
中国の核弾頭生産サイクル
解明への取り組み
～ 2025年度成果報告～

2026年3月

笹川平和財団安全保障・日米グループ
核弾頭生産サイクルの国際動向に関する研究会

目次

はしがき：中国の核弾頭生産サイクル解明の意義	1
序章：本報告書の成果と構成	3
本報告書の成果と課題	3
本報告書の構成	3
第1章 核弾頭生産サイクルとは何か	5
1. 核兵器の構成	6
核弾頭の材料と作用機序	6
プライマリーの構成要素	7
セカンダリーの構成要素	11
2. 米国とロシアの核弾頭生産サイクル	13
米口の核兵器関連施設	13
設計・開発と最終組立	16
第2章 中国の核弾頭生産サイクル：わかっていることと知らないこと	27
1. 核弾頭開発の歴史	28
核兵器開発体制の変遷	28
核兵器開発をめぐる研究開発組織	29
2. 核関連技術の取得に関する活動	33
技術取得の経緯	33
手法	34
3. 現在の核物質生産・核弾頭組立体制	36
概観	36
プルトニウム生産	36
ウラン生産・濃縮	40
トリチウム生産	42
核弾頭の組み立て	42
4. 核実験施設	44
ロプノール核実験場の概要	44
近年の動向	45

第 3 章 核弾頭生産サイクルの将来像	47
1. 核戦力整備の今後	48
「中烈度の核抑止」を目指した核戦力整備	48
幅広い中国の核戦略理解	49
核戦力の将来像	50
2. 核分裂物質生産の今後	52
プルトニウム生産能力	52
ウラン・トリチウム生産能力	53
中国の核弾頭増強能力を推定する	53
結 論：中国の核弾頭生産サイクル解明への努力継続を	55

巻末資料

巻末資料1: 参考文献・資料	57
----------------	----

図表一覧

図 1：本報告書で分析した中国の主な核関連施設	4
図 2：核弾頭の構成	6
図 3：プルトニウムの中性子捕獲断面積	9
図 4：タンパーの厚みとプルトニウムの臨界質量の関係	9
図 5：ロシアにおける核兵器関連施設	14
図 6：米国における核兵器関連施設	15
図 7：世界の兵器級プルトニウムの在庫量	15
図 8：世界の兵器用高濃縮ウランの在庫	15
図 9：核分裂物質の生産工程	18
図 10：ロシア(ソ連)におけるプルトニウムの年間製造量の推移	20
図 11：米国におけるプルトニウムの年間製造量の推移	22
図 12：米国における兵器用高濃縮ウランの年間製造量の推移	26
図 13：四川省を中心とする核工業網	31
図 14：中国の核開発組織図	32
図 15：中国の主な核関連施設(再掲)	36
図 16：「核工業チャート」原文および日本語訳	41
図 17：ロプノール実験場	44
表 1：ロシアにおける核兵器の構成要素ごとの製造所	13
表 2：米国における核兵器の構成要素ごとの製造所	14
表 3：ロシアにおけるプルトニウム生産炉	19
表 4：米国におけるプルトニウム生産炉	21
表 5：ロシアにおけるトリチウム生産炉	23
表 6：各国のプルトニウム保有量	37
表 7：核保有国の核実験実績	45
表 8：原子炉のタイプごとの抽出プルトニウムの組成	52

本報告書は、笹川平和財団安全保障・日米グループが2025年度に実施した「核弾頭生産サイクル研究」において設立した「核弾頭生産サイクルの国際動向に関する研究会」（小泉悠座長）の成果報告である。

本研究は中国の核弾頭生産サイクルの解明と分析を通じて、同国の核戦略を理解するとともに、日本の安全保障政策への示唆を得ることを目的に開始した。

2010年代以降、中国は急速な核戦力の強化を図っており、核兵器の運搬手段となるミサイル、爆撃機、原子力潜水艦のみならず、核弾頭も増やしている。配備弾頭数は過去10年間で倍増（2025年時点で600発を配備）しているとみられ¹、2030年には1,000発に達するとの指摘も過去には見られた²。これは新戦略兵器削減条約（新START：2026年2月に失効）で定められた米国、ロシアの戦略核弾頭配備数（1550発）のほぼ3分の2に相当する規模であり、我が国の安全保障政策の前提となる米国の拡大核抑止力に多大な影響を与えるだろう。

しかし、中国の核弾頭生産能力については未知の部分が多い。米ロ両国の場合、核分裂性物質の生産から弾頭化、実験、運搬手段への搭載、退役後の破棄に至る一連のサイクル（核弾頭生産サイクル）については一定程度の情報が公開され、知見も蓄積されている。これに対して、中国のそれに関する情報公開度は非常に低く、今後、中国の核戦力増強がどの程度のペースで進むのかを予見するのが難しい。この事実は我が国の安全保障を構想する際の一つの障壁となっている。

こうした状況を克服しようと、本研究では、核弾頭生産サイクル解明に関する手法開発を目指した。その目的を達するには、従来の中国研究の枠組みにとらわれず、軍事・安全保障研究、原子物理学、核物質生産に欠かせないウラン濃縮、再処理に関する知識など幅広い分野を動員する必要がある。そこで、これらの分野に関する専門知識を有する識者6名（下記参照）を招集して「核弾頭生産サイクルの国際動向に関する研究会」を設立し、それぞれの知見の統合を試みた。

具体的には、中国語に精通する委員らの協力を得て中国政府の公文書や企業のウェブサイトを解読するとともに、米口の核弾頭生産サイクルとの比較を行い、中国における核物質の生産から弾頭化までの各サイクルがどのような施設・地域で展開されているのかの解明に努めた。また、Vantor等の高分解能衛星画像を用いて、それらの活動実態の把握も行なった。報告書の最終章においては、以上の分析を踏まえ、中国の核弾頭生産サイクルと核戦略の関係、中国の核戦力に関する今後の動向、東アジア地域および日本の安全保障への影響についても考察を展開している。

本報告書の公表により、まだ仮説段階の分野も含め、今後、各方面からのフィードバックを得ることで、核弾頭生産サイクルから当該国の核戦力の把握、増強の速度、さらには核戦略の意図を読み取る手法を確立することが期待できる。また、以上のような手法は中国に留まらず、北朝鮮など日本にとって安全保障上の懸念となる国の核戦力評価にも応用することができよう。

今回、新たな視点、手法で研究を進めていく中で、他の研究機関や専門家から助言、資料や衛星画像の提供など惜しめない協力をいただいた。未解明の部分が多い中国の核弾頭生産サイクルを解明し

¹ STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE (SIPRI), "Yearbook 2025," pp. 179-180.

² U.S Department of Defense, "MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA 2024," Dec 2024, p. 101.

よとの共通した関心に基づくものと認識している。これらのご厚意に対して、この場を借りて深く御礼を申し上げたい。

公益財団法人 笹川平和財団安全保障・日米グループ
主任研究員 小林祐喜

【核弾頭生産サイクルの国際動向に関する研究会】(敬称略順)

座長

小泉 悠 東京大学先端科学技術研究センター 准教授 笹川平和財団 上席フェロー

委員

小原 凡司 笹川平和財団 上席フェロー

多田 将 高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所 准教授

八塚 正晃 防衛省防衛研究所 主任研究官

川崎 剛 東京大学創発戦略研究オープンラボ(ROLES) 連携研究員

岩本 友則 日本核物質管理学会 事務局長、日本原燃 フェロー

小林 祐喜 笹川平和財団安全保障・日米グループ 主任研究員

追記：なお、本報告書は笹川平和財団安全保障・日米グループにおける自主活動の一つとして実施した研究成果であり、上記の有識者個人の見解を代表したものではありません。

本報告書の成果と課題

本報告書において示した主な知見は次のとおりである。

- 中国の核弾頭生産は冷戦における大国間対立という環境の中で始まった。当初はソ連からの技術協力という形が取られたが、のちに独自技術による開発を進め、冷戦後はサイバー攻撃を通じて米国からの技術窃取も活発に実施されてきた。
- 現在、中国の核弾頭生産に関して中心的な役割を担っているのは中国核工業集团公司（中核集団）である。その関連施設の多くは四川省に集中していると見られる。
- 核兵器の生産に関してボトルネックとなるプルトニウムに関して、中国の保有量は米口と比較して大幅に少なく、冷戦末期には一度停止されていた。したがって、現在までに知られている中国のプルトニウム保有量を勘案するに、中国の核戦力増強はどこかで頭打ちになる可能性が高い。
- 他方、中国は2017年から核分裂物質の保有量を国際原子力機関（IAEA）に報告しなくなった。また、その少し前から中国はプルトニウム生産能力の増強を図っており、今後は高速増殖炉（FBR）の本格稼働も見込まれる。政治的リスクを度外視するなら、これらの民生用生産施設から抽出されたプルトニウムを用いて、2020年代中には年間100発程度、2030年代以降には年間200発程度の核弾頭増強を行うことが可能となる。
- ウランやトリチウムなど、核弾頭を構成するために必要な他の核分裂物質の生産能力も核弾頭の増強を支えるに十分な程度存在すると考えられる。
- 以上は、米口に対する確実な第二撃（報復）を可能とするという意味での核戦力増強を賄うことを可能とするものである。核弾頭生産能力を考慮すれば、中国が2030年頃までに1000発の核弾頭を作戦配備し、2035年頃にはこれを2000発程度まで増強することは可能である。
- 特に向こう2年間、中国の核弾頭増強のペースがどのように推移するかは重要であり、核弾頭数の上昇が継続するなら、FBR、あるいは重水炉といった民生用技術を軍事転用している可能性が濃厚になる。

本報告書の構成

はしがきに述べた問題意識に沿い、本報告書では、全体を3章に分け、分析と考察を行った。

第1章「核弾頭生産サイクルとは何か」では、そもそも核弾頭生産に至るまで、どのような物質、技術が必要であり、それらがどのようなプロセスを経て核弾頭の完成に至るのかを理解することに主眼を置いた。核兵器開発で先行した米口両国の核弾頭生産サイクルが冷戦後にある程度明らかになっていることから、この2か国のサイクルを分析し、次章における中国の核弾頭生産サイクル解明の準備とした。

第2章では、「中国の核弾頭生産サイクル：わかっていることと知らないこと」として、中国の核開発の歴史を概観するとともに、核物質生産、核弾頭組立の体制について仮説を含め解明を試みた。あわせて、核実験場の近況、中国がどのように核関連技術を取得していったかの過程を検証した。

第3章「核弾頭生産サイクルの将来像」においては、ここまで分析した核弾頭生産サイクルが中国の核戦略の策定とどう関係しているのかを考察するとともに、核弾頭生産サイクルの動向予測を行い、今後の検証活動への示唆とした。

こうした構成に基づく分析、検証により、冒頭に掲げた成果、および課題が得られた。他方、中国の核弾頭生産サイクルの全容を解明するには至っておらず、今後とも継続が必要である。本報告書により、この取り組みがさらに深化することを期待したい。

図 1：本報告書で分析した中国の主な核関連施設



出典：研究会作成

第1章

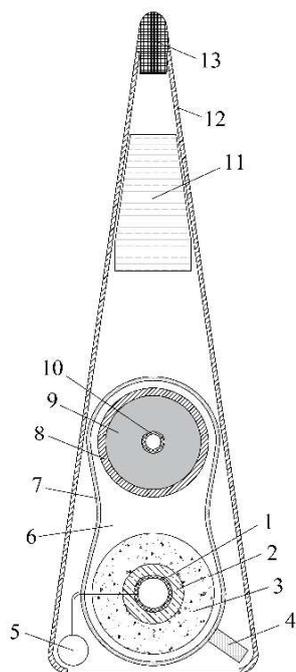
核弾頭生産サイクルとは何か

1. 核兵器の構成

核弾頭の材料と作用機序

中国の核弾頭生産サイクルについて考察していく上での前提条件として、核弾頭の構成要素を把握しておく。つまり、本研究において考察の対象とすべき「核弾頭の材料」とは何なのかということである。まず、一般的な核弾頭の構成要素を図2のとおり示す(弾道ミサイルに搭載されることを前提として再突入体に収められた状態としてある)。

図 2：核弾頭の構成



出典：研究会作成

プライマリー：

1. プルトニウム・コア (プルトニウム 239)
2. タンパー (ベリリウム 9)
3. 爆縮レンズ (高性能爆薬)
4. 中性子発生装置 (デューテリウム、トリチウム)
5. ブースター (デューテリウム、トリチウム)
6. 充填剤 (ポリスチレン)
7. ラディエーション・ケース

セカンダリー：

8. タンパー (ウラン 235/238)
9. 重水素化リチウム (デューテリウム、リチウム 6)
10. スパーク・プラグ (プルトニウム 239)

11. 起爆制御装置

再突入体：

12. ボディ
13. ノーズ・チップ

現代の核弾頭は核融合を利用した兵器(いわゆる水素爆弾)であり、核分裂を起こす部分は核融合物質を「温める」ためのX線を発生させることを役割としている。核分裂部分を「プライマリー」、核融合部分を「セカンダリー」と呼ぶ。以下、核兵器の動作シーケンスを見ていくことで、各構成要素の働きを説明する。

最初に、プライマリーを起爆させる。高度など最適な起爆位置に達したら、再突入体の内部に設置された起爆制御装置(11)が爆縮レンズ(3)の雷管に通電させてこれを起爆させる。爆縮レンズは外側から内側に向かって燃焼していくが、最も内側のタンパー(2)に接する位置で、球対称な衝撃波面を構成し、タンパーを圧縮する。圧縮されたタンパーはさらにその内側のプルトニウム・コア(1)を圧縮する。圧縮されたプルトニウム・コアが臨界条件に達すると、その瞬間に中性子発生装置(4)からコアに向かって中性子が照射され、核分裂反応が開始する。同時にブースター(5)からデューテリウムとトリチウムの混合気体がコア内部に吹き込まれる。吹き込まれた混合気体は、コア中心の高温・高圧環境下で核融合を起こし、中性子を大量に発生させる。これらにより、プライマリーが核爆発を起こし、さらに大量の中性子とX線を発生させる。

プライマリーで発生したX線は、ラディエーション・ケース(7)で反射されながら、ケースの内部の各要素に吸収され、それらの温度を上昇させる(つまり「温める」)。充填剤(6)は気化してプラズマとなり、ケース内の圧力を上げてセカンダリーのタンパー(8)を圧縮する。一方、タンパーも急激に加熱され、その表面が気化し、四散する(アブレイション)。このとき四散した表面の反作用によってタンパーの気化しなかった部分は内側に圧縮され、それによって核融合物質である重水素化リチウム(9)を圧縮する(こちらが主たる圧力である)。セカンダリーの中で最も内側にあるスパーク・プラグ(10)も圧縮される。これはプルトニウムでできているので、臨界条件に達するとともに、プライマリーからX線とともにやってきた中性子によって、核爆発を起こす。その反応によって、重水素化リチウムは内側からも圧縮される。一方、重水素化リチウムのうちのリチウムが、プライマリーとスパーク・プラグから放出された中性子と反応し、トリチウムとなる。そうしてデューテリウム(重水素)とトリチウムの混合物となった核融合物質は、X線による加熱で高温、そして前述の圧縮により高密度となり、核融合反応が持続するローソン条件を満たし、核爆発(核融合反応)を起こす。

プライマリーの構成要素

● プルトニウム・コア

続いて、核弾頭を構成する各要素についてより詳しく見ていくことにする。まずはプライマリーであるが、そのプルトニウム・コアは、核出力の面では主役ではなく、X線と中性子を生み出す役割を果たすに過ぎない。しかし、上記に挙げた要素の中で、プルトニウムの調達が最も困難であるため、核物質管理においては特に重視される。プルトニウムはそもそも天然資源として存在せず、原子核反応で合成しなければならないからである。核兵器の製造能力は、このプルトニウムの生産能力で語られることが多い。

天然ウランは成分の大部分がウラン238だが、このウラン238が中性子を吸収するとウラン239となり、半減期23分で崩壊してネプツニウム239になる。さらにネプツニウム239は半減期2.4日で崩壊してプルトニウム239になる。中性子を大量に発生させられる設備と言えば原子炉なので、ウラン238を原子炉に装荷して中性子を照射することで製造される。

このように述べると、商用原子炉の代表である軽水炉でもプルトニウム239を製造できそうに思えるが、その場合は問題が二つある。そのどちらも、燃料棒集合体を冷却材と減速材を兼ねた水の入った大きな水槽に浸けていることに起因する。まず、水は中性子捕獲断面積が大きいいため、中性子の利用効率が悪い。そのため核分裂反応によって中性子を生み出す燃料棒には天然ウランは使えず、ウラン235の濃度を増やした、濃縮ウランを使用する必要がある。この濃縮ウランを得る工程も複雑で、大規模な工場を必要とする。もうひとつの問題は、燃料棒の交換が、原子炉の運転を止めて行う大掛かりな作業となることである。したがって、頻繁な交換が難しく、たとえば日本の商用炉では燃料棒交換は年1回である。

燃料の中では、ウラン238が中性子を吸収してできたプルトニウム239がさらに中性子を吸収してプルトニウム240となる。プルトニウム240は、自発的核分裂の頻度がプルトニウム239の7万倍もあるので、人間が制御できない核分裂が起きやすく、プライマリーのコアの材料として有害である。そのため、核兵器に使われるプルトニウムは、プルトニウム240の割合を数パーセント以下に抑える必要がある。そうすると、原子炉内の燃料棒は、プルトニウム239を生成してはいるがプルトニウム240はあまり生

成していない段階で、要するに早い段階で頻繁に交換する必要がある。軽水炉はそれに向いていない。

これら二つの理由から、プルトニウム生産炉では冷却材と減速材を分け、前者に水、後者に黒鉛を用いる。なおかつ、燃料棒を1本ずつ冷却水の流れる圧力管に収納し、原子炉を停止させずに各燃料棒を取り出せる構造にしてある。より高度な生産炉では、黒鉛よりもさらに中性子吸収断面積が小さい重水を使うが、こちらは高価である。参考までに、過去の黒鉛式のプルトニウム生産炉での運転実績を挙げると、プルトニウムの生産量は、熱出力1メガワット(MW)あたり、1日あたり、だいたい0.8グラムである³。したがって、この0.8 g / MWdに、熱出力と稼働日数をかければ、その黒鉛炉でのプルトニウム生産量を見積もることができる。

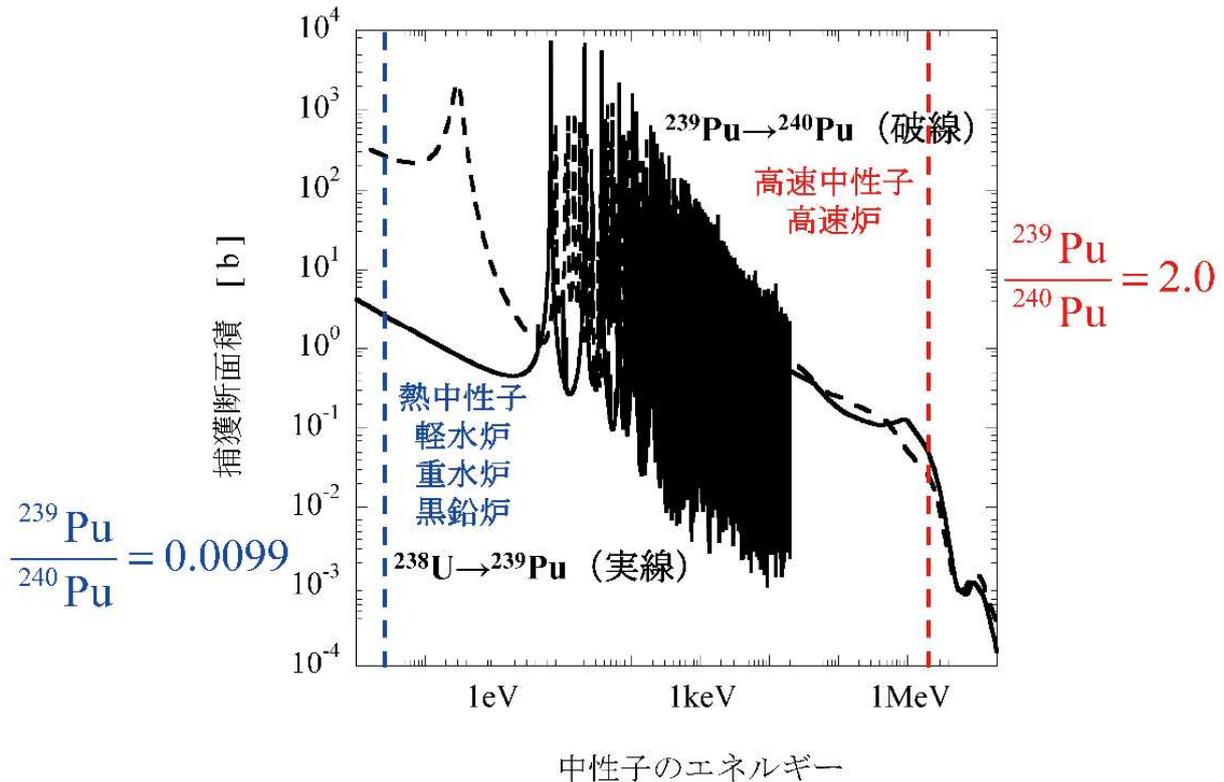
まったく別の発想で、高速増殖炉(FBR)でプルトニウムを生産する方法もある。FBRでは減速材を使わずに中性子を高速のまま扱うが、そのままではウラン235の核分裂断面積が著しく小さくなって連鎖反応が起きない。そこで、炉心をウラン238で覆うことで炉心から逃げてきた中性子を反射し、何度も炉心を通わせることで反応確率を上げてやるという方式が取られる。炉心を覆うこの部分をブランケットと呼ぶが、ブランケットを構成するウラン238は、中性子を反射(散乱)する以外に、一部を吸収してしまう。つまり、ここで図らずともプルトニウム生成過程が生じることになる。

生成されたプルトニウム239がさらに中性子を吸収してプルトニウム240になってしまうのは同じである。しかし、原子核が中性子を捕える捕獲断面積が、プルトニウム239とプルトニウム240では速度によって大きく異なる。図3はその速度依存性を示したものだが、要は高速の中性子だと、プルトニウム240が生成される確率に対するプルトニウム239が生成される確率が、軽水炉などで使う速度の中性子に比べて、200倍も大きい。つまり、兵器級プルトニウムを200倍もつくりやすいのである。ロシアの高速増殖炉BN-800でのプルトニウム生成量を推計した論文⁴によると、420日間運転した後での生成プルトニウム中のプルトニウム239とプルトニウム240の割合は、それぞれ、軸方向ブランケット(炉心の上下)で96.5%と3.36%、径方向ブランケット(炉心の周囲)で97.5%と2.49%と見積もられる。また、炉の稼働率を80%とすると、両ブランケット合わせて、年間162キログラムのプルトニウムが製造できると見積もられている。

³ “*Technological Issues Related to the Proliferation of Nuclear Weapons*,” Strategic Weapons Proliferation Teaching Seminar, 1998 のハンフォードB炉での製造実績より計算。

⁴ Moritz Kütt, Friederike Frieß, and Matthias Englert, “*Plutonium Disposition in the BN-800 Fast Reactor: An Assessment of Plutonium Isotopics and Breeding*,” *Science & Global Security* **22**, 2014, 188–208.

図 3：プルトニウムの中性子捕獲断面積

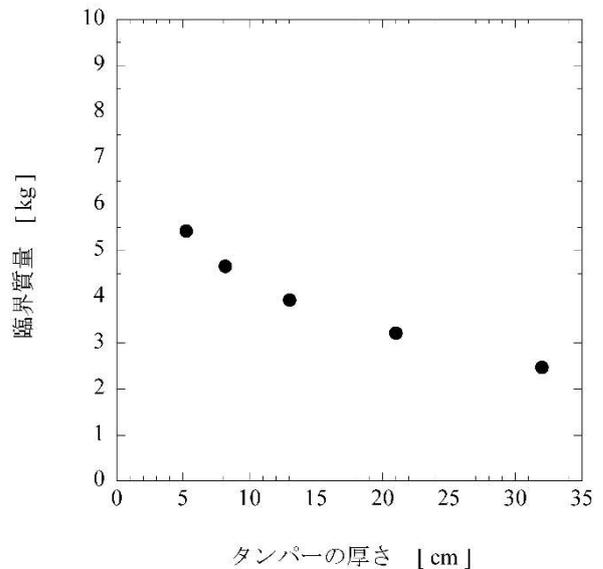


出典：JAEA Nuclear Data CenterのJENDL-4.0のデータを基に研究会作成

● タンパー

プライマリーのタンパーは、プルトニウム・コアを圧縮するだけでなく、コアから出ていこうとする中子を反射してコアに戻すリフレクターとしての役割も持つ。そのため、中子散乱断面積が捕獲断面積より何桁も大きなベリリウム9を使うのが標準的である。また、ベリリウム9と中子の反応の中には、1個の中子を吸収して2個の中子を吐き出すというものもあるので、一層有利である。タンパーの厚みを増やせばプルトニウム・コアの臨界質量は減らせるが、プライマリーも大きくなるので、ある程度の厚さにしておいて、あとは後述のブースターによって臨界条件をよくするのが現代の標準的な核弾頭の設計である。図4に、球形プルトニウムの臨界質量が、タンパーの厚みによってどのように変化するかの実験結果を示す。

図 4：タンパーの厚みとプルトニウムの臨界質量の関係



出典：“Critical Parameters of Spherical Systems of Alpha-Phase Plutonium Reflected by Beryllium,” University of California Lawrence Radiation Laboratory Report, UCRL-5349, 1958 のデータを基に研究会作成

● 爆縮レンズ

爆縮レンズは、タンパーを介してプルトニウム・コアを圧縮し、臨界条件をつくり出すための爆薬から構成される要素である。かつて人類初の核実験(トリニティ実験)で使われ、また、長崎に投下されたMk 3核爆弾の爆縮レンズは直径が1.4mもあり、雷管も32か所あった。その後、爆縮レンズは小型化し、たとえば1981年に配備開始された米国のW80核弾頭では、直径30センチのラディエーション・ケースの中に入るくらい小さい。雷管も2か所である。雷管の数は有限なので、爆薬が燃焼を開始するときは球対称ではない。それが直径方向に燃焼していき、タンパーの位置に来たときには、その衝撃波面が球対称になっていなければならない。爆縮レンズの直径は、衝撃波が次第に球対称になっていくための距離を稼いでいるわけである。手計算で設計しなければならなかったMk 3の時代には1.4mもの距離が必要だったが、W80の時代にはコンピューター・シミュレーションが使えるようになっていた上、多数の実験の実績があったために、短い距離で、しかも2点点火式でも球対称の衝撃波を作ることが可能になっていた。

なお、W80の爆縮レンズは球対称ではなくフットボールのような楕円回転体の形をしている。このような爆縮レンズを実装できるのも、高い技術と豊富な経験があったればこそである。図2を見てもわかるように、爆縮レンズは最も大きな部品であり、核弾頭(あるいは再突入体)の直径はこれが決めている。弾道ミサイルを多弾頭化するには、再突入体を細くする必要があるので、爆縮レンズの小型化を必須要件とする。米ロ以外の国で多弾頭化が進んでいないのは、こういった面も影響しているのかもしれない。

● 中性子発生装置

中性子発生装置(イニシエーター)は、プルトニウム・コアに連鎖反応の最初の中性子を送り込む。中性子発生装置自体は非破壊検査でも使われているので、民生品が市販されており、現代では特殊な装置ではない。内部にデューテリウムとトリチウムが使われているため、後述のブースターのように「賞味期限」がある。そのため、交換しやすいように、ラディエーション・ケースの外側に取り付けられる。中性子は透過性が大きいので、そこからでも十分にコアに届く。

● ブースター他の構成要素

ブースターは、初期の核分裂兵器には存在しなかったが、現代では必須となっている。古典的な核分裂兵器では、中性子の量が足りないため、用意した核燃料物質の一部しか反応しない(Mk 3で15%)。そこでより多くの中性子を供給してやることで反応を促進しようというのが「ブースト」の意味するところである。もともとは未反応の核燃料物質をより多く反応させることで核出力を上げるために考え出されたが、現代の核弾頭におけるブースターはこれを目的としておらず、核出力はセカンダリーのほうで稼ぐという設計思想になっている。

では、現代の核弾頭設計におけるブースターの役割はというと、本来その条件では臨界に達しない状態のコアに中性子を補充して臨界まで持っていくことである。これにより、コアの量やタンパーの厚みを減らし、より「経済的な」プライマリーを作製できるのである。したがって、現代の核弾頭におけるプルトニウム・コアの質量は4キログラム程度に抑えられている。

ブースターに使われるのはDT反応で、したがってデューテリウムとトリチウムが必要となる。デュー

トリウムは安定同位体なのでラジエーション・ケース内に入れたままでよいが、トリチウムは半減期12年で崩壊していくので、定期的に交換しなければならない。そのため、交換しやすいように、ラジエーション・ケースの外側に置き、パイプでコア内部に吹き込む。米国のブースターの容器は球形で、充填されているトリチウムの質量は、4グラム程度である⁵。

充填剤は、プライマリーやセカンダリーをラジエーション・ケース内で定位置に固定するためのもので、X線を妨げてはならないので、X線透過率が高い(つまり比重が小さい)材質としてポリスチレンが使われる。

ラジエーション・ケースは、X線を反射して効率よくセカンダリーに照射するもので、比重が大きい材質、たとえばタングステン合金などが使われる。

セカンダリーの構成要素

● タンパー

次にセカンダリーである。そのタンパーは、X線とよく反応するためにやはり比重が大きい物質が好ましい。また、比重の大きさにはもうひとつの意味がある。タンパーはその名の通りタンブする、つまり内部の核融合物質を閉じ込めておく必要があるが、あらゆる物質がプラズマ化してしまうような超高温環境では、機械的な強度など意味がない。あらゆるものがすべて飛び散ってしまうのだが、重い原子核ほど飛び散るのに時間がかかるので、その時間だけは閉じ込めたことになる。そういう意味で、比重が大きい物質が選ばれる。

ここもタングステン合金でよいが、もうひとつの効果を狙って、ウラン238が使われることが多い。「ウラン238は核分裂しない」と考えられがちだが、実際には中性子の速度による。軽水炉などで減速された中性子の速度では反応は起こらないが、DT反応によって生ずる高速の中性子に対しては、ウラン238はウラン235の半分程度の核分裂断面積を持つ。したがって、このタンパーをウラン238でつくれば、この部分も核出力として加算でき、より大きな破壊力を期待できる。さらにこれをウラン235でつくれば、一層大きな核出力が得られる。米ロ両国は、冷戦期の大量生産によってありあまる高濃縮ウラン235の在庫を抱えているので、それを利用して核弾頭の出力を強化できる(実際、冷戦後期に製造された米国の核弾頭はそうなっている)。ただし、ウラン235は低速の中性子でも核分裂反応を起こすために、大量に集めると臨界状態に達する。そのため、タンパーにも起爆前に臨界に達しないよう、質量管理と形状管理が重要になる。それを考慮して設計・製造しなければならないため、高度な技術を要する。

● 重水素化リチウム

重水素化リチウムは、最大の核出力を生む要素である。DT反応を起こすにはデューテリウムとトリチウムが必要だが、トリチウムは生産に原子炉を使用するため、大量には生産できず、また、半減期12年で崩壊していくので、核兵器のような長期保管が基本となる兵器では非常に扱いにくい。また、トリチウムは常温では気体なので、核弾頭に大量には積めない。

そこで、前述のように、核爆発の際にリチウムからトリチウムをつくり出すという方法が使われている。実際、原子炉でトリチウムを製造するときも、リチウムに中性子を照射して生成している。こ

⁵ J. Carson Mark, Thomas D. Davies, Milton M. Hoenig, and Paul L. Leventhal, "The Tritium Factor as a Forcing Function in Nuclear Arms Reduction Talks," *Science* **241**, 1988, 1166-1168.

の際のリチウムはどのようなリチウムでもよいわけではなく、天然リチウム中に7.6 % しか存在しないリチウム6を使う。つまり濃縮工程が必要だが、ウラン濃縮に比べればずいぶん楽である(本章2. 参照)。

しかし、残りの92.4 % を占めるリチウム7も、やはり中性子の速度によってその反応断面積は大きく異なる。核分裂反応で生成する中性子の速度(2 MeV)では核出力に算入できるほどのトリチウム生成反応が起き、核融合反応で生成する中性子の速度(14 MeV)ではむしろリチウム6よりも大きな反応断面積となるのである。ただし、重水素化リチウムからトリチウムを生成するには、まずプライマリーの核分裂反応で生じた中性子を使うので、やはり濃縮したリチウム6を使うほうが効率はよい。

● スパーク・プラグ

スパーク・プラグは、核融合物質を内側から加熱・圧縮するとともに中性子を供給するために使われるプルトニウムだが、核融合反応の反応率が下がってもよいと割り切るなら、省略しても構わない。核出力は下がるが、貴重なプルトニウムを節約できる。また、設計の最適化により、その減少分をカバーできる可能性もある。

● 起爆制御装置

起爆制御装置は意外に重要である。核弾頭で核出力以上に重要なのは命中精度で、平均誤差半径(CEP)が半分になると、核出力を8倍にしたのと同等の効果が得られる。核弾頭の2次元的な命中精度は弾道ミサイル側で決まるが、どの高度で起爆するかという高さ方向の精度は、この起爆制御装置で決まる。弾道弾の再突入速度は、大気によって減速しても着弾時で数km/秒もあるので、起爆のタイミングが0.1秒ずれると、高度が数百mもずれることになる。米国の核弾頭はどれも20世紀に製造されたものばかりだが、この部分だけは最新のものに交換してアップ・グレードされ続けている。たとえば米国の潜水艦発射式弾道ミサイル(SLBM)であるUGM-133用のW88核弾頭は、2012年に開始された近代化プログラム Alteration 370により、2021年から2026年にかけてこの起爆制御装置を丸ごと交換している⁶。

⁶ <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-01/W88-ALT370%20012422.pdf>; <https://www.twz.com/41531/first-improved-w88-nuclear-warhead-for-navys-trident-missiles-rolls-off-the-assembly-line>

2. 米国とロシアの核弾頭生産サイクル

米口の核兵器関連施設

前節で述べた核弾頭の構成要素を踏まえ、本説では、それらがどのようにして生産され、最終製品である核弾頭となるのかを米口を例に見ていく。表1および表2に、米口における核兵器の構成要素ごとの製造所をまとめた。また、図5にロシアの、図6に米国の、それぞれの施設の場所を地図に示している。

現在、米口ではトリチウムを除く核物質の生産を終了している。両国とも、冷戦期に生産した在庫だけで万単位の核弾頭を製造できるだけの在庫を持っているからである。図7では兵器級プルトニウムの、図8では高濃縮ウランの世界各国の在庫を示したが、どちらの物質についても在庫の9割がこの2か国で占められていることが読み取れる。このことはまた、中国が米国に対抗しうる核戦力を建設するには大量のプルトニウムを生産しなければならないことを意味する。

表 1：ロシアにおける核兵器の構成要素ごとの製造所

分類	部品	材質等	ロシアでの製造所	
			名称	場所
設計・開発			全ロシア実験物理学研究所	サロフ
			全ロシア技術物理学研究所	スニエジュンスク
基礎研究			全ロシア実験物理学研究所	サロフ
			全ロシア技術物理学研究所	スニエジュンスク
全体組立			全ロシア実験物理学研究所	サロフ
			電気化学機器コンビナート	レスノイ
			生産合同スタルト 機器製造工場	ザリェチュスイ トウリョフゴールスイ
プライマリー	コア	プルトニウム239	生産合同マヤーク	アジョルスク
			鉍山化学コンビナート	ジェレズノゴルスク
	シベリア化学コンビナート		セベルスク	
	生産合同マヤーク		アジョルスク	
コアの冶金（鋳造）		鉍山化学コンビナート	ジェレズノゴルスク	
		シベリア化学コンビナート	セベルスク	
		生産合同マヤーク	アジョルスク	
ブースター	ガス	デュータリウム	ウラル電気化学コンビナート	ノボウラリスク
			チルクチ電気化学コンビナート	チルクチ（ウズベキスタン）
			キラヴァカン化学コンビナート	パナゾル（アルメニア）
		ドゥニエブラジェルジンスク窒素肥料工場	カミヤンシケ（ウクライナ）	
		ゴルロフカ窒素肥料工場	ホルリウカ（ウクライナ）	
		トリチウム	生産合同マヤーク	アジョルスク
セカンダリー	スパークプラグ	プルトニウム239	生産合同マヤーク	アジョルスク
			鉍山化学コンビナート	ジェレズノゴルスク
			シベリア化学コンビナート	セベルスク
	スパークプラグの冶金（鋳造）		生産合同マヤーク	アジョルスク
		鉍山化学コンビナート	ジェレズノゴルスク	
		シベリア化学コンビナート	セベルスク	
	核融合物質（重水素化リチウム）	デュータリウム	ウラル電気化学コンビナート	ノボウラリスク
			チルクチ電気化学コンビナート	チルクチ（ウズベキスタン）
			キラヴァカン化学コンビナート	パナゾル（アルメニア）
			ドゥニエブラジェルジンスク窒素肥料工場	カミヤンシケ（ウクライナ）
タンパー	ウラン235	ゴルロフカ窒素肥料工場	ホルリウカ（ウクライナ）	
		ノヴォシビルスク化学濃縮工場	ノボシビルスク	
		シベリア化学コンビナート	セベルスク	
	ウラル電気化学コンビナート	ノボウラリスク		
	電気化学工場	ゼレナゴルスク		
	アンガルス電気分解化学コンビナート	アンガルス		

稼働中
民生品用として稼働中

出典：研究会作成

表 2：米国における核兵器の構成要素ごとの製造所

分類	部品	材質等	アメリカ合衆国での製造所	
			名称	場所
設計・開発			LANL	ニューメキシコ州ロスアラモス郡
			LNL	カリフォルニア州アラメダ郡
基礎研究			LANL	ニューメキシコ州ロスアラモス郡
			LNL	カリフォルニア州アラメダ郡
全体組立			サンティア国立研究所	ニューメキシコ州ベルナリオ郡
			LANL	ニューメキシコ州ロスアラモス郡
プライマリー	コア	プルトニウム239	ハンフォード・サイト	ワシントン州ベントン郡
	コアの冶金（鋳造）		サバンナ・リバー・サイト	サウスカロライナ州バーンウェル郡
	タンパー	ベリリウム	ロッキー・フラット工場	コロラド州ジェファーソン郡
	爆縮レンズ		LANL	ニューメキシコ州ロスアラモス郡
	爆縮レンズの雷管		ハンフォード・サイト	ワシントン州ベントン郡
	中性子発生装置		パンテックス	テキサス州カーソン郡
ブースター	ガス	デュータリウム	サバンナ・リバー・サイト	サウスカロライナ州バーンウェル郡
			モーガンタウン兵器工場	ウエストバージニア州モノンガリア郡
		トリチウム	ウォーバッシュ川兵器工場	インディアナ州バーミリオン郡
			アラバマ陸軍弾薬工場	アラバマ州タラデガ郡
ボトル		サバンナ・リバー・サイト	サウスカロライナ州バーンウェル郡	
セカンダリー	スパークプラグ	プルトニウム239	ロッキー・フラット工場	コロラド州ジェファーソン郡
	スパークプラグの冶金（鋳造）		ハンフォード・サイト	ワシントン州ベントン郡
	核融合物質（重水素化リチウム）		サバンナ・リバー・サイト	サウスカロライナ州バーンウェル郡
			モーガンタウン兵器工場	ウエストバージニア州モノンガリア郡
			ウォーバッシュ川兵器工場	インディアナ州バーミリオン郡
			アラバマ陸軍弾薬工場	アラバマ州タラデガ郡
タンパー	ウラン235	クリントン工兵工場	テネシー州アンダーソン郡	
		クリントン工兵工場	テネシー州アンダーソン郡	
構造材	ラディエーションケース		パデューカ・ガス拡散工場	ケンタッキー州マクラッケン郡
	充填剤	ポリスチレン	ボーツマス・ガス拡散工場	オハイオ州バイク郡
電子部品	起爆装置		カンザスシティ国立安全保障キャンパス	ミズーリ州ジャクソン郡
			カンザスシティ国立安全保障キャンパス	ミズーリ州ジャクソン郡
			稼働中	
				民生品用として稼働中

出典：研究会作成

図 5：ロシアにおける核兵器関連施設



出典：研究会作成

図 6：米国における核兵器関連施設



出典：研究会作成

図 7：世界の兵器級プルトニウムの在庫量 (単位：トン)

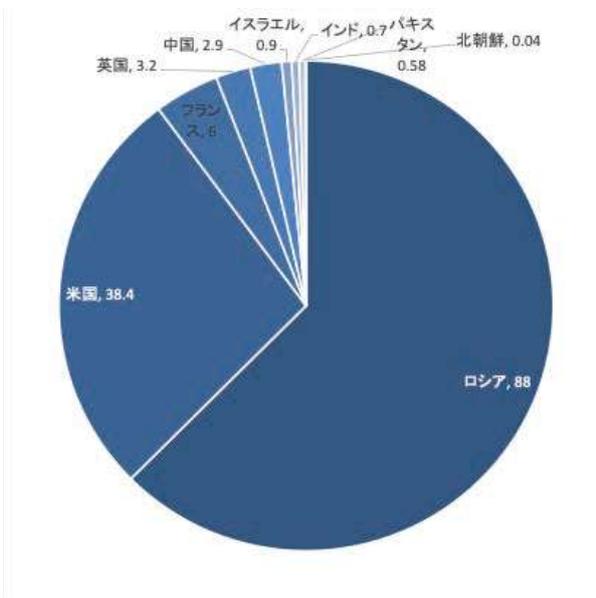
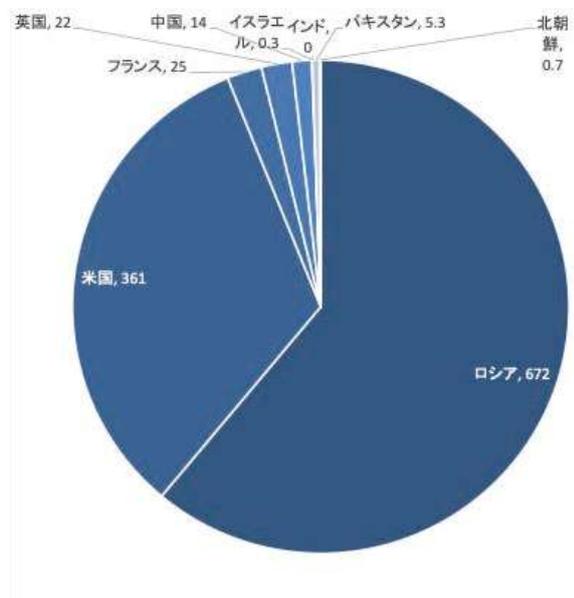


図 8：世界の兵器用高濃縮ウランの在庫 (単位：トン)



出典：“Fissile material stocks, 2024” International Panel on Fissile Materials, 2024 のデータを基に研究会作成

設計・開発と最終組立

まずは表1に示す、各構成要素の製造所について解説していく。最初に取り上げるのは、核兵器の設計・開発である。ロシアでは、ソビエト連邦(ソ連)時代から、ニジニノブゴロド州サロフにある全ロシア実験物理学科学研究所(VNIIEF)とチェリャビンスク州スネジュンスクにある全ロシア技術物理学科学研究所(VNIITF)の2か所ですべての核兵器が設計・開発されてきた。VNIIEFは1947年から、VNIITFは1955年から、ともに現在までその活動を行っている。基礎研究もこの2つの研究所で行われている。

米国では、ニュー・メキシコ州ロス・アラモス郡にあるロス・アラモス国立研究所(LANL)とカリフォルニア州アラメダ郡にあるローレンス・リバモア国立研究所(LLNL)の2か所で全ての核兵器が設計・開発されてきた。LANLはマンハッタン計画の中心として1943年から、LLNLは1952年から、ともに現在まで活動を続けている。これに加え、ニュー・メキシコ州ベルナリオ郡にあるサンディア国立研究所(SNL)が1949年から基礎研究や各構成要素の開発を分担している。

核兵器の各構成要素を集めての最終組立は、ロシアでは、VNIIEF(1951年から)に加え、スベルドロフスク州レスノイにある電気化学機器(EKhP、1951年から)、ペンザ州ザリエチュヌイにある生産合同スタルト(1963年から2002年まで)、チェリャビンスク州トゥリョフゴールヌイにある機器製造工場(PSZ、1955年から)の3工場で行われてきた。VNIITFは、核実験用の核弾頭の組み立ては行うが、実戦用の核弾頭の組み立ては行っていない。また、スタルトは、1954年から核兵器部品を製造してきた(同社の業務に「マイクロ・エレクトロニクスの製造」とあるので、起爆制御装置ではないかと考えられる)。また、PSZの業務内容にも「特殊なマイクロ・エレクトロニクス」の製造が含まれているので、起爆制御装置を製造している可能性がある。

米国では、最終組立は、LANL(1945年から)とLLNL(1958年から)に加え、テキサス州カーソン郡のパンテックス工場(Pantex Plant)が行ってきた。パンテックスは、最初に核兵器を組み立てた1951年から2014年までは民間企業がその運営を担ってきたが、2014年からはSNLが運営している。前述したW88核弾頭の起爆制御装置の交換もパンテックスで行われている。

米国の場合、最終組立工場では再突入体を弾道ミサイルのポスト・ブースト・ピークル(PBV)に組み込むまで行うので、広く天井が高い建屋が設けられているのが特徴である。一例として、衛星画像1にLANLの最終組立の建屋を示す。なお、米口がいくつもの組立工場を持っていたのは年間1000発単位の核弾頭を組み立てるためであるが、現在の中国の核弾頭生産ペース(年間100発程度)であれば1工場あるいは1研究所で充分賄える。したがって、中国の核弾頭組立は1か所に集約されている可能性があるが、以上は製造ペースだけを考えた場合の話であり、リスク分散のために2か所以上に分散している可能性は排除されない。

衛星画像 1：ロス・アラモス国立研究所の核兵器組立を行う建屋の衛星画像
(中央の灰色の建屋)



出典：Google Earth

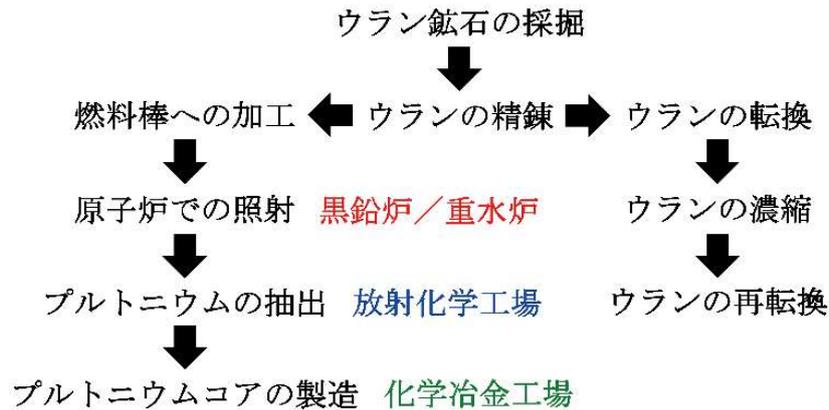
● プライマリーの製造

プライマリーの中心は核分裂物質であるプルトニウム・コアである。図9ではその生産工程を示した。プルトニウムの素となるウランについてもあわせて記述する。

黒鉛炉や重水炉では燃料棒に天然ウランが使われるため、濃縮は必須ではない。また、燃料棒の寸法・形状も発電用軽水炉のそれとは大きく異なる。米国ではこの燃料棒の最適化も行われており、最後まで稼働していたハンフォードN炉(後述)では、Mark I-AとMark IVの2種類の燃料棒が組み合わされて使用されていた。Mark I-Aの長さは533mmで、ウランの重量は16.6 kgあった。内側がウラン235の濃縮度0.947%、外側が濃縮度1.25%の二重円筒構造をしており、平均濃縮度は1.15%であった。Mark IVは、長さ660mmでウラン重量は23.5 kg、内側・外側共に濃縮度は0.947%だった。これらの燃料棒16本を1つのプロセス管と呼ばれる円筒(長さ890mm、内径69mm、厚み6mm)に収め、装荷していた。装荷割合は、Mark I-Aが20%、Mark IVが80%で、これらの燃料棒はジルカロイ(錫を含むジルコニウムの合金)でコーティングされていた⁷。このような最適化を行うなら、プルトニウム生産サイクルにはウラン濃縮工程も組み込む必要がある。

⁷ Natural Resources Defense Council, Inc, "Nuclear Weapons Databook Volume III U.S. Nuclear Warhead Facility Profiles," 1987.

図 9：核分裂物質の生産工程



出典：研究会作成

この燃料棒に原子炉内で中性子を照射したあと、炉内から取り出してプルトニウムとそれ以外の元素に分離する。化学的な方法によるので、同位体分離はできない。したがって、目的のプルトニウム239の濃度を高めるには、照射の段階での配慮が必要である（前節を参照）。

化学分離を行うのは放射化学工場（再処理工場）である。炉の運転後の燃料棒は、核分裂生成物やウランの中性子照射で生成したプルトニウム以外のマイナー・アクチノイドが含まれるため、高度に放射化しており、作業員の被曝や汚染、環境への漏出などを抑えるために特別な設備を必要とする。高放射化物の輸送に関しても、一般道路を通るにはさまざまな制約があるため、米口では、放射化学工場は生産炉と同じ敷地内に置かれている。放射化学工場では排気も管理するため、その排気スタック（煙突）が顕著な目印となっている（衛星画像2）。

燃料棒から抽出したプルトニウムは、純金属もしくは合金の状態にしてプルトニウム・コアの形に铸造する。これを行うのが化学冶金工場である。プルトニウム単独での放射能は低いので被曝の危険性は大きくないが、汚染の管理と、臨界状態にならないための質量管理や形状管理を行う必要がある。化学冶金工場は、ロシアではやはり生産炉と同じ敷地内にあり、コアの形にしてから出荷するが、米国ではおもに敷地外の別の工場で行っている。

先述の通り、米口は兵器級プルトニウムの在庫を大量に保有しているもので、以下に示す全ての生産炉はプルトニウム生産を既に停止している。しかし、建屋が残されているところもあり、どのような施設なのかを知る上で参考になる。ロシアでプルトニウム生産を行っていたのは、チェリャビンスク州アジョルスクにある生産合同マヤーク（1948年から1990年まで）の4基の黒鉛炉と1基の重水炉、クラスノヤルスク地方のジェレズノゴルスクにある鉱山化学コンビナート（GKhK、1958年から2010年まで）の3基の黒鉛炉、トムスク州セベルスクにあるシベリア化学コンビナート（SKhK、1955年から2008年まで）の5基の黒鉛炉である。それぞれの生産炉の諸元を、累計生産量とともに表3に示す。また、放射化学工場と化学冶金工場のそれぞれの一例として、ともにマヤークの敷地内にあった建屋を衛星画像2、3に示す。

ソ連時代からのロシアのプルトニウムの年間製造量の推移を図10に示す。最盛期は13基の生産炉でほぼ年間4,000kgの生産量なので、1基あたりの平均は300 キログラム程度である。中国の生産炉もこれくらいであると考えれば、核弾頭の年間製造数から逆算して稼働中の生産炉の数が算出できる。

表 3：ロシアにおけるプルトニウム生産炉

工場	炉	減速材	熱出力 [MW]		稼働開始	稼働終了	生産量 [kg]
			初期	最終			
マヤーク	A	黒鉛	100	900	1948.6.10	1987.6.16	6,138
	AV-1	黒鉛	300	1,200	1950.4.5	1989.8.12	8,508
	AV-2	黒鉛	300	1,200	1951.4.6	1990.7.14	8,407
	AV-3	黒鉛	300	1,200	1952.9.15	1990.11.1	7,822
	OK-180	重水	40	100	1952.12.22	1987.5.25	53
鉍山化学コンビナート	AD	黒鉛	1,450	2,000	1958.8.25	1992.6.30	15,433
	ADE-1	黒鉛	1,450	2,000	1961.7.20	1992.9.20	14,184
	ADE-2	黒鉛	1,450	2,000	1961.1	2010.4.15	16,317
シベリア化学コンビナート	I-1	黒鉛	400	1,200	1955.11.20	1990.9.21	8,237
	EI-2	黒鉛	400	1,200	1958.9.24	1990.12.31	7,452
	ADE-3	黒鉛	1,450	1,900	1961.7.14	1990.8.14	14,020
	ADE-4	黒鉛	1,450	1,900	1964.2.26	2008.4.20	19,460
	ADE-5	黒鉛	1,450	1,900	1966.6.26	2008.6.5	19,144

出典：Анатолий Дьяков “История Производства Плутония в России,” Science and Global Security19, 2011, 28-45 のデータを基に研究会作成

衛星画像 2：生産合同マヤークの放射化学工場

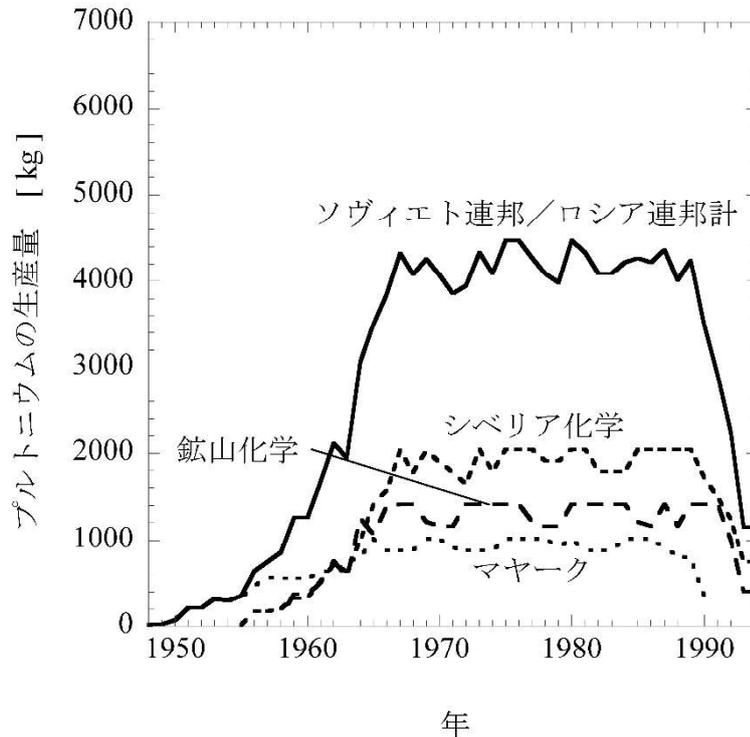


衛星画像 3：生産合同マヤークの化学冶金工場



出典：Google Earth

図 10：ロシア(ソ連)におけるプルトニウムの年間製造量の推移



出典：“Анатолий Дьяков “История Производства Плутония в России,” Science and Global Security19, 2011, 28-45のデータを基に研究会作成

米国では、ワシントン州ベントン郡にあるハンフォード工兵工場(ハンフォード・サイト、1944年から1987年まで)の9基の黒鉛炉と、サウス・カロライナ州バーンウェル郡にあるサバンナ・リバー工場(サバンナ・リバー・サイト、1953年から1992年まで)の5基の重水炉でプルトニウムを生産していた。一例として、現在も建屋が残っているサバンナ・リバー・サイトのC炉を衛星画像4に示す。また、それぞれの生産炉の諸元を、累計生産量とともに表4に示す。一方、図11は、米国のプルトニウムの年間製造量の推移を示したものである。ここから明らかなように、米国は必要量を一気に製造して、あとは工場をたたんでしまう手法を採ることが多い。工業力と資金力に恵まれた同国ならではの手法である。

化学冶金工場は、ハンフォード・サイト内の工場が1949年から1965年まで稼働していた。また、コロラド州ジェファーソン郡にある専用工場であるロッキー・フラット工場が1953年から1992年まで稼働していたのに加え、LANL内にもあった。LANL内の冶金工場は、化学冶金研究施設と呼ばれ、1949年から2013年までコア鋳造を行っていた。しかし、建屋が老朽化したため、化学冶金研究代替施設と呼ばれる施設を核兵器組立工場の建屋に隣接して建設し、2021年に完成した⁸。2006年の時点で、米国はプルトニウム・コアを23,000個保有しており、うち10,000個は核弾頭の中に実装、残りの13,000個はパンテックスに保管されていた⁹。

⁸ Greg Mello, “Build Warhead Factories Now, Worry about Weapons Policy Later Will Congress Take Back the Reins,” Los Alamos Study Group Feb. 12, 2008.; “Chemistry and Metallurgy Facility Replacement Subproject at LANL Completed Ahead of Schedule, Under Budget,” Los Alamos Reporter, Jan 22, 2021.

⁹ “Plutonium Pit Production — LANL’s Pivotal New Mission,” Los Alamos Study Group, Jul., 2006.

プルトニウム・コア以外のプライマリーの構成要素は、米国では、ベリリウム・タンパーをロッキー・フラット工場で、爆縮レンズをパンテックスで、爆縮レンズの雷管をオハイオ州モンゴメリー郡にあるマウンド研究所で、中性子発生装置をフロリダ州ピネラス郡にあるピネラス工場で、それぞれ製造していた。

衛星画像 4：サバンナ・リバー・サイトのプルトニウム生産炉 C 炉



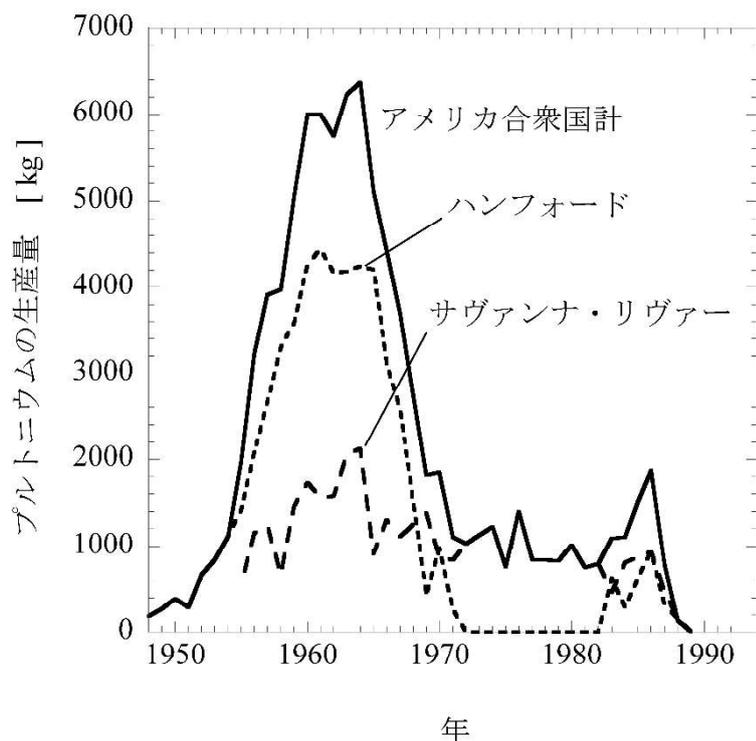
出典：Google Earth

表 4：米国におけるプルトニウム生産炉

サイト	炉	減速材	熱出力 [MW]		稼働開始	稼働終了	生産量 [kg]
			初期	最終			
ハンフォード	B	黒鉛	250	2,210	1944.9	1968.2	54,463
	D	黒鉛	250	2,165	1944.12	1967.6	
	F	黒鉛	250	2,040	1945.2	1965.6	
	H	黒鉛	400	2,140	1949.10	1965.4	
	DR	黒鉛	250	2,015	1950.10	1964.12	
	C	黒鉛	650	2,500	1952.11	1969.4	
	KW	黒鉛	1,800	4,400	1955.1	1970.2	
	KE	黒鉛	1,800	4,400	1955.4	1971.2	
	N	黒鉛	4,000	4,000	1963.12	1987.1	
サバンナ・リバー	R	重水	500	2,500	1953.12	1964.6	36,079
	P	重水	500	2,500	1954.2	1988.8	
	K	重水	500	2,500	1954.10	1992.7	
	L	重水	500	2,500	1954.7	1988.6	
	C	重水	500	2,500	1955.3	1985.6	

出典：“Plutonium : The First 50 Years,” United States Department of Energy, DOE/DP-0137, 1996のデータを基に作成。

図 11：米国におけるプルトニウムの年間製造量の推移



出典：“Plutonium : The First 50 Years,” United States Department of Energy, DOE/DP-0137, 1996のデータを基に研究会作成

● ブースターの製造

ブースターは、デューテリウムとトリチウムから成る。デューテリウムは水の電気分解で生成できるので、他の核物質などと比べてそれほど特殊な産業ではない。重水は市販もされている。

一方、トリチウムは、リチウム6を原子炉内で中性子照射して製造する。したがって、リチウム6の濃縮から燃料棒の製造、原子炉での照射、そしてその燃料棒からの化学的分離と、プルトニウム並みの特殊な工程が必要となる。加えて、安定同位体であるデューテリウムと異なって、トリチウムは定期的に交換あるいは補充する必要がある、核戦力を維持する限りは製造を続けなければならない。これが、他の構成要素、プルトニウム239、ウラン235、デューテリウム、リチウム6とは異なる点である。この点は中国も同様であり、同国の核弾頭生産サイクルを解明するためには、プルトニウム生産炉だけでなくトリチウム生産炉についても注目すべきである。

ロシアでは、デューテリウムは、スベルドロフスク州ノボウラリスクにあるウラル電気化学コンビナート (UEK) で生産されている。また、ソ連時代には、ウズベキスタンのチルチクにあるチルチク電気化学コンビナート、アルメニアのバナゾルにあるキラバカン化学コンビナート、ウクライナのカミヤンシケにあるドゥニエプラジェルジンスク窒素肥料工場、同じくウクライナのホルリウカにあるゴルロフカ窒素肥料工場で製造されていた。

トリチウムは、マヤークで1951年から製造されており、プルトニウム生産炉兼用の重水炉1基、専用重水炉3基、専用黒鉛炉1基、専用軽水炉1基が稼働していた(表5)。このうち、専用重水炉1基と専用軽水炉1基が現在も稼働中である。また、一例として、衛星画像5にトリチウム生産専用重水炉のリュドミラを示す。

表 5：ロシアにおけるトリチウム生産炉

工場	炉	減速材	熱出力 [MW]		稼働開始	稼働終了
			初期	最終		
マヤーク	AI-IR	黒鉛	40	100	1952.12.22	1987.5.25
	OK-180	重水	100	233	1951.10.17	1966.3.3
	OK-190	重水	300	300	1955.12.27	1965.11.8
	OK-190M	重水	300	300	1966.4.16	1986.4.16
	Lyudmila	重水	800	800	1988.5	稼働中
	Ruslan	軽水	800	1,100	1979.6.12	稼働中

出典：“История Производства Плутония в России” Science and Global Security,19, 28-45 (2011) を基に研究会作成

衛星画像 5：マヤークのトリチウム生産炉のリュドミラ



出典：Google Earth

米国におけるデュートリウム生産は、自身のプルトニウム生産炉(すべて重水炉)で必要となるサバンナ・リバー・サイトで1952年から1982年まで行われていたほか、ウエストバージニア州モノンガリア郡にあったモーガンタウン兵器工場(1943年から1945年まで)、インディアナ州バーミリオン郡にあったウォーバッシュ川兵器工場(1943年から1945年までと、1952年から1957年まで)、アラバマ州タラデガ郡にあったアラバマ陸軍弾薬工場(1943年から1945年まで)で行われていた。トリチウムに関しては、サバンナ・リバー・サイトで製造しているが、年代によってその方法が異なる。

プルトニウム生産炉が稼働していた1955年から1988年までは、その炉を兼用で使用してトリチウムも製造していたが、1988年から2003年までは廃棄した核兵器から回収して抽出していた。戦略兵器削減条約(START)による大量廃棄の時期なればこそである。一方、冷戦後の2003年からは、商用炉にリチウム6燃料棒を装荷し、それを回収してトリチウムを抽出している。なお、核弾頭内でデュートリウムとトリチウムを入れておく容器に関しては、ロッキー・フラット工場で作っている。

● セカンダリーの製造

次にセカンダリーの構成要素について見ていく。

セカンダリーのスパーク・プラグはプルトニウム製なので、生産方法は前述のプルトニウム生産炉と化学冶金工場に同じである。重水素化リチウムのうち、「重水素」の部分についても、デュートリウム製造工場と同じように理解できる。

一方、「リチウム」の部分については、前節でも述べた通り、核兵器製造に必要とされるのはリチウム6である。リチウム6は天然のリチウム中に7.6%しか存在しないので、濃縮工程が必要になる。これには、COLEX法と水銀電極法との2つがあり、前者は米国が、後者はロシア(ソ連)が、それぞれ主たる方法として採用した。

ロシアにおいては、ノボシビルスク州ノボシビルスクにあるノボシビルスク化学濃縮工場が、1958年以来、リチウム濃縮を行ってきた。同工場は、商用炉用の核燃料棒集合体の製造も行っている。

米国においては、テネシー州アンダーソン郡にあるクリントン工兵工場が、1950年から1963年までリチウム濃縮を行っており、例によって短期間で必要量を一気に製造した。COLEX法も水銀電極法もいずれも水銀を大量に使用し、環境汚染が激しいので、1963年以降は製造していない。なお、このリチウム濃縮が行われた建屋は、太平洋戦争期に電磁濃縮法によってウラン濃縮が行われたY-12施設の再利用である。

前節で、セカンダリーのタンパーにウラン235を使う場合があることを述べた。ここでは、そのウラン235の濃縮工場について述べる。なお、ウラン235についても、前述のように米国には冷戦時代に製造した大量の在庫があるので、現在は核兵器用にはウラン濃縮を行っていない。ただし、商用原子炉用や艦艇用原子炉用には、今も濃縮が必要である。

ロシアでは4つのウラン濃縮工場が、すべて現在も活動している。まず、先述のプルトニウム製造を行っていたSKhKが、1953年から1973年まではガス拡散法で、1976年からは遠心分離法でウラン濃縮を行っており、最大分離作業量は3,400 t SWU / 年である¹⁰。前述のデュートリウム濃縮を行っているUEKも、1949年から1987年まではガス拡散法で、1964年からは遠心分離法でウラン濃縮を行っており、最大分離作業量は11,900 t SWU / 年である。クラスノヤルスク地方のゼレノゴルスクにある電気化学工場(EKhZ)は、1962年から1990年まではガス拡散法で、1964年からは遠心分離法でウラン濃縮を行っており、最大分離作業量は7,000 t SWU / 年である。最後に、イルクーツク州のアンガルスクにあるアンガルスク電気分解化学コンビナートが、1957年から1990年まではガス拡散法で、1990年からは遠心分離法で、ウラン濃縮を行ってきた。最大分離作業量は2,000 t SWU / 年である¹¹。一例として、衛星画像6に、EKhZのウラン濃縮建屋を示す。ウラン濃縮工場は、多数の装置を連結したカスケイドを構成するので、ライン状に細長い建屋になるのが典型例である。また、核兵器の最終組立工場の一つとして紹介したEKhPでは、1947年から1951年までの短期間だけ、電磁濃縮法によるウラン濃縮が行われていた。

¹⁰ SWUはSeparative Work Unitの略であり、分離作業単位の意味。ウラン濃縮において天然ウランから濃縮ウランを製造する際に必要な作業量を示す指標として用いられる。原子力百科事典ATOMICA。

¹¹ Pavel Podvig, "History of Highly Enriched Uranium Production in Russia," *Science and Global Security*, 19, 2011, 46-67.

衛星画像 6 : EKHzのウラン濃縮建屋



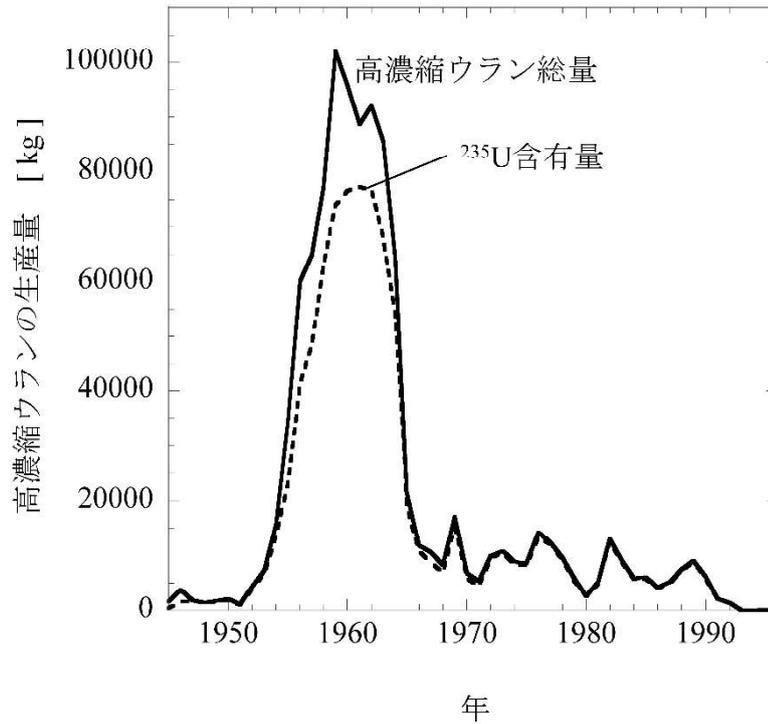
衛星画像 7 : ノボシビルスク化学濃縮工場のリチウム濃縮建屋



出典 : Google Earth

米国には3つのウラン濃縮工場があったが、現在も稼働しているのは、後述のパデューカだけである。まず、マンハッタン計画によって建設された前述のクリントン工兵工場が、敷地内のK-25施設で、1945年から1985年までガス拡散法でウラン濃縮を行っていた(最大分離作業量は7,700 t SWU /年)。マンハッタン計画時には、熱拡散法(S-50施設)と電磁濃縮法(Y-12施設)も併用され、ハンフォード・サイトで大量生産を始める前のプルトニウム生産炉の実証炉(X-10施設)も稼働していた。次に、ケンタッキー州マクラッケン郡にあるパデューカ・ガス拡散工場が、1952年からガス拡散法でウラン濃縮を行っている。同工場は現在も稼働中で、最大分離作業量は11,300 t SWU /年である。最後に、オハイオ州パイク郡にあるポーツマス・ガス拡散工場が、1954年から2001年までガス拡散法でウラン濃縮を行っていた。最大分離作業量は8,300 t SWU /年である。なお、同工場では、敷地内に遠心分離法を用いた別のプラントを建設することが繰り返し計画されたが、結局実現していない。兵器用ウラン濃縮に遠心分離法を適用する技術が確立する前に、十分な量の高濃縮ウランを製造し終えたからである。図12に、米国における高濃縮ウランの年間製造量の推移を示す。

図 12：米国における兵器用高濃縮ウランの年間製造量の推移



出典：U.S. Department of Energy National Nuclear Security Administration Office of the Deputy Administrator for Defense Programs “Highly Enriched Uranium : Striking a Balance,” 2001を基に研究会作成

これら以外の構成要素に関しては、米国では、ラディエーション・ケース、充填剤、起爆制御装置のいずれも、ミズーリ州ジャクソン郡にあるカンザス・シティ国立安全保障キャンパスで製造している。

第2章

中国の核弾頭生産サイクル： わかっていることと知らないこと

1. 核弾頭開発の歴史

核兵器開発体制の変遷

中国の核開発は、冷戦における大国間対立という環境、すなわち米国の脅威とソ連からの核の技術提供を前提とした。1954年に第1次台湾海峡危機が生じ、間もなく米華相互防衛条約が締結された結果、中華人民共和国は台湾の武力解放の過程で米国との直接戦争を念頭に置かねばならなくなった。その直後の1955年1月に毛沢東が党中央書記処拡大会議において核開発の意向を示したことは、こうした経緯と無関係ではない。こうした中の1957年10月15日、ソ連と締結した「国防新技術協定」において、ソ連から原子力爆弾の技術の提供が定められた¹²。

その後、中国政府は、1958年7月に核兵器開発の中心的な組織となる第二機械工業部第九局を発足させ、核兵器開発を進める体制を整えた。ソ連からは、核兵器に関する技術資料のみならず、技術者の採用や教育も提供された¹³。技術資料の中には核兵器に関するテキスト模型や設計図なども含まれた。だが、こうしたソ連からの技術提供は、中ソ関係に緊張が生ずるにつれ遅延し、1959年6月にソ連は中国へ正式に核弾頭の技術資料の提供を拒絶することを通知した。

ソ連からの技術支援が得られなくなった後も、中国は、独力で核開発を進めた。1960年初めに第二機械工業部第九局を核兵器研究局へと再編し、北京の核兵器研究所（理論、実験、設計、生産）の4部門（13研究室）と青海省海晏県に設置した西北核兵器発展基地を管轄させた¹⁴。

中国が第1回目の核実験に成功したのは1964年10月15日のことであり、翌年5月には爆撃機からの原爆投下実験、1967年6月に水素爆弾の試験を相次いで成功させた。また、弾道ミサイル用核弾頭の開発も1964年3月から計画されたが、核爆弾に比べて体積と重量を小さくする必要があり、高い技術が要求されたという¹⁵。だが、これも1966年10月に実験の成功にこぎつけた。

この過程で、中国には核工業の産業集積地が形成された。研究開発の中心は首都である北京であったが、1960年中盤から本格化した三線建設により、核兵器の開発、製造、運用を含めた重要な機能が内陸部に移された。なかでも「核の都市」となったのが四川省綿陽市であり、同市を中心として、核兵器開発のネットワークが形成されていった。Project 2049のマーク・ストークスは、核弾頭が貯蔵されている第二砲兵（現在のロケット軍）67基地も四川省に隣接する陝西省宝鶏市太白市に1965年に建設され、1960年代に宝鶏と成都、そして綿陽の近くの核物質生産施設をつなぐ鉄道網の建設が解放軍の鉄道建設隊によって主導されたと指摘する¹⁶。現在、ロケット軍67基地には、核弾頭の管理・各種試験を実施するミサイル技術勤務旅団、核弾頭の検査や防護を担当する96038部隊、また核弾頭の輸送を担当する特殊装備運輸団等、核弾頭の運用を主に担う各部隊が存在すると見られている¹⁷。

¹² 《当代中国》叢書編輯委員会『当代中国的核工業』中国社会科学出版社、1987年、13-14頁。

¹³ 《当代中国》叢書編輯委員会、前掲書、258頁。

¹⁴ “China Breaks the European Cartel,” *The Nuclear Express*, Zenith Press, 2010, p.96.

¹⁵ 《当代中国》叢書編輯委員会、前掲書、287頁。

¹⁶ Mark Stokes, “China’s Nuclear Warhead Storage and Handling System,” Project 2049 Institute, March 2010, p.4.

¹⁷ China Aerospace Studies Institute, “PLA Rocket Force Organization” October 24, 2022, pp.179-193.

衛星画像 8：核弾頭備蓄施設とみられるロケット軍67基地



出典：Google Earthより研究会作成

核兵器開発をめぐる研究開発組織

中国の核兵器開発史を振り返る際に重要なことは、改革開放の過程で核行政が大きく変化し、それが核の国防工業にも波及したことであろう。改革開放の決定に伴い、党と国家の重点が転換し、国防科学技術工業は「軍を主とし、軍民結合へ」という戦略的な調整がなされた¹⁸。

具体的に述べると、1979年4月、当時の行政機関である第二機械工業部は、原子力発電の積極的な発展、放射性同位体やその他の核技術の応用の促進、民生用製品および輸出製品の生産、民生用エンジニアリングの設計および施工などを担うこととなった。こうした調整により、核工業の重点は国家の安全保障を維持しつつも国民経済の建設に移したとされる¹⁹。さらに第二機械工業部は1982年5月に核工業

¹⁸ 「中国核工業：在改革中新生 在開放中崛起」国家原子能機構、2018年12月20日。

¹⁹ 「改革開放40年大事記：記録中国核工業 我們一路走来」中国核網、2018年12月19日。]

部へと改名され、1988年9月に中国核工業総公司へと再編された。中国核工業総公司は企業として位置づけられたものの、実際には行政的な役割を保持し、政府の職能を兼ね備えていることは明らかであった²⁰。

現在の中国核工業集团公司(中核集団)と中国核工業建設集团公司は、1999年に中国核工業総公司を再編する過程で二つに分離したものである。基本的には国有企業であるが、政府と緊密な関係を持ち一部行政機能を有する。民営化の流れを象徴する事例の一つは、中核404有限公司である。同企業は、もともと甘肅省嘉溪関市酒泉にある国営404工場であり、核兵器開発で中心的な工業生産基地の一翼を担ったとされる²¹。しかし、中核集団が1999年に設立された結果、2003年に中核集団の傘下企業となり、さらなる市場経済化の流れのなかで、軍事設備の製造事業を縮小し、核放射性廃棄物の処理事業など民生の原子力開発に関する事業を中心とする企業となったとみられる²²。

ただし、中核集団は現在も軍事力建設に関わっていると考えられる。この点で、同企業の傘下にある9つの直轄企業(図14)のうち、成都市に所在する中国核動力研究設計院(NPIC)は重要である。同院が所有する設備製造工場のウェブサイトでは「軍事用設備」の製造を行っていることを部分的に公表している²³。また、ハーバード大学ベルフエアセンターのファイ・ジャン(Zhang Hui)は、中国核動力研究設計院が2006年に第二世代艦船用原子炉を開発したことを指摘するなど、中核集団が依然として核に関する軍事設備の製造に関係していることが示唆されている²⁴。

²⁰ 「中国核工業：在改革中新生 在开放中崛起」国家原子能機構、2018年12月20日。]

²¹ 「穿越时空追忆红色历史 央视走进中国核城“404”」澎湃、2021年2月22日。]

²² 「核城之旅」国家核安全局、2025年4月21日。

²³ 「設備製造厂 關於我們」中国核動力研究設計院、2025年、11月5日最終閲覧。

²⁴ Hui Zhang, “China’s Fissile Material Production and Stockpile,” Research Report No. 17 International Panel on Fissile Materials, p.17.

図 13：四川省を中心とする核工業網



出所：研究会作成

他方、核兵器そのものの開発に関しては中国工程物理学院 (CAEP) が重要な役割を担っていると考えられる。同院は、その規模から、米国のロス・アラモス、ローレンス・リバモア、サンディアを統合した組織に相当するとも言われる²⁵。中国工程物理学院は、もともと第二機械工業部第九局が所管する研究所であったために九局(院)と呼称されていたが、1960年代に三線建設の過程で幾度かの組織改編を経る中で青海省海晏県にあった西北核兵器研究設計院(現在は閉鎖)の業務を引き継ぎ、1990年に中国核工業総公司から分離して現在の中国工程物理学院となった²⁶。同学院の研究者公募ウェブページによれば、その傘下には以下の15の研究所が存在することが示唆されており²⁷、その多くが綿陽市内に所在するとみられる²⁸。

なお、中国国内の諸情報では、2008年の四川省地震の際、綿陽市の中国工程物理研究院関連の科学研究機関や成都市の中核集団関連の組織は大きな損害を被ったことが示唆されている²⁹。

²⁵ Thomas C. Reed & Danny B. Stillman, "China's Decade of Nuclear Transparency," *The Nuclear Express: A Political History of the Bomb and its Proliferation*, Zenith Press, 2000, p.220.

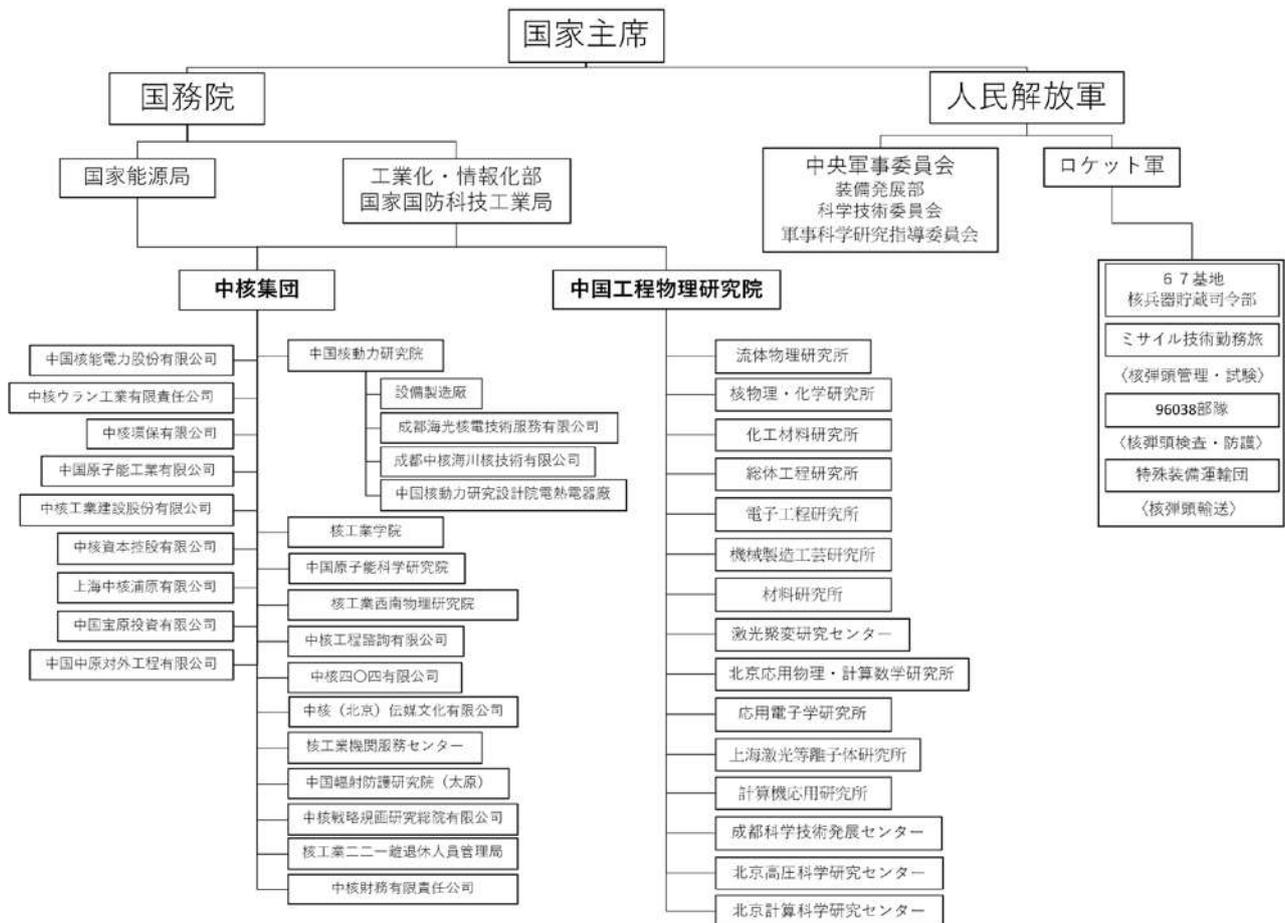
²⁶ 中国工程物理学院の組織改編の経緯は、中国核工業「九院、九局還是九所?这次終於厘清了」『中国核学会』2020年8月18日を参考。「培養単位」中国工程物理研究院研究生院-招生信息网、2025年11月5日最終閲覧。

²⁷ NTI, "Chinese Academy of Engineering Physics (CAEP)," last updated: September 29, 2011.

²⁸ 例えば、馬娜 高炳焱 宋生攀「積極伝承、勇於実践、探索創新-中国核動力研究設計院軍工核安全文化建設紀実」『中国軍転民』20-25頁など。

1. 流体物理研究所
2. 核物理・化学研究所
3. 化工材料研究所
4. 総体工程研究所
5. 電子工程研究所
6. 機械製造工芸研究所
7. 材料研究所
8. 激光聚変研究センター
9. 北京応用物理・計算数学研究所
10. 応用電子学研究所
11. 上海激光等離子体研究所
12. 計算機応用研究所
13. 成都化学技術発展センター
14. 北京高圧科学研究センター
15. 北京計算科学研究センター

図 14：中国の核開発組織図



出典：各資料を基に研究会作成

2. 核関連技術の取得に関する活動

技術取得の経緯

他方、中国の核兵器開発は完全に独力で行われてきたわけではない。冷戦期の核兵器開発がソ連からの技術協力で始まったことは前述のとおりであるが、冷戦後には米国からの技術取得が活発に行われてきたことが知られている。手法面で見ると、この種の技術取得は、サイバー攻撃からの経路と人的経路が並行し、相互補完しながら進展してきたものと見られる。

中国による技術取得の実態が明らかになった転換点は、2014年である。同年、米司法省は人民解放軍61398部隊の将校5名を、米国の原子力関連企業などからの営業秘密窃取等で起訴した³⁰。続く2018年には、いわゆるAPT10³¹に属する朱華 (Zhu Hua)・張士龍 (Zhang Shilong) の2名が起訴され、MSP (Managed Service Provider: 外部のIT運用事業者) の正規権限を踏み台とする連鎖侵入により、攻撃が個別企業にとどまらず、多様な業種と複数の国へ同時並行的に広がり得る構造であることが明らかになった³²。

2023～2024年には、米CISA / NSA / FBI等の共同勧告が、中国支援グループ Volt Typhoonが重要インフラ事業者のITネットワークに侵入して長期潜伏していた事実を確認し、あわせて通信・エネルギー・運輸・水道など各分野で、将来OT(運用技術)を妨害し得るよう平時から目立たない足場を確保する「事前配置(pre-positioning)」を実施していたと指摘した³³。これは、核関連の周辺(電力・通信・物流など)から、設計・工程・材料・購買といった核心データに近づくための、具体的な侵入経路と手順がすでに機能していたことを示唆する。

欧州でも、英国セラフィールドをめぐり2023年12月4日に「ロシア・中国系グループの侵入」を指摘する報道が出た一方、同日、英政府は成功攻撃の証拠なしと公式に表明した。ただし、2019～2023年における同施設のサイバー管理体制上の欠陥については、2024年に有罪答弁と罰金£332,500が確定し、核関連施設における情報セキュリティ管理の脆弱性が司法上も正式に認められた³⁴。侵入が実際に成功したかどうかについては評価が分かれたものの、こうした管理体制上の欠陥という独立した事実は、攻撃者の立場から見れば、内部情報へアクセスするための現実的な機会と経路が存在していたことを意味している。

人的経路でも事例が積み上がった。アレン・ホー(何思雄: Szuhsiung Ho/He Zhixiong)は、米原子力法に基づく許可を得ず中国広核集団(CGN)向け特別核物質の国外開発支援に関与したとして禁錮24か月の判決(2017年)を受けた³⁵。ルックマン(Turab Lookman)は、中国の人材プログラムへの関与を

³⁰ U.S. Department of Justice, “U.S. Charges Five Chinese Military Hackers for Cyber Espionage Against U.S. Corporations and a Labor Organization,” May 19, 2014; Federal Bureau of Investigation (FBI), “Five Chinese Military Hackers Charged with Cyber Espionage Against U.S.,” May 19, 2014.

³¹ 高度持続的脅威の一派。APT=国家等の支援を受け、長期潜伏と継続作戦を行う集団。

³² U.S. Department of Justice, “Two Chinese Hackers Associated With the Ministry of State Security Charged with Global Computer Intrusion Campaigns,” Dec 20, 2018.; CISA / NSA / FBI et al, “PRC State-Sponsored Actors Compromise and Maintain Persistent Access to U.S. Critical Infrastructure (AA24-038A),” Feb 7, 2024(PDF).; NCSC, APT10 advisory, Dec 20, 2018 (PDF)

³³ CISA / NSA / FBI et al, “PRC State-Sponsored Actors Compromise and Maintain Persistent Access to U.S. Critical Infrastructure (AA24-038A),” .

³⁴ UK Government, “Response to a news report on cyber security at Sellafield,” Dec 4, 2023; The Guardian Dec 4, 2023; Reuters Dec 4, 2023; Office for Nuclear Regulation (ONR) “Sellafield Ltd fined £332,500 for cyber security shortfalls,” Oct 2, 2024; Financial Times Oct 2, 2024.

³⁵ U.S. Department of Justice “U.S. Nuclear Engineer, China General Nuclear Power Company and Energy Technology International Indicted in Nuclear Power Conspiracy against the United States,” Apr 14, 2016; U.S. Department of Justice (USAO-EDTN) “U.S. Nuclear Engineer Sentenced to Serve Twenty-Four Months in Federal Prison for Violating The Atomic Energy Act,” Aug 31, 2017

めぐる虚偽申告で保護観察5年・罰金\$75,000(2020年)となった³⁶。招聘・共同研究・兼業といった形式上は合法の枠組みでも、データガバナンスの甘さや利害関係の不透明化を通じて知見の外部還流が起り得ることが示された。

手法

核関連領域を狙うサイバー作戦の典型は、①初期侵入(標的型メールや境界装置の脆弱性悪用、MSP踏み台)、②永続化(スケジューラやVPN、クラウドの信頼関係設定等)、③認証情報窃取(ドメイン資格情報や管理者アカウントの掌握)、④横移動(Lateral Movement)、⑤収集と外部送信という連鎖である。ここで鍵となるのがLOTL(Living Off The Land: 正規ツール/正規アカウントのみを用いて痕跡を目立たせない手口)であり、RDPやWMI等の正規の管理ツールを利用するため、検知は難しくなる。Volt Typhoonに関する分析では、Fortinet / Ivanti / Citrix / Cisco等の脆弱性を起点に、最終的にNTDS.dit(Windowsドメインのアカウント・データベース)やログ基盤へ到達し得るリスクが指摘される³⁷。

APT10が示したもう一つの重要点は、MSPの正規権限を悪用すれば、個々の原子力関連企業に直接侵入しなくても、MSP(外部のIT運用事業者)が保有する正規の管理権限や接続経路を経由することで、設計図、試験・品質記録、材料規格、購買台帳、さらにはHPC / EDA等の解析データに間接的にアクセスできる、ということである。国際的な監査・コンサルティング会社PricewaterhouseCoopers(PwC)と、英国の防衛・サイバーセキュリティ企業BAE Systemsによる共同技術報告は、この手法により「数千社規模に影響が及び得る」と記載し、多数の組織へ同時に影響が広がり得る構造を具体的に示した³⁸。すなわち、MSP経路のバックアップ・ログ・構成管理の領域に潜り込むことは、核関連の設計図・工程記録・材料仕様・購買記録などの重要データへ実際にアクセスするための具体的な経路として機能し得る。

核施設とそのサプライ・チェーンは、電力・通信・物流・水道などの重要インフラ、およびMSPと強くつながっている。Cloud Hopper(中国の支援を受けたサイバー集団APT10が実行した、MSPを狙う広域の侵入作戦の通称)では、MSPが持つ管理経路を使って顧客のネットワークに入り、そこで集めたデータをMSP側にまとめて保存し、その後外部へ送信するという段階を踏む方法が確認された³⁹。その結果、顧客がMSPに預けた機密情報が、MSPの通常業務のデータやり取りに紛れて外部へ出てしまうおそれがあることが明らかになった。

この仕組みを核関連の分野に当てはめると、施設本体や主要ベンダの情報システム(IT)や制御システム(OT)に気づかれずして近づき、設計図、工程記録、品質記録、材料仕様、購買記録などの重要データに幅広くアクセスできてしまう現実的な道筋となる。Volt Typhoonは、すぐに破壊行為を行うのではなく、まず目立たない形で長く潜伏し、ネットワークの構成図、運用手順、管理者が普段どの経路

³⁶ U.S. Department of Justice “Former employee at Los Alamos National Laboratory sentenced to probation for making false statements about being employed by China,” Sep 15, 2020.

³⁷ CISA / NSA / FBI et al, “PRC State-Sponsored Actors Compromise and Maintain Persistent Access to U.S. Critical Infrastructure (AA24-038A),” Feb 7, 2024 (PDF).

³⁸ PwC UK / BAE Systems, Operation Cloud Hopper: Exposing a systematic hacking operation with an unprecedented web of global victims, Apr 2017 (PDF)

³⁹ Ibid.

で操作するかといった、将来の妨害に役立つ情報を集めていたとされる。これらの情報はそれ単体では核兵器の設計に直結しないが、核燃料の調達や加工、機器の製造、品質保証、運転・保全といった各工程の情報と組み合わせることで、実務に使える詳しい知識としてまとめ直すことができる。

表 6：各国のプルトニウム保有量

国名	プルトニウム保有量（単位：t）	軍事転用可能なプルトニウム量（単位：t）
ロシア	193	88±8
米国	87.6	38.4
英国	120	3.2
フランス	102	6±1
中国	3	2.9±0.6
パキスタン	0.58	0.58±0.2
インド	11	0.7±0.16
イスラエル	0.9	0.9±0.1
北朝鮮	0.04	0.04
日本	44.4	0

出典：International Panel on Fissile Materials (IPFM) より研究会作成

しかし、2017年以降、中国は理由を明確にしないまま、INFCIRC-549に基づく報告を停止した。この結果、中国は、核保有5か国（米ロ中英仏）の中でINFCIRC-549報告を行わない唯一の国となっている。この時期から核戦力の規模的増強（第3章第1節で後述）を開始したのに対応し、核弾頭生産サイクルのネックであるプルトニウム生産能力の秘匿を図ろうとした可能性がある。

実際、この少し前から、中国はプルトニウム生産能力の増強を開始していた。2025年時点において、中国は、フランスから技術移転を受けた加圧水型軽水炉（PWR）を中心として、日本の4倍近い57基の原子炉を稼働させている⁴²。あわせて、将来的にウラン燃料が不足する可能性を考慮し、PWRの使用済み燃料からプルトニウムを分離し、ウランと混ぜた混合酸化物燃料（MOX燃料）にして発電効率の良い高速増殖炉（FBR）で利用する核燃料サイクル技術の確立を目指してきた⁴³。そのため、福建省にCFRと呼ばれる2基のFBRを建設するとともに、404工場において民生用再処理施設の建設を進め、2010年頃に運転を開始したとされる。しかし、不具合が続き、同施設が通常運転に至ったのは2019年頃であったと推定されている⁴⁴。

⁴² IAEA “Power Reactor Information System: China,”

⁴³ Mark Hibbs, “The Future of Nuclear Power in China,” 2018, p.77.

⁴⁴ 張会 (Hui Zhang)「中国のプルトニウム・リサイクル計画—現状と問題点」『New Diplomacy Initiative』2022, Vol15, 1頁。

衛星画像 9：404 四工場



出典：Google Earth

2015年以降、この試験工場からそれほど離れていない甘粛省の砂漠地帯で、新たに二つの再処理工場の建設が開始された。中国政府および運営主体となる中国核工業集团公司(CNNC)は詳細を明らかにしていないが、第一工場は2020年2月までに土木工事の段階を終了し、機器設置の段階に入った。また、公式発表はないが、2020年頃には第二工場の建設が始まったと見られる。2021年に公表された甘粛省の投資計画によると、第一、第二工場を含む再処理工場整備の投資総額は3,000億元(約6兆円)と記載されている⁴⁵。衛星画像10、11(2021年時点、および2024年時点)を比較すると工事の進捗は一目瞭然で、第一工場は2026年中にも運転を開始すると見られる。一方、第二工場はまだ屋根が敷設されていない施設も見られ、運転開始は2030年以降と考えられる。

⁴⁵ 松久保肇「憂慮される中国の核燃料サイクル施設」12~13頁。

衛星画像 10：甘肅省・再処理工場
(2021年11月8日)



衛星画像 11：甘肅省・再処理工場
(2024年11月12日)



出典：Google Earth を基に研究会作成

核燃料サイクルのもう一つの柱を構成するFBRは、運転中の核燃料の反応によってプルトニウムが新たに生産され、挿入した燃料以上のプルトニウム回収が可能なことから「夢の原子炉」と呼ばれてきた。米国、ロシア、フランス、イギリス、日本が実用に向けた技術開発で先行し、日本では1994年から1995年にかけて「もんじゅ」とよばれる原型炉が稼働していた。しかし、原子炉を冷却するためのナトリウムの管理が難しく、米国は1980年代に開発を中止し、英国、フランスは1990年代に、日本も2018年にもんじゅの廃炉を決めている。

これに対して、中国は2018年にロシアとの間で原子力協力協定を締結し、FBRの開発を継続してきた。FBRは使用済み燃料を再処理することにより、核兵器に最適な超高純度のプルトニウム239を取り出すことができるため、軍事転用の懸念が付きまとう。米国防総省は、米国との戦力均衡を目指す中国がこれらのFBRを兵器用プルトニウムの供給拠点とする可能性を指摘している⁴⁶。

衛星画像12を見ると、1号機の上部に位置する排水口にはっきりと目視できるほどの白い渦が確認でき、大量の排水が行われていることが分かる。FBRを安全に運転するには、毎秒50トン程度の海水を取り入れ、炉の周辺機器を冷却する必要がある、大量の排水は、炉が試験運転に入っていることを示している。2号機でも原子炉建屋に屋根が敷設され、完工が近づいていることが窺われる。1号機は2023年夏、海への大量の排水が始まったことが確認されたが、時々排水が止まっていることが分かっており、まだ本格稼働には至っていないと見るべきであろう⁴⁷。1号機に装荷された使用済み燃料を取り出し、再処理によりプルトニウムを獲得できるのは、早くても2026年以降と考えられる。いずれにしても、中国が2010年代以降、プルトニウム生産能力の系統的な増強を図っており、その拠点は甘肅省の404工場とその周辺施設、そして福建省のFBRであると考えられることをここでは押さえておきたい。

⁴⁶ U.S. Department of Defense “MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA 2024,” Dec 2024, p. 101.

⁴⁷ 当研究会において衛星画像を確認したところ、2024年3月8日から20日まで、比較的長い期間FBRからの排水が止まっていた。

衛星画像 12：福建省のFBR



出典：Google Earth を基に研究会作成

ウラン生産・濃縮

中国におけるウラン濃縮は1964年から開始された。同年に操業を開始した甘粛省蘭州のウラン濃縮施設において200tSWU／年の生産が行われていたとされるが、電力供給能力の不足によって1996年に放棄が決定されている。他方、中国は、遠心分離方式によるウラン濃縮技術の供与協定をロシアとの間で1992年に締結しており、1996年から蘭州と陝西省漢中で操業が始まった。両施設の濃縮能力は合計で1500tSWU／年に達すると見られている⁴⁸。

しかし、両施設はIAEAによる保障措置の対象となっており、ここで生産される濃縮ウランを核兵器に転用することは難しい。また、中国のウラン濃縮技術はもともとロシアから導入されたものであるが、技術協力を受けるにあたっては軍事転用が協定によって禁止されているため、この点からも両工場生産される濃縮ウランを用いて核兵器を製造することは想定しにくい。

他方、核融合兵器に用いられる高濃縮ウランは、中性子の働きによって80%以下の濃縮度であっても十分な出力を得ることができ、非常に手間のかかる90%以上の濃縮を必要としない。中国は2013年に遠心分離法によるウラン濃縮技術の国産化を成功させており、80%程度の濃縮ウランを大量生産することは十分に可能であると考えておくべきであろう。また、80%濃縮ウランは艦艇用原子炉の燃料としても利用可能であることから、中国は海軍の原子力艦艇についても自立的な燃料供給能力を有すると思われる。

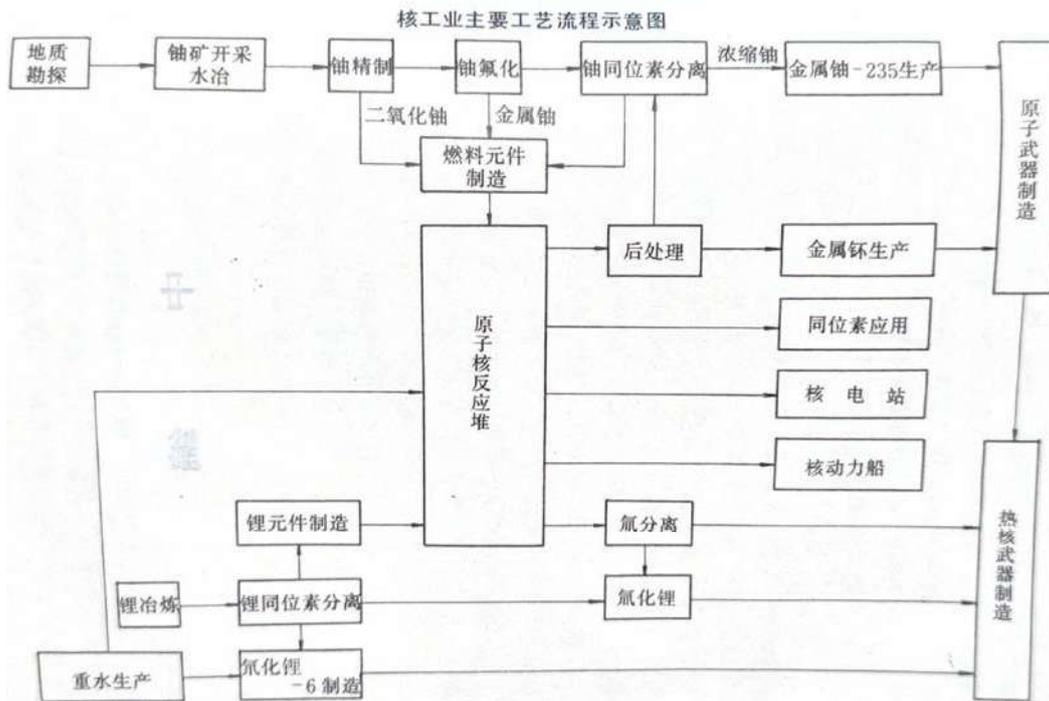
具体的には、中国は四川省峨眉山に第3のウラン濃縮工場を保有しており、これが核兵器・原子力艦艇用濃縮ウランの製造拠点である可能性が高い。仮にこの工場が1000tSWU／年程度の濃縮能力を持ち、

⁴⁸ 日本原子力研究開発機構 (JAEA) 「中国の核燃料サイクル」

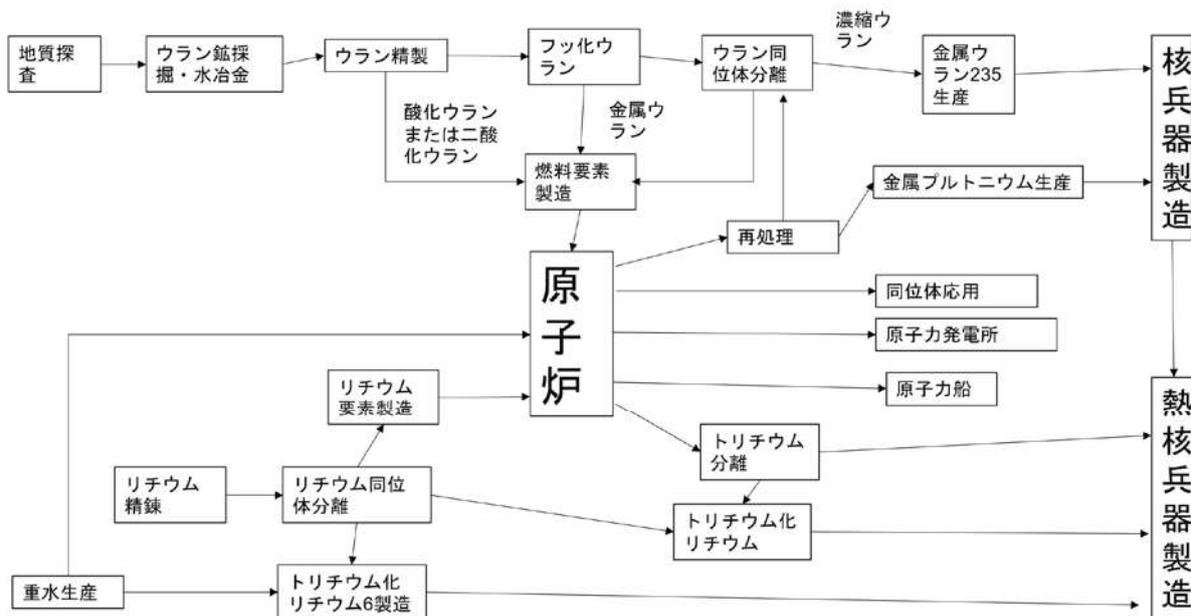
ここに年間800tの天然ウラン(六フッ化ウラン)を供給することができれば、約100発の水爆用80%高濃縮ウランを毎年生産することは十分に可能である。

ちなみに中国で1980年代に出版された『当代中国的核工業』(中国社会科学院出版社、1987年)の「核工業フローチャート」によると、中国の核兵器もプルトニウムとウラン235を使用してプライマリーを製造していることが窺われる(図16)。このうち、ウラン235はおそらくタンパーとして使用されていると考えられよう(第1章第1節を参照)。

図 16 : 「核工業チャート」原文および日本語訳



核工業主要プロセスフローチャート



出典：『当代中国的核工業』(中国社会科学院出版社、1987年)100頁。日本語訳は研究会作成

トリチウム生産

中性子発生装置やブースターに必要とされるトリチウムの生産体制については、実態がさらに不透明である。トリチウムはベータ崩壊によって短時間でヘリウム3へと変化していくという性質を持つ。したがって核弾頭内の中性子発生装置やブースターを構成するトリチウム・ピットはおよそ4年の間隔でヘリウム3を除去し、新たにトリチウムを加える作業(リフレッシュ作業)を必要とする(なお、核弾頭1発に必要なトリチウムは4-8gとされる)。米ロが核分裂物資の生産を停止した後もトリチウム生産炉を稼働させ続けてきたのはこのためであるが、これと同じ事情が中国にも当てはまる筈である。前掲の「核工業フローチャート」では、中国の核兵器にはトリチウムが使用されていることが示されているから、プライマリー部分はブースター化されていると考えておくべきであろう。

近年の研究によると、中国は天然ウランを燃料とする甘粛省酒泉のプルトニウム生産炉で1980年代までブースター用トリチウムを生産していた。また、1970年代にはトリチウム生産を強化するためにトリチウム生産用重水炉の建設プロジェクト(827工程)が持ち上がったものの、計画は1980年代初頭に中止されたと見られている。したがって、中国が既存の核弾頭を維持するためのトリチウムをどこで生産してきたのかについてはまだ全容が明らかでないが⁴⁹、四川省宜賓の核燃料生産施設(812工場)がトリチウム6とともにトリチウムを生産しているとの見方もある⁵⁰。

また、米国防総省の報告書は浙江省海塩にある重水炉でトリチウム生成工程の一部が行われている可能性を指摘している⁵¹。次章で詳述するように重水炉は2基あり、IAEAによると出力はいずれも728メガワットである。重水炉は使用済み燃料の再処理により「核兵器級プルトニウム」の抽出が可能であり、米国防総省の指摘は、これらの重水炉が中国において核兵器に必要な核物質の供給拠点になり得ることを意味している。

核弾頭の組み立て

第1節で述べたように、中国の核兵器開発は当初、青海省海晏県の西北核兵器発展基地で実施されていた。同施設では爆縮レンズ用爆発物、核分裂コンポーネント、その他の関連コンポーネントの生産とともに最終組み立てまでが行われていたと見られる。

しかし、同施設で核弾頭の生産・組み立てが行われていたのは1970年代までであり、それ以降は四川省が中心的な役割を果たしてきた。特に重要なのは、成都から離れた山間にあるFBRや高速爆発性試験施設を1990年に視察した米国人研究者の証言である⁵²。これは四川省綿陽市内の平武県平通鎮付近に核弾頭製造施設であったと考えられている⁵³。レニー・バビアーズ(Renny Babiarz)によると、この区域には機密地下施設が設けられ、プルトニウム金属やその他の危険物質を核兵器部品に加工・製造・組み立てることを役割としていると見られる⁵⁴。また、バビアーズはここ20年でその生産能力が大幅に

⁴⁹ Hui Zhang, *China's Fissile Material Production and Stockpile*, Research Report No. 17, International Panel on Fissile Materials, 2017, p. 18.

⁵⁰ "PRC's Nuclear Facilities," *atomicarchive.com*.

⁵¹ US. Department of Defense "MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLES REPUBLIC OF CHINA 2024," p. 108

⁵² Thomas C. Reed & Danny B. Stillman "China's Decade of Nuclear Transparency," *The Nuclear Express: A Political History of the Bomb and its Proliferation*, Zenith Press, 2000, pp.226-227.

⁵³ Hailey Wingo "Complex near Mianyang likely associated with China's nuclear weapons program," *Vertic*, May 6, 2025.

⁵⁴ Renny Babiarz "Expansion at China's Pingtong Nuclear Facility, 2002-2020, *AllSourc Analysis*," 13 November 2020, p.2.

増加している可能性を指摘するが、実際、衛星画像13からは、この地域で2000年代から2020年代に建屋の増築が大きく進み、その後も山林開拓と新たな施設建造が進んでいることが確認できる。2026年2月の『ニューヨーク・タイムズ』報道によると、同施設の拡張は2019年から顕著になり、プルトニウム・コアの製造に用いられていると推測されている⁵⁵。

他方、核弾頭の最終組み立てについては、哈爾濱で行われているとの情報もあるが、本研究の範囲内では疑わしい施設を特定することはできなかった。

衛星画像 13：平通鎮の核関連施設区域の開発の様子



出典：Google Earthより研究会作成

⁵⁵ *The New York Times*, February 15, 2025.

4. 核実験施設

ロプノール核実験場の概要

核弾頭の配備に向けては、核物質の挙動確認や爆縮技術の有効性を検証するため、核爆発実験（核実験）が必要である。また、核実験は核兵器の性能向上を図っていくためにも必要とされる。このため、米国やソ連は冷戦期に多数の核実験を実施した。中国も新疆ウイグル自治区のロプノール実験場」（図17）において大気圏内及び地下核実験を実施してきた。

図 17：ロプノール実験場



出典：研究会作成

同実験場では、1964年10月初めの大気圏内核実験が実施されたのを皮切りに、計46回の核実験が行われたとされている。1963年8月、米国、イギリス、ソ連の3か国により、大気圏内での核実験を禁止する部分的核実験禁止条約（PTBT）が調印されたが、核開発で後れを取っていた中国は同条約に加わらず、1980年代まで大気圏内核実験を繰り返した。

一方、1980年代以降は、中国も地下核実験に移行しており、これまで計5本の坑道が整備されてきた。ロプノール核実験場で最後の核実験が実施されたのは、1996年7月のことである。これは核爆発を伴う核実験を全面的に禁止する包括的核実験禁止条約（CTBT）が1996年9月に国連総会で採択されることを見込んでのものであったと考えられている。中国はCTBTを批准していないものの署名は行っており、以降は同条約を遵守すると繰り返し宣言してきた。

表 7：核保有国の核実験実績

国名（主な実験場）	回数	内訳（大気圏/地下）
アメリカ（ネバダ核実験場）	1030	215/815
米英共同	24	
ソ連（セミパラチンスク実験場及びノーヴァヤ・ゼムリャー核実験場）	715	219/496
フランス（ムルロア環礁：南太平洋）	210	50/160
中国（ロプノール実験場）	46	22/24
イギリス（マラリング実験場：豪州）	45	21/24
北朝鮮（豊溪里-プンゲリ-核実験場）	6	0/6
インド（ポカラン：タール砂漠）	3	0/3
パキスタン（ラースコー丘陵）	2	0/2

出典：[United States Nuclear Tests, July 1945 through September 1992](#)などを参照に研究会作成

近年の動向

しかし、近年、ロプノール実験場で新たな坑道整備の動きが見られ、中国が新たな核実験に踏み切る可能性が取りざたされている。おそらくは弾道ミサイルの多弾頭化などを意図して核弾頭の小型化を図ることが主な目的であると思われる。

衛星画像 14：ロプノール実験場の新たな坑道とみられる線（2022年8月）



2022年8月に撮影された衛星画像14を見ると、①の部分に大きな人工の覆いが見える。地下核実験場は山を掘り進んで坑道を整備することが多く、放射性物質の大規模な外部放出を防ぐため、坑道の入り口は分厚い鋼鉄、さらには土砂の壁で遮蔽される。また、爆発の威力が想定を超える場合などに備え、途中で坑道を屈曲させ、より深く掘って核爆弾を設置する。そこであらためて衛星画像14を見てみると、この覆い付近から山間に沿うように、③で示した現時点での終点付近まで線が伸びている

ことが分かる。これまでに知られている5本の坑道に加え、6本目となる新たな坑道を掘り進んでいる可能性を示唆するものである。現時点での坑道掘削の終点到核爆弾の設置場所を構築するの可否かは断定できないが、山間の地形に適合させて途中屈曲させながら坑道をかなり長く掘り進めており、実験場としての整備が終盤を迎えていることが分かる。

他方、坑道の入り口付近に影がはっきり識別できるほどの高いスタック(②)が確認できることは注目に値しよう。一つには、坑道建設中に効率的に換気を行い、作業員の安全を確保するためと考えられるが、坑道内の換気のためだけにこれほど高いスタックが必要なのは疑問が残る。もう一つの可能性としては、臨界前核実験を継続的に実施するために放射性希ガスを排出するためのスタックであるという見立てが成り立つ。また、臨界前核実験では臨界制御に失敗して爆発に至るリスクが排除できないことから、この種の実験は地下施設で実施されてきた。したがって、問題の坑道掘削工事については、核爆発を伴う実験が再開される可能性のみならず、臨界前核実験に向けた措置である可能性も考慮する必要があるだろう。

他方、米国のトランプ政権は、中国が密かに核実験を行っていたと主張している。2026年に米国のクリストファー・ヤウ国務次官補が明らかにしたところによると、中国の核実験はロプノールで2020年6月22日に実施され、720km離れたカザフスタンの地震波計測施設がマグニチュード2.75を記録していた⁵⁶。米国の主張に関する真偽は不明ながら、これが事実であれば、ロプノール核実験場では既に核実験が再開されている可能性も考慮せねばならない。

⁵⁶ Reuters, February 18, 2026.

第3章

核弾頭生産サイクルの将来像

1. 核戦力整備の今後

「中烈度の核抑止」を目指した核戦力整備

1964年に初の核実験に成功した中国は、ソ連全土を射程に収めることが可能なDF-3 中距離弾道ミサイル (IRBM) とDF-4 ICBMを1970年代に実用化し、続く1980年代には、米本土に到達できるDF-5 ICBMの配備が始まった。少数ながら米ソに対する報復核攻撃 (第二撃) を行いうる能力がこの時期までに獲得されたことになる。すなわち、「両弾結合 (核弾頭をミサイルに搭載すること)」である⁵⁷。

しかしながら、これらの核弾頭搭載弾道ミサイルの配備数はごく限られたものであり、CEPも大きかったため、冷戦期における中国の核戦略は「少数の重要な目標に対する反撃 (key point counterstrikes)」、すなわち米ソのいくつかの都市を標的とする最小限抑止 (minimum deterrence) に基づかざるをえなかった⁵⁸。したがって、中国の核戦力は「小粒で効果的な核反撃戦力」であることを旨として整備されてきたが⁵⁹、質と量ではるかに勝る米ソの核戦力に対して実際に抑止力を発揮できるかどうかは甚だ不確実であった。

そこで中国は、小規模な核戦力による最小限抑止に信憑性を持たせるために、いくつかの戦略を採用した。核ドクトリンと核戦力の実態を可能な限り秘匿して仮想敵の計算を複雑化させること、敵が核使用に及ぶまでは中国も核使用は手控える先行不使用 (NFU) 戦略を採用すること、核運搬手段の残存性を重視することなどがそれである。

このようにして担保される最小限抑止戦略からの脱却は、1980年代半ばには中国内部で議論されるようになった。米国の情報・偵察・監視 (ISR) 能力の向上やICBMのCEPの向上、精密誘導兵器 (PGM) による長距離通常攻撃能力の強化、そして将来的なミサイル防衛 (MD) 能力の出現は、第一撃に対する核兵器の残存性に大きな疑問を投げかけるようになったことがその背景にはある⁶⁰。

中国の公的文書に示される核戦略にも変化が見られるようになった。例えばマイケル・チェイスは、「中烈度の核抑止 (nuclear deterrence of moderate intensity)」の考え方が人民解放軍のドクトリン文書である『戦略学』の2001年版に初めて登場したことを指摘している。これは、戦術～戦略レベルに至る幅広い核戦力に支えられた米ソ (口) 型の「最大限抑止」と、中国型の「最小限抑止」の中間地点に位置するものであり、「敵が耐え難い損害を受けるだけの脅威を与えることで抑止を達成する」戦略と定義された⁶¹。

2010年代に入ると、中国はDF-31の射程延伸型 (DF-31A) とその路外機動性を高めたDF-31AG、MIRV搭載の道路移動型ICBMであるDF-41、そしてJL-2 SLBM搭載の094型SSBNの実戦配備も開始した。中でも、DF-41の開発と配備は興味深い。高橋杉雄が述べるように、CEPの小さなMIRVを搭載できるDF-41の能力は明らかに最小限抑止戦略とは矛盾するものであって、対兵力打撃を含む核戦略が意図されている可能性が高いからである⁶²。

⁵⁷ 「毛泽东与两弹一星」『中国共产党新闻网』2013年05月27日。

⁵⁸ 神保謙「中国—「最小限抑止」から「確証報復」への転換」秋山信将・高橋杉雄編『「核の忘却」の終わり 核兵器復権の時代』勁草書房、2019年、76-78頁。

⁵⁹ M. Taylor Fravel, *Active Defense: China's Military Strategy since 1949* (Princeton University Press, 2019), p. 241, 261.

⁶⁰ Narang, "China's Strategic Deterrence," p. 131.

⁶¹ Michael S. Chase, "PLA Rocket Force: Executors of China's Nuclear Strategy and Policy," Joe McReynolds, ed, *China's Evolving Military Strategy* (The Jamestown Foundation, 2017), pp. 143-144.

⁶² Sugio Takahashi, "Strategic Stability and the Impact of China's Modernizing Strategic Strike Forces," James M. Smith and Paul J. Bolt, eds, *China's Strategic Arsenal: World View, Doctrine, and Systems* (Georgetown University Press, 2021), p. 69.

他方、中国は、中烈度の核抑止に必要とされる戦術核戦力、早期警戒 (EW) 能力、指揮通信統制 (C3) 能力などの整備を網羅的に行なってこなかった。したがって、中国が目指しているのは、米ソ (ロ) のような核超大国が保有する核戦力の縮小版 (限定抑止力) ではなく、あくまでも敵の第一撃を確実に抑止できる程度の報復を確実にする確証報復 (assured retaliation ≠ assured destruction) なのであって、最小限抑止戦略の延長線上に位置付けられるというのが多くの先行研究の結論である⁶³。

幅広い中国の核戦略理解

フレイヴェルが指摘するように、中国の核ドクトリンは、核戦力が自衛のための抑止を唯一の任務とすること、核報復を確実にする小規模で残存性の高い核戦力を保有し、先行使用は行わないこと (NFU) などではほぼ一貫してきた⁶⁴。

しかし、中国の核戦力が実際に大幅な変化を遂げてきたことを考えるならば、実際の運用政策にはそれなりの変化が生じていたはずである。別の言い方をすれば、指導者の表明する宣言政策をどのように解釈するのかについてはかなり幅広い余地がもともと存在してきたのであって、対外的な安全保障環境、他国の核戦力、技術力の向上、官僚機構の構造・手続き・政策の変化によっては、「確証報復のための小粒で効果的な核反撃戦力」の内実が大きく変化する可能性は以前から指摘されてきた⁶⁵。

例えば、中国国務院新聞弁公室が2005年9月1日に発表した軍備管理・軍縮白書である『中国の軍備管理、軍縮、不拡散の努力』は、「最大の核兵器保有国である米ロ両国は、核軍縮に対して特別かつ優先的な責任を負っており、(中略) 検証可能かつ不可逆性の原則に従って核兵器をさらに削減するべきである」と、米ロ両国が先に核軍縮を進めるべきだとの認識を示した上で、「中国は、国家の安全利益を確保することを前提に、常に軍隊の数と規模を国家の安全維持に必要な最小限にとどめる」と述べている⁶⁶。この点は2025年に発表された白書でも基本的に引き継がれており、核軍縮は中国の安全保障が確保されて初めて実行されるべきだとの姿勢が改めて示された。中国が水素爆弾を開発すると決定した後の毛沢東主席 (当時) の「敵が保有するものは我々も保有せねばならず、敵が保有していないものも我々は保有しなければならない」という言葉が、中国の考え方をよく表している⁶⁷。

この文脈を踏まえるなら、中国がいう「最小限」とは、自国の安全や利益を守るために必要と (主観的に) 認識する量を表しているものであって、その質や量は、米国やロシアの核戦略や核戦力に応じて変化すると考えられよう。最近の例では、国連総会で核軍縮に関する演説を行った中国国連軍縮会議政府代表部の李松大使が「中国は、いかなる時、いかなる条件においても、核兵器の先制使用をしないこと、および非核兵器保有国または非核兵器保有地域に対する核兵器の使用または核兵器による威嚇を無条

⁶³ M. Taylor Fravel, Henrik Stålhane Hiim, and Magnus Langset Trøan, “China’s Misunderstood Nuclear Expansion: How U.S. Strategy Is Fueling Beijing’s Growing Arsenal,” *Foreign Affairs*, 10 November 2023.; Tong Zhao, *What’s Driving China’s Nuclear Buildup?* (Carnegie Endowment for International Peace, 5 August 2021).; M. Taylor Fravel, *Active Defense: China’s Military Strategy since 1949* (Princeton University Press, 2019), p. 241, 261.; Narang, *op. cit.*, 2019, pp. 121-138.; David Logan, “Hard Constraints on China’s Nuclear Forces,” *War on the Rocks*, 8 November 2017.

⁶⁴ Fravel, “Active Defense: China’s Military Strategy since 1949,” pp. 236-247.

⁶⁵ Eric Heginbotham, Michael S. Chase, Jacob L. Heim, Bonny Lin, Mark R. Cozad, Lyle J. Morris, Christopher P. Twomey, Forrest E. Morgan, Michael Nixon, Cristina L. Garafola, Samuel K. Berkowitz, “China’s Evolving Nuclear Deterrent: Major Drivers and Issues for the United States,” (RAND Corporation, 2017), pp. 34-35.

⁶⁶ 「中国的军控、裁军与防扩散努力」中华人民共和国国务院新闻办公室、2005年9月1日、http://www.gov.cn/zwgk/2005-09/01/content_28157.htm.

⁶⁷ 前出「毛泽东与两弹一星」『中国共产党新闻网』

件に控えることを厳粛に約束した。中国は常に核戦力を国家の安全保障に必要な最小限の水準に維持し、他の核保有国との軍拡競争には関与していない」と主張したこと⁶⁸もここに加えることができる。

核戦力の将来像

本研究のテーマに関して興味深いのは、中国が2010年代以降、膨大な数のICBM用サイロを建設し始めたことである。衛星画像分析によると、その数は300基以上に上る。現時点ではこれらのサイロ全てにICBMが収容されているわけではないと見られるものの、中国のいう「最低限」の量的水準はほぼ米口並みを目指している可能性が出てくる。

しかも、これらのサイロ群は衛星画像でも容易に確認できるほど位置を暴露しており、第一撃に対して脆弱である。山間部にサイロを秘密裏に建設し、多数のダミーサイロを設置するなどして非脆弱化を図ってきた従来の運用ドクトリンとは明らかに異なる。以上が示唆するのは、中国のICBM運用戦略が、米国の第一撃を感知したら着弾前に撃ち返すという警報下発射(LoW)に移行したということであろう。これを裏付けるように、米国防総省の中国軍事力報告は「中国は2024年と2025年初頭に、赤外線センサーを搭載したと考えられる2基の通信技術試験(TJS)衛星を静止軌道に打ち上げ、宇宙ベースの早期警戒体制を拡充したとみられる。中国の赤外線早期警戒衛星は、打ち上げ後90秒以内にICBMの接近を、早期警戒警報を伴って検知し、3～4分以内に司令センターに送信すると報告されている」と述べている⁶⁹。

しかし、中国の核戦力は依然として米口のそれに対して大きく劣っている。2026年2月まで有効であった新戦略兵器削減条約(新START)が米口の作戦配備核弾頭数を上限1550発としていたのに対して、2025年時点における米国防総省の見積もりでは、中国の作戦配備核弾頭数は600発台前半とされていた⁷⁰。また、これ以前の評価では2030年までに実戦配備核弾頭数が1000発以上、2035年には1500発に達すると見られていたものの、こうした将来見積もりは近年の米国防総省報告では言及されなくなっている。おそらくは中国の核弾頭生産能力に関する情報収集・評価能力を秘匿するためと考えられるが、中国が米口並みの核戦力を保有するにはまだ時間がかかることはたしかであろう。

したがって、中国は今後も核弾頭生産の増強を図っていく可能性が高い。仮に2010年代以降に建設されたサイロの全てが3発程度のMIRVを搭載したICBMを収容するとした場合、これだけで900発の核弾頭が必要とされる計算であり、既存の道路移動式(潜在的には鉄道移動式)ICBMやSLBM、IRBMその他の戦域核戦力を計算に入れると、地上発射弾道ミサイルに核弾頭をフル搭載するだけでも1000発以上が必要とされよう。中距離核戦力(INF)全廃条約の失効を受けてロシアが戦域核戦力の再配備に踏み切るなど、2026年2月の新START失効後に米口が核運搬手段に対する搭載核弾頭の再アップロードを行う場合には、中国のいう「最低限」の量的範囲はさらに拡大するであろうことも考えておかねばならない。今後、中国の実戦配備核弾頭数は、2000-3000発を目指す可能性も想定されるということである。

また、米国と同様の核兵器・核物質の管理基準に従うとすれば、実戦配備弾頭に対して多数の予備

⁶⁸ 「中国裁軍大使李松在联大全面阐述中国核裁军立场」『新华社』2022年10月19日。

⁶⁹ US. Department of Defense “MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLES REPUBLIC OF CHINA 2025,” Dec 23, 2025.

⁷⁰ *Ibid.*

弾頭が必要とされるはずである。核弾頭の爆発力を維持するためには4-5年おきにトリチウムを再充填せねばならず、この間の減少分を補う必要が出てくるためである。ロシアの場合は1718発の作戦配備弾頭に対して1114発の予備弾頭(作戦配備弾頭の約65%)を保有しているが、この比率を中国にも当てはめると、2000-3000発の核弾頭を常時作戦配備しておくためには予備弾頭を含めて3300-4950発が必要とされる。

2. 核分裂物質生産の今後

プルトニウム生産能力

しかし、以上で述べたようなこれだけの核弾頭生産を行う余地を中国は現実には有しているのだろうか。そもそも中国のプルトニウム保有量が他の主要な核保有国に比べて非常に少ないことは第2章で既に指摘した(表6)。IPFMが推定した2.9トン±0.6というプルトニウム保有量は、米口と比較すると10分の1から30分の1である。核戦力の増強を図るためには、プルトニウム生産の増強が必須となることが以上からは分かる。

なお、この数字は、先述した中国の二つの黒鉛炉の規模や稼働年数から割り出された中国による軍事用プルトニウム生産の全量である。核兵器1基あたりに必要なプルトニウムは3.5キロ±0.5で換算されるため、中国の核弾頭生産能力の上限は575-1,166発ということになり、現状では米口の核戦力に追いつくことは不可能である。また、表8に示すように、民生用の原子炉のうち、日本を含む多くの国で運転されている軽水炉由来の使用済み燃料はプルトニウム239の比率が低く、再処理によって抽出しても軍事転用には必ずしも適しない。FBRは核兵器に最適なプルトニウムの抽出が可能だが、技術上、安定稼働が難しく、中国のFBRもしばしば炉の運転を止めていることが衛星画像による分析で明らかになっている。

表 8：原子炉のタイプごとの抽出プルトニウムの組成

Pu 等級／原子炉のタイプ	Pu238	Pu239	Pu240	Pu241	Pu242
スーパーグレード (FBR)	0	97-98	2-3	0	0
核兵器級 (重水炉、黒鉛炉)	0	93-97	3-7	<0.5	0
原子炉級 (軽水炉)	2.4	53.8	22	15.5	6.3

出典：研究会作成

しかし、米国は、中国が民生用原子炉の使用済み核燃料から取り出したプルトニウムを軍事転用するのではないかと懸念を示してきた。特に懸念対象となっているのは、各国において運転実績があり、核兵器級プルトニウムの生産に適する重水炉である。重水炉は、原子炉の冷却材、および核分裂反応を促す中性子の放出速度をコントロールする減速材として重水(比重の大きい水、通常の水は区別するため軽水と呼ばれる)を用いる。天然ウランをそのまま燃料に使える利点があり、また、重水は軽水よりも中性子を吸収しにくいいため、核分裂反応で生成されるプルトニウム239の割合を高くできる。

中国は2002年以降、浙江省の秦山原発で2基の重水炉(いずれも出力728MW)を運転してきた。重水炉は1メガワット当たり、0.8g/日の核兵器級プルトニウムを抽出できる。年間300日運転するとすれば、 $0.8\text{g} \times 728\text{MW} \times 300\text{日} = 174,720\text{g}$ (174.72kg)を取り出せるため、再処理により、2基合計で年間約350kgの核兵器級プルトニウムを獲得できる。前述したように、核弾頭1発あたり3.5キロ±0.5のプルトニウムが必要とされるという図式に当てはめるなら、年間87-116発の核弾頭生産に対応できる生産能力ということになる。これに加えて2030年以降に2基のFBRが稼働すれば新たに350kg/年のプルトニウム生産が可能になると考えられ、この場合には中国の核弾頭生産能力は175-232発/年に引き上げ

られることが想定されよう。

INFCIRC-549に基づく報告を行わなくなったとはいえ、民生用と公表しているFBRや重水炉の使用済み燃料を抽出し、再処理したプルトニウムを軍事転用することは、中国の国家的信頼に関わる問題である。中国はNPT上の核兵器国として、IAEAによる保障措置を義務化されていないが、1988年にIAEAと協定を締結し「中国に輸入される核物質および原子力機器は平和目的にのみ使用される」と宣言している⁷¹。FBRについては燃料をロシアから輸入し、重水炉はカナダ由来である。したがって、現在稼働しているFBRおよび重水炉から取り出したプルトニウムを軍事転用することは、重大な国際協定違反になる可能性が高い。

一方、こうした政治的リスクを甘受して中国が民生用施設から取り出したプルトニウムを軍事転用する可能性は排除できず、計算上の上限としては以上で述べたとおり、中国が175-232発／年程度の核弾頭生産能力を持つことを想定しておかねばならないだろう。

ウラン・トリチウム生産能力

前章で述べたように、中国は既に独自技術によるウラン濃縮能力を有しており、核兵器の製造に必要な80%濃縮ウランを安定的に生産することが可能であると考えられる。少なくとも濃縮ウランの増産はプルトニウムのそれに比べて容易であり、その生産能力が核弾頭生産のボトルネックとなる可能性は低い。今後の中国が年間700kg程度のプルトニウム生産能力を獲得したとしても、これらを兵器化する上で必要なウラン濃縮能力に大きな問題があると考えられる根拠は希薄である。

この点は、トリチウム生産に関しても当てはまる。第1章および第2章で述べたとおり、トリチウムの生産には専用炉は必要とされない。プルトニウム生産炉の燃料棒の一部をリチウム燃料棒に換装すれば、プルトニウム生産を継続しながらトリチウムも生産できるからである。また、近年の米国では、商用炉にリチウム燃料棒を装荷してトリチウムを生産している例もある。

したがって、トリチウム専用炉がない場合は、どこで生産されているのか(どの炉にリチウム燃料棒が装荷されているのか)は、当該国が公表しない限り特定し難い。しかし、中性子照射後のリチウム燃料棒からトリチウムを抽出するためには放射化学工場における再処理が必要であるため、燃料棒の移動プロセスを追跡することで特定できる可能性はある。米国防総省が泰山原発のトリチウム生産への関与を指摘していることもあり、当研究会としては今後、衛星画像による同原発の観測を行っていく意向である。

中国の核弾頭増強能力を推定する

以上をまとめると、中国は2020年代を通じて年間100発程度の核弾頭をおそらく安定的に生産可能であり、2030年代以降にはこのペースが年間175-232発に増加することが見込まれる。仮に2020年代中の核弾頭生産ペースを100発／年、2030年代以降のそれを200発／年と想定すると、中国は2030年ごろまでに1000発程度の核弾頭を保有し、2035年には2000発になる計算である。ロシアの作戦配備弾頭／予備弾頭の比率に当てはめると、2030年時点における中国の作戦配備弾頭数は600発強、2035年時点

⁷¹ IAEA "AGREEMENT OF 20 SEPTEMBER 1988 BETWEEN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA AND THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY FOR THE APPLICATION OF SAFEGUARDS IN CHINA," p. 2.

におけるそれは1200発強と見積もられる。

この推定は、米国防総省報告と明らかに矛盾する。これまで見てきたように、米国防総省は2025年時点でさえ600発台前半の核弾頭を中国が「作戦配備」していると推定していたからである。言い換えると、年間100発という中国の核弾頭増加ペースはあくまでも「作戦配備弾頭」に関するものであって、予備弾頭を含めた年産数はこれまでに述べてきたよりも高い(と見積もられている)可能性が排除できない。したがって、仮に中国が現時点で150発／年程度の核弾頭生産能力を持ち、FBRの本格稼働後にはそれがさらに増加するのだとすると、今後10年程度で中国は現在の米ロ並みの核弾頭を実戦配備できることになる。

もうひとつの可能性としては、600発台前半の核弾頭を作戦配備するために必要とされる予備弾頭の数はずっと少ない、ということも考えられる。米ロが保有している予備弾頭は、作戦配備弾頭のメンテナンス時における「控え」としての役割を担うだけでなく、将来のアップロード余地を確保する役割も有する。したがって、アップロードを考慮しないで済むのであれば、予備弾頭数は作戦配備弾頭の2割とか3割で十分であるかもしれない。

ただ、このような見立てに従うにしても、核弾頭アップロードによる米ロの核戦力増強に中国が追いつくことは困難であろう。少なくとも核分裂物質(特にプルトニウム)の生産能力に大きな変化がない限り、中国の核戦力は、将来における米ロの作戦配備数(2000発以上となる可能性が高い)に対して依然として劣勢であり続けると予想される。

本報告書では、プルトニウムをはじめとする核物質生産から、核兵器を構成する主要部品、弾頭化に必要な部品と技術、それらの運搬と組み立て、組み立てた核兵器の性能を確認する核爆発実験、貯蔵と配備までを一つのサイクルと見立て、中国における核弾頭生産サイクル全体の解明を試みた。

本研究によって明らかになったサイクルは、以下のようなものである。まず、核弾頭の開発・設計を担っているのは中国工程物理学院(CAEP)であり、米国のロス・アラモス、ローレンス・リバモア、サンディア、あるいはロシアのVNIIEFやVNIITFに相当する。核分裂物質については大量のプルトニウム生産需要に対応するために福建省のFBRが使用される可能性が高く、これに対応して甘粛省の砂漠地帯に建設された再処理工場が用いられていると見られる。

他方、本研究でも明らかにならなかったことは少なくない。たとえば核弾頭の爆発力を維持するためのトリチウム生産については、中国核工業集团公司(CNNC)の民生用原子炉が使用されている可能性が示唆されるものの、はっきりした証拠は掴めなかった。また、東シナ海に面する福建省のFBRから内陸部にある甘粛省の核燃料再処理施設まで、どのように使用済み核燃料が運ばれるのかといったサイクルの実態も明らかではない。民生用技術の軍事転用の可能性を指摘した以上、研究会として、鉄道網の解明を含め、核弾頭生産サイクルの全体の解明を継続する必要がある。中国が現状、「核の透明性」の向上を図る意思が高くないとみられる以上、核弾頭生産サイクルから中国の核戦略を読み取ることは、日本はもちろん、国際社会にとって重要課題でもある。

しかしながら、この取り組みが、中国への警戒や対応を不必要にあおることを目的とはしていない点を強調しておきたい。解明を通じて中国に「核の透明性」向上への取り組みを促したり、米国、あるいはロシアとの軍備管理交渉に結びついたりすれば、取り組みの価値は一層向上する。「核弾頭生産サイクルの国際動向に関する研究会」による今回の成果報告はあくまで第一弾である。今後、国内外の研究機関、専門家からフィードバックを得ながら、中国の核弾頭生産サイクルと核戦略の関係の解明に向けた努力を重ねる意向である。

書籍

多田将『核兵器』明幸堂、2019年。

多田将『弾道弾』明幸堂、2020年。

秋山信将、高橋杉雄『「核の忘却」の終わり～核兵器復権の時代』勁草書房、2019年。

一政祐行編『核時代の新たな地平』防衛研究所、2024年。

ウィリアム・ペリー、トム・コリーナ『核のボタン』田井中雅人訳、朝日新聞出版、2020年。

ブラッド・ロバーツ『正しい核戦略とは何か』村野将訳、2022年。

Mark Hibbs, “The Future of Nuclear Power in China”, 2018.

“China’s Decade of Nuclear Transparency,” Thomas C. Reed & Danny B. Stillman, *The Nuclear Express: A Political History of the Bomb and its Proliferation* (Zenith Press: USA, 2000)

《当代中国》叢書編輯委員会『当代中国的核工業』中国社会科学出版社、1987年。

レポート・専門誌

STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE (SIPRI), “Yearbook 2025”

U.S Department of Defense “MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA 2023,”.

U.S Department of Defense, “MILITARY AND SECURITY DEVELOPMENTS INVOLVING THE PEOPLE’S REPUBLIC OF CHINA 2024,”.

Moritz Kütt, Friederike Frieß, and Matthias Englert, “Plutonium Disposition in the BN-800 Fast Reactor: An Assessment of Plutonium Isotopics and Breeding,” *Science & Global Security* **22**, 2014

Chemistry And Metallurgy Facility Replacement Subproject At LANL Completed Ahead Of Schedule, Under Budget,” *Los Alamos Reporter*

秋山信将、小原凡司、小泉悠、村野将『衛星画像を用いた中国の戦略核戦力増強の現状に関する分析』東京大学先端科学技術研究センター創発戦略研究オープンラボ (ROLES)、笹川平和財団共同研究、2024年2月。

論文

松久保肇「憂慮される中国の核燃料サイクル施設」原子力資料情報室通信614号、2025年8月。

張会(Hui Zhang)「中国のプルトニウム・リサイクル計画－現状と問題点」『New Diplomacy Initiative』2022, Vol15。

J. Carson Mark, Thomas D. Davies, Milton M. Hoenig, and Paul L. Leventhal, “The Tritium Factor as a Forcing Function in Nuclear Arms Reduction Talks,” *Science* 241, 1988.

Greg Mello “Build Warhead Factories Now, Worry about Weapons Policy Later Will Congress Take Back the Reins,” Los Alamos Study Group.

Pavel Podvig “History of Highly Enriched Uranium Production in Russia,” *Science and Global Security*, **19**

Mark Stokes “China’s Nuclear Warhead Storage and Handling System,” Project 2049 Institute.

Hailey Wingo “Complex near Mianyang likely associated with China’s nuclear weapons programme,” Vertic.

R. Norris, A. Burrows and R. Fieldhouse (1994). “British, French, and Chinese Nuclear Weapons,” *Nuclear Weapons Databook Volume V*.

馬娜 高炳焱 宋生攀「積極傳承、勇於實踐、探索創新-中國核動力研究設計院軍工核安全文化建設紀實」『中國軍轉民』。

Mark Stokes, “China’s Nuclear Warhead Storage and Handling System,” Project 2049 Institute, March 2010.

John R. Harvey and Stefan Michalowski, “Nuclear Weapons Safety: The Case of Trident,” *Science and Global Security*, 1994, Volume 4, pp.261-337

Hans M. Kristensen, Matt Korda, Eliana Johns & Mackenzie Knight, “United States nuclear weapons, 2025,” *Bulletin of the Atomic Scientists* 81:1,

Lin, Y. et al., “Performance assessment of BeiDou-3 PPP-B2b real-time precise point positioning,” *Scientific Reports*.

Wang, Z. et al., “High-precision services of BeiDou (BDS),” *Satellite Navigation*.

公文書

IAEA “AGREEMENT OF 20 SEPTEMBER 1988 BETWEEN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA AND THE INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY FOR THE APPLICATION OF SAFEGUARDS IN CHINA,”.

U.S. Department of Energy National Nuclear Security Administration Office of the Deputy Administrator for Defense Programs “Highly Enriched Uranium : Striking a Balance,” 2001

“Section 2: China’s Nuclear Forces: Moving beyond a Minimal Deterrent,” US-China Economic and Security Review Commission, November 2021.

U.S. Department of Justice, “U.S. Charges Five Chinese Military Hackers for Cyber Espionage Against U.S. Corporations and a Labor Organization,”.

Federal Bureau of Investigation (FBI), “Five Chinese Military Hackers Charged with Cyber Espionage Against U.S.,”.

U.S. Department of Justice, “Two Chinese Hackers Associated With the Ministry of State Security Charged with Global Computer Intrusion Campaigns,”.

CISA / NSA / FBI et al. “PRC State-Sponsored Actors Compromise and Maintain Persistent Access to U.S. Critical Infrastructure (AA24-038A) , ”.

UK Government, “Response to a news report on cyber security at Sellafield,”.

U.S. Department of Justice “U.S. Nuclear Engineer, China General Nuclear Power Company and Energy Technology International Indicted in Nuclear Power Conspiracy against the United States,”.

U.S. Department of Justice (USAO-EDTN) , “U.S. Nuclear Engineer Sentenced to Serve Twenty-Four Months in Federal Prison for Violating The Atomic Energy Act,”.

U.S. Department of Justice “Former employee at Los Alamos National Laboratory sentenced to probation for making false statements about being employed by China,”.

IAEA “Communication Received from China Concerning its Policies Regarding the Management of Plutonium” October 18, 2017.

 さいたま平和財団