

第9章 核分裂性物質の処分

1. 2012 年末時点で英国は自国の約 96 トン及び外国所有の 24 トンの民生用分離プルトニウムを保有していた。もし再処理プラントが閉鎖される前に未処理の再処理契約が履行されれば英国の在庫量は約 100 トンまで増加する。
2. IAEA はプルトニウム 238 を 80 パーセント以上含むプルトニウムを保障措置から除外している。なぜならそれは比較的半減期が短い (88 年) ため、大量の放射性崩壊熱を出すので兵器に使用するの難しいからである。この発熱のためにプルトニウム 238 は深宇宙探査で使用される熱電発電機の動力として利用されている。
3. *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium* (Washington, DC: U.S. National Academy of Sciences, 1994), 34.
4. これにはプルトニウムをウラン 238 以外の何らかの物質と混合することが必要である。なぜならウラン 238 を中性子に照射すると新たなプルトニウムが生み出されるからである。
5. Steve Fetter and Frank von Hippel, “The Hazard from Plutonium Dispersal by Nuclear-warhead Accidents,” *Science & Global Security* 2 (1990): 21–41.
6. リスク推定は次の考えを示している。2065 年までにチェルノブイリ原発事故でヨーロッパ中に 1 万 6000 症例の甲状腺がん と 2 万 5000 症例の他のがんをもたらす可能性がある。これらの約半分はベラルーシ、ロシア、ウクライナの最も汚染された地域で発症が予想されるが、他の原因で予想されるもっと多くの癌症例のバックグラウンドの中に埋もれてしまう。Elisabeth Cardis et al., “Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident,” *International Journal of Cancer* 119, no. 6 (2006): 1224–1235. さらに汚染された地域の人々への精神的及び他の社会的影響は次の文献に記述されている。“Exposures and Effects of the Chernobyl Accident,” Annex J in *Sources and Effects of Ionizing Radiation* (New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [UNSCEAR], Report to the General Assembly, 2000), 513–514.
7. Adolf von Baeckmann, Garry Dillon, and Demetrius Perricos, “Nuclear Verification in South Africa,” *IAEA Bulletin* 37, no. 1 (1995): 42–48.
8. 様々な核保有国で核実験に使用された HEU 及びプルトニウムの推定値については次の文献のそれぞれの国の章を参照。 *Global Fissile Material Report 2010: Balancing the books, Production and Stocks* (Princeton, NJ: International Panel on Fissile Materials, 2010), www.fissilematerials.org/library/gfmr10.pdf.
9. Thomas L. Neff, “A Grand Uranium Bargain,” *New York Times*, October 24, 1991.
10. James P. Timbie, “Energy from Bombs: Problems and Solutions in the Implementation of a High-Priority Nonproliferation Project,” *Science & Global Security* 12, no. 3 (2004): 165–189.
11. 最初の枠組みである「核兵器から引き出された高濃縮ウランの処分に関する米国政府とロシア連邦政府の間の協定」は 1993 年 2 月 18 日に調印された。
www.fissilematerials.org/library/heu93.pdf.
12. ウラン 234 はウラン 238 の壊変生成物である。それはウラン 238 の半減期の 2 万分の 1 の 24 万 5000 年であり、そのためグラムあたりの放射能は 2 万倍強い。それはウラン 235 よりも軽いので、ガス拡散及びガス遠心分離濃縮工程によって天然ウランからウラン 234 の大量の抽出さえ可能である。次を参照。 *Options for Expanding Conversion of Russian Highly Enriched Uranium* (Nuclear Threat Initiative, December 2010), 7.
13. Pavel Podvig, “The Fallacy of the Megatons to Megawatts Program,” *Bulletin of the Atomic Scientists*, July 23, 2008, thebulletin.org/fallacy-megatons-megawatts-program; Pavel Podvig, *Consolidating Fissile*

Materials in Russia's Nuclear Complex, IPFM Research Report 7 (Princeton, NJ: International Panel on Fissile Materials, May 2009), www.fissilematerials.org/library/tr07.pdf.

14. "U.S. Uranium Down-Blending Activities: FactSheet" (U.S. Department of Energy, National Nuclear Security Administration, March 23, 2012).
15. Nuclear Threat Initiative, *Options for Expanding Conversion of Russian Highly Enriched Uranium*, December 2010.
16. 原子炉内で生み出されるウラン同位体の1つはウラン232であり、半減期は69年である。その壊変生成物の1つにタリウム208があり、それが壊変する時に高エネルギーのガンマ線を放出する。原子炉内で生み出される2つ目のウラン同位体であるウラン236（半減期2300万年）は大きな中性子捕獲断面積を持ち、燃料の反応度を下げるので、ウラン235の濃縮度を上げることによって相殺させる必要がある。
17. 1995年、米国はすべての軍事用（核兵器及び海軍推進炉）に過剰となった、大部分が非兵器級であるHEU在庫量は174トンと公表した。そのほとんどは希釈によってLEUに処分されたか、されることになっている。使用済み燃料中の約21トンは廃棄物として処分されることになっている。2005年、米国エネルギー省長官は、さらに200トンのHEUが保有核兵器から取り除かれ、このうちおよそ20トン（その後約28トンに増加した）がLEUに希釈され、さらに20トンが研究炉及び宇宙原子炉用の燃料として蓄えられることになると発表した。2012年時点で、152トンの兵器級ウランが海軍推進炉燃料として蓄えられていた。Gary Person, Dale Davis, and Russ Schmidt, "Progress Down-Blending Surplus Highly Enriched Uranium" (presented at the 53rd Annual INMM Meeting, Institute of Nuclear Materials Management, Orlando, FL, 2012). 必要とされる正確な濃縮度への最終的な希釈は燃料製造プラントで行われる。
18. バブコック・アンド・ウィルコックス社は米国政府とバージニア州リンチバーグの自社の施設のためにY-12プラントを稼働させている。ここでは海軍推進炉及び研究炉燃料の製造と過剰なHEUの希釈が行われている。
19. *FY2015 Congressional Budget Request* (Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2014), Vol. 1, 539.
20. Article I, "Agreement between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Management and Disposition of Plutonium Designated as No Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation," 2000, www.fissilematerials.org/library/gov00.pdf.
21. *Communication Received from the United States of America Concerning Its Policies Regarding the Management of Plutonium*, INFCIRC/549/Add. 6/14 (Vienna: International Atomic Energy Agency, October 19, 2012).
22. *Plutonium: The First 50 Years. United States Plutonium Production, Acquisition and Utilization of from 1944 through 1994*, DOE/DP-0137 (Washington, DC: U.S. Department of Energy, February 1996), www.fissilematerials.org/library/doe96.pdf.
23. *Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium; Management and Disposition of Excess Weapons: Reactor-Related Options* (Washington, DC: U.S. National Academy of Sciences, 1994 and 1995). これらのレポートはFrans Berkhoutらの初期の研究に基づいている, "Disposition of Separated Plutonium," *Science & Global Security* 3, nos. 3-4 (1993): 161-213.
24. 兵器級プルトニウムはプルトニウム239が90パーセント以上であり、それは低濃縮ウラン中のウラン235を1原子当たりおよそ13原子で置き換えたものである。 *Plutonium Fuel: An Assessment. Report by an Expert Group* (Paris: OECD Nuclear Energy Agency, 1989), Table 9 and 12. しかし民生用プルトニウムは低速中性子では連鎖反応を維持することができないプルトニウム同位体を約35パーセント含んでいる。したがって同じ燃料価値を得るためには、それに応じてMOX燃料でのその割合を増加させる必要がある。

25. “2000 Plutonium Management and Disposition Agreement as Amended by the 2010 Protocol,” April 2010, www.fissilematerials.org/library/PMDA2010.pdf. 議定書は 2010 年 4 月 13 日に、クリントン国務長官とラブロフ外務大臣の間で調印された。議定書では、米国はまた、MOX に関する協定でうたわれた 34 トンのプルトニウム全部を処分することを約束した。
26. Article VII.3, “Agreement between the Government of the United States of America and the Government of the Russian Federation Concerning the Management and Disposition of Plutonium Designated as No Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation.”
27. 2001 年、米ロの共同研究の結果、14.5 トンのロシアの過剰プルトニウムを BN-600 高速中性子炉で、残りを LWR で使用することを米ロは想定した。 *Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition: Cost Estimates for the Disposition of Weapon-Grade Plutonium Withdrawn from Military Programs* (Washington, DC: Joint U.S.-Russian Working Group on Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition, 2001).
28. MOX を用いたロシアのプルトニウム処分にかかる米ロの当初の推定値は、MOX プラントの 3 億ドルを含む初期コストに 8 億ドル、運転コストに 11 億ドルだった。 *Preliminary Cost Assessment for the Disposition of Weapon-Grade Plutonium Withdrawn From Russia’s Nuclear Military Programs* (Washington, DC: Joint U.S.-Russia. Working Group on Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition, April 2000). 2003 年 4 月の合同作業グループの報告書では、MOX プラントのコストは 6.4 億ドルに増加した。現在の仮定は、プラントの主要な部品や設備すべてが、対応する米国のプラントにおける同等の部品と設備を同じ業者から調達し、また価格も同じであると説明されている。 *Senarios and Costs in the Disposition of Weapon-Grade Plutonium Withdrawn from Russia’s Nuclear Military Programs* (Washington, DC: Joint U.S.-Russian Working Group on Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition, 2003), 25.
29. 末尾の数字はロシアの原子炉の総発電能力を示し、一般に正味の発電能力よりも 7~10 パーセント大きい。
30. *Report to Congress: Disposition of Surplus Defense Plutonium at Savannah River Site* (Washington, DC: U.S. National Nuclear Security Administration, Office of Fissile Material Disposition, February 15, 2002).
31. *FY2014 Congressional Budget Request* (Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2013), Vol. 1. 混合酸化物 (MOX) 燃料製造施設の建設コストに 77 億ドル(DN-119), 15 年間にわたる稼働及びセキュリティコストが 82 億ドル (DN-147), 関連する廃棄物固化建屋が 4 億ドル, そしてその 20 年間にわたる稼働コストが 19 億ドル (DN-148).
32. 前掲書, DN-119; Tom Clements, Edwin Lyman, and Frank von Hippel, “The Future of Plutonium Disposition,” *Arms Control Today*, July/August 2013, 8–15.
33. Steve Connor, “How a Money-Making Strategy From the 1960s Left Behind a Toxic Legacy,” *The Independent*, April 11, 2011.
34. Phillip Chaffee, “Sellafield Mox Plant to Close,” *Nuclear Intelligence Weekly*, August 8, 2011, 5.
35. *Management of the UK’s Plutonium Stocks: A Consultation Response on the Long-Term Management of UK-Owned Separated Civil Plutonium* (UK Department of Energy and Climate Change, December 1, 2011), 15. 公定歩合は 3.5 パーセントであり、MOX プラントは 2025 年から 2053 年まで稼働すると仮定した。 *Plutonium: Credible Options Analysis* (UK Nuclear Decommissioning Authority, 2010), 35.
36. *Management of the UK’s Plutonium Stocks: A Consultation Response on the Long-Term Management of UK-Owned Separated Civil Plutonium*, 5.
37. 毎年装荷する 20 トンの燃料の 3 分の 1 が MOX であると仮定した。ブリティッシュ・エナジー (British Energy) は老朽化した改良型ガス冷却炉 AGR に MOX が認可されることに全く関心を示さなかった。 *Plutonium: Credible Options Analysis*, 16.
38. J. W. Hobbs, “A Programme to Immobilise Plutonium Residues at Sellafield” (presented at the 53rd Annual INMM Meeting, Institute of Nuclear Materials Management, Orlando, FL, 2012).

39. Frank von Hippel et al., “Nuclear Proliferation: Time to Bury Plutonium,” *Nature* 485, no. 7397 (2012): 167–168.
40. 例え次を参照。 W. J. Weber, R. C. Ewing, and W. Lutze, “Performance Assessment of Zircon as a Waste Form for Excess Weapons Plutonium under Deep Borehole Burial Conditions,” *MRS Online Proceedings Library* 412 (1995); Neil Chapman and Fergus Gibb, “A Truly Final Waste Management Solution: Is Very Deep Borehole Disposal A Realistic Option For High-Level Waste Or Fissile Materials?” *Radwaste Solutions* 10, no. 4 (August 2003); Patrick Brady et al., *Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste: Final Report*, SAND2012-7789 (Sandia National Laboratories, 2012); P. V. Brady and M. J. Driscoll, “Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste,” *Radwaste Solutions* 17, no. 5 (October 2010); *Project on Alternative Systems Study (PASS): Final Report*, TR 93-04 (Stockholm: SKB, October 1992); *Choice of Method—Evaluation of Strategies and Systems for Disposal of Spent Nuclear Fuel*, P-10-47 (Stockholm: SKB, October 2010); *A Review of the Deep Borehole Disposal Concept for Radioactive Waste*, N/108 (Oxfordshire: Nirex, June 2004).
41. Rod Ewing, “Geological Disposal” in Harold A. Feiveson et al., *Managing Spent Fuel from Power Reactors: Experience and Lessons from Around the World* (Princeton, NJ: International Panel on Fissile Materials, September 2011).
42. *A Review of the Deep Borehole Disposal Concept for Radioactive Waste*, 66.
43. *The United States Plutonium Balance, 1944–2009* (Washington, DC: U.S. Department of Energy, June 2012).
44. *Draft Surplus Plutonium Supplemental Environmental Impact Statement*, DOE/EIS00283-S2 (Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2012), S–23, S-24, S-31, S-33.
45. David Sanger, “Obama to Renew Drive for Cuts in Nuclear Arms,” *New York Times*, February 10, 2013.
46. Masafumi Takubo and Frank von Hippel, *Ending Reprocessing in Japan: An Alternative Approach to Managing Japan’s Spent Fuel and Separated Plutonium* (Princeton, NJ: International Panel on Fissile Materials, 2013), www.fissilematerials.org/library/rrl2.pdf.