



目次

1. イギリスのプルトニウム長期管理方策の進捗状況
2. イギリスの使用済み燃料長期管理方策の進捗状況

1. イギリスのプルトニウム長期管理方策の進捗状況

1) 将来の高速炉商業化に備えたプルトニウム蓄積政策の経緯¹⁾

イギリスは、1953年に民生用の原子力開発計画を発表した時から将来の高速炉商業化に備えて独自に開発した熱中性子炉のガス冷却炉(GCR: Gas Cooled Reactor、その他呼び名としては、黒鉛減速炭酸ガス冷却型炉、コールダーホール型炉(最初の原子炉の立地場所の地名に由来する)、マグノックス型炉(被覆材の材料であるマグネシウム合金(マグネシウム 99.9%、ベリリウム 0.1%)の「酸化しないマグネシウム」(Magnesium non-oxidising)の Magnox に由来する))の使用済み燃料を再処理し、プルトニウムを抽出して高速炉の燃料として使用するため蓄積する政策を取っていた。当時のイギリスには石油資源がなくエネルギー安全保障の観点から核燃料サイクルによる高速炉開発路線を歩んでいた。

しかしながら、1960年に北海油田が発見され1975年に最初の石油生産が始まり1981年には石油輸出国となると、イギリス政府のエネルギー政策も変化した。高速炉の商業展開は今後30年～40年は必要ないと理由で1994年に高速炉研究開発予算は打ち切られ、高速炉開発は事実上終了した。ところが、GCRの燃料のマグノックス燃料は被覆材が水と反応するため、使用済み燃料の長期間にわたる使用済み燃料貯蔵プールでの保管は困難で再処理する必要があるため、1964年に運転を開始したセラフィールド(当時の地名はウィンズケール)の使用済みマグノックス燃料専用の商業用大型再処理工場(B205施設、処理能力1500tHM/y)は運転を継続し、

現在もプルトニウムの蓄積が継続されている。さらには、GCRの後継炉として1976年から導入した改良型ガス冷却炉(AGR:Advanced Gas Cooled Reactor、燃料は低濃縮ウラン(濃縮度約2.6%~3.3%)の酸化物でステンレス製の被覆管を用いることで燃焼度をGCRの5000MWd/tに対して24000MWd/tと飛躍的に向上させるとともに、原子炉容器の縮小化をはかり、原子炉出口温度はGCRの約390℃に対して約635℃と高く熱効率(約42%に向上)の使用済み燃料の再処理と海外の軽水炉使用済み燃料の委託再処理用の大型の再処理工場THORP(Thermal Oxide Reprocessing Plant、処理能力900tHM/yで、1976年に建設計画が始動し、1983年に建設を開始して1992年には建設が終了)が1994年3月より再処理運転を開始し、さらにプルトニウムの蓄積率が増加することになった。当初は、海外電力会社からの委託再処理で抽出したプルトニウムについては、MOX燃料への委託加工を目的に建設したセラフィールドの大型MOX燃料工場(SMP:Sellafield MOX Plant、製造能力は120tHM/y)でMOX燃料に加工して海外電力会社に輸送する計画であったが、2001年に運転を開始したSMPは製造設備の設計上の問題で2004年までペレットさえ製造できず、2010年までに製造し電力会社に供給したMOX燃料はスイスの電力会社へ5.25tHM(燃料集合体16体)、ドイツの電力会社へ8tHM(燃料集合体16体)の13.25tHM²⁾で、含有プルトニウムは650kg³⁾でしかなく、海外電力会社所有のプルトニウムも蓄積していった。なお、SMPについては、2010年5月に、SMPを所掌する国家機関の原子力廃止措置機関(NDA:Nuclear Decommissioning Authority、GCR、政府関係の研究炉、再処理施設、核燃料製造施設、放射性廃棄物管理施設等の20サイトの所有、運転、廃止措置、廃棄物管理・処分に責任を持つ政府機関、2005年設立)は日本の10電力会社とSMPの改造計画に合意し、フランスのAREVAの技術を導入して3年にわたる改造を実施し、日本の電力会社所有のプルトニウム15tをMOX燃料270tに加工して日本へ輸送する予定であったが、2011年3月の福島第一原子力発電所の事故の影響で日本のMOX燃料利用が遅れることから発生するリスクが将来のSMP運転に及ぼす影響を検討した結果、NDAはSMPを閉鎖することを2011年8月3日に発表⁴⁾している。

2010年末でのイギリスの民生用プルトニウム保管量は114.8t(海外企業所有分は28.0t)で、世界最大(IAEAに申告されているプルトニウム量は255.5tでイギリス以外ではフランスが80.2t、日本が9.9t、ロシアが48.4t)、過去15年間で60t増加している。⁵⁾(2011年末のイギリスのプルトニウム保管量は118.2t(海外企業所有分は27.9t)⁶⁾)

このような状況は以前から危惧されていて、1998年と2007年に王立協会が短期、中期、長期に分けてプルトニウムの管理政策をイギリス政府に提案したが、具体的な対策の検討は行われなかった。

2) プルトニウム長期管理方策の見直し

2008年になり、イギリス政府はやっとプルトニウムの管理に責任を持つNDAに対してプルトニウムの長期管理のための信頼性のある選択肢の検討を指示した。NDAは2009年1月に最初の検討結果である“credible option paper”を発表し、2011年2月に最終版が発表された。原子力政策を所掌するエネルギー・気候変動省(DECC:Department of Energy and Climate Change)はNDAの検討結果をもとに、2011年2月7日、イギリス政府としての新しいプルトニウム長期管理政策案を国民に提案し、意見を求めた。

DECCが2011年2月7日に発表した報告書“Management of the UK's Plutonium Stocks”には、プルトニウムの長期管理方策として、長期貯蔵、MOX燃料としての再利用、固化処理して地層処分の3つの選択肢について安全性、安全保障(核拡散抵抗性)、経済性、技術的信頼性、将来世代への負荷等の色々な側面から評価していて、その検討結果をもとに政府としてはこれまでの長期貯蔵に替えてMOX燃料として再利用するオプションを選択したいとの提案が書かれていた。

3つのオプションに対する評価の概要は以下のとおりである。

○長期貯蔵:

安全性と安全保障を確保するためには、将来、貯蔵施設を建設し続ける必要があり、また、将来世代に安全保障のリスクと核拡散の危険性を負わせることになる。約110年間の貯蔵コストは約80億ポンド(130億ドル)で、さらに最終的には地層処分が必要になる。

○MOX燃料として再利用:

MOX燃料製造技術は確立された技術で、軽水炉へのリサイクルはフランス、ドイツ、スイス、日本等で実証済みである。また、米国とロシアが核兵器解体による余剰プルトニウム34tをMOX燃料として利用する計画を進めている。(米国の国立サバンナリバー研究所敷地内にMOX燃料工場を建設中。)政府の評価では、現在の天然ウラン価格では、MOX燃料の利用により節約されるウランの価値はMOX燃料への転換費を大きく下回り、商業的利用と言うよりはむしろプルトニウムの消費(核拡散リスクの低減が目的)のためと報告書は述べている。またウラン資源の節約を長所に挙げている。NDAによる評価では、新たなMOX燃料工場の建設コストと30年間の運転コストの合計は約50~60億ポンド(80~100億ドル)で、これに対してMOX燃料の価値は20億ポンド(30億ドル)を超える程度である。

○固化処理した後地層処分:

安定化のための固化処理方法として技術的に確立されているセメント固化を使用

した場合、プルトニウムの添加量は 0.05%に制限され 100t のプルトニウムを処理すると 200000t の固化体ができることになり地層処分費用が増加し、また固化処理施設の建設費、処分費用等を含めた全処置費用は MOX 燃料として処置する費用と同程度と評価している。プルトニウムを固化処理し地層処分するコストは 50～70 億ポンド(80～110 億ドル)で、このコストは固化処理に使用する技術により将来かなり変化する可能性があるとしている。

3)優先的オプションの決定と代替え方策の追加検討

(1)優先的オプションとしての MOX 燃料利用方策の決定

2011 年 12 月 1 日、DECC は、国民からの意見に対する回答と最終的な DECC の案を記載した“Management of the UK’s Plutonium Stocks -A consultation response on the long-term management of UK-owned separated civil plutonium-“を発表した。⁷⁾

DECC の結論は、安全保障のため、プルトニウムを MOX 燃料として再利用し、MOX 燃料に転換できないものは固化して廃棄物として処分するとの当初の案を優先的選択肢とするものであった。このプルトニウムの長期管理方策の方向性を決定するには十分な情報を得ていると確信しているが、新しい MOX 燃料加工工場の建設を判断するにはまだ情報は不十分であり、今後は、信頼性のある MOX 燃料製造施設の技術、コスト等の検討、許認可基準の制定、MOX 燃料市場の調査、MOX 燃料装荷の原子炉の検討などについて NDA とともに作業を進めるとのことであった。

MOX 燃料としての再利用政策のスケジュールとしては、2015 年に MOX 燃料加工工場の発注、2019 年に建設開始、2025 年から工場の運転を開始して、2029 年には原子炉での MOX 燃料の利用を始める予定である。また、MOX 燃料として利用できないプルトニウムの固化処理試験を継続するとともに、新たな信頼性のある代替え技術の出現についても注視を続けるとのことであった。

海外企業所有分のプルトニウム(2011 年末時点で 27.9t)については、MOX 燃料への委託加工サービスの提供を考えているが、イギリスにとってメリットがあれば所有権を引き取ることも拒まないとの結論であった。

(2)代替え方策の追加検討

DECC の決定発表の約 3 か月後の 2012 年 2 月 23 日、NDA は更なるプルトニウム管理方策の提案募集を発表した。⁸⁾その内容は、MOX 燃料としての再利用方策以外に、より価値があり、そしてリスクの少ない長期管理方策の提案があれば政府はそれらの選択肢を検討する余地を残しているとして、2012 年 3 月 31 日を期限として信頼性のある代替え方策の提案を受け付けるとの提案募集であった。

この提案募集に対して 4 件の提案があり、これらの提案について NDA が審査した結果、GE-Hitachi Nuclear Energy(GEH)と Candu Energy からの二つ提案が更なる検討に値すると判断され両社とフィージビリティ研究の契約が交わされて、作業が行われている。⁹⁾

①GEH の提案

GEH については 2012 年 4 月 3 日、NDA がフィージビリティ研究の契約を結んだことを発表した。¹⁰⁾GEH の提案は、プルトニウム専焼炉として小型の高速炉 PRISM(Power Reactor Innovative Small Module、電気出力 311MW)を 2 基建設し、プルトニウム、劣化ウラン、ジルコニウムの合金燃料(プルトニウム含有量は 20%)を 45~90 日間照射し(照射後の燃料は通常の使用済み燃料と同程度の放射能で、地層処分されるまで保管される)、政府保有のプルトニウムを 5 年間で処理するもので、処理後は運転寿命の 60 年が来るまで発電設備として利用し、燃料は 6 年間照射され、2 年ごとに 3 分の 1 を取り出し、再処理し、リサイクルするとしている。¹¹⁾

PRISM は冷却材にナトリウムを、燃料としてはプルトニウム・ウラン・ジルコニウム合金の金属燃料を使用するプールタイプの小型のナトリウム冷却高速炉で、国立アイダホ研究所で 1963 年から 1994 年まで稼働した高速実験炉 EBR-II (電気出力 19MW)の成果をもとに GE が 1981 年から自社資金で開発を開始し、1985 年から 1995 年までは DOE の高速炉開発プログラム(ALMR(Advanced Liquid Metal Reactor)/IFR(Integral Fast Reactor))として資金供給を受けて開発したものである。現在は、第四世代炉として売り込みを図っている。また、使用済み燃料は原子炉と同じサイト内で再処理(パイロプロセスと呼ばれる乾式再処理)され、プルトニウムとアメリカシウムやキュリウムなどのマナナーアクチニドを燃料としてリサイクルされる。PRISM は 1990 年代に米国原子力規制委員会(NRC)で予備審査を受け、許可を与えるのに明確な障害はないとの事前申請安全評価報告書"Preapplication Safety Evaluation Report for the Power Reactor Innovative Small Module (PRISM) Liquid-Metal Reactor (January 1994)."(NUREG-1368)が出ている。2010 年 10 月には、Prism 開発で Savannah River Nuclear Solutions (Fluor,Northrop Grumman、Honeywell のパートナーシップ)と DOE の Savannah River サイトに Prism 原型炉建設検討のための覚書を結び、NRC に対しても COL(建設運転一括許可)申請の予備打ち合わせを行っている。^{12),13)}

GEH は 2012 年 4 月 4 日、NDA との FS の契約遂行のために、National Nuclear Laboratory Ltd. (NNL)と協力の覚書を結んだ。NNL はイギリス政府所有の企業で、原子力産業へ専門家と技術を提供している。運営は、Battelle、Serco、

マンチェスター大学(University of Manchester)の共同企業体によって運営されていて、イギリス政府から直接的な資金の供給は受けていず、民間企業として運営されている。収入は年間 80 百万ポンドで、従業員は約 750 名であり、NNL の中央研究所にはプルトニウムの取り扱いやその他高レベル放射性廃棄物などを取り扱える最先端の設備が備えられている。¹⁴⁾さらに、GEH は、2012 年 5 月 29 日に、PRISM の将来展開に備えてマンチェスター大学と技術協力に関する覚書を結んだことを発表している。¹⁵⁾

2012 年 7 月 9 日、GE-Hitachi は NDA に 1000 ページのフィージビリティレポートを提出した。GEH の提案は、プラントは民間企業が所有し、処理するプルトニウムのトン数に応じて政府が料金を支払うもので、GEH は、納税者のリスクを低減するように設計されていると述べているが、詳細なコスト評価については明らかにしていない。¹⁶⁾

②Candu Energy の提案

2012 年 6 月 27 日、NDA は、GEH とのフィージビリティ研究契約に加えて、Candu Energy Inc.の重水減速重水冷却の圧力管型原子炉 Candu 6 の改良型炉 EC6(Enhanced Candu 6 Reactor)を用いた MOX 燃料の燃焼処理についてのフィージビリティ研究契約について発表した。¹⁷⁾Candu Energy の提案は、電気出力 700MW の EC6 を 4 基建設し、100%MOX 燃料炉心で 30 年以内にイギリスが保有するプルトニウムを全て処理し、その後は運転寿命の 60 年に達するまで発電炉として利用するもので、燃料は、天然ウラン燃料、回収ウラン燃料、先進型燃料のどれでも使用できるとしている。¹⁸⁾

Candu 6 は、1980 年代に国営のカナダ原子力公社(AECL:Atomic Energy of Canada Ltd.)によって実用化され、現在、カナダ国内、中国、韓国、アルゼンチン、ルーマニアで合計 11 基が稼働中で、EC6 は Candu 6 の安全性、経済性等を向上させた原子炉で、燃料として天然ウラン、天然ウランと等価な燃料、回収ウラン燃料、トリウム燃料や MOX 燃料などの多くの先進型燃料まで装荷できる唯一の第三世代商業炉である。EC6 の安全審査については、カナダ原子力安全委員会による事前計画設計審査(Pre-Project Design Review)の第二段階(イギリスの原子力規制局の包括的設計審査(generic design assessment)や米国原子力規制委員会の設計認証(design certification.)に大雑把に見て等価のもの)を通過し(2012 年 5 月 4 日発表)、設計承認を与えるのに基本的な障害はないとの評価を得ている。^{19),20)}

なお、AECL の原子炉開発部門は 2011 年 10 月にカナダの大手エンジニアリング企業の SNC-Lavalin の子会社 Candu Energy Inc.に売却されている。

4)今後の動向

GEHとCandu Energyのフィージビリティ検討は今年の後半に完了する予定で、その後NDAが情報を評価し、優先的オプションであるMOX利用と並行した代替案の最も良い進め方を検討し、政府に報告することになっている。代替案が軽水炉（イギリスのEDF Energyが建設を予定しているEPRは100%MOX燃料炉心も可能）によるMOX燃料燃焼処理の優先的選択肢にとって代わる可能性としては、政府の将来の炉型戦略を含めた核燃料サイクル政策への投資としての政策判断が必要であり、過去の原子力遺産の処理とは異なり、新たな原子力開発への税金の投入の正当化は困難と思われる。

DECCは、優先的オプションが安全確実に実行可能で、投資に見合う価値を提供するものであることを確信した場合に新しいMOX燃料工場建設を進めるとして、もしもそれらの条件を満たす実行手段が確立できないときは方針を見直すかもしれないと述べている。多額の税金を投入して失敗したMOX燃料工場SMRの先例があり、新MOX燃料工場建設までにはまだ紆余曲折が予想される。

参考資料

- 1) “イギリス政府のプルトニウム長期管理政策の見直し”，原子力海外ニューズトピックス 2011 年第 1 号，日本原子力研究開発機構，2011 年 2 月 25 日
<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/topics/t11-1.pdf>
- 2) “Closure of Sellafield MOX Plant Announced”，International Panel on Fissile Materials, August 3, 2011
http://fissilematerials.org/blog/2011/08/closure_of_sellafeld_mox.html
- 3) “**Submission to the UK Plutonium Consultation**”，**Nuclear Consulting Group**, May 10, 2011
http://www.nuclearconsult.com/docs/consultation/NCG_Submission_to_UK_DECC_Plutonium_Consultation_2011.pdf
- 4) “NDA Statement on future of the Sellafield Mox Plant”，NDA, August 3, 2011
<https://www.nda.gov.uk/news/smp-future.cfm>

- 5) “Global Fissile Material Report 2011- Nuclear Weapon and Fissile Material Stockpiles and Production”, International Panel on Fissile Materials, January, 2012
<http://fissilematerials.org/library/gfmr11.pdf>
- 6) “Annual figures for holdings of civil unirradiated plutonium- National totals as of 31 Dec 2011-”, ONR, 2012
<http://www.hse.gov.uk/nuclear/safeguards/civilplut11.htm>
- 7) “Management of the UK’s Plutonium Stocks -A consultation response on the long-term management of UK-owned separated civil plutonium-”, DECC, December 1, 2011
<http://www.decc.gov.uk/assets/decc/Consultations/plutonium-stocks/3694-govt-resp-mgmt-of-uk-plutonium-stocks.pdf>
- 8) “Proposals sought for alternatives to re-use of plutonium as MOX fuel”, NDA, February, 2012
http://www.utilityweek.co.uk/news/news_story.asp?id=196980&title=German+non-nuclear+strategy+stumbles
- 9) “Alternatives to re-use of plutonium as MOX fuel”, NDA, June 27, 2012
<https://www.nda.gov.uk/news/plutonium-management-alternatives.cfm>
- 10) “UK NDA signs contract with GE Hitachi for study on Prism reactors for Pu disposition”, I-Nuclear, April 3, 2012
<http://www.i-nuclear.com/2012/04/03/uk-nda-signs-contract-with-ge-hitachi-for-study-on-prism-reactors-for-pu-disposition/>
- 11) “Prism proposed for UK plutonium disposal”, WNA, December 1, 2011
http://www.world-nuclear-news.org/WR-Prism_proposed_for_UK_plutonium_disposal-0112114.html
- 12) “Spent Nuclear Fuel Recycling using PRISM”, David Powell, Nomage 4 Seminar, Halden Norway 31 October – 1 November 2011
<http://nordic-gen4.org/wordpress/wp-content/uploads/2011/11/David-Powell.pdf>

- 13) “Power Reactor Innovative Small Module (PRISM)”, NRC, March 29, 2012
<http://www.nrc.gov/reactors/advanced/prism.html>
- 14) “GE Hitachi Nuclear Energy Signs MOU Agreement with National Nuclear Laboratory to Work on Tackling UK Plutonium Stockpile”, GE-Hitachi Nuclear Energy, April 4, 2012
<http://www.businesswire.com/news/home/20120404005787/en/GE-Hitachi-Nuclear-Energy-Signs-MOU-Agreement>
- 15) “**University to support Prism promotion**”, WNA, May 30, 2012
http://www.world-nuclear-news.org/WR-University_to_support_Prism_promotion-3005124.html
- 16) “**UK seeks advisers for Urenco sale**”, WNA, July 10, 2012
http://www.world-nuclear-news.org/C-UK_seeks_advisers_for_Urenco_sale-1007124.html
- 17) “Alternatives to re-use of plutonium as MOX fuel”, NDA, June 27, 2012
<https://www.nda.gov.uk/news/plutonium-management-alternatives.cfm>
- 18) “**Candu proposal would see four reactors burning MOX in Pu disposition program for NDA**”, I-Nuclear, July 13, 2012
<http://www.i-nuclear.com/2012/07/13/candu-proposal-would-see-four-reactors-burning-mox-in-pu-disposition-program-for-nda/>
- 19) “Candu 6”, Candu Energy
<http://www.candu.com/en/home/candureactors/candu6.aspx>
- 20) “**Candu works with UK Nuclear Decommissioning Authority to study deployment of EC6 reactors**”, Candu Energy, June 27, 2012
<http://www.candu.com/en/home/news/mediareleases/canduworkswithuknucleardecommissioningauthoritytos.aspx>

2. イギリスの使用済み燃料長期管理方策の進捗状況

イギリスの原子炉から発生した使用済み燃料は大きく分けて4種類に分類され、1956年から導入されたガス冷却炉(GCR:Gas Cooled Reactor、黒鉛減速炭酸ガス冷却型炉で、燃料は天然金属ウランでマグネシウム合金(マグネシウム 99.9%、ベリリウム 0.1%)の被覆管に封入されマグノックス燃料と呼ばれている)の使用済み燃料、GCRの後継炉として1976年から導入された改良型ガス冷却炉(AGR:Advanced Gas Cooled Reactor、燃料は低濃縮ウラン(濃縮度約2.6%~3.3%)酸化物でステンレス製の被覆管に封入されている)の使用済み燃料、1995年に稼働したイギリスで唯一の軽水炉(加圧水型軽水炉:PWR、燃料は低濃縮ウラン酸化物でジルコニウム合金の被覆管に封入されている)であるサイズウェルBの使用済み燃料、そして研究炉、実験炉、原型炉(研究炉等)などの研究開発に関連した原子炉の使用済み燃料である。また、これら以外に、海外の電力会社からの委託再処理のためにイギリスに運ばれた軽水炉のウラン酸化物使用済み燃料も保管されている。

GCRは11サイトに26基の原子炉(現在の所有者は政府機関の原子力廃止措置機関(NDA))が建設されたが、現在稼働中の原子炉はウィルファA原子力発電所の1号機(電気出力460MW)だけで、2014年9月に停止予定であり、GCRの使用済み燃料の全発生量は約55000tU¹⁾と予想されている。AGRについては、7サイトに14基の原子炉(所有・運転者はフランス国営電力会社EDFの完全子会社EDF Energy)が建設され、現在も稼働中で現在の予定では2023年までに全て停止予定であり、AGRの使用済み燃料の全発生量は6200tU²⁾と予想されている。なお、研究炉等の使用済み燃料は約500tU¹⁾である。

これらの使用済み燃料の内、サイズウェルB原子力発電所(所有者・運転者はEDF Energy、PWR1基、電気出力1191MW)の使用済み燃料以外はイギリス政府が管理に責任を持っていて、NDAが管理を担当している。

使用済み燃料の長期管理方策としては、再処理をしてウランとプルトニウムとFP(核分裂生成物)等を含む高レベル放射性廃棄物に分離し、ウランとプルトニウムは燃料として再利用するか廃棄物として地層処分し、高レベル放射性廃棄物はガラスと混ぜて高温で溶融しステンレス製の容器に充填封入して地層処分する方法と、再処理せずに容器に封入して直接地層処分する方法がある。

以下に、使用済みマグノックス燃料と使用済み酸化物燃料についてのNDAの長期管理方策の進捗状況について示す。

1)使用済みマグノックス燃料の長期管理方策

使用済みのマグノックス燃料については、1994年の高速炉開発が終了した後も被覆材が水と反応するため、使用済み燃料の長期間にわたる使用済み燃料貯蔵プー

ルでの保管が困難であることから、1964年に運転を開始したセラフィールド(当時の地名はウインズケール)の使用済みマグノックス燃料専用の商業用大型再処理工場(B205施設、処理能力1500tHM/y)で再処理が行われてきており³⁾、その戦略はNDAに受け継がれ、2011年3月にNDAが政府に提出した長期戦略案⁴⁾の中で示された使用済みマグノックス燃料の全量再処理戦略は現政府からも承認されている。

2011年2月に発表されたNDAの報告書¹⁾によれば、使用済みマグノックス燃料の全発生量予測は55000tHMで、2010年4月1日までに約51000tHMが再処理された。

1996年度～2010年度の15年間の年間平均再処理量は約570tHM/yで、最近の5年間の平均では設備の老朽化等により約450tHM/yと減少しており、2010年度は原子炉サイトからの使用済み燃料の輸送の遅れとトラブルも重なり233tHMと目標の700tHM/yを大きく下回った。しかし、2011年度は処理量改善活動により603tHM/yと改善している。再処理完了の予測は、悲観的でもなく楽観的でもない最近5年間の平均再処理量450tHM/yを想定した場合は2018年12月、再処理運転の改善が今後も維持されるとして平均処理量740tHM/yを想定した場合は2017年3月になると予想されている。なお、2020年以前に再処理施設維持のための大がかりな投資は必要ないと判断している。リスク対策として、施設の老朽化による再処理能力の低下または故障による再処理施設の停止によって運転寿命期間内に全ての使用済み燃料が再処理できない場合に備えて、残った使用済み燃料を地層処分開始予定の2075年までの間、貯蔵プールでの保管(保管期間の実績は5～7年)に代わる安全な乾式貯蔵方法や使用済み燃料の直接地層処分方法について検討を継続している。^{5),6)}

表1 最近5年間の使用済み燃料の再処理量

年度	使用済みマグノックス燃料の再処理量(tHM)	使用済み酸化物燃料の再処理量(tHM)
2007年度 ⁷⁾	454	51
2008年度 ⁸⁾	512	116.5
2009年度 ⁹⁾	450	217
2010年度 ¹⁰⁾	233	350
2011年度 ¹¹⁾	602	429

2)使用済みウラン酸化物燃料の長期管理方策

GCRのマグノックス燃料と同様に、AGRの酸化物燃料についても将来の高速炉商業化に備えたプルトニウムの蓄積のために再処理戦略が展開された。海外からの軽水炉使用済み酸化物燃料の委託再処理も視野に大型の再処理工場

THORP(Thermal Oxide Reprocessing Plant、処理能力 900tHM/y で、1976 年に建設計画が始動し、1983 年に建設を開始して 1992 年には建設が終了)が 1994 年 3 月より再処理運転を開始した。

2005 年 3 月までに 5729tHM の使用済み燃料を再処理したが、2005 年 4 月、使用済み燃料の硝酸溶解溶液がセル内に漏洩する事故(漏洩量は 83m³)があり操業を停止した。その後の 2007 年 1 月に運転再開の許可を得たが、2007 年以降の運転では高レベル放射性廃液の濃縮用の蒸発缶 3 基(A,B,C の蒸発缶)の内 2 基が故障し、このため、新たな蒸発缶 D の建設を 2009 年 5 月より開始し¹²⁾、2011 年度では設備の搬入を完了し据え付けを開始¹¹⁾している。最近の処理量実績は、2008 年度が 116.5tHM、2009 年度が 217tHM、2010 年度 350tHM、2011 年度は目標性能の 419tHM を越える 429tHM を達成し処理運転は安定してきている。(表 1 参照)2009 年 7 月に処理量 6000tHM(この内 AGR の燃料は 2300tHM)を達成し¹²⁾、2011 年度までの累積処理量は約 7000tHM である。

これまでの酸化物使用済み燃料の長期管理戦略は、合理的に実行可能な範囲で速やかに再処理を行い THORP 再処理工場での再処理を終了し、将来発生するものも含めて、再処理できなかった使用済み燃料は直接地層処分(2075 年頃開始予定)するまではセラフィールドで長期間貯蔵するものであったが、THORP の再処理運転をいつまで行うのが適切で最も経済的な生涯管理オプションかについて明確にするため NDA が検討を進めてきた。

検討された再処理オプションは以下の三つである。

オプション 1: 契約量の使用済み燃料を再処理

オプション 2: 契約量より少ない量の使用済み燃料を再処理

オプション 3: 契約量以上の使用済み燃料を再処理

検討結果は、2011 年 11 月に報告書“Oxide Fuels Credible Options”²⁾として発表され、最も実行可能で費用対効果のあるオプションは、契約量の使用済み燃料を再処理して THORP を停止し、残りの AGR 使用済み燃料は直接地層処分される(2075 年頃開始予定)までの間セラフィールドの使用済み燃料プールで中間貯蔵するオプション 1 であると結論した。

報告書では、AGR の使用済み燃料の残りは、現状の AGR の運転期間を想定すると今後発生するものも含めて約 6200tHM で、この内の約三分の一の約 2300tHM は再処理契約を結んでいて、残りの約三分の二は再処理するか直接処分するかは NDA の判断に任されている。海外の電力会社との委託再処理契約の残りは約 300tHM(総契約量は約 4400tHM)、この他に研究開発のための原型炉等から発生した使用済み燃料約 150tHM も再処理対象としていて、オプション 1 での THORP の生涯再処理量は約 9300tHM に達する。

各々のオプションに対する評価結果は、オプション 2 については AGR の使用済み

燃料の中間貯蔵する量が増加し貯蔵プールの増設が必要になる可能性があることと、また、海外の電力会社の委託再処理契約が完了できず、何らかの代替え措置が必要になる等の問題が発生すると評価している。

オプション 3 については、AGR の使用済み燃料を全て再処理するには AGR の運転期間が 5 年延長されると(現在の予定では 7 年間延長の予定)全ての AGR の使用済み燃料を再処理するには 2030 年代まで運転が必要で設備への投資、特に高レベル放射性廃液貯蔵タンクの更新費用として約 5 億ポンド(約 600 億円)が必要になり、また、新たな海外からの委託再処理契約も期待できず費用対効果が期待できないと評価している。

オプション 1 については、設備への大がかりな投資の必要がなく、AGR の運転期間が延長されても(7 年間延長されると使用済み燃料は約 1280tHM 増加し、再処理されない使用済み燃料は約 5000tHM になる)現在のセラフィールドの燃料貯蔵プール容量で長期間の中間貯蔵に対応でき、最も実現可能な費用対効果のある方法と評価している。

“Oxide Fuels Credible Options”の検討結果は、意見募集の公募にかけられた後、最終判断として 2012 年 6 月に報告書“Oxide Fuels Preferred Option”¹³⁾として発表され、優先的オプションとしてオプション 1 の選択が確認された。再処理契約分の使用済み燃料の再処理は 2018 年に完了して、THORP での再処理運転を停止し廃止措置の準備に入ることが示された。なお、報告書では、国民からの意見に対する回答として、仮に海外から委託再処理を継続して実施するには数十億ポンドの設備投資が必要と述べている。

オプション 1 が成功裏に実現できるかどうかは、現在の THORP の再処理性能が大きな投資なしに 2018 年まで維持できるか、特に高レベル放射性廃液貯蔵タンクの更新なしに再処理契約を完了できるかどうかと再処理しない使用済み燃料の既設の燃料貯蔵プールでの数十年の長期間(100 年に及ぶ可能性もある)に及ぶ中間貯蔵が安全に実施できることが認められるかどうかである。2016 年には、地元自治体に中間貯蔵に関する計画許可申請を出すとともに原子力規制局と環境庁に対して安全性に関する申請を行う予定である。また、NDA は、リスク管理として、2018 年までに予定量の再処理が完了できない場合の代替え戦略の検討を継続するとしている。

3)高レベル放射性廃液のガラス固化処理

再処理で発生した高レベル放射性廃液は蒸発濃縮された後、高レベル放射性廃液貯蔵タンクで貯蔵される。イギリスでは、1990 年までに 21 の高レベル放射性廃液貯蔵タンクが建設され高レベル放射性廃液の貯蔵が行われていたが、安全性等の確保のために、高レベル放射性廃液をガラスと熔融してガラス固化処理する施設 WVP (Waste Vitrification Plant)が 1991 年から稼働を開始した。ガラス固化技術はフラ

ンスで実用化された AVM (Atelier de Vitrification Marcoule)法が導入された。プロセス工程は、高レベル放射性廃液をロータリーキルンで仮焼した後ガラスビーズとともに誘導炉で加熱溶融してステンレス容器(キャニスター)に注入した後冷却し蓋を溶接して封入するものである。処理系列は2系列あり、当初は年間600体のキャニスターを製造する計画であったが、溶融炉の熱衝撃による損傷などの技術的問題で処理量は大幅に減少した。1991年度から2001年度までの11年間の平均年間処理量は214体であった。¹⁴⁾

2002年からは処理系列が1系列増設されて3系列になり処理量は2002年度から2007年度の6年間の平均年間処理量は378体/年¹⁴⁾であったが、2008年12月に増設した3系列目の遮蔽扉の問題が発生し、2008年度は262体⁸⁾、2010年度は96体¹⁰⁾と大幅に処理量が減少したが、2011年9月に3系列目は運転復帰している。¹⁵⁾

2009年6月には累積で5000体のキャニスター製造を達成していて¹⁶⁾、2010年4月1日時点でのガラス固化体の貯蔵量は5108体¹⁾である。2011年2月に発表された“The 2010 UK Radioactive Waste Inventory”¹⁾によれば、最終的にイギリスで貯蔵されるガラス固化体の個数は6770体で、海外の電力会社との再処理委託契約に基づき返還されるガラス固化体1850体である。ガラス固化体は、FPの放射性崩壊熱を冷却しながら地層処分(2075年開始予定)されるまで長期間貯蔵する必要あり、貯蔵容量約8000体の貯蔵施設が稼働しており、今後の再処理によるガラス固化体の増加に対しても対応できるとしている。

表2 ガラス固化体の製造履歴^{7),8),14)} (体)

1990 年度	1991 年度	1992 年度	1993 年度	1994 年度	1995 年度	1996 年度	1997 年度	1998 年度	1999 年度
45	114	113	267	332	216	246	336	328	152
2000 年度	2001 年度	2002 年度	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	
131	120	333	341	478	482	320	314	262	

参考資料

- 1) “The 2010 UK Radioactive Waste Inventory”, DECC and NDA, February, 2011

<http://www.nda.gov.uk/ukinventory/documents/Reports/upload/2010-UK-Radioactive-Waste-Inventory-Main-Report.pdf>

- 2) “Oxide Fuels Credible Options”, NDA, November, 2011
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Oxide-Fuels-Credible-Options-November-2011.pdf>
- 3) “イギリス政府のプルトニウム長期管理政策の見直し”, 原子力海外ニューストピックス 2011 年第 1 号, 日本原子力研究開発機構, 2011 年 2 月 25 日
<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/topics/t11-1.pdf>
- 4) “Strategy Effective from April 2011”, NDA, March, 2011
<https://www.nda.gov.uk/documents/upload/NDA-Strategy-Effective-from-April-2011-full-colour-version.pdf>
- 5) “Magnox Fuel Strategy Position Paper”, NDA, July, 2012
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Magnox-Fuel-Strategy-Position-Paper-July-2012.pdf>
- 6) “The Magnox Operating Programme (MOP 9)”, NDA, July, 2012
<https://www.nda.gov.uk/documents/upload/The-Magnox-Operating-Programme-MOP9.pdf>
- 7) “NDA Annual Report & Accounts 2007/08”, NDA, July, 2008
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Annual-Report-and-Accounts-2007-2008.pdf>
- 8) “NDA Annual Report & Accounts 2008/2009”, NDA, July, 2009
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Annual-Report-and-Accounts-2010-2011.pdf>
- 9) “NDA Annual Report & Accounts 2009/2010”, NDA, November, 2010
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Annual-Report-and-Accounts-2009-2010.pdf>
- 10) “NDA Annual Report & Accounts 2010/2011”, NDA, July, 2011

<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Annual-Report-and-Accounts-2010-2011.pdf>

- 11) “NDA Annual Report & Accounts 2011/2012”, NDA, July, 2012
<https://www.nda.gov.uk/documents/upload/Annual-Report-and-Accounts-2011-2012.pdf>
- 12) “イギリスの原子力廃止措置機関(NDA)の再処理戦略の見直し”, 原子力海外ニューズピックス 2011 年第 1 号, 日本原子力研究開発機構, 2011 年 2 月 25 日
<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/topics/t11-1.pdf>
- 13) “Oxide Fuels Preferred Option”, NDA, June, 2012
<http://www.nda.gov.uk/documents/upload/Oxide-Fuels-Preferred-Options-June-2012.pdf>
- 14) “The Legacy of Reprocessing in the United Kingdom”, International Panel on Fissile Materials, July, 2008
<http://fissilematerials.org/library/rr05.pdf>
- 15) “Waste Vitrification Plant Line 3 returns to service”, Sellafield Ltd, October 6, 2011
<http://sellafieldsites.com/2011/10/waste-vitrification-plant-line-3-returns-to-service/>
- 16) “5000th container of high level waste vitrified at Sellafield”, Sellafield Ltd, June 3, 2009
<http://sellafieldsites.com/2009/06/5000th-container-of-high-level-waste-vitrified-at-sellafield/>