の結論は次のようなものだった。

「被曝線量の減少はどれをとってみても、それだけでは、核変換の費用と追加的運転リスクを正当化するような大きさのものではない¹¹²。」

スウェーデンでは、国の深地下使用済み燃料処分場の設計・建設に責任を負う「核燃料・放射性廃棄物管理会社(SKB)」が研究を行った。使用済み燃料が粘土に囲まれた耐久性のある容器には入れられないという仮想ケースにおいて、処分場の上の地上に住む自給自足の農民という仮想的集団が受けるプルトニウムその他の超ウラン元素からの被曝線量について評価するものだ。

図8で分かるように、プルトニウムその他の長寿命の超ウラン元素は、予測される被曝線量において、支配的ではない。これは、一つには、これらの元素の酸化物は、深地下の酸素欠乏水の中では比較的溶けにくいからだ¹¹³。しかも、プルトニウム酸化物が地表に届いたとしても、それは、植物によって、あるいはヒトの胃壁や腸壁を通して、簡単に吸収されるということにはならない。

この研究結果は、次の事実と符合する。1945年から1980年にかけての大気圏内核実験の結果、約3トンのプルトニウム239が、放射性「降下物」として地表に到達したが、プルトニウムは、降

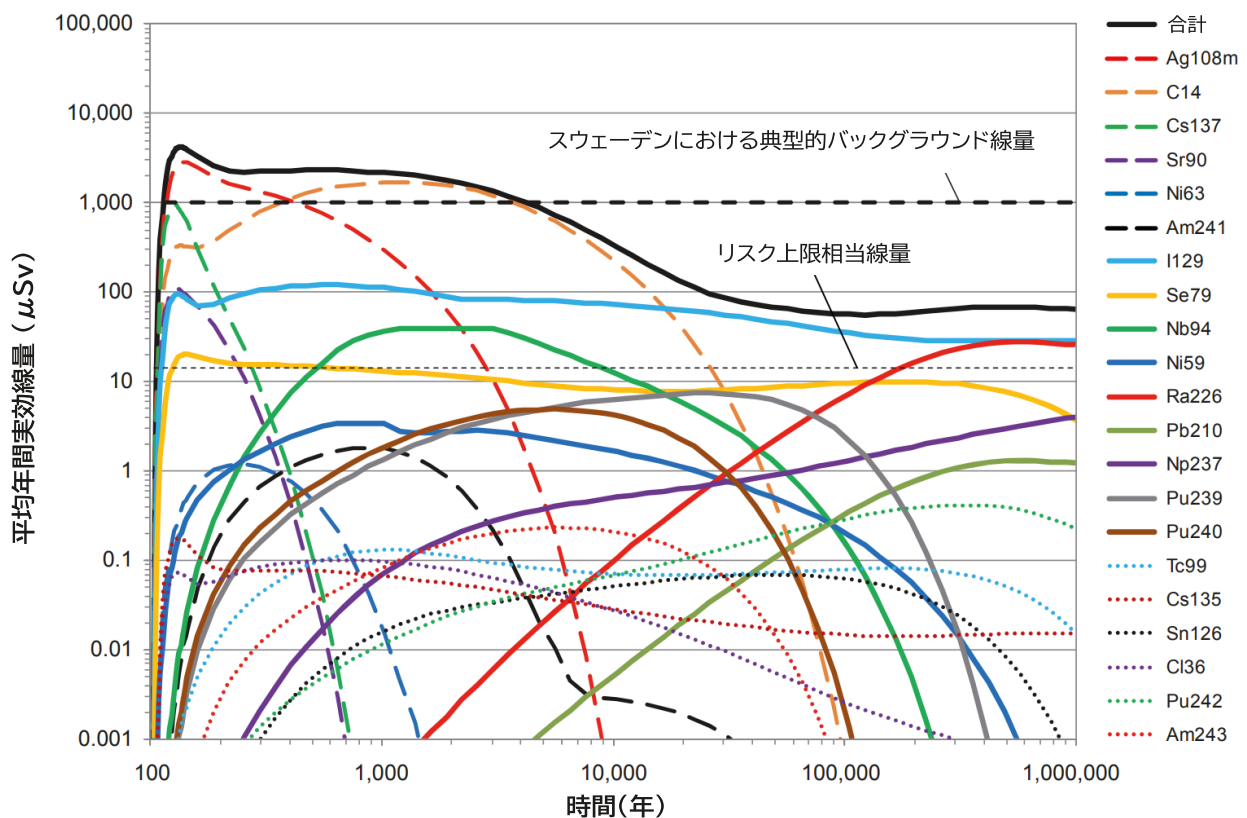


図 8 機能不全となった深地下処分場の上の地上における被曝線量への寄与 スウェーデンの「核燃料・放射性廃棄物管理会社(SKB)」の計算による。使用済み燃料が粘土に囲まれた耐久性のある容器には入れられないという仮想ケースにおいて、処分場の上の地上に住む自給自足の農民及びその家族(現地の水を飲みそこで育てられた作物を食べる)という仮想的集団の被曝線量に、使用済み燃料の中に含まれる様々な核種が与える寄与度を処分場閉鎖時からの時間関数として表示。長寿命の超ウラン元素(ネプツニウム[Np]237、プルトニウム[Pu]239及び240、アメリカシウム[Am]241)の寄与は、認められる。しかし、様々な時期の支配的寄与核種は以下の通りだ。400年～20万年は炭素[C]14(燃料中に含まれる微量の窒素14が中性子を吸収して生成)。20万年～400万年は、ヨウ素[I]129(長寿命の核分裂生成物)。その後の100万年までは、ヨウ素129とラジウム[Ra]226(後者は採掘されたウラン238の放射性崩壊生成物)。ウラン238は、燃料の質量の90パーセント以上を占める。出典:SKB. ¹¹⁴

下物からの積算放射線被曝予測量に対しわずかな寄与しかせず、しかも、その寄与において支配的なのは経口摂取ではなく吸入によるものだった¹¹⁵。本稿の「提言」に関するセクションにおいては、降下物に関する研究を行った「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」が、深地下に置かれた使用済み燃料による環境面の危険に関する研究を行う可能性について論じる。

皮肉なことに、機能不全となった処分場の上に住む仮想的な自給自足の農民が受ける線量において支配的になるとSKBが結論を下した放射性核種は、再処理過程で捕捉して固定化するのは費用が高すぎると判断されているもので、ラアーグにあるフランスの再処理工場はこれらを大気中や海に放出している。

具体的に言うと、ラアーグ再処理工場は、再処理する使用済み燃料の中に含まれる半減期約5700年の炭素[C]14の大部分を二酸化炭素の形で大気中に放出している。さらに、半減期約1600万年の揮発性核分裂生成物ヨウ素[I]129のほぼすべてを英国海峡に投棄している¹¹⁶。フランスのアレバ社が設計した日本の六ヶ所再処理工場も、同様の操業方式となっている。

再処理における事故の危険性

再処理は、使用済み燃料からのリスクの削減ができないというだけでなく、処分場の漏れよりもずっと大きな影響を及ぼす事故のリスクを伴う。実のところ、チェルノブイリが起きる前の世界で最悪の核事故は、ソ連の最初の軍事用再処理工場「マヤク生産公団」で1957年に起きたものだった。現在オゾルスクとして知られるウラル地方の核都市の郊外にある核施設だ。

濃縮放射性廃液のタンク内の水が蒸発し、乾固した再処理化学物質が過熱して爆発した。その結果、汚染された風下地帯の住民の避難が必要となった。その面積、約1000平方キロメートル。福島事故の避難地域とほぼ同じ広さだ¹¹⁷。幸い、汚染物質は近くのチェリャビンスク方向にもエカテリンブルグ方向にも流れて行かなかった。それぞれ100万人以上の人口をもつ大都市だ(図9)。

この事故はあまり知られていない。なぜなら、ソ連は、20年間にわたってこれを秘密にすることができたからだ——ソ連の亡命科学者ジョレス・A・メドベージェフが暴露するまで¹¹⁸。米英の諜報機関は、自分たちが知っていたことを自国の国民に知らせようとはしなかった。恐らく、自国政府の軍事用再処理工場の安全性についての懸念を呼び起こしたくなかったからだろう¹¹⁹。

さらに、もっと小さな規模の汚染が何度も起きている。再処理工場内での「レッド・オイル」の爆発によるものだ。レッド・オイルは、標準的な「ピューレックス(PUREX=プルトニウム・ウラン溶媒抽出)」法によるプルトニウム分離プロセスで使われる硝酸と有機溶媒の間の放射線分解反応で生じる。1993年、ロシアのセベルスク軍事用再処理工場の処理タンクでレッド・オイルが爆発し、100キログラムの化学爆薬に相当すると推定されるエネルギーが放出された。幸運なことに、タンクにはあまり放射能が入っていなかった¹²¹。

高レベル廃棄物タンクにおける爆発の別の危険性の一つとして、核分裂生成物の崩壊から来る電離放射線がタンクの水のH₂O分子を分離することによって生じる水素の蓄積によるものがある。ラマナ、ナイヤール、シエプナーは、インドの南東海岸に位置するカルパッカム再処理工場の高レベル廃棄物タンク内での水素爆発がもたらし得る事態について検討した。彼らの計算結果は、風が放射能をチェンナイ[旧マドラス]——工場の北にある人口900万の都市——の方向に運んだ場合、4万7000件の追加的ガン死が発生するというものだった¹²²。

これに比較すると、空気冷却の乾式貯蔵キャスクで使用済み燃料を貯蔵し、その後、深地下処分場に埋めるというのは、コストもリスクも低い。

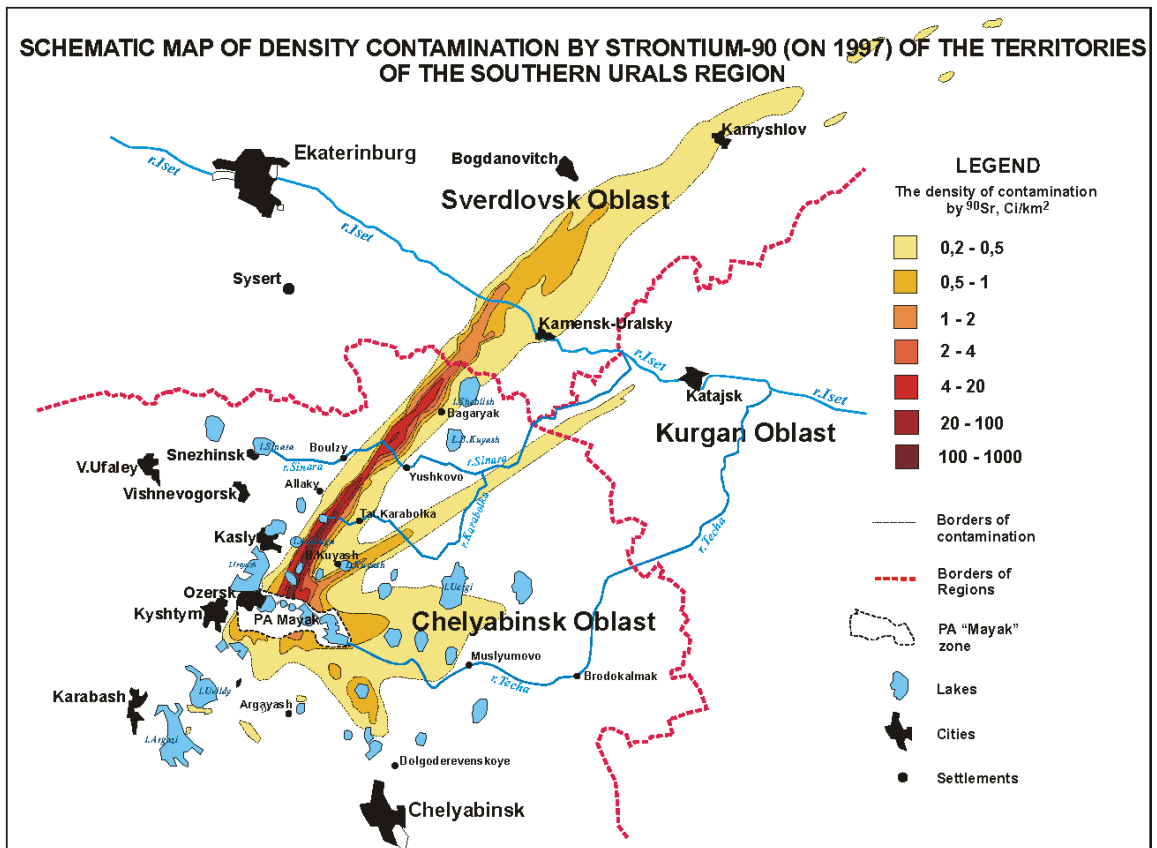


図 9 ウラルの「軌跡」 オジオルスク郊外の「マヤク生産公団」の再処理廃棄物タンクで1957年に起きた爆発(廃液の乾固による)がもたらしたストロンチウム90による汚染。高度の汚染を伴って北東方向に伸びる太くて長い「軌跡」が1957年の爆発事故によるもの。その下に伸びる細くて短い「軌跡」は、1967年春に生じた「廃液貯水湖カラチャイ」の干上がりもたらしたもの。出典:Urals Research Center for Radiation Medicine, University of Utah and Pacific Northwest National Laboratory.¹²⁰

提言

上述の議論に基づき、本報告書は、二つの提言をする。

1. 「核分裂性物質生産禁止条約(FMCT:カットオフ条約)」案の対象を広げ、軍事用だけでなく民生用も含めた如何なる目的のプルトニウム分離も禁止するものとする。それまでの間、1997年「プルトニウム管理指針」の履行を強化し、すべての未照射の民生用プルトニウムと、非軍事化された兵器用プルトニウムをIAEAの保障措置の下に置くこと。
2. 深地下処分場における「使用済み燃料直接処分vs.再処理廃棄物処分」が環境に与える危険性について国際的な科学研究を立ち上げ、分離済みプルトニウムの直接処分に関する多国間協力を進めること。

あらゆる目的のプルトニウム分離の禁止

経済的には負の価値を持つが、軍事的に利用可能なプルトニウムの世界的ストックが増えていくことがもたらす危険性は、「核分裂性物質生産禁止条約(FMCT)」案の対象範囲を広げるのが好ましいことを示唆している。同条約案は、現在の文言だと、兵器用のプルトニウム分離と高濃縮ウランの生産のみを禁止することになっている。

FMCTの交渉は、1993年の国連総会決議によって要請された。しかし、ジュネーブにおける「軍縮会議(CD)」は、10年以上に亘って、FMCTに関する交渉を他の軍備管理条約に関する交渉と関連付けようとする提案について議論し続けた。

2009年からは、交渉を進めるのに必要なコンセンサスは、パキスタンによって阻まれてきた。これは、インドが高速増殖炉計画のために分離してきた大量の原子炉級プルトニウムを兵器用に使う可能性についての懸念から来ているようだ¹²³。インドは、プルトニウム増殖炉プログラムを「戦略的」と呼び、IAEAの保障措置下に置くのを拒否することによってこの懸念を煽っている。

インドは、発電用重水炉の使用済み燃料から抽出した原子炉級プルトニウムをその「高速増殖原型炉(PFBR)」の燃料として使うことになっているが、PFBRを発電のためだけでなく、兵器級プルトニウムの製造のためにも使うつもりだというのは大いにあり得ることだ。

中国の増殖炉プログラムも、恐らく、二重目的のものだろう。

FMCT案についての交渉がすでに膠着状態にあることを考えると、禁止の対象を「あらゆる目的のプルトニウム分離」に拡大することは、交渉をさらに難しくすると論じることもできるだろう。しかし、インドと中国は民生用と軍事用のプルトニウム・プログラムをない交ぜにすることで、すでに状況を複雑にしている。この文脈においては、民生用と軍事用の両方のプルトニウム分離の禁止というのは、パキスタンの懸念解消に向けた一歩となるかもしれない。インドの増殖炉プログラムにおけるプルトニウム生産を停止させることになるからだ。フランスと日本の電力会社は、対象範囲拡大を歓迎するかもしれない——両国政府が電力会社に再処理費用を払うよう要求し経済的負担を負わせているからだ。

ここで提案しているような交渉は、予見できる将来においては可能とは見えないかもしれない。だが、伝統的なFMCT案に関する交渉がいつ可能になるかを予見することも難しい。このような状況からすると、どんな交渉にせよ、完全な禁止の方が単純で、合理的な目標と言える。

FMCT案の範囲を拡大して、すべての核兵器利用可能核分裂性物質の生産を禁止するものにするというのは、「包括的核実験禁止条約(CTBT)」の発展過程に似た状況をもたらすことになる。

1970年「核不拡散条約(NPT)」の第5条は、「平和的核爆発」を認めている。こうなっているのは、NPTが交渉されていた1960年代末に米ソ両国の核兵器設計研究所が港湾や水路を作ったり、天然ガスの「解放」のために地下の岩を砕いたり、石油や天然ガスの貯蔵用に地下空洞を作ったりなどするのに安価な方法として平和的核爆発を提唱していたからだ¹²⁴。

しかし、「包括的核実験禁止条約(CTBT)」の最終的交渉が行われた1990年代になると、平和的核爆発が環境に与える負の影響は、その便益を上回るとみなされるようになっていた。地表爆発の放射性降下物は、周辺地域からの長期的避難を必要とし、地下爆発で生じた亀裂から「解放」された天然ガスは放射性のトリチウムによる汚染で使用不能になってしまうだろうからだ。このため、CTBTの基本的義務は「核兵器のすべての実験的爆発及び他のすべての核爆発を実施しない」(not to carry out any nuclear weapon test explosion or any other nuclear explosion)(強調は筆者ら)に拡大されるべきだと合意された^{iv}。

ただし、CTBTの第8条に、どのCTBT再検討会議においても平和的核爆発問題を再訪することができるようにする条項が入れられた。どの加盟国も、「平和目的の地下核爆発」を可能にする修正を要請することができる。しかし、このような修正に対する障壁は非常に高く設定されている。修正は、加盟国の間にコンセンサスが存在する場合にのみ検討され得ると規定されている。

IPFMのもう一つの報告書は、核兵器利用可能な「高濃縮ウラン(HEU)」を使用する原子炉はすべて低濃縮ウラン使用の原子炉に転換できるから、HEUの生産はすべて禁止されるべきだと論じている¹²⁵。FMCTに「あらゆる目的のプルトニウム分離の禁止」を追加すれば、同じように、経済的に意味をなさない「民生用」プルトニウム・プログラムへの扉を完全に閉じることになる。いつでも核兵器プログラムに変身し得るプログラムへの扉だ。CTBTと同じく、FMCTにも一条を設けて、どの国も、加盟国の間で便益がリスクを上回るとのコンセンサスが存在する場合には再処理を許可する修正案の提案をしてよいと定めることができるだろう。

民生用再処理を終わらせれば、FMCTの検証コストは大幅に削減されることになる。日本のパイロット再処理工場(東海)と商業用再処理工場(六ヶ所)の両方が運転されていた時期、これらの二つの工場は、IAEAの世界全体の保障措置予算の20%を占めていた¹²⁶。英国がB-205工場の運転を停止した今、核兵器保有国は9つの運転中の非軍事的再処理工場と中国の建設中の二つの再処理工場を保有している(表3)。再処理工場ほどではないが、MOX燃料製造工場も、保障措置を実施するのに費用が掛かる。また、未照射のMOX燃料がMOX燃料使用の原発にある間は追加的な保障措置が必要となる。

1997年プルトニウム管理指針の履行の強化

再処理が中止されるまでの間は、1997年に合意した「プルトニウム管理指針」に参加している9カ国は、「指針」の「合理的作業在庫の需要を含み、可能な限り早期に受給をバランスさせることの重要性を考慮する」という規定に関連した約束の履行について話し合うために会合を開くべきだ¹²⁷。

「指針」参加の9カ国中で、民生用プルトニウム・プログラムを継続中なのは、4カ国だけだ(中国、フランス、日本、ロシア)。これらに加えて、英国(2022年7月に再処理終了)と米国(1972年に民生用再処理を終わらせたが、余剰と宣言した大量の軍事用プルトニウムを抱えている)が入っている。残りの3カ国はベルギー、ドイツ、スイスだ。最初の2カ国は、かつて、パイロットMOX工場を持っていたことがある。そして、3カ国とも英仏と再処理契約を結んでいたが、これらの契約を更新せず、それぞれ、ほとんどすべての分離済みプルトニウムをMOX燃料として処分し終えている。ベルギーとドイツの閉鎖されたMOX工場から出たプルトニウム・スクラップは、フランスのラアーグ

^{iv} 参考 「包括的核実験禁止条約(CTBT)」[日英]、日本原子力研究開発機構。
<https://www.jaea.go.jp/04/isdn/archive/ctbt/ctbt.html>

再処理工場に送られ、保管されている¹²⁸。今日、民生用再処理をしている国で欠けているのは、インドだけだ。

プルトニウムをもはや保有していない国が「指針」に参加し続けることに、他の参加国の一部から反対が出るかもしれない。しかし、残りの国々は、会合を開いて、それぞれのプルトニウム・プログラムや、それぞれの「合理的作業在庫」の定義、そして、保有量のレベルをどのようにして下げる計画か、IAEAに対してそれらの計画をどのように公式に報告するのか、などについて議論することができるだろう。

上述のように、ロシアにある分離済みプルトニウムを消費できるような民生用の需要は予想できる将来にはない。また、フランスと日本の電力会社も、軽水炉でのMOX燃料のためにプルトニウムを分離するのは途方もない浪費行為とみなしているようだから、政府が許可すればこれを喜んで中止すると思われる(日本の電力会社は再処理を心底から支持しているようなふりをしてはいるのだが)。

軍事的必要にとって余剰と宣言された核物質をIAEAの保障措置下に

2000年「核不拡散条約(NPT)」再検討会議は、その最終文書において次のような仕組みの必要性についての合意を報告している

「すべての核兵器国が、それぞれ、軍事的目的にとってもはや必要ではないと指定した核分裂性物質を、これらの物質が永久的に軍事プログラムの外に留まるよう保証するために、できる限り早期に、IAEAあるいは他の国際的な検証下に置く仕組みと、これらの物質の平和目的による処分のための仕組み¹²⁹」

同年、米ロ両国は、その「プルトニウム管理・処分協定(PMDA)」において、それぞれ、少なくとも34トンの冷戦時代からの余剰核兵器用プルトニウムを無くすこと、そして、その処理過程をIAEAによる検証下に置くことを約束した¹³⁰。2016年には、米国は、さらに6トンの米国の余剰分離済みプルトニウムがIAEAの保障措置下で処分されるようにすると約束した¹³¹。

しかし、その2016年に、ロシアのプーチン大統領は、PMDAへの参加を一時停止した。同大統領はその説明ステートメントにおいて、オバマ政権が一方的に、米国の34トンの処分方法を変更する決定を行ったことについての不満を表明した。発電用原子炉でMOX燃料として使用するという方法から、希釈・地下処分という方法への変更だ。プーチン大統領はまた、ロシアがウクライナからクリミアを奪った後に米国がロシアに制裁を加えたことも理由として挙げた¹³²。その後、ロシアは、BN-800増殖原型炉の燃料には民生用プルトニウムを使い、余剰兵器用プルトニウムは貯蔵状態に置いたままにすることを決定した¹³³。これは、ロシアがPMDAに復帰する可能性があることを意味する。IAEAによる検証も含めてだ。

残念ながら、余剰の兵器級プルトニウムを機密扱いではない形状に変換して、IAEAがその貯蔵を監視できるようにする過程は、長期に亘る遅延に見舞われてきた。米国では、ほとんどの余剰プルトニウムは、まだ、核弾頭「ピット」の機密扱いの形状にある。また、既存の施設においてはプルトニウム処理を追加できるスペースが限られている。このため、プルトニウムを取り出して、酸化物に転換し、希釈・処分するスケジュールは現在、2050年にまで亘っている¹³⁴。ロシアは、すでに、余剰核兵器用プルトニウムのほとんどをピットから取り出して、貯蔵用に2キログラムの球体に転換している。だが、ロシアは、兵器級プルトニウムの同位体組成を機密とみなしており、原子炉級プルトニウムと混ぜてからでないと、IAEAの保障措置用に提示しないとされている。

核保有国は、もっと多くのプルトニウムを軍事用使用にとって余剰と宣言するよう奨励されてしかるべきだ。米ロ両国は、それぞれ、現在の核弾頭保有量で正当化できる量よりずっと大量の兵器級プルトニウムを保有している。それぞれ、約4000発の運用状態の核弾頭に対して、38トンと88

トンだ¹³⁵。米国が38トンのプルトニウムを核兵器用として保有しているのは[9.5kg/個]、IAEAの核弾頭当たり8kgという基準から言うと、順当なものに見えるかもしれない。しかし、1965-67年に3万発の核弾頭を配備していながら、冷戦時期全体を通じて米国が生産した兵器級プルトニウムは90トン(9万kg)だけだったという事実[3kg/個]は、IAEAの基準は、先進核兵器国に関しては「気前のいい」ものだということ示唆している¹³⁶。ロシアが核兵器用に推定88トンのプルトニウムを保有しているのは、さらに度が過ぎている。

プルトニウムの安全な処分に関する国際的研究と協力

使用済み燃料vs.再処理廃棄物

プルトニウムを分離する民生用プログラムは、核兵器拡散、核テロ、核事故などの重大なリスクを生み出す。経済的正当性のない中、再処理推進派は、プルトニウムを分離して核分裂させることは、将来の深地下放射性廃棄物処分場がもたらす環境面の危険を低減すると主張している。しかし、米国とスウェーデンが行った国による大規模な研究は、主張されている環境面での利点は、取るに足らないとの結論を下している。

深地下使用済み燃料処分場がもたらす環境面での危険性に関する独立の国際的研究をすることは、1955年に「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」が創設されたのと同じような理由により、正当化できるだろう。UNSCEARは大気圏内核実験がもたらしている世界的な放射性降下物の危険性と、実験を行っている政府によるそれらの危険性の隠蔽行為とについての懸念を受けて設立された¹³⁷。

UNSCEARの報告書は、自然及び人工の両方の放射線・放射能がヒトに与える危険について評価するために書かれた。そして今も、書かれている。これらの研究は、国際的専門家チームによってなされる。これらのチームは、発行されている分析を検討し、包括的な報告書(詳細な分析を含む)を作成する¹³⁸。これらの報告書が一因となって、ロシア、英国、米国の3カ国は1963年部分的核実験禁止条約を策定し、大気圏内核実験を中止することになった¹³⁹。

UNSCEARは、使用済み燃料処分場の危険性について研究を行うのに最も適した既存の国際組織と言えよう。同委員会は、放射性核種の溶解度や、岩の亀裂や細孔を經由した移動などに関連した文献について評価し、食物連鎖を通じての移動や体内の移動、そしてその結果生じる単位摂取量当たりの線量などに関し委員会内で蓄積してきた専門知識を基に研究を進めることができるだろう。すでに、核燃料サイクルの他のすべての部分からの線量について推定している¹⁴⁰。使用済み燃料あるいは再処理廃棄物の処分場についての推定を行っていない理由は、運転中あるいは閉鎖済みの処分場が存在しないということに尽きる。しかし、処分場の漏れに関する仮想的シナリオについてこれまでになされた理論的研究について検討し、プルトニウムその他の超ウラン元素が処分場の上に住む人々に与える線量に影響を及ぼす因子について、使用済み核燃料の中にある核分裂生成物その他の放射性核種と比較して評価をすることはできるだろう。

もし、UNSCEARが、上述の米国・スウェーデン両国での政府委託の研究のように、プルトニウム分離には意味のあるレベルの環境面での利点はないとの結論を下せば、まだ再処理をしている国々に対して、国際的安全保障のためにその政策を再検討するよう促す圧力が大きくなるかもしれない。

既存のプルトニウムの直接処分

客観的に言って、すべての分離済み非核兵器用プルトニウムは廃棄物だ。なぜなら、再処理自体のコストを無視するとしても、燃料にするのにかかる費用が同等量の低濃縮ウラン燃料を作る場合よりも大きくなるからだ。

米国は、その余剰済みプルトニウムを通常の発電用原子炉のMOX燃料として処分するというプロジェクトが高くつきすぎるとしてこれを放棄した後、プルトニウムを希釈した上で深地下処分するプログラムに切り替えている。その場所は、プルトニウムに汚染された廃棄物のためにエネルギー省がニューメキシコ州で運営している深地下処分場で、「廃棄物隔離プラント(WIPP)」と呼ばれる。2020年末現在、米国は、4.5トンのプルトニウムをWIPPで処分済みだ。ほとんどがプルトニウム汚染廃棄物の中に含まれるものだ¹⁴¹。2022年4月現在、13.1トンの余剰プルトニウムを希釈してWIPPで処分する計画が許可済みとなっている(そのうちの約1トンは、上述した処分済みの4.5トンに含まれるものだ)。そして、これに追加して、さらに34トンをWIPPで処分する計画について、その実行可能性を評価するための「環境影響評価(EIS)」プロセスが進行中で、2023年度に完了する予定だ¹⁴²。

英国は、余剰プルトニウムの一部あるいは全部を溶解度の低いセラミックに「固定化」して深地下処分するための技術の試験を行っている¹⁴³。フランスは、少なくとも20トンのプルトニウムを含有する使用不能の未照射MOX燃料を蓄積してしまっている¹⁴⁴。日本は、英国で「足止め状態」にある約22トンのプルトニウムに加え、国内にも8トン以上の明確な方針のない未照射プルトニウムを抱えている¹⁴⁵。

これらの4カ国が、プルトニウム処分のために考えているそれぞれのアプローチとその見通しについて情報を共有することによって得るところは大きいだろう。そして、いずれ、ロシア、それに恐らくは他の核保有国もこれに参加することが望ましい。世界の原子力エネルギー「エスタブリッシュメント」が分離済みプルトニウムは「処分問題」であって、資源ではないと認めれば、大きな前進となるだろう。

結論

中国、フランス、インド、日本、ロシアの政府は、経済性以外の様々な理由で発電用原子炉の使用済み燃料の再処理を続けている。

中国とインドの再処理及び増殖炉プログラムの動機は、部分的には、まだ増大過程にある核兵器プログラムのために兵器級プルトニウムがもっと必要ということから来ているようだ。

フランス、日本、ロシアの場合は、民生用再処理の継続は、ウィリアム・ウォーカーの言葉を借りると、再処理がこれらの国々の政治システムの中に「定着」してしまっているという事実を反映しているように思われる¹⁴⁶。「定着性」を構成する要素としては、遠隔地における巨大な再処理工場が地元経済にとって持つ重要性、大きな計画的過ちを犯したことを認めるのを嫌がる官僚機構の性格などが挙げられる。しかし、「ゾンビ」的民生用プルトニウム・プログラムは、もはや意味のないものとなっている。増大を続ける未使用の分離済みプルトニウムが盗まれた場合に核兵器となる可能性は、余剰プルトニウム処分に関する1994年の米国科学アカデミー報告書が「今そこにある危機」と呼んだものだ¹⁴⁷。だから、プルトニウムのこれ以上の分離を終わらせるという国際的コンセンサスを形成すべき時は、とっくに過ぎているのだ。

70年にも亘って、世界全体でナトリウム冷却プルトニウム増殖炉を商業化しようとして総額1000億ドルもが投じられ、分離済み民生用プルトニウムが約300トンも蓄積されてしまったにも拘わらず、今日、運転されているプルトニウム増殖原型炉は2基だけだ。どちらもロシアにあるが、プルトニウムを燃料にしているのはそのうちの1基だけだ。ロスアトムは、3基目の建設を延期している。軽水炉との間で経済的競争力を持つものになるとの確信が持てないからだ。

フランスと日本は、その分離済みプルトニウムを軽水炉のMOX燃料の形で「リサイクル」している。両国の政府は、MOX燃料のコストは再処理コストも入れると、MOX利用がなければ使われていたはずの低濃縮ウランの場合より一桁高くなると認めている。だが、両国政府は、これまで行われた専門家による研究の結論にも拘わらず、プルトニウムを分離して高速中性子炉で核分裂させることは、使用済み燃料の長期的危険性を低減すると主張している。

プルトニウムが核兵器の材料物質でなければ、これらの国々がプルトニウム分離へのコミットメントを継続しても、他の国々は、これを、自ら招いた経済的非効率性として受け入れるということになるかもしれない。有用性の無くなった後も、軍事基地が周辺のコミュニティーに対する経済支援用として「定着」し、存在し続けているようなものだ。

しかし、プルトニウムは、その名目が「軍事用」であろうと、「民生用」であろうと、核兵器を作るのに使われ得る。そして、数キログラムで都市を破壊する潜在能力を持つ。この観点からすると、冷戦終焉後に分離され、それまでに存在していた100トンに追加された200トン(2万キログラム)の民生用プルトニウムは、国際的安全保障の脅威として認識されなければならない。

この状況は、正面から立ち向かい、対処すべきものだ。私たちの具体的な提言は以下の通りだ。

1. 「核分裂性物質カットオフ条約(FMCT)」案の対象を拡大し、あらゆる目的のプルトニウム分離を禁止すること、そして、核兵器国におけるすべての未照射の民生用及び余剰兵器用プルトニウムをIAEAの保障措置の下に置くこと
2. 深地下処分場での再処理廃棄物の処分と比較した場合に、使用済み燃料の直接処分がもたらす環境面での危険性がどの程度であるかについて国際的研究を行うこと、そして、既存の分離済みプルトニウムの直接処分に関する国際的協力を実施すること

プルトニウム分離の禁止

1993年、国連総会は、核兵器用のプルトニウムの分離と高濃縮ウランの生産の禁止(FMCT)を、国際的核軍備管理のアジェンダに載せた。FMCTに関する交渉は、再処理と高濃縮ウラン(HEU)の生産の完全な禁止について議論する機会を提供するだろう。プルトニウム分離を禁止するFMCTにした場合、包括的核実験禁止条約の場合と同じく、「どの参加国も、例外を認める修正案を提案できる」とする条項を入れることが可能だろう。ただし、修正の前提として、ベネフィットがリスクを上回るとのコンセンサスが参加国の間に存在しなければならない、とする。

2000年「核不拡散条約(NPT)」再検討会議は、さらに、「すべての核兵器国が、それぞれ、軍事的目的にとってもはや必要ではないと指定した核分裂性物質を、これらの物質が永久的に軍事プログラムの外に留まるよう保証するために、できる限り早期に、IAEAあるいは他の国際的な検証下に置く仕組み」が必要だと勧告している。すべての非核兵器用プルトニウムをシベリアンコントロールとIAEAの保障措置の下に置くことは、非核兵器国と核兵器国の民生用原子力プログラムに関する不公平を減らすことになるだろう。米ロ両国は、また、もっと多くのプルトニウムを軍事用使用にとって余剰と宣言するよう奨励されてしかるべきだ。

処分場の危険性に関する国際的研究とプルトニウムの安全な処分に関する協力

深い地下に埋められた放射性廃棄物の危険に関する一般の人々の不安を利用し、また、米国とスウェーデンにおける政府委託の研究の結論を無視して、ナトリウム冷却高速中性子炉及び再処理の推進派は、プルトニウムその他の超ウラン元素を分離して、高速中性子炉で核分裂させれば、使用済み燃料の危険の「寿命」を数百万年から数百年に短縮することができるとの神話を作り出した。

この主張に関する国際的評価を行うことは有益だろう。「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」——元々は、大気圏内核実験がもたらす世界的放射性降下物が健康に与える影響について正確に把握するために設立された——は、既存の機関の中で、この作業を実施するのに最も適しているものと言えるだろう。

民生用及び余剰の兵器用プルトニウムの直接処分の様々なオプションの研究に関する多国間の協力は有益だろう。米国は、そのプルトニウムを通常の発電用原子炉用燃料として処分するという試みに失敗した後、希釈・直接処分方式を実施中だ。英国は、「固定化」した後に深地下処分、という方法について研究している。両国は、それぞれのアプローチについて情報を共有することができるだろう。そして、いずれかの時点でフランス、日本、そして最終的には余剰プルトニウムを持つすべての国々がこれに参加できると良い。世界のすべての原子力エネルギー「エスタブリッシュメント」が分離済みプルトニウムは「処分問題」であって、資源ではないと認めれば、大きな前進となるだろう。

注

- 1 *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium*, National Academy Press, 1994, p. 1.
- 2 Alvin Weinberg, “Energy as the ultimate raw material, or problems of burning the sea and burning the rocks,” *Physics Today*, November 1959, pp. 18-25.
- 3 *Energy Technology Perspectives 2020*, OECD International Energy Agency.
- 4 1975年、IAEAは、世界全体の原子力発電容量は2000年には2089GWeになると予測した。1990年から2000年の間に平均で120GWe/年の割合で原子力発電容量が追加されていくとの見方だ。そして、「30\$/lb U₃O₈（2019年ドルで\$114）という現時点での既知及び推定埋蔵量[350万トンのウラン]は2000年頃には枯渇するだろう」と警告した。R.B. Fitts and H. Fujii, “Fuel Cycle Demand, Supply and Cost Trends,” *IAEA Bulletin* 18(1), 1975, pp. 20-24. 2021年末時点での世界全体の原子力発電容量は、394GWeだった（これには、福島事故以来運転されていない日本の容量24GWeも含まれる）。2001年からの平均伸び率は、約2GWe/年だった（日本の未使用の容量を除くと0.8 GWe/年）, *Power Reactor Information System*, IAEA. 2000年には、OECD原子力機関(NEA)が、採掘コスト\$130/kgU未満での世界のウラン資源量を1550万トンと推定している, *Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in Perspective*, OECD Nuclear Energy Agency, 2006, Figs. 6.1-6.3.
- 5 *Uranium Resources, Production and Demand*, OECD Nuclear Energy Agency, 2020, p. 14.
- 6 R.B. Fitts and H. Fujii, “Fuel Cycle Demand, Supply and Cost Trends”, *IAEA Bulletin* 18(1), 1975; *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*, IAEA, 2021; and *Power Reactor Information System*, IAEA, 2021.
- 7 For 1970-71, 1975, 1977-82, 1983-87, 1988-94, *Statistical Abstract of the United States*, United States Census Bureau 1975, Table 905; 1983, Table 1013; 1991, Table 981, 1997, Table 951. For 1996-2020, *Uranium Marketing Annual Report*, US Energy Information Administration, Table S1b. *Gross Domestic Product: Implicit Price Deflator*, Federal Reserve Economic Data. 1970-71, 1975, 1977-82, 1983-87, 1988-94年については *Statistical Abstract of the United States*, United States Census Bureau 1975, Table 905; 1983, Table 1013; 1991, Table 981, 1997, Table 951. 1996-2020年については *Uranium Marketing Annual Report*, US Energy Information Administration, Table S1b. 歴史的ドルの換算については *Gross Domestic Product: Implicit Price Deflator*, Federal Reserve Economic Data.
- 8 Walter Mitchell, III and Stanley E. Turner, *Breeder Reactors*, US Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, 1971, p. 32.
- 9 陽子の質量は中性子のものとはほぼ同じだ。従って、ビリアードの場合と同じように、一個の中性子が一個の陽子と正面衝突すると、中性子はほぼ完全に静止し、中性子のエネルギーのすべてが陽子に移ってしまう。ヘリウムを冷却材とすることも議論されたが、追求されなかった。恐らく、液体冷却材の持つ追加的な熱吸収能力がもたらす安全性上のベネフィットのためだろう。冷却材を循環させているポンプが動力を失った場合に炉心の過熱を鈍化させるからだ。
- 10 ロシアは、2021年に300-MWeの鉛冷却増殖炉BREST-OD-300の建設を始めた。 *Advanced Reactors Information System (ARIS)*, IAEA, <https://aris.iaea.org/PDF/BREST-OD-300.pdf>.
- 11 Edward Lundquist, “Liquid sodium reactor powered USS Seawolf was part of first nuclear task force,” *Defense Media Network*, 30 March 2014.
- 12 Richard G. Hewlett and Francis Duncan, *Nuclear Navy: 1946-1962*, University of Chicago Press, 1974, p. 274.
- 13 *Power Reactor Information System (PRIS)*, IAEA.
- 14 増殖炉を商業化しようとする試みの歴史の詳細については、以下を参照。 *Fast Breeder Reactor Programs: History and Status*, IPFM, 2010.
- 15 Ilia Pakhomov, “BN-600 and BN-800 Operating Experience,” Gen IV International Forum, 19 December 2018.
- 16 “Russia defers BN-1200 until after 2035,” *Nuclear Engineering International Magazine*, 2 January 2020; Anatoli Diakov and Pavel Podvig, “Construction of Russia’s BN-1200 fast-neutron reactor delayed until 2030s,” 20 August 2019.
- 17 核兵器用プルトニウムについては次を参照。 *Global Fissile Material Report 2010: Balancing the Books: Production and Stocks*, IPFM, with updates by Moritz Kütt, Zia Mian and Pavel Podvig in *SIPRI Yearbook: Armaments, Disarmament and International Security*, Stockholm International Peace Research Institute. 核弾頭の数については次を参照。 “Nuclear Notebook,” <https://thebulletin.org/nuclear-notebook/>. [著者のハンス・クリステンらによる各年の状況の要約版については、ウェブサイト核情報の「核データ」を参照。 <http://kakujo.net/ndata/index.html>.]

- 18 “Communication[s] Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium,” IAEA, <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium>.
- 19 出典: Moritz Kütt, Zia Mian and Pavel Podvig, *SIPRI Yearbook 2021*, Stockholm International Peace Research Institute, 2021, Table 10.14; David Albright, Frans Berkhout and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996*, Stockholm International Peace Research Institute, 1997, Table 6.2; P.J. Mellinger, K.M. Harmon, L.T. Lakey, *A Summary of Nuclear Fuel Reprocessing Activities Around the World*, Pacific Northwest Laboratory, PNL-4981, 1984, <https://www.osti.gov/servlets/purl/6362154>; “Facilities under agency safeguards or containing safeguarded material on 31 December 2001,” IAEA, https://www.iaea.org/sites/default/files/table_3.pdf; IAEA, https://www.iaea.org/sites/default/files/table_3.pdf; *Plutonium Separation in Nuclear Power Programs*, IPFM, 2015; *Eurochemic*, Belgoprocess, 2008, <http://www.eurochemic.be/eng/documents/Eurochemic-brochure.pdf>; Hui Zhang, “China starts construction of a second 200 MT/year reprocessing plant,” 5 May 2021; “*Nuclear Power in Italy*,” World Nuclear Association, January 2021; Nuclear Fuel Cycle, etc. Data Sheet 1, Estimation of Nuclear Fuel Cycle Cost, Japan Atomic Energy Commission, Technical Subcommittee on Nuclear Power, 2011, slide 30, http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/seimei/111110_1_e.pdf; “Test Run of a New Reprocessing Plant in Zheleznogorsk,” *IPFM Blog*, 2 June 2018, https://fissilematerials.org/blog/2018/06/test_run_of_a_new_reproce.html; Martin Forwood, Gordon MacKerron and William Walker, *Endless Trouble: Britain’s Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP)*, IPFM, 2019, <https://fissilematerials.org/library/rr19.pdf>; “*H Canyon*,” US Department of Energy, Savannah River Site, https://www.srs.gov/general/news/factsheets/srs_h_canyon.pdf.
- 20 T.B. Cochran, R.S. Norris and O.A. Bukharin, *Making the Russian Bomb: from Stalin to Yeltsin*, Westview, 1995, pp. 83-90.
- 21 *Plutonium Separation in Nuclear Power Programs*, IPFM, 2015, endnote 16.
- 22 原子力委員会「我が国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」、2018年7月31日。 <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2018/siryoy27/3-2set.pdf>
- 23 2017年末、日本は47.254トンの分離済みプルトニウムを保有と宣言している。2018年3月、玄海3号で640kgの未使用MOX燃料の照射が始まった。これにより、日本の未照射プルトニウム保有量は46.614トンへと減少した。
- 24 “Communication[s] Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium,” IAEA.
- 25 次を参照。内閣府原子力政策担当室[原子力委員会事務局]「令和2年[2020年]における我が国のプルトニウム管理状況」。 http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2021/siryoy21/1_haifu.pdf。及び、このシリーズの過去の年次報告。[各年の「管理状況」報告のリストは次を参照。「日本のプルトニウム保有量：参考」、核情報。 <http://kakujo.net/ndata/pu.jp.html#ref>]
- 26 日本原燃「再処理事業の概要」。 <https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/cycle/summary/>
- 27 日本原燃は、六ヶ所再処理工場で2006年～2008年に425トンの使用済み燃料を再処理して、3.604トンのプルトニウムを回収している。8.5kg/トンだ。回収プルトニウム状況については次を参照。内閣府原子力政策担当室「我が国のプルトニウム管理状況」。 <http://kakujo.net/ndata/pu.jp.html#ref>。六ヶ所再処理工場における使用済み燃料の再処理量の漸増計画の例としては以下を参照。原子力委員会「核燃料サイクルコストの試算」。 http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/seimei/111110_1.pdf, p.30。[処理量の漸増計画については以下にある日本原燃の計画を示した表も参照：日本のプルトニウム削減宣言の実態 核情報 2019. 6.27。 http://kakujo.net/npt/pu_rdc.html、六ヶ所再処理工場における年間プルトニウム分離量、予定再処理量・生産量] 燃焼度の高い使用済み燃料、最近取り出された使用済み燃料の場合、回収されるプルトニウムの量は幾分多くなる。例えば、燃焼度43 (53) MWt-days/kgUで、取出し後10年のプルトニウム241の崩壊の場合、工程ロスがないとして、回収されるプルトニウムの量は、約10(11)kg/tonとなる、*Plutonium Fuel: An Assessment*, OECD Nuclear Energy Agency, 1989, Table 9, <https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/1989/nea6519-plutonium-fuel.pdf>.
- 28 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/AREVA_usine_de_retraitement_de_La_Hague.jpg/2560px-AREVA_usine_de_retraitement_de_La_Hague.jpg.
- 29 “*Operations to end at Sellafield’s Magnox Reprocessing Plant*,” UK Nuclear Decommissioning Authority, 17 May 2022, <https://www.gov.uk/government/news/operations-to-end-at-sellafields-magnox-reprocessing-plant>; *Job done: Sellafield plant safely completes its mission*, GOV.UK, 19 July 2022, <https://www.gov.uk/government/news/job-done-sellafield-plant-safely-completes-its-mission>
- 30 1992年に実施されたフランスから日本——非核兵器国——への分離済みプルトニウムの輸送は国際的な問題となった、

David Sanger, "Plutonium Cargo Arrives in Japan," *New York Times*, 5 January 1993. それ以来、フランスも英国も、MOX燃料の形以外では、日本にプルトニウムを輸送していない。

- 31 *Fast Breeder Reactor Programs: History and Status*, IPFM, pp. 6-7.
- 32 「Zombi(ゾンビ)」は、よみがえった死体を意味するハイチ・フランス語だ。恐らくは、アフリカを起源とする。この単語が英語化した「Zombie」の使用は、英国人の詩人ロバート・サウジーによる1989年のブラジル史にまでさかのぼることができる。ゾンビがヒトの脳を食べるというアイデアは、1985年のホラー映画『ナイト・オブ・ザ・リビングデッド』で紹介されたようだ、*Night of the Living Dead*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Zombie>.
- 33 *World Nuclear Industry Status Report 2020*, Figure 3, <https://www.worldnuclearreport.org/-/World-Nuclear-Industry-Status-Report-2020-.html>.
- 34 *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*, IAEA, 2021, Table 3.
- 35 "Average rate of new capacity completion during 1990-2019," *Power Reactor Information System*, IAEA <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>.
- 36 *World Nuclear Industry Status Report 2020*, Figure 15.
- 37 Hans M. Kristensen and Matt Korda, "Estimated global nuclear weapons inventories, 1945-2022," Federation of Atomic Scientists, 2022, <https://fas.org/issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces/>.
- 38 *2000 Plutonium Management and Disposition Agreement between Russia and the United States, as amended by the 2010 Protocol*, <http://fissilematerials.org/library/PMDA2010.pdf>.
- 39 *2000 Plutonium Management and Disposition Agreement as amended by the 2010 Protocol*.
- 40 "Agreement Between the Government of The United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Shutdown of Plutonium Production Reactors and the Cessation of Use of Newly Produced Plutonium for Nuclear Weapons," 23 June 1994, <https://media.nti.org/pdfs/StateandRussiaReactorShutdown1994.pdf>.
- 41 *International Fuel Cycle Evaluation: Fast Breeders*, IAEA, 1980, Table 1, post-2000 oxide core.
- 42 "Communication Received from the United States of America Concerning its Policies Regarding the Management of Plutonium," IAEA, INFCIRC/549/Add.6/23, 15 October 2021.
- 43 *Fast Reactor Database 2006 Update*, IAEA, 2006, p. 30.
- 44 "Russia uses civilian reactor-grade plutonium to produce MOX fuel for BN-800," *IPFM Blog*, 29 August 2019, http://fissilematerials.org/blog/2019/08/russia_uses_civilian_reac.html; BN-800 reactor is fully loaded with MOX fuel, *IPFM blog*, SEPTEMBER 9, 2022, https://fissilematerials.org/blog/2022/09/bn-800_reactor_is_fully_l.html; Russia's BN-800 achieves full power for first time with MOX core, *Nuclear Engineering International*, 27 September 2022, <https://www.neimagazine.com/news/newsrussias-bn-800-achieves-full-power-for-first-time-with-mox-core-10038376>.
- 45 "Russia to supply HEU fuel for China's CFR-600 fast reactor," *IPFM Blog*, 10 January 2019, https://fissilematerials.org/blog/2019/01/russia_to_supply_heu_fuel_2.html.
- 46 1982年、米エネルギー省は、軽水炉の使用済み燃料の再処理を促すには、プルトニウム1グラム当たり15~35ドルの買い取り価格が必要だろうと推定した。"Information on the cost of plutonium needed to operate the Clinch River Breeder Reactor for its 5-year demonstration," US General Accounting Office, 17 September 1982, <https://www.gao.gov/assets/emd-82-128.pdf>. これは、ウラン1キログラム当たり10グラムの割合(1%)でプルトニウムを含有する使用済み燃料の場合、使用済み燃料1キログラム当たり150~350ドル(2019年ドルで、340~800ドル)となる。現在の使用済み燃料の再処理の推定コストよりずっと低い値だ。Paul Day, "High costs, proliferation concerns feed doubts over waste recycling," *Reuters*, 24 November 2021.
- 47 Susan Montoya Brown, "New Mexico sues US over proposed nuclear waste storage plans," *PBS News Hour*, 29 March 2021; and "Spent fuel facility receives NRC license days after Texas moves to ban it," *Nuclear Newswire*, 14 September 2021. Roz Brown, "Spent nuclear fuel storage facility nixed by New Mexico legislature," *Kiowa County Press*, 20 March 2023 <https://kiowacountypress.net/content/spent-nuclear-fuel-storage-facility-nixed-new-mexico-legislature%C2%A0>.
- 48 残りは、ゼネラル・エレクトリック社のモリス再処理工場(運転には至らなかった)の受け入れプールで貯蔵されている。Steven J. Maheras et al, *Preliminary Evaluation of Removing Used Nuclear Fuel from Shutdown Sites*, US Department of Energy, 2015, PNNL-22, Rev. 6, https://www.energy.gov/sites/default/files/2016/05/f31/Shutdown_Sites_Report_Sept2015_web.pdf

- 49 *Job done: Sellafield plant safely completes its mission*, GOV.UK, 19 July 2022, <https://www.gov.uk/government/news/job-done-sellafield-plant-safely-completes-its-mission>
- 50 英国の唯一の軽水炉サイズウェルBの経営者らは、何らかの形で、再処理契約を逃れ、その使用済み燃料を敷地内で貯蔵している。
- 51 Martin Forwood, Gordon MacKerron and William Walker, *Endless Trouble: Britain's Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP)*, IPFM, 2019.; and William Walker, *Nuclear Entrapment: THORP and the politics of commitment*, Institute for Public Policy Research, 1999(ウイリアム・ウォーカー [鈴木真奈美訳]『核の軛—英国はなぜ核燃料再処理から逃れられなかったのか』七つ森書館、2006年。)
- 52 ドイツの原子力発電会社は、787トンの使用済み燃料の追加的ポスト・ベースロード契約をしたのだが、後に、このうちの500トン分の契約がキャンセルされた。*Endless Trouble: Britain's Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP)*, p. 7.
- 53 *Nuclear development in the United Kingdom*, World Nuclear Association, <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/appendices/nuclear-development-in-the-united-kingdom.aspx>.
- 54 *Oxide Fuels: Preferred Option*, UK Nuclear Decommissioning Authority, June 2012, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/457789/Oxide_fuels_-_preferred_options.pdf.
- 55 オランダに残っている唯一の発電用原子炉ボルセラ(50万kWe)は、1973年に運転開始。2034年に閉鎖予定となっていたが、2022年12月政府は、2033年までの寿命を延長する計画を発表した。実現可能性について安全性当局が検討中。*Nuclear Power in the Netherlands*, World Nuclear Association, December 2022, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/netherlands.aspx>.
- 56 *The Nuclear Decommissioning Authority: progress with reducing risk at Sellafield*, UK National Auditing Office, June 2018, <https://www.nao.org.uk/report/the-nuclear-decommissioning-authority-progress-with-reducing-risk-at-sellafield/>.
- 57 George Perkovich, *India's Nuclear Bomb: The Impact on Global Proliferation*, University of California Press, 1999, p. 178.
- 58 *Past U.S. Involvement Improved Russian Nuclear Material Security, but Little Is Known about Current Conditions*, US Government Accountability Office, 2020, <https://www.gao.gov/assets/gao-20-392.pdf>.
- 59 *Effort to Reduce Russian Arsenals May Cost More, Achieve Less Than Planned*, US Government Accountability Office, 1999, <https://www.gao.gov/assets/nsiad-99-76.pdf>.
- 60 *Incident and Trafficking Database (ITDB) 2020 Fact Sheet*, IAEA. この報告書には、1993年～2019年の間に発生した高濃縮ウラン関連の12件の確認された事件、プルトニウム関連2件が入っている。IAEAは、詳細を機密とみなしている。だが、報道されたいくつかの記事の中には、もっと情報がある。例えば、以下を参照。Andrew Higgins, "Plutonium 'leaking' onto black market," *Independent*, 17 August 1994; and "Russian Police Intercept Ukraine-bound Plutonium," summary of an AFP item dated 21 February 1993, Nuclear Threat Initiative, <https://www.nti.org/analysis/articles/russian-police-intercept-ukraine-bound-plutonium/>.
- 61 Matthew Bunn, "Reducing the greatest risks of nuclear theft & terrorism," *Daedalus*, Fall 2009, pp. 112-123, https://www.amacad.org/sites/default/files/daedalus/downloads/Fa2009_On-the-Global-Nuclear-Future-1.pdf.
- 62 J. Carson Mark, "Explosive Properties of Reactor-Grade Plutonium," *Science & Global Security*, Vol. 4, 1993, pp. 111-128, <http://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs04mark.pdf>. [カーソン・マークの論文については、例えば次を参照:「原発のプルトニウムで核兵器は出来ない?出来る?—文科省vs両鈴木氏(原子力委員会委員長代理+元原子力安全委員長)」、核情報、2012年2月22日。 <http://kakujo.net/npp/kang2s.html#d4>]
- 63 *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, US Department of Energy, DOE/NN-0007, 1997, pp. 37-39, <http://ipfmlibrary.org/doe97.pdf>.
- 64 このテーマは、英国に関しては、ウイリアム・ウォーカーによって明快かつ徹底的に検討されている——次の著書、*Nuclear Entrapment: THORP and the politics of commitment*(ウイリアム・ウォーカー [鈴木真奈美訳]『核の軛—英国はなぜ核燃料再処理から逃れられなかったのか』七つ森書館、2006年)及び専門誌の論文, "Entrapment in large technology systems: institutional commitment and power relations," *Research Policy*, Vol. 29 (7-8), 2000, pp. 833-846.

- 65 中国の酒泉再処理サイトの座標:40.236° N, 97.370° E.
- 66 Hui Zhang, “China starts construction of a second 200 MT/year reprocessing plant,” *IPFM Blog*, 21 March 2021, https://fissilematerials.org/blog/2021/03/china_starts_construction.html.
- 67 “Company profile,” CNNC, http://en.cnncc.com.cn/2016-02/01/c_49164.htm. このセンテンスは、その後、掲載日を変更しないまま、削除されている。
- 68 Hui Zhang, *China’s Fissile Material Production and Stockpile*, IPFM, 2017, <http://fissilematerials.org/library/rr17.pdf>.
- 69 *Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China, 2020*, US Department of Defense, p. viii, <https://media.defense.gov/2020/Sep/01/2002488689/-1/-1/1/2020-DOD-CHINA-MILITARY-POWER-REPORT-FINAL.PDF>.
- 70 Hans M. Kristensen and Matt Korda, “China’s nuclear missile silo expansion: From minimum deterrence to medium deterrence,” *Bulletin of the Atomic Scientists*, 1 Sept. 2021.
- 71 Hans M. Kristensen and Matt Korda, “Chinese Nuclear Forces, 2021” *Bulletin of the Atomic Scientists*, 15 November 2021.
- 72 Alexander Glaser and M.V. Ramana, “Weapon-Grade Plutonium Production Potential in the Indian Prototype Fast Breeder Reactor,” *Science and Global Security* Vol. 15, 2007, pp. 85-105.
- 73 “Communication[s] Received from Certain Member States Concerning Their Policies Regarding the Management of Plutonium,” IAEA.
- 74 George Perkovich, *India’s Nuclear Bomb*, University of California Press, 1999, pp. 27-31.
- 75 インドは、重水冷却発電用原子炉の使用済み燃料のための再処理施設を三つ建設している(それぞれの設計年間処理容量:100トン・ウラン)。二つは、インド西岸ムンバイ[旧名ボンベイ]の北方約100kmのタラプール原子力発電所の近くにある(運転中なのはそのうちの新しい方の1つだけかもしれない)。残りの一つは、インド南東部の沿岸、チェンナイ[旧マドラス]の南方50km位置するカルパッカム原子力施設にある。同施設には、マドラス原子力発電所、インディラ・ガンディー原子力研究所、それに、ほとんど完成している「高速増殖原型炉(PFBR)」が含まれる。 *Plutonium Separation in Nuclear Power Programs*, IPFM, 2015, chapter 5.
- 76 “Implementation of the India-United States Joint Statement of July 18, 2005: India’s Separation Plan,” Indian Ministry of External Affairs, http://mea.gov.in/Uploads/PublicationDocs/6145.bilateral_documents-May-11-2006.pdf.
- 77 Memo to President Carter from National Security Advisor Zbigniew Brzezinski, “Japanese Nuclear Reprocessing: The Tokai Decision,” 13 August 1977, in Jimmy Carter Library, National Security Affairs – Brzezinski Materials, Country File (Tab 6), “Japan 8/77”, Box 40, <http://kakujo.net/npt/JCarterLib.pdf>. [ブレジンスキー大統領特別補佐官からカーター大統領に宛てたメモ「日本の核再処理:東海決定」(1977年8月13日)他のカーター図書館文書については、以下を参照。「再処理工場の製品で核兵器ができることを示す米国文書——1977年日米再処理交渉関係カーター図書館文書類」、核情報、2011年 4月 4日。 <http://kakujo.net/npt/crtr1977.html>]
- 78 田中伸男「東京電力は原発を大政奉還せよ！とはいえ、原子力は安全保障、国防上の理由からも必要である」『日本原子力学会誌』、2018年、259-260ページ。 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/60/5/60_259/_article/-char/ja/
- 79 David Sanger and William Broad, “Obama Unlikely to Vow No First Use of Nuclear Weapons,” *New York Times*, 5 September 2016.
- 80 佐藤行雄「差し掛けられた傘—米国の核抑止力と日本の安全保障」時事通信社、2017年、306-307ページ。
- 81 日本は、2021年末現在、9.3トンの未照射プルトニウムを国内に保有(そのうち6.5トンは酸化物あるいは硝酸溶液の状態)と報告している。内閣府原子力政策担当室「令和3年[2021年]における我が国のプルトニウム管理状況」。 <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/sitemap/pdf/kanri220712.pdf> [日本の保有するプルトニウムの各種データについては、以下を参照。「日本のプルトニウム保有量」、核情報。 <http://kakujo.net/ndata/pu.jp.html>]
- 82 “Epsilon Launch Vehicle,” Japan Aerospace Exploration Agency, <https://global.jaxa.jp/projects/rockets/epsilon/>. 固体燃料ミサイルは、軍部に好まれる。燃料注入による遅延を伴うことなく発射ができ、輸送可能であり、そのため、隠しやすいからだ。
- 83 “Orano La Hague,” Orano, <https://www.orano.group/country/china/en/our-stories/orano-la-hague>.
- 84 “Orano la Hague,” Orano, “Number 1 in nuclear materials recycling,” <https://www.orano.group/country/china/en/our-stories/orano-la-hague>.
- 85 “Melox,” Orano, <https://www.orano.group/en/expertise/orano%27s-sites-around-the-world/recycling-spent-fuel/melox/expertise>.
- 86 “EDF group’s nuclear facilities and shareholdings at 31/12/2019,” EDF France, 30 June

- 2020.
- 87 青森県『豊かで活力ある地域づくりをめざして～原子燃料サイクル施設等の立地に伴う地域振興』。
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/energy/g-richi/shinko-book.html>(「企業の立地と雇用の促進」。
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/energy/g-richi/files/2022allyutaka-4-5.pdf>)
- 88 2012年度、再処理会社の「日本原燃(JNFL)」は、青森県の「核燃税」(合計約160億円)のほとんどを占めていた。県の総
税収の14%に上る。「転機の原子力 第4部 核燃・原発マネー(2)際立つ税収」『デーリー東北』。
https://web.archive.org/web/20130120073334/http://cgi.daily-tohoku.co.jp/cgi-bin/tiiki_tokuho/kakunen/kikaku/tenki/money_02.htm。青森県「平成24年6月 青森県財政事情」。
http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/soumu/zaisei/files/zaiseijijou_201206_all.pdf。
中央政府からの助成金、日本原燃その他の原子力産業からの固定資産税は、六ヶ所村の収入の約半分を占めていた:全国市民オ
ンブズマン連絡会議『原発利益誘導によってゆがめられた地方財政』。
<http://www.ombudsman.jp/nuclear/yugami.pdf>。[上記及びその他の「核燃マネー」関連データについては以下を参
照。「用途のないプルトニウム製造を続ける「エネルギー戦略」問われる日本の反核運動の役割」、核情報、2012年9月23日。
http://kakujoho.net/npp/ene_str.html (核燃マネー問題)。http://kakujoho.net/npp/ene_str.html#dd34。]
以下も参照。Yukari Sekiguchi, “Politics and Japan’s Rokkasho Reprocessing Plant,” Center for
Strategic and International Studies, 2014, [https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-
public/legacy_files/files/publication/140912_Sekiguchi_Rokkasho_PolicyPerspectives.pdf](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/legacy_files/files/publication/140912_Sekiguchi_Rokkasho_PolicyPerspectives.pdf)。また、以下
も参照。James Acton, *Wagging the Plutonium Dog*, Carnegie Endowment for International Peace,
2015, pp. 11-12.
- 89 James Acton, *Wagging the Plutonium Dog*, pp. 12-16;「虚構の環:第1部・再処理撤退阻む壁/1(その1) 青
森・六ヶ所村、「再処理堅持」の意見書」『毎日新聞』2013年2月2日、
<http://mainichi.jp/feature/news/20130202ddm001040031000c.html>
- 90 原子力委員会「原子力政策大綱」、2005年10月11日、37ページ。
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/taikou/kettei/siryu1.pdf>
- 91 Tatiana Bulyonkova, 3 June 2010,
<https://www.flickr.com/photos/ressaure/4679726352/in/album-72157624100633981/>
- 92 それぞれの都市の人口については、Wikipediaを参照。2010年の人口調査の数字を示している。
- 93 “The government has defined the tasks of the Russian Guard in the protection of nuclear
facilities,” *Atomic Energy*, 23 March 2017, <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/05/23/76025>
(in Russian).
- 94 位置: 56.35° N, 93.647° E.
- 95 次を参照。Oleg Bukharin, “Downsizing Russia’s Nuclear Warhead Production Infrastructure,”
Nonproliferation Review, Spring 2001, [https://www.nonproliferation.org/wp-
content/uploads/npr/81bukh.pdf](https://www.nonproliferation.org/wp-content/uploads/npr/81bukh.pdf).
- 96 T.B. Cochran, R.S. Norris and O.A. Bukharin, *Making the Russian Bomb: From Stalin to Yeltsin*,
Westview Press, 1995, pp. 153-156.
- 97 *Plutonium Separation in Nuclear Power Programs*, IPFM, 2015, pp. 80-81.
- 98 “Corporate Strategy (2017),” Sellafield Ltd.,
[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/
627537/FINAL_PDF_Corporate_Strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/627537/FINAL_PDF_Corporate_Strategy.pdf).
- 99 “Strategy (2021),” Nuclear Decommissioning Authority,
[https://assets.publishing.service.gov.uk/
government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/973438/NDA_Strategy_2021_A.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/973438/NDA_Strategy_2021_A.pdf).
- 100 Adam Vaughan, “The UK’s nuclear waste could be buried underground in Cumbria,” *New
Scientist*, 4 November 2020, [https://institutions.newscientist.com/article/2258859-the-uks-
nuclear-waste-could-be-buried-underground-in-cumbria/](https://institutions.newscientist.com/article/2258859-the-uks-nuclear-waste-could-be-buried-underground-in-cumbria/).
- 101 Tommy Greene, “Nuclear storage plans for north of England stir up local opposition,” *The
Guardian*, 23 August 2021, [https://www.theguardian.com/environment/2021/aug/23/nuclear-
storage-plans-for-north-of-england-stir-up-local-opposition](https://www.theguardian.com/environment/2021/aug/23/nuclear-storage-plans-for-north-of-england-stir-up-local-opposition).
- 102 *Radioactive materials and waste Planning Act of 28 June 2006*, ANDRA, 28 June 2006, Article
6-I of Planning Act N°. 2006-739 [Article L. 542-1-2 of the Environmental Code] II.1,
<https://international.andra.fr/sites/international/files/2019-03/loi%202016.pdf>.
- 103 「特定放射性廃棄物最終処分法」、e-GOV 法令検索。[https://elaws.e-
gov.go.jp/document?lawid=412AC0000000117](https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=412AC0000000117)
- 104 著者の一人(フランク・フォンヒッペル)がこの質問をした。1993年3月、東京。

- 105 Tatsujiro Suzuki and Masafumi Takubo, "Japan's new law on funding plutonium reprocessing," *IPFM Blog*, 26 May 2016, http://fissilematerials.org/blog/2016/05/japans_new_law_on_funding.html.
- 106 しかし、同時に、フランスの放射性廃棄物機関のANDRAは、使用済み燃料が「深地下処分する放射性廃棄物」と再分類されるシナリオを検討している, *Inventaire national des matières et déchets radioactifs [National inventory of radioactive materials and waste]*, Andra, 2018, pp. 36, 62, 67, 68.
- 107 Sylvester Pivet, "Concept and Future Perspective on ASTRID Project in France," Proceedings of the Symposium on Present Status and Future Perspective for Reducing Radioactive Wastes, Tokyo, 17 February 2016, <https://www.jaea.go.jp/news/symposium/RRW2016/shiryoe06.pdf>. [仏原子力・代替エネルギー庁 革新技術・原子力支援本部長 Sylvestre Pivetによるこの発表のあった国際シンポジウム「放射性廃棄物低減に向けた現状と将来の展望 ～次世代の安心に向けた挑戦～」(2016年2月17日)の資料及び動画が以下に: <https://www.jaea.go.jp/news/symposium/RRW2016/shiryo.html>]
- 108 "France cancels ASTRID fast reactor project," *Nuclear Engineering International*, 2 September 2019, <https://www.neimagazine.com/news/newsfrance-cancels-astrid-fast-reactor-project-7394432>.
- 109 "NRA Deems JAEA Unfit to Operate FBR Monju," *Atoms in Japan*, 5 November 2015, <https://www.jaif.or.jp/en/nra-deems-jaea-unfit-to-operate-fbr-monju/>. 「規制委員会、「もんじゅ」保守管理不備を重くとらえ文科省に対し警告へ」、原子力産業協会、2015年11月4日、<https://www.jaif.or.jp/japan/151104-1/>
- 110 "Memorandum of Cooperation between the Department of Energy of the United States of America, on the One Side and the Ministry of Economy, Trade and Industry and the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan, on the Other Si...", US Department of Energy, 12 June 2019, <https://www.energy.gov/node/4813536>. [日本政府は、なぜか、この覚書の日本語訳を公表していない。]次を参照:「多目的試験炉(VTR)」日米協力覚書日本語訳不在問題——日本語訳を公表しない外務・経産・文科省」、核情報、<http://kakujo.net/npp/tpwr.html#d22>
- 111 "TerraPower signs memorandum of understanding with Japan Atomic Energy Agency and Japanese fast reactor industrials to collaborate on sodium fast reactor technology," TerraPower, 31 January 2022, <https://www.terrapower.com/terrapower-mou-jaea-sfr/>. テラパワーの再処理に関する立場には、二つの顔がある。一方では、こう宣言している: "Natrium plants will not require reprocessing and will run on a once-through fuel cycle that limits the risk of weapons proliferation [「ナトリウム」は、再処理を必要とせず、ワンス・スルー・サイクルで運転される。これは、核兵器拡散のリスクを制限する]", TerraPower, 18 May 2021, <https://www.terrapower.com/natrium-program-summary/>. もう一方では、米国エネルギー省から「[使用済み核燃料から]ウランを回収する方法」を開発するために855万ドルを受け取っている。US Department of Energy, 10 March 2022, <https://www.energy.gov/articles/doe-awards-36-million-reduce-waste-advanced-nuclear-reactors>.
- 112 *Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation*, National Academy Press, 1996, p. 3, <https://www.nap.edu/catalog/4912/nuclear-wastes-technologies-for-separations-and-transmutation>.
- 113 プルトニウムその他の超ウラン核種の溶解度の相対的低さは、これら核種が、炭素14やヨウ素129などのようなもっと溶解度の高い放射性核種と比べ、地表における存在量の上昇速度が低いことから見て取れる。
- 114 *Long-Term Safety for the Final Repository for Spent Nuclear Fuel at Forsmark: Main Report of the SR-Site Project*, SKB, March 2011, Volume 3, TR-11-01, Fig. 13-63, https://www.skb.com/publication/2345580/TR-11-01_vol3.pdf.
- 115 *Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects*, UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR], 1982, Annex D, <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/1982.html> (大気圏内核実験の総イールド[出力・威力]と核分裂イールドは、p.227の表1にある。プルトニウム、アメリカシウム、キュリウムの総放射性降下物量は、p.238の表21に示されている。様々な放射性核種からの総線量は、p.241の表30に示されている)。地下におけるプルトニウムの移送は、コロイドへの付着で観察されている。A. Wolfsberg et al, "Colloid-Facilitated Plutonium Transport in Fractured Tuffaceous Rock," *Environmental Science and Technology* Vol. 51, 2017, pp. 5582-5590, <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.7b00968>. また、植物とヒトによる摂取は、環境中にキレート化合物があると増加し得る。B. N. Vyas and K.B. Mistry, "Influence of chelating agents on the uptake of 239Pu and 241Am by plants," *Plant and Soil* Vol. 73, 1983, pp. 345-353, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02184311.pdf>.
- 116 フランク・フォンヒツペル 田窪雅文 カン・ジョンミン(姜政敏)[田窪雅文訳]『プルトニウム——原子力の夢の燃料が悪夢に』緑風出版, 2021年, 第7章, 章末注16, 17
- 117 T.B. Cochran, R.S. Norris and O.A. Bukharin, *Making the Russian Bomb: From Stalin to Yeltsin*,

Westview Press, 1995, pp. 109-113.

- 118 Zhores Medvedev, "Two decades off dissidence," *New Scientist*, 4 November 1976, pp. 264-267, <https://books.google.com/books?id=JqEhtUjqORIC&pg=PA264#v=onepage&q&f=false>. [ジョルス A.メドベージェフ (著) [梅林 宏道 訳] 『ウラルの核惨事』技術と人間、1982年]
- 119 1989年の外国人によるオジオルスクへの最初の訪問に関するジャーナリストの報告については、次を参照。R. Jeffrey Smith, "Soviets tell about nuclear plant disaster," *Washington Post*, 10 July 1989, <https://www.washingtonpost.com/archive/politics/1989/07/10/soviets-tell-about-nuclear-plant-disaster/f5f9e706-0b88-45ab-bdd9-6c92b5329cc6/>.
- 120 L.M. Peremyslova, et al, *Reconstruction of doses due to residence on the East Ural Radioactive Trace and the territory of windblown contamination from Lake Karachay*, Urals Research Center for Radiation Medicine, University of Utah and Pacific Northwest National Laboratory, 2004, <https://www.semanticscholar.org/paper/FOR-THE-RECONSTRUCTION-OF-DOSES-DUE-TO-RESIDENCE-ON-Peremyslova-Tolstykh/58aa870b2cb0589089a0ed2b36be4a923fa0066f>. 1957年の爆発事故の汚染地帯と1967年のカラチャイ湖の干上がりによる汚染地帯が重なり合う状況を示す地図については、次を参照：Ramin Ibragimov, LAKE KARACHAY AS A SOURCE OF GROUNDWATER POLLUTION, Spring 2020, <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343214/Lopputy%C3%B6.pdf?sequence=2&isAllowed=y,p.16,Figure 3>. The pattern of contamination of the territory resulting from the incidents of 1957 and 1967.
- 121 *The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk*, IAEA, 1998, <https://www.iaea.org/publications/4740/the-radiological-accident-in-the-reprocessing-plant-at-tomsk>.
- 122 M. V. Ramana, A. H. Nayyar, and Michael Schoeppner, "Nuclear High-level Waste Tank Explosions: Potential Causes and Impacts of a Hypothetical Accident at India's Kalpakkam Reprocessing Plant," *Science & Global Security*, Vol. 24(3), 2016, pp. 174-203, <http://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs24ramana.pdf>.
- 123 "Fissile Material Cutoff Treaty," Reaching Critical Will, <https://www.reachingcriticalwill.org/resources/fact-sheets/critical-issues/4737-fissile-material-cut-off-treaty>.
- 124 "Peaceful nuclear explosions," Comprehensive Test Ban Treaty Organization, <https://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/peaceful-nuclear-explosions/>.
- 125 Frank von Hippel, *Banning the Production of Highly Enriched Uranium*, IPFM, 2016, <https://fissilematerials.org/library/rr15.pdf>.
- 126 Shirley Johnson, *The Safeguards at Reprocessing Plants Under a Fissile Material (Cutoff) Treaty*, IPFM, 2009, p. 1, https://fissilematerials.org/library/2009/02/the_safeguards_at_reprocessing.html.
- 127 "Guidelines for the Management of Plutonium," IAEA. <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc549.pdf>. [IAEAによる仮訳「プルトニウム管理に関する指針」は次を参照。 <https://web.archive.org/web/20171122194536/http://www.jaea.go.jp/04/np/archive/infcirc549/guideline.html>]
- 128 英国は、2021年末現在、外国の未照射プルトニウム24.1トンを保管中と報告している。この時点で、日本は、21.8トンの分離済みプルトニウムを英国に保管と報告している。ヨーロッパのどの国、あるいは、どの国々が残りの2.3トンを所有しているのか定かではない。一方、フランスは、2021年末現在、外国の未照射プルトニウム15.0トンを保管中と報告。日本分は14.760トン。つまり、日本以外の国の所有分が0.2トンあることになる。オラノ社の資料によると、ラアーグ施設には、オランダ分とごく少量のベルギー分が存在する。
- 129 *2000 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*, Final Document, <https://www.reachingcriticalwill.org/images/documents/Disarmament-fora/npt/revcon2000/docs/2000FD.pdf>, p. 15.
- 130 *2000 Plutonium Management and Disposition Agreement*, <https://fissilematerials.org/library/PMDA2000.pdf>.
- 131 "United States Commits to IAEA Monitoring for the Verifiable Disposition of Six Metric Tons of Surplus Plutonium," US Department of Energy, 5 December 2016, <https://www.energy.gov/articles/united-states-commits-iaea-monitoring-verifiable-disposition-six-metric-tons-surplus>.
- 132 "Russia suspends implementation of plutonium disposition agreement," *IPFM Blog*, 3 October 2016, http://fissilematerials.org/blog/2016/10/russia_suspends_implement.html.

- 133 “Russia uses civilian reactor-grade plutonium to produce MOX fuel for BN-800,” *IPFM Blog*, 29 August 2019.
- 134 *Review of the Department of Energy’s Plans for Disposal of Surplus Plutonium in the Waste Isolation Pilot Plant*, National Academy Press, 2020, Figure 3-7 (p. 52).
- 135 *SIPRI Yearbook 2021*, Tables 10.1, 10.12.
- 136 “Transparency in the U.S. Nuclear Weapons Stockpile, Fact Sheet,” US State Department, 5 October 2021, <https://www.state.gov/transparency-in-the-u-s-nuclear-weapons-stockpile/>, and *Plutonium: The First 50 Years*, US Department of Energy, 1996, <https://fissilematerials.org/library/1996/02/plutonium.the.first.50.years.html>.
- 137 例えば、ランド研究所が米「原子力委員会(AEC)」と米空軍のために作成した次の研究報告を参照。*Worldwide Effects of Atomic Weapons: Project Sunshine*, RAND Corporation, 1953, <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2008/R251.pdf>.
- 138 UNSCEARの研究報告は、以下で見られる。<https://www.unscear.org>.
- 139 部分的核実験禁止条約の条文及び各国加盟日については、次を参照。“Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in the Atmosphere, in Outer Space, and Under Water,” US Department of State. [条約の外務省条約局訳は以下に。https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/database/importantdocument/disarmament_nonproliferation/no2-3]。フランスは、その大気圏内核実験を1974年に、中国は1980年に停止した。インド、パキスタン、北朝鮮の核実験はすべて地下で行われている。イスラエルは、秘密の大気圏内核実験を行ったと信じられている：Lars-Erik De Geer and Christopher M. Wright, “The 22 September 1979 Vela Incident: Radionuclide and Hydroacoustic Evidence for a Nuclear Explosion,” *Science & Global Security* Vol. 26(1), 2018, pp. 20-54.
- 140 *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*, UNSCEAR, 2016; *Sources and Effects of Ionizing Radiation* Vol. 1, Annex C , UNSCEAR, 2000,.
- 141 “Communication Received from the United States of America Concerning its Policies Regarding the Management of Plutonium,” IAEA, 15 October 2021, <https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/communication-received-certain-member-states-concerning-their-policies-regarding-management-plutonium>.
- 142 *FY 2023 Budget Justification* Vol. 1, US Department of Energy, 24 March 2022, “Material Management and Minimization: Material Disposition,” <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-04/doe-fy2023-budget-volume-1-dnn.pdf>.
- 143 *Progress on Plutonium Consolidation, Storage and Disposition*, UK Nuclear Decommissioning Authority, March 2019, <https://www.gov.uk/government/publications/progress-on-plutonium-consolidation-storage-and-disposition>.
- 144 *Plutonium Separation in Nuclear Power Programs*, IPFM, 2015, pp. 37-38.
- 145 このプルトニウムは、酸化物及び硝酸溶液に入った6トン以上、それに、もはや運転されない原子炉(もんじゅ増殖炉)、あるいは、運転されないかもしれない原子炉(常陽増殖実験炉及び柏崎刈羽3号炉)のために製造された、あるいは、部分的に製造された燃料に入っている最大2トンを含む。内閣府原子力政策担当室「令和3年[2021年]における我が国のプルトニウム管理状況」、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/sitemap/pdf/kanri220712.pdf>
- 146 William Walker, “Entrapment in large technology systems: institutional commitment and power relations.”
- 147 *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium*, p. 1.

著者紹介

フランク・N・フォンヒッペル(Frank N. von Hippel) プリンストン大学「科学・世界安全保障プログラム(SGS)」公共・国際問題名誉教授。核分裂性物質政策問題に40年にわたって関わってきた。IPFM、SGS及び専門誌『科学と世界安全保障』を共同創設。1983年－89年、ゴルバチョフ大統領の軍縮問題アドバイザー、エフゲニー・ベリホフと共同で、軍拡競争を終わらせるための各種措置を提案。1993－94年、ホワイトハウス「科学・技術政策局」国家安全保障担当次官を務め、米ロ協調核セキュリティ・プログラムの開始に貢献すると共にプルトニウム処分に関わる省庁間グループを指揮。

田窪雅文 東京に拠点を置く研究者。プリンストン大学「科学・世界安全保障プログラム(SGS)」コンサルタント。2004年よりウェブサイト「核情報」(<http://kakujo.net/>)を主宰。原水爆禁止日本国民会議(原水禁)に約30年にわたってかかわってきた経験を持つ(国際部門などを担当)。世界の核兵器問題の他、使用済み燃料問題を始め、日本の核・原子力政策に関する論文多数。IPFMの日本メンバーの一人。

フォンヒッペルと田窪は、元韓国原子力安全委員会(NSSC)委員長のカン・ジョンミン(姜政敏)とともに、*Plutonium: How Nuclear Power's Dream Fuel Became a Nightmare* (Springer, 2019)[田窪雅文訳『プルトニウム——原子力の夢の燃料が悪夢に』緑風出版 2021年]を共同執筆。

謝辞

本報告書は、IPFMのこれまでの報告書を基礎としている。例えば、*Fast Breeder Reactor Programs: History and Status* (2010)[『高速増殖炉プログラム：歴史と現状(2010)』]や、*Plutonium Separation in Nuclear Power Programs* (2015)[『原子力プログラムにおけるプルトニウムの分離』]だ。また、*Plutonium: How Nuclear Power's Dream Fuel Became a Nightmare* (Springer, 2019)[田窪雅文訳『プルトニウム——原子力の夢の燃料が悪夢に』緑風出版 2021年]にも立脚している。最後になったが、草稿についてIPFMの様々なメンバーから極めて有益なコメントを得ることができた——特に、ジア・ミアン、パヴェル・ポドヴィッグ、M・V・ラマナ、マイケル・シュナイダー、鈴木達治郎、ウィリアム・ウォーカー、張会(Zhang, Hui)から。

翻訳について

本報告書は、「核分裂性物質に関する国際パネル(IPFM)」のResearch Report No. 20” Banning Plutonium Separation”(July 2022)、<https://fissilematerials.org/library/r20.pdf>、の全訳である。ただし、共著者同士の合意の下、新しい情報を入れた改訂版となっている。

原文は、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス(クレジット表示・非営利)の下に出版されている。同ライセンスについては、次を参照:「クリエイティブ・コモンズ・ライセンスとは」、<https://creativecommons.jp/licenses/#licenses>。

NPO法人原子力資料室はIPFMとの合意に基づき、日本語版を作成した。



〒164-0011 東京都中野区中央 2-48-4 小倉ビル 1 階
TEL.03-6821-3211 FAX.03-5358-9791
URL: <https://cnic.jp/>
<https://cnic.jp/english/>

2023年7月 初版発行