

## <概要>

米国は、ロシアとの戦略兵器削減合意（START）に伴って発生する解体核・その他の余剰プルトニウム約50トンを廃棄処分することを2000年1月に決定した。2000年9月に締結された米露間協定では、それぞれが34トンの余剰プルトニウム処分を行うことが合意された。処分方法については、当初クリントン政権下で、MOX燃料にして原子炉で燃焼後埋設処分する方法と、高レベル廃棄物と混載固定化し埋設処分する方法の二つを併用する、いわゆるハイブリッド方式が検討されてきた。しかし、その後のブッシュ政権誕生による計画の見直しにより、2002年1月に後者の固定化処分のオプションは棄却し、MOX燃料の燃焼処分方式に一本化することが決定された。

燃焼処分について、エネルギー省は1999年3月、デューク・パワーとフランス核燃料サイクル会社COGEMAを主体とする合同事業体DCSと委託契約して、サバンナリバーにMOX燃料加工施設（MFFF）を2007年から建設している。MFFFの建設は2013年頃から予算超過とスケジュールの遅延が表面化し、国家核安全保障庁はより効率的な処分オプションを検討することになった。

## <更新年月>

2016年01月

## <本文>

### 1. 米露の核兵器削減と解体核処分

米露は1993年1月、第二次戦略兵器削減条約（START-II）に調印して、核兵器削減・核弾頭解体・解体核処分の動きが始まった。すなわち、両国は2003年までに戦略核兵器を3,500発程度に削減することを条約で合意し、それぞれ大統領声明で核弾頭を解体し、余剰核物質を処分することを国際的に公約した。

2000年9月に米露は余剰兵器級プルトニウムの管理処分について二国間協定「余剰核兵器解体プルトニウム管理処分協定」（PMDA；Plutonium Management and Disposition Agreement）に調印し、余剰プルトニウムに関しては両国が34トンずつ、計68トンの処分に合意し、2007年までに夫々最小限年間2トンの産業規模の処理能力を目指すことにした。

この二国間合意に先立ち米国は、1990年に核弾頭解体を始め、保有していた約23,000発の核弾頭のうち13,300発の解体を2001年までに終えた。2001年11月にワシントンで開かれた米露首脳会議で、米国は次の10年間にさらに核兵器削減を進めることを提案した。これを受け、2002年5月のモスクワにおける首脳会議の席上で、2012年12月末までに米露ともに核兵器を1,700～2,200発レベルに削減する協定が締結された。図1に米露の核兵器在庫量の推移を示す。

2001年9月11日の同時多発テロ事件以降、特にロシアにおける兵器級核物質（高濃縮ウランおよび兵器級プルトニウム）の取り扱いに関する安全保障上の国際的懸念が高まり、2002年6月にカナダのカナダスキスで開かれた先進8カ国首脳会議（G-8）では、核兵器や生物・化学兵器などの拡散防止のための新たな取り組み「大量破壊兵器・物質の拡散防止に向けたG-8グローバル・パートナーシップ」が合意された。この中で、主にロシアにおける兵器級核物質の処分、原潜解体、化学兵器の廃棄、その他核拡散防止やテロ防止などの対策の円滑な推進を財政的に支援するため、今後10年間で最高200億ドルの資金調達を行うことが合意され、米国はその半分を負担する意向を表明した。

核弾頭解体で発生する余剰核物質のうち高濃縮ウランについては、天然ウラン等で希釈してU-235の濃度を下げることにより、核兵器に利用できない形態に比較的容易に変換でき、希釈後

のウランは発電炉の燃料として利用可能になる。一方、兵器級プルトニウムに関しては同位体希釈ができない上、それを利用するマーケットが存在しないことから処理処分が簡単ではない。米国の余剰プルトニウム処分計画は国家安全保障問題であり、ロシアとの軍縮交渉の課題であった。

## 2. 米国の余剰プルトニウム処分計画

米国は1995年3月、史上初めて余剰兵器級プルトニウム38.2トンの軍用備蓄の解除を公表したが、その後の追加14.5トンを併せて、2001年時点52.5トン（兵器級38.2トン、非兵器級14.3トン）を余剰プルトニウムとしている（図2）。この余剰プルトニウムの処分に関し、クリントン政権下のエネルギー省（DOE）は、2000年1月、余剰兵器級プルトニウム約17トンをセラミックスまたはガラス固化した上で高レベル放射性廃棄物と混載し、ステンレス鋼製キャニスターに封入して地層処分する方法（固定化処分）と、余剰プルトニウム約33トンをMOX燃料に加工して、原子炉で燃焼させたのち使用済燃料として地層処分する方法（原子炉燃焼処分：註1）の二つを併用するハイブリッド方式（図3）を採用することにし、合計50トンの処分計画を決定した。この余剰プルトニウム処分計画には2022年まで22年の期間と、総額61億ドル（2001年ドル）の費用が見積られた。

しかし、2001年1月、ブッシュ政権が誕生し、予算削減、対口交渉、テロ対策等の視点から大幅な計画見直しを行なった結果、2002年1月に、固定化処分方式を廃止し、MOX燃焼方式に一本化して34トンの余剰プルトニウム処分を行う新計画を発表した。この変更により、処分コストの総額は38.4億ドル（2001年ドル）に圧縮され、また実施期間も20年間に短縮される見通しとなった。

なお、ロシアのプルトニウム処分に関しては、当初ロシア型加圧水型軽水炉VVER-1000での燃焼処分に合意していた。しかし、軽水炉を利用することはロシアの原子力発電戦略と矛盾し、経済的にも実行が困難であることから、2007年11月の米露共同声明によってロシアのプルトニウム処分は高速炉（BN-600、BN-800）を用いて行われ、プルトニウム処分への適用を目的とした高温ガス炉の研究開発が合意された。これは、2011年に発効したPMDAの改定議定書に反映された。

## 3. 米国のプルトニウム政策

米国のプルトニウム政策について言えば、余剰プルトニウムの原子炉燃焼も「米国はプルトニウムの民間利用を勧めず、従って自国で原子力発電・核爆発いずれの目的でもプルトニウム再処理を行うことはない」という従来のプルトニウム政策を変更するものではないとしており、他の民間利用やプルトニウム再処理に発展することがないよう最大限に考慮された。即ち、プルトニウム燃料は政府施設で加工して、原子炉燃焼もワンスルーに限っており、使用済燃料は再処理せず地層処分にすることにしている。また、新設する核弾頭解体転換施設およびMOX燃料加工施設は、余剰プルトニウムの処分計画が終わり次第解体されることとなった。

## 4. 原子炉燃焼処分

1998年7月、エネルギー省は核弾頭の金属プルトニウムを酸化プルトニウムに転換する施設と、転換後の酸化プルトニウムでMOX燃料を作る燃料加工施設を政府所有地に建設することにし、建設用地としてサバンナリバーを選択した。核弾頭プルトニウム転換施設の設計については、エネルギー省は1999年8月、レイセオンと契約を締結した（約4,400万ドル）。また、MOX燃料加工施設の建設・操業と原子炉での燃焼に関しては、デューク・パワー社、米国COGEMA、ストーン&ウェブスターの3社の合同事業体であるDCS（2006年8月にCB&Iアレバ・MOXサービス社に社名変更）に行わせることとし、1999年3月にそれらの設計・許認可に関する契約を締結した（約1億3,000万ドル）。米国COGEMAは、MOX燃料加工の世界的大手であるフランスCOGEMA（現、AREVA NC）の子会社であり、米国はヨーロッパMOX燃料技術の導入を図ろうというものであった（註2）。他方、ストーン&ウェブスターは、かねてエネルギー省のプルトニウム関連業務を請け負っており、そうした技術経験を生かすことになる。

この合同事業体DCSはデューク電力を下請にしており、デューク電力が所有するカトーバ原子力発電所1・2号機およびマクガイア原子力発電所1・2号機の4基の原子炉でプルトニウム富化度3～5%のMOX燃料を炉心の33～40%装荷して燃焼させることを予定した。DCSはMOX燃料加工施設の環境報告書を2000年12月に、また建設許可申請を2001年2月に原子力規制委員会（NRC）に提出し、これらを受けて、NRCは最終環境影響評価書を2003年8月に、最終安全評価報告書を2003年9月に公表し、2003年10月にはMOX燃料加工施設の建設が開始されることになった（図4参照）。

この処分計画には、本格処理に先立ち、4体の先行試験燃料集合体（LTA：Lead Test Assembly）を製造し、予定されている4基の原子炉のいずれかで先行照射する計画が含まれた。なお、MOX燃料の製造については、2002年12月に成立した国防予算承認両院協議会法で、2009

年末までに1トン、また2019年1月1日までに34トン全てを製造し終わることが要求された。

この他、エネルギー省は、カナダのCANDU（重水炉）を利用する加露米3国間国際協力（パラレックス計画）も検討していたが、国内に十分な原子炉容量が得られる見通しが立ったので、自国の余剰プルトニウム処分としてはこのオプションを放棄した。

## 5. 経過

### 5. 1 先行試験燃料集合体（LTA）による燃焼試験

2007年から2022年にかけて予定されている25トンのプルトニウム燃焼計画のフィージビリティ・スタディーを行うため、カトーバ（PWR、2基×120.5万kW）およびマクガイア（PWR、2基×122万kW）の原子炉に対し以下の3段階から成る照射計画（MRIP）の検討を開始した。第一段階としてMOX燃料の主管理目標を設定し、第二段階で目標を達成させるためのMOX燃料装荷炉心設計に取組み、第三段階で「Casm0-4」や「Simulate-3」などのMOX燃料解析コードにより想定条件や制約条件の検証を行った。条件として使用プルトニウムは核兵器級燃料物質（Pu-240の割合が7%以下）の同位体組成を考慮すること、MOX燃料装荷量は40%以下、MOX燃料最低燃焼度20MWd/kg、集合体平均で45MWd/kg以下、ピーク時燃焼度50MWd/kg以下に設定するなどである。

また、軽水炉でのMOX燃料の燃焼にあたり、実際の核解体プルトニウムを使った実規模LTA照射試験がNRCの認可手続き上必要であることから、2005年4月に認可を受けたデューク・エナジー社が4体のLTAをカトーバ原子力発電所1号機に装荷し、18ヶ月運転サイクル2回の照射試験を実施した。その後、5本の燃料棒がオークリッジ国立研究所で照射後試験に供された。なお、LTAはロスアラモス国立研究所の米国産プルトニウム140kgを使用してフランスCOGEMA社がカダラッシュEURAFAB工場でペレットに成型加工し、燃料棒に充填された後、マルクールにあるMELOX工場で燃料集合体4体に組み立てられたMOX燃料である。

### 5. 2 MOX燃料加工施設（MFFF：Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility）の建設

2011年7月に発効した改定PMDAでは米・露両国が2018年にプルトニウム処分を開始することが求められている。米国では、発電炉で照射（燃焼）するMOX燃料の加工施設（MFFF）の建設を2007年から開始した（サバンナリバー・サイト、2016年完成予定、工費見積額49億ドル）。しかし、2012年度の政府会計院では77億ドルが加算され、操業開始も早くて2019年と見積られた。さらに2013年度にはMFFF及びこれに付随した「廃棄物固化棟（WEB）」の建設コストを83億ドル、15年間の運転費を年間6.4億ドル、プルトニウム34トンの処理費用総額を180億ドルと見積もった。コスト上昇の要因は、MOX製品の品質保証基準を満たすための「湿式精製エリア」の確保、米国安全・セキュリティ規制強化に伴う施設の再設計、原発建設活発化による人件費の高騰が挙げられている。

このような予算超過とスケジュール遅延が表面化すると、より効率的な処分オプションを検討することが必要となった。国家核安全保障庁（NNSA）は2014年4月、MOXオプションに加え、4つの予備的なオプション（高速炉、固定化、希釈後処分、深試錐孔処分）を比較した報告書を発表している（表1参照）。

（1）高速炉での照射・・・液体ナトリウム冷却高速中性子炉を1～2基建設後、燃料照射

（2）固定化・・・再処理廃棄物のガラス固化体の中にプルトニウムを埋め込む「キャン・イン・キャニスター」アプローチ

（3）希釈処分・・・希釈化と廃棄物隔離パイロット・プラント（WIPP；Waste Isolation Pilot Plant, New Mexico）での処分

（4）深試錐孔処分・・・最大5キロメートルの深さのボアホール（超深坑）での処分

コスト評価についてみると（3）の希釈処分が最も低額である。希釈処分研究は、エネルギー省が2011年から小規模な形で進めてきた。サバンナリバー・サイトで貯蔵されているプルトニウム酸化物粉末0.685トン（長さ15センチのパイプに入れ、これを容量200リットルのドラム缶の中心部に設置するというもので、プルトニウム酸化物粉末を取り出してパイプ内で希釈材と混ぜる作業は、グローブ・ボックス内で行われる。ドラム缶・パイプ容器を「臨界制御オーバーパック」容器とした場合、ドラム缶1本当たりの核分裂性同位体（Pu-239）は380グラムとされ、MOX処分コストの約10分の1に相当する。ただし、WIPPへの搬入に関しては、法的な容量制限を増やさない限り、余剰プルトニウム約50トンのうち、13トンしか収容できないとした。技術上のリスクは低いものの、処分計画を変更するには、ロシアとの追加的合意や政府・議会・地元による承認、法・規制面での大幅な変更など課題も大きい。

なお、サバンナリバー・サイトのMFFF建設は、2014年度以降大幅に予算が縮小され（表2参照）、コールド・スタンバイ状態となった。サウス・カロライナ州は、MFFFが2014年までに運転開始しない場合、少なくとも1トンのプルトニウムを2016年までにサバンナリバー・サイトから搬出し、2002年4月以降の搬入したプルトニウムは全て2022年までに搬出することを要求して



いる。

（註1）1992年に米国科学アカデミーはエネルギー省の要請でプルトニウム処分の検討を始め、1994年に余剰プルトニウムをウランと混合して燃料に加工し、原子炉で燃焼させる、いわゆるMOX燃料方式（原子炉燃焼処分方式）を答申した。

（註2）米国では1977年、カーター大統領の原子力政策によってプルトニウムの民間利用を禁止したので、今日、同国に産業規模のMOX燃料技術が育っていない。

（前回更新：2003年1月）

---

### <関連タイトル>

米国における放射性廃棄物処理・処分の現状 (05-01-03-27)

START（戦略兵器削減条約） (13-04-01-08)

アメリカの核燃料サイクル (14-04-01-05)

核兵器解体による余剰プルトニウム問題と米国の対応 (14-04-01-23)

ロシアの核兵器解体プルトニウムの処分と高速増殖炉BN600 (14-06-01-25)

---

### <参考文献>

（1）U. S. DOE : "U. S. Department of Energy Strategic Plan", DOE/PO-0053, Washington, D. C. , September 1997

（2）U. S. DOE : "Record of Decision for the Surplus Plutonium Disposition Environmental Impact Statement", DOE/EIS-0283, Washington, D. C. , January 2000

（3）U. S. DOE : "Budget Justification and Supporting Documents", 2001-DOE/CR-0060 Vol. 1, Washington, D. C. , February 2000

（4）U. S. DOE : "Prepared Remarks by the Office of Fissile Material Disposition to the 3rd Annual JNC International Forum", Tokyo, February 21-22, 2001

（5）国家核安全保障庁（NNSA） : The United States Plutonium Balance, 1944-2009 An update of Plutonium : The First 50 Years, DOE/DP-0137, February 1996、2012年6月、<https://www.fas.org/sgp/othergov/doe/balance.pdf>

（6）三菱総合研究所 原子力安全研究本部：平成26年度発電用原子炉等利用環境調査（新興国における原子力政策・産業動向及び核不拡散・核セキュリティに関する海外動向調査）報告書、2015年3月、[http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2015fy/000726.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000726.pdf)

（7）米国エネルギー省（DOE）プルトニウム処分作業部会：Analysis of Surplus Weapon-Grade Plutonium Disposition Options、2014年4月、<http://fissilematerials.org/library/doe14a.pdf>

（8）国連NPT Review Conference : GLOBAL FISSILE MATERIAL REPORT 2015 NUCLEAR WEAPON AND FISSILE MATERIAL STOCKPILES AND PRODUCTION、2015年5月、<http://fissilematerials.org/library/ipfm15.pdf>

（9）核分裂性物質に関する国際パネル（IPFM） : MOX利用に代わる道—分離済みプルトニウムの直接処分のオプション、2015年4月、<http://fissilematerials.org/library/rr13j.pdf>

---

表1 米国の余剰プルトニウム処分オプション分析評価

オプション	軽水炉での MOX燃料照射	高速炉での プルトニウム燃料照射	高レベル廃棄物の セラミックス固化 あるいはガラス固化	希釈処分	深部掘削坑処分 (ディープボアホール)
国際コミットメント 等	PMDAIに沿う処分方法	PMDA共同協議 委員会での合意が必要	追加的なロシアとの 合意が必要	追加的なロシアとの 合意が必要	追加的なロシアとの 合意が必要
技術的実現可能性	・既にあるプラントと操業 実績のため、プロセスリ スクは低い、高度で 複雑な原子力施設建設 であるためのリスクがあ る	・高速炉の建設と設計に 関する問題 ・燃料製造施設について の不確実性あり	・can-in-canister技術に ついての地層処分に関 する不確実性あり ・廃棄物処理固化計画は まだ最終決定していな い	・前例があり、現状操業 に関連してのリスクは低い ・追加的なグローブボック スが必要だが、技術的 な必要要件については 既に判明している	・ボアホールを掘削するこ とは技術的に可能 ・廃棄物と設定される技術 要件についてはこれから 決定 ・更なる研究開発が必要
最終的総コスト (埋設管理費用)	251.2億ドル (310億ドル)	504.5億ドル (580億ドル)	286.5億ドル (360億ドル)	87.8億ドル (160億ドル)	詳細未定のため推定不可
処分開始時期	2028年	2033年	2039年	2019年	2048年
処分完了時期	2043年 リスク大	2075年 リスク大 高速炉技術 開発に依存	2060年	2046年 リスク最小	2051年(推定)
その他	NRCライセンス手続きはす でいくつか完了	NRCによる炉と燃料に関す るライセンス手続きが必要	ワシントン州と廃棄物処理固 化計画実施についての協定 なし	WIPPIに関する法令につい て修正が必要	廃棄物形態の要件に関する 規制が必要

下記の出所をもとに作成した。

[出所]米国エネルギー省(DOE)プルトニウム処分作業部会: Analysis of Surplus Weapon-Grade Plutonium Disposition Options、2014年4月、  
<http://fissilematerials.org/library/doe14a.pdf>、p.26 および p.35

表2 NNSA国防核不拡散プログラムの予算比較(FY2013～FY2016)

	FY2013	FY2014		FY2015		FY2016	差額 ②－①	比率 ②/① %
	歳出額	DOE 要求額	歳出額	DOE 要求額	歳出額 ①	DOE 要求額②		
不拡散・検証R&D	356,150	388,838	398,838	360,808	393,401	419,333	25,932	106.6
不拡散・国際安全保障 (NIS)	110,000	141,675	128,675	141,359	141,359	139,124	-2,235	98.4
国際物質防護・協力 (IMPC)	571,639	369,625	419,625	305,467	270,911	260,581	-10,330	96.2
米国プルトニウム処分	205,632	157,557	157,557	85,000	60,000	50,504	-9,496	84.2
米国ウラン処分	26,000	25,000	25,000	25,000	25,000	31,080	6,080	124.3
MFFF建設	452,754	320,000	343,500	201,125	345,000	345,000	0	100.0
WSB建設	17,582							
ロシア余剰物質処分	1,000					1,000	1,000	
核分裂性物質処分 小計	702,968	502,557	526,057	311,125	430,000	427,584	-2,416	99.4
HEU炉転換		162,000	162,000	122,383	119,383	115,000	-4,383	96.3
国際物質撤去・防護		155,000	200,102	132,473	117,737	175,156	57,419	148.8
国内物質撤去・防護		107,487	80,000	78,632	88,632	92,593	3,961	104.5
GTRI	500,000	424,487	442,102	333,488	325,752	382,749	56,997	117.5
委託契約者年金レガシー費用	55,823	93,703	93,703	102,909	102,909	94,617	-8,292	91.9
核事故対応		181,293				175,101	175,101	
テロ・拡散対抗プログラム		74,666				59,289	59,289	
NCIR* 小計		255,959				234,390	234,390	
前年残高利用等	137,723	-36,702	-55,000	0	-22,963	-18,076	4,887	78.7
国防核不拡散 (DNN) 合計	2,434,303	1,884,183	1,954,000	1,555,156	1,641,369	1,705,912	64,543	103.9
核事故対応	253,015	181,293	228,243	173,440	177,940	175,101	-2,839	98.4
テロ・拡散対抗プログラム	0	74,666	0	76,901	46,093	59,289	13,196	128.6
NCIR* 小計	253,015	255,959	228,243	250,341	224,033	234,390	10,357	104.6
その他	7,324,326	7,868,409	7,616,757	8,064,561	8,007,737	8,846,948	839,211	110.5
兵器活動 合計	7,577,341	8,124,368	7,845,000	8,314,902	8,231,770	9,081,338	849,568	110.3
海軍炉	1,080,000	1,246,134	1,095,000	1,377,100	1,238,500	1,375,496	136,996	111.1
長官室・その他	410,000	397,784	377,000	410,842	370,000	402,654	32,654	108.8
NNSA 総合計	11,501,644	11,652,469	11,271,000	11,658,000	11,481,639	12,565,400	1,083,761	109.4

[出所]三菱総合研究所 原子力安全研究本部:平成26年度発電用原子炉等利用環境調査(新興国における原子力政策・産業動向及び核不拡散・核セキュリティに関する海外動向調査)報告書、2015年3月、[http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2015fy/000726.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000726.pdf)、p.292



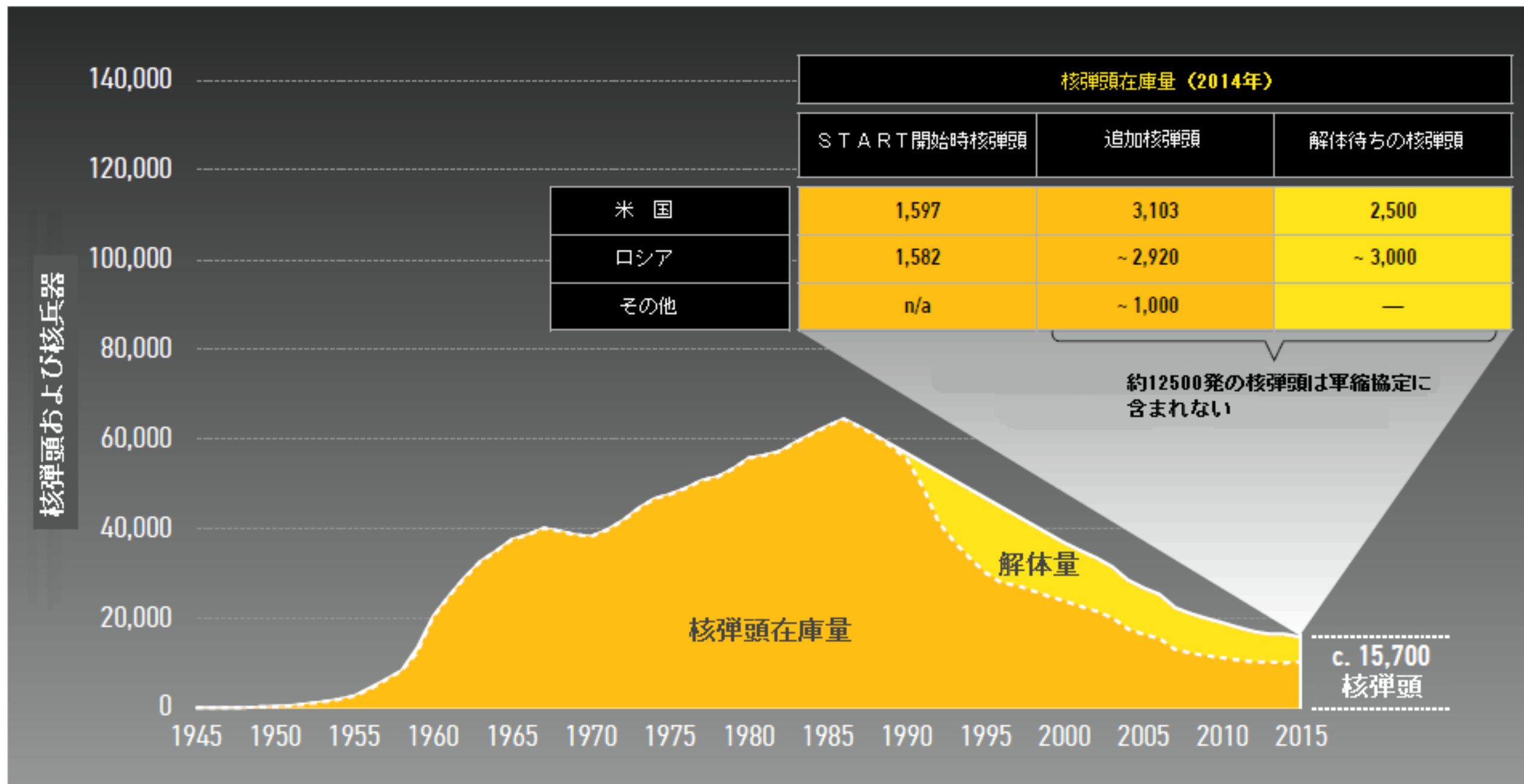
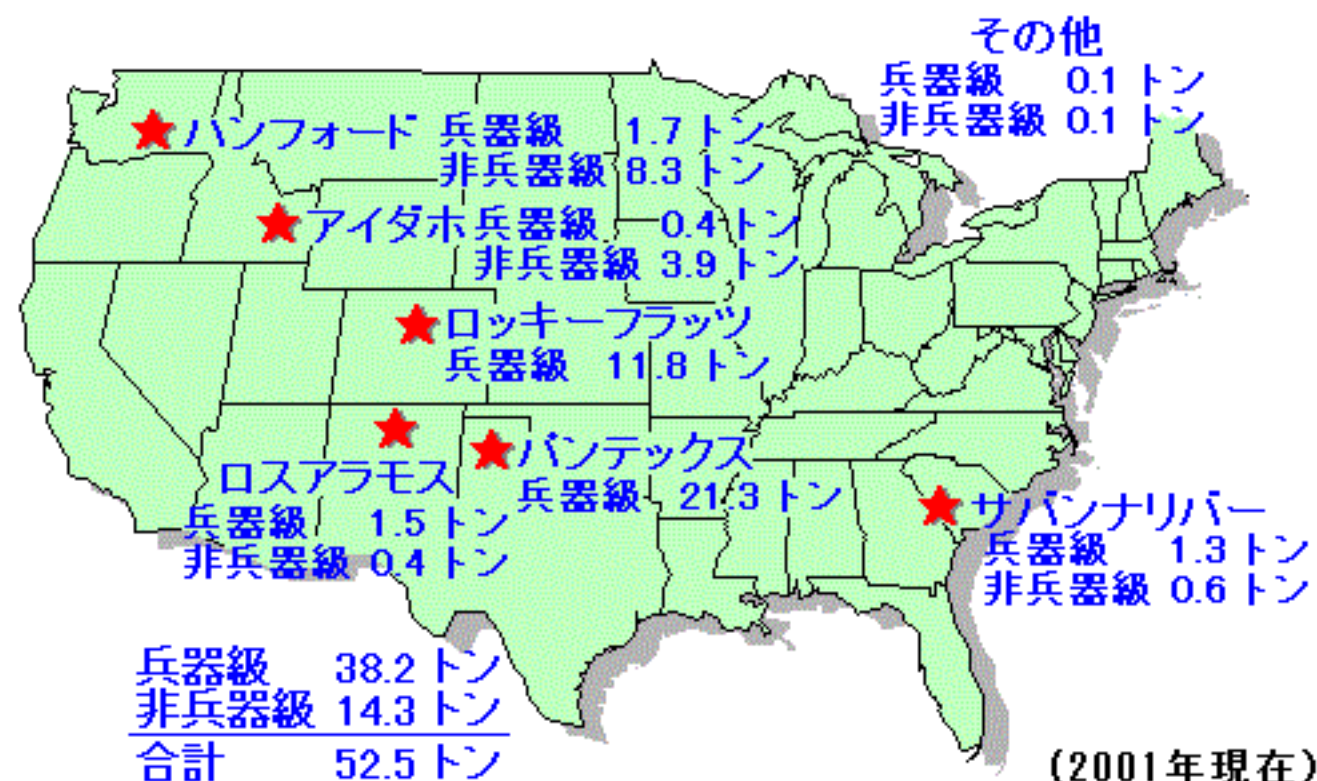


図1 米露の核兵器在庫量の推移

下記の出所をもとに作成した。

[出所] 国連NPT Review Conference: GLOBAL FISSILE MATERIAL REPORT 2015  
 NUCLEAR WEAPON AND FISSILE MATERIAL STOCKPILES AND PRODUCTION、2015年5月、  
<http://fissilematerials.org/library/ipfm15.pdf>、p.7



（単位：メトリックトン）

場所	用途	1994年	2009年	変動
バンテックス	組立・解体	21.3	23.4	2.1
ハンフォード	プルトニウム製造	1.7	0.3	-1.4
アイダホ・サイト	研究	0.4	0.0	-0.4
ロスアラモス	部品製造	1.5	1.2	-0.3
ロッキーフラット	部品製造	11.9	0.0	-11.9
サバンナリバー	プルトニウム製造	1.3	8.8	7.5
その他		0.1	0.7	0.6
余剰プルトニウム		38.2	34.4	-3.8
追加余剰量			9.0	9.0
合計		38.2	43.4	5.2

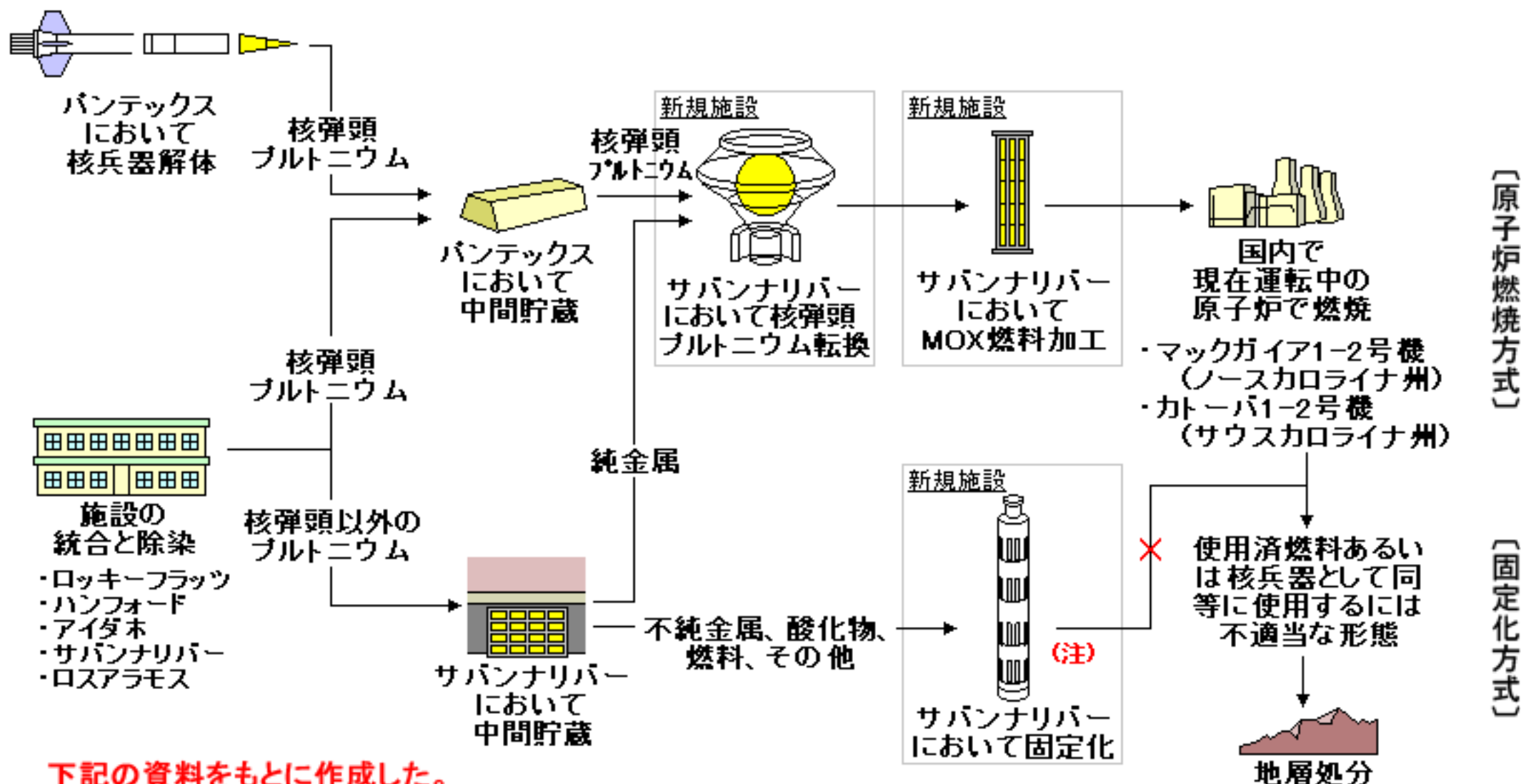
## 図2 米国の余剰プルトニウム

下記の出所等をもとに作成した。

[資料提供] Office of Fissile Material Disposition、Office of Defense Nuclear Nonproliferation、National Nuclear Security Administration、U.S. DEPARTMENT of ENERGY

[出所] 国家核安全保障庁(NNSA): The United States Plutonium Balance, 1944-2009 An update of Plutonium: The First 50 Years, DOE/DP-0137, February 1996、2012年6月、<https://www.fas.org/sgp/othergov/doe/balance.pdf>、p.8、14



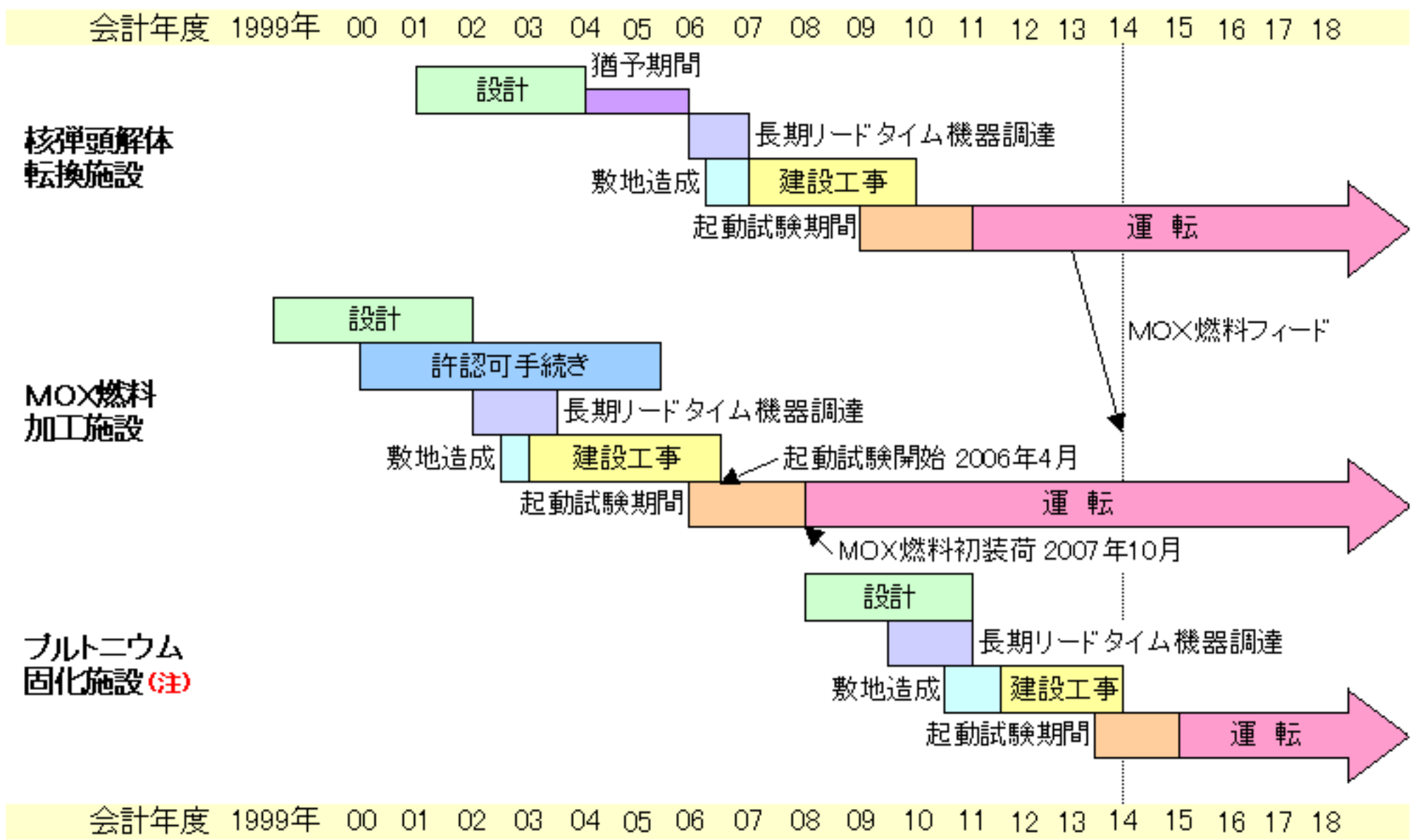


下記の資料をもとに作成した。

(注)2002年1月の計画見直しで固定化方式は廃止され、原子炉燃焼方式に一本化された。

### 図3 米国の余剰プルトニウム処分計画概念図

[資料提供] Office of Fissile Material Disposition  
Office of Defense Nuclear Nonproliferation  
National Nuclear Security Administration  
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY



下記の資料をもとに作成した。  
 (注)この計画は2000年1月に発表されたもので、その後2002年1月の計画見直しで固定化処分方式は廃止されたため、プルトニウム固化施設の建設は取り止めとなった。

**図4 米国の余剰プルトニウム処分計画(施設建設)**

[資料提供] Office of Fissile Material Disposition  
 Office of Defense Nuclear Nonproliferation  
 National Nuclear Security Administration  
 U.S. DEPARTMENT OF ENERGY