

プルトニウム利用に関する海外動向の調査(01)

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2002年3月

株式会社 アイ・イー・エー・ジャパン

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4番49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division, JNC
4-49, Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1194

©
核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

プルトニウム利用に関する海外動向の調査（01）*

実施担当者：

主管研究員 大田垣 隆夫 以下2名

要 旨

欧州諸国と日本においては、核物質を最大限に利用するという目的の下、使用済燃料管理戦略として再処理オプションが執られたが、高速炉開発の大幅な遅れによって、再処理で回収されたプルトニウムは軽水炉でリサイクルされることになった。欧州においては既に多くのプルトニウム・リサイクル実績があることから、本調査では以下の項目について、フランス、ドイツ、英国、ベルギー、スイス等の主要国における2001年末現在までのプルトニウム・リサイクル状況を調査した。

（1）主要国におけるプルトニウム・リサイクルの基本政策と現状

フランス、ドイツ、英国、ベルギー、スイス、およびプルトニウムの一部をリサイクルしようとする動きが最近見られるスウェーデン、といった欧州の主要国のバックエンド政策および使用済燃料管理の状況を調査し、その中でのプルトニウム・リサイクルの位置付けと開発の現状を総合的に分析・評価する。

（2）MOX燃料加工、再処理に関する計画および実績

海外のMOX燃料加工計画、加工実績および再処理計画、再処理実績に関するデータを調査し、まとめる。

（3）プルトニウム在庫

世界各国のプルトニウム在庫に係わるデータを調査・集計する。

* 本報告書は、核燃料サイクル開発機構との契約に基づき、株式会社アイ・イー・エー・ジャパンが実施した調査研究の成果である。

委託者：国際・核物質管理部、核物質管理課

実施者：株式会社 アイ・イー・エー・ジャパン エネルギー・環境研究部

PLUTONIUM USE IN FOREIGN COUNTRIES (01)

Takao Otagaki and other staffs*

Abstract

European countries and Japan had been implementing the strategy of spent fuel reprocessing in order to use nuclear material to the maximum. Plutonium recovered from reprocessing, however, must be recycle on light water reactors (LWRs) because of considerable delay of fast reactor development. In Europe, much of experience of plutonium recycling have been accumulated until now. Thus, the status of plutonium recycling up to the end of 2001 in France, Germany, The U.K., Belgium, Switzerland and other countries were studied based on the following scope.

- (1) Basic policy and present status of plutonium recycling in primary countries of France, Germany, The U.K., Belgium, Switzerland, and Sweden which recently appears the move of recycling a part of plutonium

Backend policy and the status of spent fuel management were studied, then integrated analysis and evaluation of the position of plutonium recycling in backend and the status of plutonium recycling development were performed.

- (2) Plan and experience of Mixed Oxide (MOX) fuel fabrication and reprocessing of spent fuels

The data and information on plan and experience of MOX fuel fabrication and reprocessing in foreign countries were collected.

- (3) Plutonium inventories

The data and information on plutonium inventories of foreign countries were collected.

Work performed by IEA OF JAPAN CO.,LTD under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute
JNC Liaison: Nuclear Material Management Section, International Cooperation and Nuclear Material Management Div.
* Energy & Environment Department

目次

ページ

1. 主要国におけるプルトニウム・リサイクルの基本政策と現状	1
1. 1 フランス	
1. 1. 1 バックエンド政策	1
1. 1. 2 MOX燃料利用の状況	22
1. 1. 3 MOX燃料加工の現状	29
1. 2 ドイツ	
1. 2. 1 バックエンド政策	34
1. 2. 2 MOX燃料利用の現状	51
1. 2. 3 MOX燃料加工の現状	59
1. 3 英国	
1. 3. 1 プルトニウム利用政策	63
1. 3. 2 MOX燃料加工の現状	74
1. 4 ベルギー	
1. 4. 1 プルトニウム利用政策	93
1. 4. 2 プルトニウム・リサイクルの現状	96
1. 4. 3 MOX燃料加工の現状	98
1. 5 スイス	
1. 5. 1 プルトニウム利用政策	107
1. 5. 2 プルトニウム・リサイクルの現状	111
1. 6 スウェーデン	
1. 6. 1 バックエンド政策	120
1. 6. 2 産業界からプルトニウム・リサイクル戦略が浮上	120
2. MOX燃料加工、再処理に関する計画および実績	125
MOX燃料加工の実績および計画	127
MOX燃料利用の実績および計画	155
再処理関連情報	183
その他のプルトニウム利用関連情報	195
3. プルトニウム在庫	209

1. 主要国におけるプルトニウム・リサイクルの 基本政策と現状

1. 1 フランス

1. 1. 1 バックエンド政策

(1) 基本政策

フランスの当初のバックエンド政策は、原子炉から排出された使用済燃料は適切な貯蔵（冷却）期間（2～3年）を経た後に再処理し、回収されたプルトニウムはFBRの燃料として利用するというもので、次のように要約できる。

- ① 使用済燃料の再処理
- ② 高レベル放射性廃棄物（HLW）のガラス固化
- ③ ガラス固化体の地上での中間貯蔵（15～30年または50～150年）
- ④ ガラス固化体の深地層処分所における最終処分
- ⑤ 再処理による回収プルトニウムのFBRでのリサイクル

こうした政策に対して、カスタン委員会による詳細なレビューが1981年末から実施され、その検討結果は3回の報告書にまとめられた。カスタン委員会のメンバーの大部分は、基本的には再処理を中心とする既存の政策を支持し、再処理の方式としては高度再処理が核燃料サイクルのバックエンド問題に対する最も満足すべき解決策になり得ると結論している。しかし、同時に将来の開発の可能性および不確実性を見込んだ使用済燃料の長期貯蔵や直接処分を含む代替戦略検討の必要性も勧告した。

一方、FBR開発計画の遅れによる余剰プルトニウムの取扱いについては、仏電力公社（EDF）、仏核燃料公社（COGEMA）および仏原子力庁（CEA）の間で評価・検討した結果、

1985年5月にEDFは、これらのプルトニウムの一部を混合酸化物（MOX）燃料として軽水炉でリサイクルすることを勧告した。この決定により、回収プルトニウムの利用法については、フランスではFBRの他に軽水炉でのリサイクルが公式に採用されることになった。

（2）プルトニウム・リサイクルの商業化と拡張（1989～96年）

しかし、プルトニウムの余剰を警告し、使用済燃料の中間貯蔵オプションの検討を勧告するルヴィロワ・レポートを発端として、1989年から1991年まで、フランス国内では従来の再処理－プルトニウム利用政策の是非をめぐって広範に議論が繰り広げられた。EDFは、プルトニウム・リサイクルの経済性を否定し、再処理委託量を削減するという見解を示し、カスタン氏は、プルトニウムの毒性を問題視する勧告を発表した。さらに、政府諮問機関である「技術リスク防護委員会」による使用済燃料直接処分の提案等、フランスのプルトニウム・リサイクルに否定的な意見が示された。しかしこのような論議の中、建設許可発給が遅らされていたマルクール社のMELOX・MOX燃料加工プラントに1990年5月、許認可が発給された。続いて、1991年12月には、再処理およびプルトニウム利用に深く係わる高レベル廃棄物・長寿命廃棄物関連法が制定され、同廃棄物法の中に使用済燃料管理に関する政策変更が盛り込まれなかったことによって、フランスの再処理／プルスーマル政策は維持されることになった。

しかし、廃棄物法に規定されていた国家評価委員会（CNE）の報告書が1995年6月27日に政府に提出され、使用済燃料の直接処分オプションに関する方策と研究スケジュールをEDFとCOGEMAが提出するよう勧告された。CNEの提起した問題は、バタイユ議員が、使用済燃料を潜在的な廃棄物と見なす視点を導入すべきであると明言し、1996年3月の議会科学技術選択評価局（OPECST）の報告書で廃棄物法の改正あるいは新法の制定を示唆するに及んで、あらためてクローズアップされた。バタイユ議員の意図するところは、高レベル・長寿命放射性廃棄物の明確な定義であり、より具体的には使用済燃料の一部を潜在的な“廃棄物”と見なすという考え方を導入することであった。続いてCNEは、1996年6月の第2回報告書でも、「使用済燃料の直接処分に関する検討状況およびプログラムについて、速やかに情報が提供されることを期待する」と、重ねて要求した。

これに対し、EDF、COGEMAおよびCEAの三者は同年6月頃に、使用済燃料の最終的な管理政策について大筋で合意に達し、EDFとCOGEMAが新規の再処理契約を締結し、2000年以降、約1,000トン/年の使用済燃料を再処理する計画が示された。また、EDFはCNEに対しても、2000年以降も再処理路線を継続、拡張する旨の趣意書を提出した。

一方、共和国連合のジュベ首相下の政府は、産業省エネルギー・資源総局（DGEMP）のマンドイル局長と環境省電離放射線防護局（OPRI）のヴェスロン局長にフランスの長期的な（～2050年）バックエンド戦略の調査を委託し、現行の再処理—プルトニウム・リサイクル政策を再確認することを試みようとした。

（3）左派連合政権下でのプルトニウム・リサイクル抑制策（1997年～）

1997年6月に行われた国民議会選挙によって、共和国連合政権が倒れ、新たに社会党を中心として、緑の党と共産党が加わった左派連合政権が発足した。社会党は選挙を勝ち抜くために緑の党との間で共同綱領を作成しており、その中には、現行のプルトニウム・リサイクル政策に影響を与える以下のような項目が含まれていた。

- ① スーパーフェニックスの廃止
- ② 原子力発電所建設の2010年までの凍結
- ③ PWR用MOX燃料加工の2010年までの凍結
- ④ ラアージュでの再処理のレビューと新規再処理契約の凍結

フランスの現行の再処理／プルトニウム・リサイクル政策上、特に重要なのは、③項と④項である。再処理に関しては、軍事上もまた産業上もフランスにとって大きな基盤となっているので、廃止することは非現実的であることが認識されている。従って、共同綱領においても”レビュー”を行うという表現に留められた。

社会党は元々、反原子力政党ではないが、緑の党のドミニック・ヴォワネ女史が、新政権において国土整備環境相（首相、産業省と連署で原子力許認可権限を有する）の要職に就いたので、③項に係わるMOX燃料加工プラント増設の許可やMOX燃料装荷炉の許可の発給段階で、同環境相との調整が不可避となった。なお、ヴォワネ環境相は2001年7月に退任し、後任にはやはり緑の党のイブ・コシェ氏が就任した。

このような政治情勢を背景として、1997年10月後半になって、C. ピエレ産業担当閣外大臣は、ヴォワネ環境相との合意の下にということで、議会在廃棄物管理戦略を決定する2006年までのフランスのバックエンド施策に関する以下のような方針を明らかにした。

- ① 再処理は継続される。また、COGEMAは海外顧客と新規契約を結んでもよい。しかし、EDFの使用済燃料の全てが再処理される訳ではない。使用済MOX燃料を含むいくらかの燃料は再処理されない。
- ② EDFのプルトニウムリサイクル・プログラムは拡張しない。即ち、MOX燃料装荷許可の発給は、現行の16基に新たに4基（シノンB1～B4）のみを追加して20基に制限する。合計28基のPWRについて許可を取得するという計画は中止する。
- ③ MELOX・MOX燃料加工プラントの許可容量は現行のPWR用100トン／年（115トン（酸化物）／年）に留める。

一方、フランスの前保守政権の下で企画された2050年までのバックエンドの可能なオプションを理論的に分析・評価しようとする試みは、ピエレ産業担当閣外大臣とヴォワネ環境相に引き継がれ、調査を担当しているDGEMPのマンディル局長とOPRIのヴェスロン局長は1997年7月17日、暫定報告書を両大臣のもとへ提出した。同報告書は、議会科学技術選択評価局（OPECST）でもレビューされることになった。

マンディル、ヴェスロンの両局長が暫定報告書で提示した10のシナリオは、①多量のプルトニウムを地層処分することが可能か？②2050年までという枠組みの中で、高速炉の商業化が可能か？③プルトニウムはリサイクルするのか？という3つの重要問題を軸として作成されたものである。多くのシナリオにおいて高速炉が考慮されているが、使用済燃料の直接処分や長期的回収可能貯蔵も可能にしている。

全てのシナリオにおける重要な要素は、そのシナリオが後戻りできなくなるのがいつ頃かということである。報告書では、議会が高レベル廃棄物と長寿命廃棄物の管理戦略を決定する2006年以前には、シナリオ選択の柔軟性を制限するような大きな投資（100億フラン以上〔15円換算で1,500億円〕）を新たに行うべきでないとされている。また、全てのシナリオにおいて必要な条件は、深地層処分場が2050年までに運開されていることである。

(4) OPECSTのバックエンド・レビュー報告書（1998年）

その後、議会からはOPECSTのメンバーのバタイユ議員とガレイ議員が1998年6月に暫定報告書に対するレビュー結果の一部として「核燃料サイクルのバックエンド：包括的研究」（第1巻）を発表した。第1巻は、総合的評価をまとめたもので、①再処理とプルトニウム管理、②高速炉研究、③スケジュール評価、といったプルトニウム・リサイクルに関するものが多く含まれていた。同レビュー報告書（第1巻）の内、特にプルトニウム・リサイクルに係わる部分は以下の通りである。

① 再処理とプルトニウムの管理に関する評価

フランスは再処理において世界をリードする立場にあり、ラ・アーグ再処理工場が2030年まで運転を保証されていることは事実であるが、全ての使用済燃料を再処理するというかつてのフランスの基本政策は事実上放棄されたと考えられる。実際、フランス電力公社（EDF）は現在、国内の加圧水型原子炉（PWR）で生じた使用済燃料の3分の1しか再処理を委託していない。また、プルトニウムを10億年にわたって安全に処分できるような固化媒体の研究が

進められている。しかし、OPECS Tは、高速炉の開発が大きく先送りされた現状では、プルトニウムの最も有効な利用方法はPWRでのプルサーマルであると指摘している。

フランスにおける分離プルトニウムの総量は1996年末現在65.4トンであり、そのうち国外の機関の所有に帰すプルトニウムは30トンである。したがって、フランスが所有するプルトニウムは35.4トンであるが、EDFが必要であると主張する緩衝在庫（非常時の供給の変動に供えての在庫）は20トンである。

OPECS Tは、海外の使用済燃料から分離されたプルトニウムは速やかに所有者に返還すべきであり、早期の返還が不可能な場合は再処理を請け負うべきではないと主張している。また、フランスの90万kW級PWRシリーズであるCP1とCP2に属する28基は全て技術的に混合酸化物（MOX）燃料を装荷することが可能なので、可及的速やかに装荷許可を発給すべきであると政府に提言している。さらに、独仏が共同開発している欧州加圧水型原子炉（EPR）ではMOX燃料を最大限利用すべきであると示唆している。

OPECS Tは、フランスにおける使用済燃料の貯蔵容量を拡張すべきであると勧告している。また、プルトニウムのリサイクルは1回で止めるべきで、MOX燃料の再処理は技術的に困難でコストが嵩むので、現状では不要であると主張している。

② 核種分離・変換に関する評価

フランスでは、マイナーアクチニドと核分裂生成物の化学的分離に関する研究が大きな進歩を遂げた。しかし、キュリウムからアメリシウムを分離することが困難であるといった、克服し難い問題もある。いずれにしても、マイナーアクチニドと核分裂生成物の放射能が高いことから非常に複雑な施設が必要となるので、コストが嵩むことは避けられない。

高速原型炉フェニックスの運転再開が決定されたが、同炉では“高速炉によるプルトニウム燃焼（CAPRA）”プログラムを完遂することができない。CAPRAプログラムは本来、

高速実証炉スーパーフェニックスで行われるはずであったが、同炉は早期閉鎖が確定している。したがって、フェニックスが閉鎖される2004年以降、フランスには核種分離・変換に関する研究ツールが存在しなくなる。

このため、OPECSTは、カダラッシュに建設が予定されているジュール・ホロヴィッツ試験炉(RJH)の設計を変更することをフランス原子力庁(CEA)に提言している。また、RJHに2つの炉心を設置し、一方で熱中性子を、他方で高速中性子を生産できるような設計を提案している。この二重炉心構造の実行可能性とコストについては慎重に検討すべきである。

現在、加速器と一体化した混成炉(hybrid reactor)と臨界未満集合体が注目されている。しかし、OPECSTは、この種の施設の技術と安全性には幾つかの難点があると考えており、国内あるいは欧州域内で開発プロジェクトを立ち上げる際には、細心の注意が必要であると警告している。

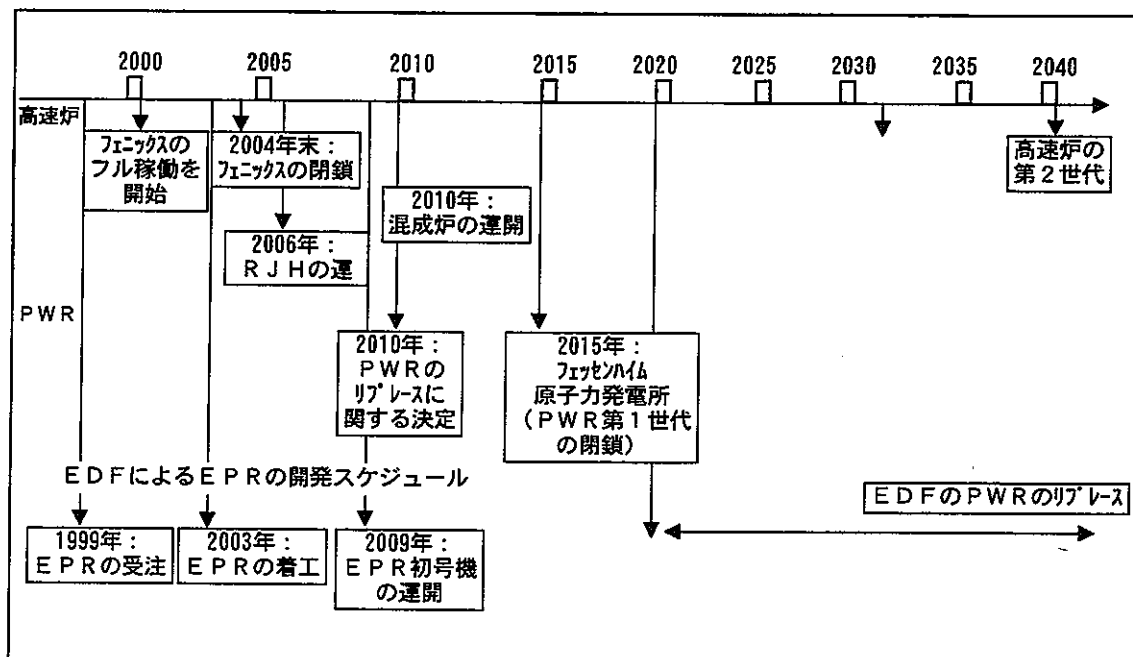
③ スケジュールとコストに関する評価

原子力開発プログラムの策定には、少なくとも30年先を見越した綿密な計画が必要である。フランスでは、〔第1.1図〕に示すように、フェニックスが2004年末に閉鎖され、RJHの運開は早ければ2006年、混成炉の実証炉の運開は早くても2010年以降である。また、21世紀の半ば以降に高速炉の第2世代の開発が本格化するので、2030年頃に設計を開始する必要がある。

ラ・アーグ再処理工場のリプレースについては、〔第1.2図〕に示すバックエンド政策プログラムの通り、2020年頃から計画の策定が開始される。また、最初の深地層処分場の運開は2025年頃と予定されている。

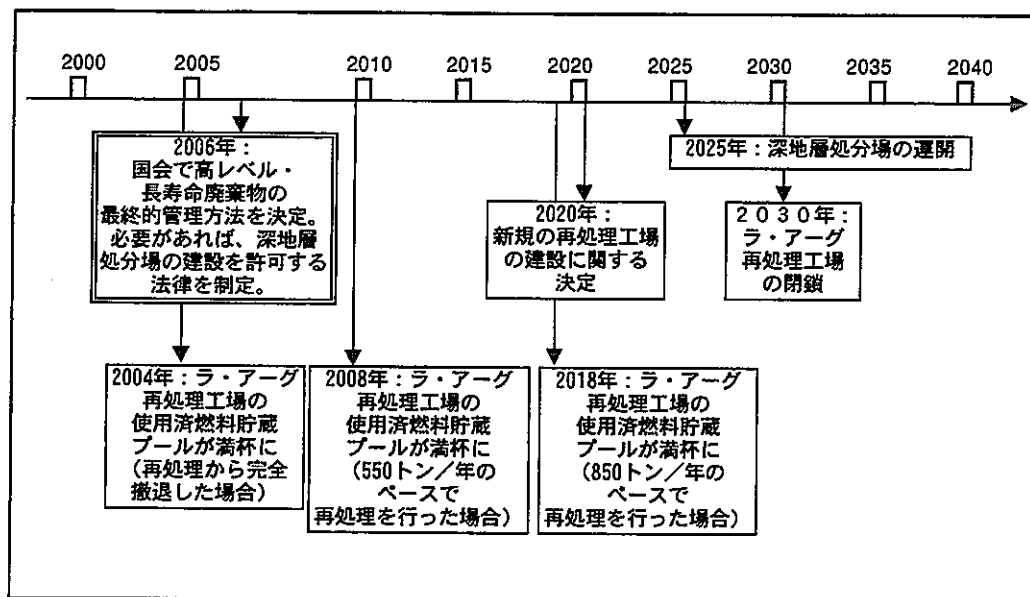
上記の2つのスケジュールからも明らかな通り、最終的な決定を行うまでに、まだ若干の時間的余裕がある。しかしながら、地下研究所とEPRの発注に関する決定は急を要する。

以上のように、28基の90万kW級PWR全基についてMOX燃料の装荷を許可すべきであるとの提言は、EDFの方針に合致している。しかし、「緑の党」の代表であるヴォワネ環境大臣が、OPECSTの結論の多くに批判的であることは明白である。



RJH:ジュール・アンドヴィック試験炉 EDF:フランス電力公社 EPR:欧州加圧水型原子炉

【第1.1図】 フランスにおける2000年以降の原子力開発プログラム



【第1.2図】 フランスにおける2000年以降の核燃料サイクル・バックエンド政策プログラム

1999年2月には、バックエンドの経済性を評価したレビュー報告書として第2巻『核燃料

サイクルのバックエンド：発電コスト』が発表されたが、実際は、電源別の発電コストの比較が主要テーマとなっていた。第2巻の意義は、国会や政府に原子力発電の利点について注意を喚起し、電力市場自由化法案や将来の電源構成を巡る議論をリードすることであると考えられる。与党のバタイユ議員と野党のガレイ議員の共同執筆であることも報告書の権威を高めている。

第2巻は、主に経済協力開発機構／原子力局（OECD／NEA）、仏産業省ガス・電気・石炭局（DIGEC）、およびラ・アーク再処理工場の減価償却期間が終了する2000年以降に関する仏核燃料公社（COGEMA）のデータに基づいている。電源別の燃料と運転・保守コストに関する1997年のデータは次の通りである。

単位：サンチーム/kWh

電源	燃料および運転・保守コスト
90万kW級PWR（燃料／運転・保守）	13.2（6.1／7.1）
130万kW級PWR（燃料／運転・保守）	11.2（5.6／5.6）
33万kW級石炭火力 一年間運転時間：7,000／3,500	18.7／23.9
60万kW級石炭火力 一年間運転時間：7,000／3,500	17.2／21.3
25万kW級流動床燃焼石炭火力 一年間運転時間：7,000／3,500	20.4／26.2

第2巻では、従来の電源別発電コスト比較では除外されてきた外的要素が考慮されている。PECS Tは、外的要素が電源の競争力に与える影響を評価するに当たって、欧州委員会の主導で行われた“ExternE”と呼ばれる研究に依拠した。フランスにおける燃料別の外部費用に関する1998年のExternEでも、次の通り、化石燃料が不利であることは明らかである。

単位：サンチーム/kWh（割引率はゼロ）

電源の燃料	外部費用 (CO ₂ を除く)	CO ₂ に関する外部費用
核燃料	0.2	0
石炭	34.4	18
複合サイクル・ガス	8.5	8.2
石油	20.6	11.9

また、プルトニウム利用に関してOPECSTは、「30～40年後には天然ガスや石油資源が稀少になり、MOX燃料の需要が高まるので、プルトニウムはフランスの原子力発電の将来にとって不可欠である」とし、更に「プルスーマルだけでなく、長期的には高速炉の併用が不可欠である」と指摘している。

(5) 仏国家評価委員会 (CNE) によるMOX使用済燃料管理に関する勧告

---第7回報告書 (2000年)

1991年12月30日の放射性廃棄物管理研究法 (以下、廃棄物法と記す) では、高レベル・長寿命放射性廃棄物の最終的な管理方法として、核種分離・変換、深地層処分および長期貯蔵の3つが挙げられており、国家評価委員会 (CNE) は、これら3つのオプションに関する研究の進捗状況を毎年評価している。高レベル・長寿命廃棄物の最終的な管理方法を国会で決定する期日は2006年と規定されており、CNEが活動を開始したのが1994年なので、2000年は3つの研究課題の進捗状況を評価する上で折り返し点となる。

2000年7月に提出された第6回報告書における見解は総じて肯定的であったが、MOX使用済燃料の管理が新たな問題を引き起こす可能性が以下のように指摘された。

「高速炉の開発計画が存在しない現状では、分離プルトニウムはMOX燃料に加工して20基の原子炉でリサイクルするしかない。そうすれば、プルトニウムの在庫を管理することが可能になり、安全性と核拡散防止の目的を達成することができる。MOX使用済燃料から生じた廃棄物については長期の貯蔵が必要なだけでなく、高熱を発するので処分場の設計

で多くの空間を確保しておかなければならない。したがって、廃棄物管理プログラムにおけるMOX使用済燃料の管理の問題を重視し、MOX使用済燃料の組成に関するインベントリを作成しておく必要がある」

第6回報告書では、MOX使用済燃料の管理の問題が特にクローズアップされた。MOX使用済燃料の再処理が可能であることはラ・アーク再処理工場で立証されたが、EDFの現行の使用済燃料管理政策は、UO₂使用済燃料を再処理し、MOX使用済燃料を無期限に貯蔵するというものであり、MOX使用済燃料の再処理は想定されていない。

CNEは、MOX使用済燃料の再処理を商業規模で行えばマイナーアクチニドと核分裂生成物の発生量が増大することを懸念している。しかし、MOX燃料のワンスルー・オプションにも問題はある。高熱を発するMOX使用済燃料については、深地層処分先だて地上で長期間貯蔵する必要がある。

CNEの指摘を考慮すれば、MOX使用済燃料の管理に関するEDFの政策と長期貯蔵に関する原子力庁(CEA)の研究との間に一貫性を持たせることが、今後の課題になる。

(6) 政府諮問グループ(三賢人)による原子力発電の経済性評価報告書(2000年)

フランス政府は1998年12月に高レベル・長寿命廃棄物の深地層処分の地下研究所2カ所(粘土層と花崗岩層)建設することを決定し、CEAに対しては、使用済燃料と高レベル・長寿命廃棄物の長期貯蔵に関する研究を命じた。この時政府は、再処理オプションと直接処分オプションのコストを比較・分析することも決定し、ジョスバン首相の要請の下、3名の専門家(CEAの高官であるルネ・ペラ氏、国家計画委員会のジャン・ミシェル・シャルパン委員長、および国立化学研究センター[CNRS]のバンジャマン・ドゥシュ研究部長)が1999年9月から調査を開始した。調査は、2050年までのフランスにおける様々な発電方式を資源と経済性の両面について、電力需要の高・低、分散電源等を考慮して比較考量された。

2000年7月28日に提出された報告書の結論は、天然ガスが将来有望な電源であることを認めつつ、原子力が現在および将来にわたってフランスの電源構成の要であることを確認するものであった。また同報告書では、使用済燃料が貴重な天然資源であることも再確認された。この報告書では提言や勧告を行うことは控えられているが、原子力発電からの早期撤退が不経済であるとの認識が客観的事実として提示されている。このため、原子力反対派の側から現状追認主義であるとの批判もなされている。しかし、三賢人の結論は客観的なデータに裏打ちされており、フランスにおける将来のエネルギー政策の重要な指標となることは明白である。

同報告書では、原子力発電におけるオプションとして次の8種類が想定されている。

再処理オプション

シナリオF1（標準型）：2020年から2035年にかけて、PWRと欧州加圧水型原子炉（EPR）が共存、2050年以降、EPRで統一される。UO₂燃料とMOX燃料が併用され、プルトニウムのリサイクルはワン・サイクルのみ。

シナリオF2：2020年から2035年にかけてPWRとEPRが共存。90万kW級PWR 28基が閉鎖されるまでUO₂燃料とMOX燃料が併用され、閉鎖後、EPRでUO₂燃料と新型のAPA燃料が併用される。2018年にMOX使用済燃料の再処理が開始され、2030年にAPA使用済燃料の再処理が開始される。

シナリオF3：2020年から2030年にかけてPWRとEPRが共存、2040年までUO₂燃料とMOX燃料が併用される。MOX燃料から回収したプルトニウムをトリチウム酸化物と混合し、新たなMOX Pu-Th燃料としてEPRでリサイクル。

シナリオF4：2030年までPWRとEPRが共存、UO₂燃料とMOX燃料が併用される。2030年以降、新型の“高効率炉（RHR）”の第一世代（RHR-1）が導入され、MOX燃料から回収されたプルトニウムが消費される。なお、RHRは、ガス・タービン-モジュール・ヘリウム型炉（GT-MHR）と呼ばれる小型高温ガス炉に類似した概念である。

シナリオF5：2040年までPWRとEPRが共存、UO₂燃料とMOX燃料が併用される。2040年以降、RHRの第二世代（RHR-2）が導入される。

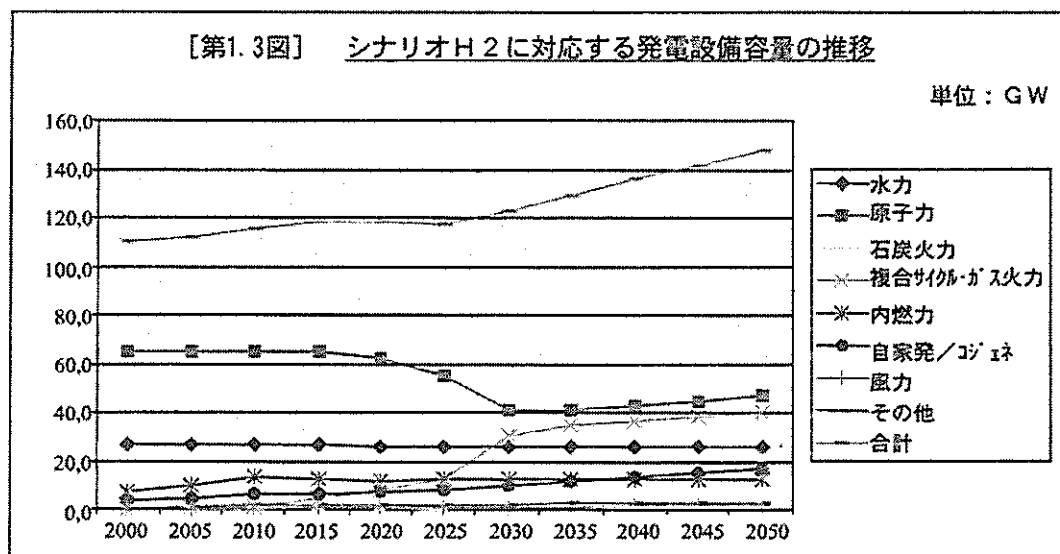
シナリオF8：シナリオF4のバリエーション。90万kW級PWRの運転期間終了まで、UO₂使用済燃料の再処理とMOX燃料の利用を継続。2030年以降、EPRの代わりにRHR-1を導入。MOX燃料は再処理され、回収されたプルトニウムはRHR-1で消費される。2050年頃にプルトニウムの在庫は完全に消費され、以後、濃縮度20%のUO₂燃料が利用される。

脱再処理オプション

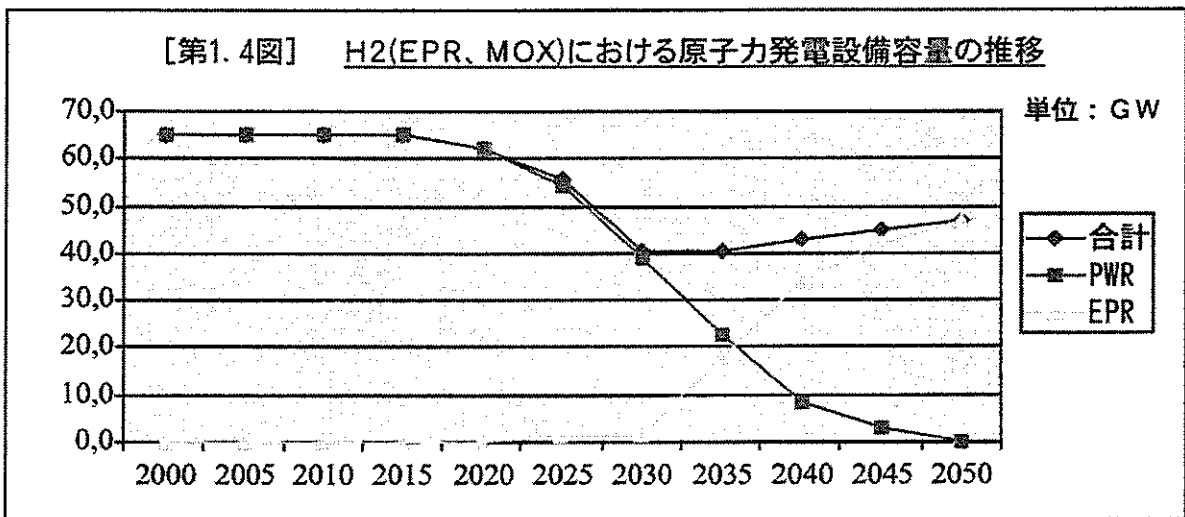
シナリオF6：PWRとEPRが共存、UO₂燃料とMOX燃料が併用される。2010年以降、再処理から撤退し、MOX燃料の利用を放棄する。

シナリオF7：PWRを利用し、2030年以降、RHRで段階的にリプレースする。RHRでは、濃縮度20%のウラン燃料が利用される。

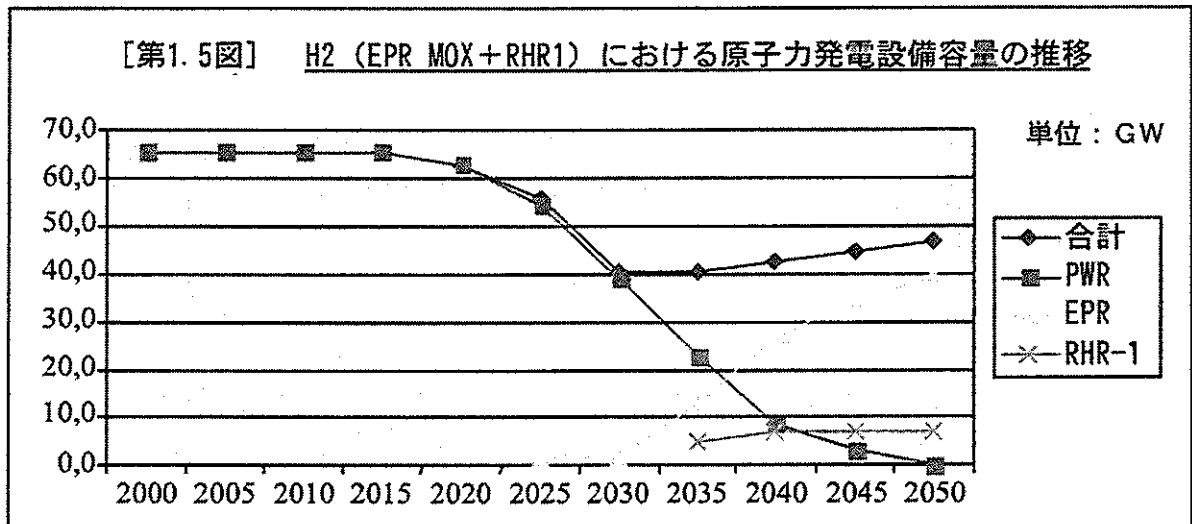
高成長のシナリオ（H2：国が原子力産業を支持したケース。電力消費の抑制には特に関心が払われない）では、原子炉のリプレースを前提とし、2050年の時点で原子力発電設備容量は4,700万kWとなる。シナリオH2に対応する発電設備容量の推移は〔第1.3図〕の通りである。



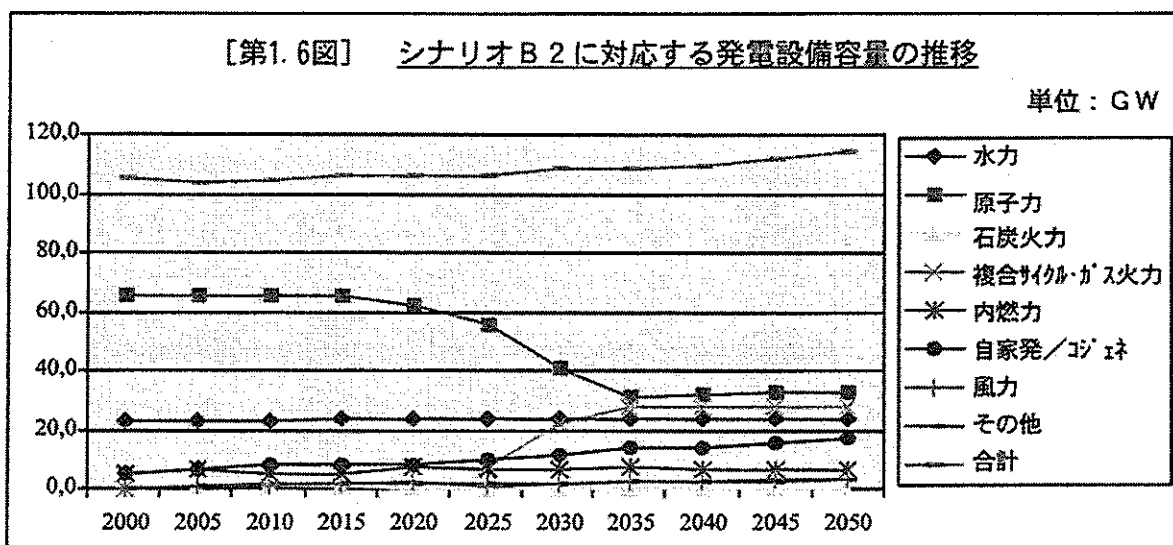
シナリオH2に原子力発電オプションのシナリオ（F1、F2、F3、F6）を掛け合わせた場合〔H2（EPR、MOX）〕の原子力発電設備容量の推移は〔第1.4図〕の通りである。



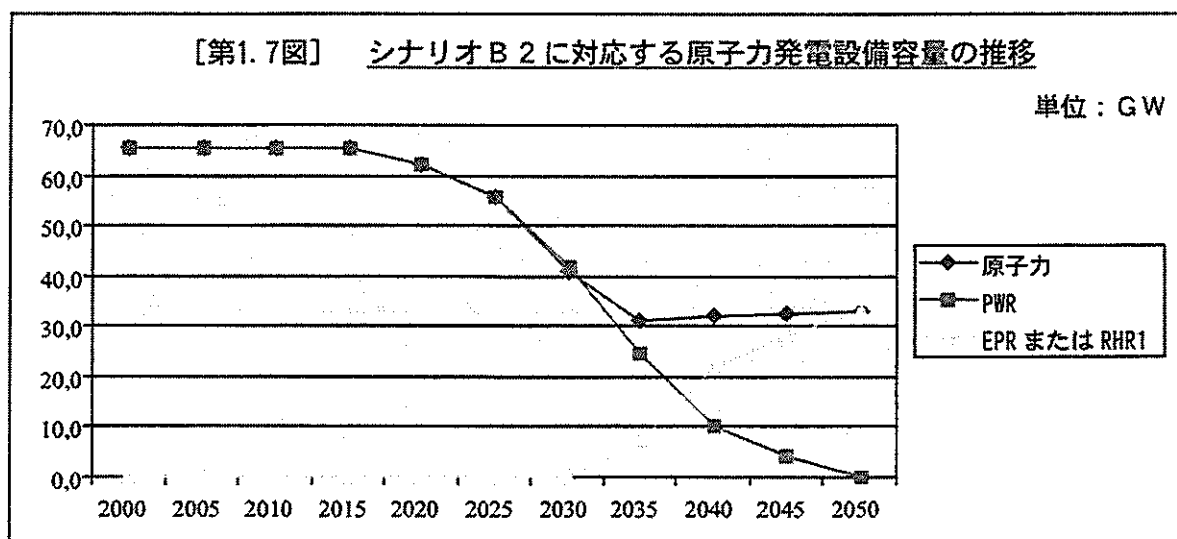
シナリオH2に原子力発電オプションのシナリオF4を掛け合わせた場合 [H2 (EPR MOX +RHR1)] の原子力発電設備容量の推移は [第1.5図] の通りである。



低成長シナリオ (B2: 原子力リスクと環境問題が重視され、電力需要の調整機能が促進される。産業構造の抜本的再編と再生可能エネルギーの開発に適した状況が当局によって準備される) では、2030年から2030年にかけて既存の原子炉がリプレイスされる。シナリオB2に対応する発電設備容量の推移は [第1.6図] に示す通りである。



このシナリオでは、既存の原子炉の運転期間は45年に設定され、2030年から2035年にかけてEPRあるいはRHR-1でリプレースされる。この場合、原子力発電設備容量の推移は[第1.7図]に示す通りである。



そして、2000年から2050年に至る初期投資、運転コスト、燃料コストおよび研究・開発(R&D)コストに関するシナリオと、天然ガスの価格変動に関するシナリオ(安定型、中間型、緊張型)とを組み合わせ、各電力需給シナリオの経済性を次のように見積もっている。

[第1.1表] 電力需給シナリオ別の発電コスト

単位：10億フラン

需給シナリオ	高成長シナリオ			低成長シナリオ			
	H1	H2	H3	B2	B3	B4-45	B4-30
天然ガス価格変動	高 成 長 型						
初期投資	1,665	1,996	2,232	1,627	1,715	1,392	1,351
運 転	1,236	1,382	1,545	1,266	1,322	1,164	884
燃 料	1,968	1,581	1,142	1,249	1,092	1,549	2,230
R&D	120	146	146	146	146	120	86
合 計	4,989	5,105	5,065	4,288	4,275	4,225	4,551
天然ガス価格変動	中 間 型						
初期投資	1,665	1,996	2,232	1,627	1,715	1,392	1,351
運 転	1,236	1,382	1,545	1,266	1,322	1,164	884
燃 料	2,449	1,892	1,296	1,483	1,266	1,905	2,739
R&D	120	146	146	146	146	120	86
合 計	5,470	5,416	5,219	4,522	4,449	4,581	5,060
天然ガス価格変動	緊 張 型						
初期投資	1,665	1,996	2,232	1,627	1,715	1,392	1,351
運 転	1,236	1,382	1,545	1,266	1,322	1,164	884
燃 料	3,121	2,357	1,545	1,840	1,543	2,415	3,537
R&D	120	146	146	146	146	120	86
合 計	6,142	5,881	5,468	4,879	4,726	5,091	5,858

この表から、次の結論が導かれた。

- ・ 天然ガス価格の変動にかかわらず、いずれのケースにおいても、B4-30（原子炉寿命30年の早期脱原子力）はB4-45（原子炉寿命45年の緩やかな脱原子力）よりもコストが嵩む（原子力発電からの早期撤退は不経済）。
- ・ 天然ガス価格が“安定型”のケースでは、原子炉のリプレースを行わないシナリオが最も安価（高成長ではH1、低成長ではB4-45）。
- ・ 天然ガス価格が“緊張型”のケースでは、原子炉の大部分をリプレースするシナリオが最も安価（高成長ではH3、低成長ではB3）。

また報告書は、再処理・リサイクルの資源的・環境的・経済的効果とデメリットについて、「全ての使用済燃料を再処理してMOX燃料としてリサイクルする場合、2010年に再処理を中止するケースと比較して、天然ウランは約5%節約され、処分されるプルトニウムとアメリシウム量は12~15%低減される。一方、このように再処理を拡張した場合、フランスの原子力発電コストは、全ての原子炉の寿命期間にわたって280億~390億フラン（18円換算で5,000億~7,000億円）増加し、1~1.5%割高である」と評価している。

(7) 再処理・リサイクルに対する経済・財政・産業省(MINEFI)の見解(2001年)

経済・財政・産業省(MINEFI)は2001年7月に「フランスにおける再処理・リサイクルおよび核物質輸送」と題する報告書を発行し、この中でフランスの再処理・リサイクルをエネルギー、環境/放射線防護および経済性の観点から評価した同省の公式見解を示した。2000年7月の仏三賢人による原子力発電の経済性評価については、2000~2050年のウラン資源が安価な期間を対象とした評価なので、再処理・リサイクルが直接処分よりコスト高となっているが、より長期的視点から見れば、ウランおよび濃縮の価格が高くなると考えられるので再処理・リサイクルの方が経済的ではと反論している。また、再処理・リサイクルは環境的観点から正当化されるもので、経済性比較はそれ自体根拠がない等、フランスの現行の再処理・リサイクル政策に対する政府の肯定的な姿勢を示す内容となっている。以下に要点を示す。

a. シャルパン、ドゥシュおよびペラの三賢人による政府諮問グループの経済性評価報告書

2000年7月に提出された原子力発電の経済性に関する同報告書は、ウラン資源が低価格である現在の状況の下では、再処理・リサイクルは直接処分より若干コストが高いと評価している。28基の原子炉で使用済燃料の再処理・リサイクルを100%行った場合と、2010年に再処理を中止する場合を比較すると、全原子力発電コストは再処理・リサイクルの方が1%割高である。

しかしながら、この若干のコスト増加は明らかに、ウランと濃縮サービスの価格が2000~2050年にわたって安価であるという仮定に依るものである。1980年代の経済状況の下で(あるいは、より将来にわたって)評価したならば、再処理・リサイクルの方が経済的であるという結論が導かれるであろう。

また、ロシアの核物質市場の危機、あるいは米国濃縮会社(USEC)の欧州濃縮会社に対するダンピング訴訟に伴う米国市場における濃縮価格の上昇、といった要因を考慮した時、同報告書の評価結果は必ずしも完全であるとは言えない。

更に、使用済燃料の中間貯蔵量の低減、不安定な廃棄物をガラス固化することによる安全な燃料管理、使用済燃料からプルトニウムを除去することによる深地層処分場の毒性緩和、といった再処理・リサイクルの環境面での経済効果を同報告書は評価に入れていない。

b. 既存のプロセス（再処理・リサイクル）と開発中のプロセス（直接処分）の比較の是非

クローズド・サイクルとオープン・サイクルの経済性比較は、基本的には理論上のものであることに留意すべきである。再処理・リサイクルには現実の産業実績があるが、直接処分はまだ実現されたものではない。更に言えば、再処理・リサイクルはエネルギー的に正当化されなくても、環境的観点から正当化されるので、経済性を比較すること自体、根拠のないものであり、コストの問題は主要な動機付けとならない。多量のプルトニウムを深地層に処分することを承認するかどうかの決定も、再処理・リサイクルのコストの問題と別個に検討されるべきである。

最後にMINEFIは、「1991年廃棄物法の規定によって、高レベル・長寿命廃棄物の最終的管理方法が2006年に決定されるまで、現在のフランスの再処理・リサイクル戦略は既存の施設の性能の範囲内で継続され、その後の戦略は同決定次第である」としている。

(8) MOX使用済燃料貯蔵をめぐる論議（2001年）

仏電力公社（EDF）の現在の年間使用済燃料発生量は約1,150トンであるが、再処理されるのは800～850トン（UP3再処理プラントにおける最大（許可）処理量）で、残りは貯蔵されている。この内の約100トンが使用済MOX燃料である。EDFでは現状、約100トンのMOX燃料をリサイクルしていく計画である。現在のところ、使用済MOX燃料の貯蔵量は約300トンであるが、EDFでは、2020年までにはその量は3,200トンになると見積もっている。一方、UO₂使用済燃料の貯蔵量は減少していく。

フランスは再処理を推進している国であるが、再処理される予定のない使用済燃料、特にMOX使用済燃料が多量に貯蔵されるという現実を直視して、貯蔵政策を立てるべきであるという議

論が2001年においては高まった。

a. OPECS Tの主張

仏議会科学技術選択評価局（OPECS T）のパタイユ議員は2001年5月17日に『使用済燃料の長期貯蔵の可能性』と題する報告書を発表した。同議員は「1991年の放射性廃棄物管理研究法は国内で発生した全ての使用済燃料が再処理されることを前提に起草されたものであるが、この前提はもはや現状に合致していない。早期に再処理されない使用済燃料を考慮して新たな法律を制定すべきである」と指摘し、「米国では電力会社が原子力発電所の貯蔵プールのリッキングや乾式貯蔵の導入で急場をしのいでいるのが現状である。この轍を踏まないために、我が国では複数の貯蔵施設を開発する必要がある」と強調した。

パタイユ議員は、あらゆる種類の放射性廃棄物の管理責任を仏放射性廃棄物管理機関（ANDRA）に集中すべきであり、この責任を民間に移譲してはならないと主張している。また、欧州電力市場の自由化に伴い、使用済燃料の貯蔵、廃棄物の処分および原子力施設の廃止措置に関する資金繰りが困難になる恐れがあると警告している。これらの資金は現在、EDFの“準備金”として内部留保されているが、同議員は、スウェーデンのような外部基金方式の導入を示唆している。

パタイユ議員はさらに、フランスの使用済燃料や廃棄物の輸出を法律によって禁止するとともに、再処理を目的とした海外の使用済燃料の輸入や貯蔵についても“厳格な規定”を設定すべきであると勧告している。

パタイユ議員は「全ての使用済燃料を再処理ーリサイクルするという原則を独断で変更した」として、EDFと仏核燃料公社（COGEMA）を激しく非難した。EDFの原子力発電所では年間1,150トンの使用済燃料が発生するが、このうち再処理されるのは850トン／年だけである。特に年間100トン発生するMOX使用済燃料については、EDFはこれらを早期に再処理する意向はない。パタイユ議員は「MOX使用済燃料が今後20年、30年さらに40年にわたって再処理されな

いとすれば、使用済燃料の新たな貯蔵方法を検討しなければならない。私個人としては、使用済燃料の大量輸送を避けるために、国内に2～5カ所の地上乾式貯蔵施設を設置することが望ましいと考えている」と語った。

b. CNEの第7回レポート

2001年6月28日に発表された国家評価委員会（CNE）の第7回レポートにおいては、中間貯蔵に関する詳細な研究と実証が、特に長寿命廃棄物と再処理される予定のない使用済燃料において急務であると勧告された。またCNEは、フランスが廃棄物コンテナとキャスクの開発が遅れているとし、スウェーデンで行われているように、中間貯蔵施設の実証を行うことによって、長期的な廃棄物管理のパブリックアクセプタンスを大幅に向上することができると主張した。

CNEは更に、高レベル・長寿命廃棄物の処分場の概念設計において、従来のガラス固化高レベル廃棄物（カテゴリーC廃棄物）、長寿命廃棄物（カテゴリーB廃棄物）の他に、 UO_2 使用済燃料とMOX使用済燃料を処分の対象に加えるべきであるとした。ただし、最も優先されるべきは大量に発生する長寿命廃棄物であることに留意すべきであることも示唆された。そして、処分場が少なくとも今後20年間は利用できないことを踏まえ、中間貯蔵においても長寿命廃棄物を最優先に考えるべきであるとしている。

使用済燃料の長期中間貯蔵に関してCNEは、ラ・アーク再処理サイトで貯蔵する場合と発電所サイトで貯蔵する場合の長所と短所を比較、検討するよう勧告した。例えば、ラ・アークで貯蔵する場合には輸送の頻度が多くなる。一方、発電所サイトの場合は、施設を20カ所建設することになり、これによってモニタリングの増加や各種リスクの分散と増加が生じることになる。

また、処分場と中間貯蔵施設の併設についての検討も勧告し、処分場の回収可能性を考慮すれば、回収された廃棄物の貯蔵施設の必要性が必ず問題になるはずであると指摘している。

最後に、CNEはフランスの将来の廃棄物管理スケジュールについて、以下のようなシナリオを示した。

2006年12月に国会で高レベル・長寿命廃棄物の最終的な管理方法が採択される。この中で、長寿命廃棄物の早期処分の方針が示される。高度再処理によってガラス固化高レベル廃棄物からアクチニドを分離し、核分裂生成物（FP）だけを再ガラス固化し、約100年間貯蔵して発熱量を少なくし、その後で処分する。分離されたアクチニドは、核種変換炉が利用できるようになるまで貯蔵される。再処理されない使用済燃料（即ち、MOX燃料）は約100年間貯蔵され、その後再処理するか、再処理しないかの判断を下す。

以上のように、これまでラ・アーク再処理サイトの多量のプール貯蔵容量（14,000トン）があるために問題視されていなかった使用済燃料貯蔵の問題が、フランスにおいても顕在化し、政治問題となってきた。バタイユ議員はこの問題の検討を、新たな法律の制定を視野に入れて提案しており、今後のフランスのバックエンド政策へ影響するものと予想される。

（9）CEAの廃棄物研究成果（2001年）

フランス原子力庁（CEA）は2001年10月2日に、『放射性廃棄物に関する研究：成果と見通し』と題する報告書を発表し、高レベル・長寿命放射性廃棄物の最終的管理方法に関する研究、特に核種分離・変換に関する研究が大きく進捗したことを明らかにした。また、同報告書では、長期貯蔵および深地層処分との連続性や相互連関が重視されている。

従来、核種分離・変換はCEA、深地層処分は放射性廃棄物管理機関（ANDRA）、長期貯蔵は電力公社（EDF）と核燃料公社（COGEMA）といった暗黙の役割区分があった。しかし、研究の進捗状況を評価する立場にある国家評価委員会（CNE）は、このような縦割り構造の弊害を指摘してきた。CNEの批判を受けて、CEAは近年、他の関連機関との共同研究に精力的に取り組むようになり、3つの研究課題の中間領域において大きな成果を収めた。CNEは、2001年6月の第7回評価報告書の中で、CEAの脱領域的な活動を高く評価している。

1. 1. 2 MOX燃料利用の状況

1984年に90万kW級PWRでのプルトニウム・リサイクルを決定したEDFは、技術的／行政的に障害の少ない16基の90万kW級PWRでのMOX燃料装荷許可を取得した。その後、1987年から商業的プルトニウム・リサイクルが開始され、1998年7月に、新たにMOX燃料装荷許可を取得したシノンB1～B4号機を加え、合計20基でプルトニウム・リサイクルを行う体制が築かれた。1998年10月にシノンB4号機、1999年に同B2・B3号機が装荷運転を開始し、2000年5月にはシノンB1号機が20基目のMOX装荷炉となった。

EDFがMOX装荷を計画している残り8基の90万kW級PWRのうち、グラブリーヌ5・6号機は1997年にMOX装荷の許認可申請が提出されたが、環境相は現在に至るまで許可を発給していない。[第1.2表]に2001年12月現在のEDFの90万kW級PWRのMOX装荷状況を示す。

MOXリサイクルの柔軟性を確保するために、最終的には28基のPWRでリサイクルを行ないたいというのがEDFの持論であるが、仏核燃料公社(COGEMA)との再処理契約量(850トン/年)とMELOX・MOX燃料加工プラントの現行の許可容量(100トンHM/年)によって制限されるリサイクル量^(注1)からすれば、当面22基のMOX装荷炉があればEDFとしては困らない。

^(注1) 16基でリサイクルする場合にMOX燃料約100トンが必要といわれており、22基が毎年装荷した場合、135トンのMOX燃料が必要。

【第1.2表】 仏電力公社（EDF）の90万kW級PWRにおける
プルトニウム・リサイクル計画（2001年12月現在）

① 既に装荷されている原子炉：20基	
サン・ローラン	B1（1987年～） B2（1988年～）
グラブリーヌ	B1（1997年～） B2（1998年～） B3（1989年～） B4（1989年～）
ダンピエール	1（1990年～） 2（1993年～） 3（1998年～） 4（1998年～）
ブレイエ	1（1997年～）
ブレイエ	2（1994年～）
トリカスタン	1（1997年～） 2（1996年～） 3（1996年～） 4（1997年～）
シノン	B1（2000年～） B2（1999年～） B3（1999年～） B4（1998年～）
② 許認可を申請中の原子炉：2基	
グラブリーヌ	C5およびC6
③ 許認可取得が計画されている原子炉：6基	
ブレイエ	3および4
クリュアス	1～4

【出典】MELOX社パンフレット,1993; Nucleonics Week 1994.03.28;
 EDF資料,1996; Nucleonics Week, 1998.07.30; A.Gloague
 (EDF) ,"EDF's Program for Spent Fuel Management", IAEA
 International Symposium on Storage of Spent Fuel from Power
 Reactors", Vienna, 1998.11.9～13; Nuclear Fuel 2000.5.1.

1999年におけるEDFのMOX装荷実績についてはフランス筋から、全装荷体数が192体であったと伝えられている。また、1999年にMELOXからEDFの原子力発電所に納入されたMOX燃料集合体は216体（13.5装荷分）で、それらは以下の原子炉向けであったという。

サンローラン	B1・B2	:	24体
ブレイエ	2	:	24体
ダンピエール	1・2・4	:	48体
グラブリーヌ	4	:	16体
トリカスタン	1～4	:	64体
シノン	2～4	:	40体
合 計			216体

ただし、EDFはサイトにMOX燃料の在庫を抱えているし、1999年の第4四半期毎に納入されたMOX燃料が実際に装荷されるのは2000年初めになるであろうから、上記の納入体数が1999年の装荷実績とは言えない。

なお、2000年10月にベルギーで開催された「プルトニウム2000」国際会議においてEDFは、現在までに20基の原子炉で約1,400体のMOX燃料集合体をリサイクルしたことを明らかにしている。EDFは今後、COGEMAから毎年、合計210体のMOX燃料を購入し、20基のPWRでリサイクルする計画である。

(1) MOX運転経験

十分なMOX運転経験をベースに、規制当局は、EDFの全てのMOX装荷許可炉に対して、負荷追従運転モードおよび周波数制御モードでの運転を許可し、ストレッチアウト運転の柔軟性も認めている。

プルトニウム・リサイクルの経済性については、

MOX燃料：コスト要素（燃料加工、再処理、廃棄物貯蔵）

燃焼度=37GWd/t

UO₂燃料：コスト要素（天然ウラン、転換、濃縮、燃料加工、再処理、廃棄物貯蔵）

燃焼度=44GWd/t

上記の条件の下、MOX燃料とUO₂燃料のkWh当たりのコストは同等であるとEDFでは考えている。MOX燃料の燃焼度がUO₂燃料と同等になれば、MOX燃料利用の経済性は有利になる。

現在、MOX装荷炉はハイブリッド炉心管理で、MOX燃料は3分の1炉心管理（燃焼度37,000MWd/t）、UO₂燃料は4分の1炉心管理（燃焼度45,000MWd/t）で運転されており、MOX燃料の原子炉への装荷体数は16体/年・炉が標準である。

EDFはUO₂燃料の高燃焼度化にとまなない、再処理で回収されるプルトニウム中の核分裂性プルトニウムの比率が少なくなることから、MOX燃料のプルトニウム富化度を7.08%に上げるための申請を1996年に規制当局の仏原子力施設安全局へ提出し、同許可を取得している。その後、EDFは2001年7月頃に規制当局にMOX燃料の最高燃焼度を52,000MWd/tに増加するための申請を行った。なお、現行のMOX燃料の燃焼度は平均38,000MWd/t（最高42,000MWd/t）である。EDFでは、2004～2005年にMOX高燃焼度化の許可を取得し、2005～2006年に高燃焼度MOX燃料集合体を装荷する計画である。もし、UO₂燃料が現在と同様の燃焼度（平均45,000～48,000MWd/t、最高52,000MWd/t）で運転されるなら、MOXリサイクル炉は現行のハイブリッド炉心管理ではなく、単純な“4分の1炉心管理”で運転されることになる。[第1.3表]にEDFのMOX炉心管理計画をまとめ、[第1.8図]に、現在までのEDFのUO₂燃料とMOX燃料の燃焼度実績を示した。

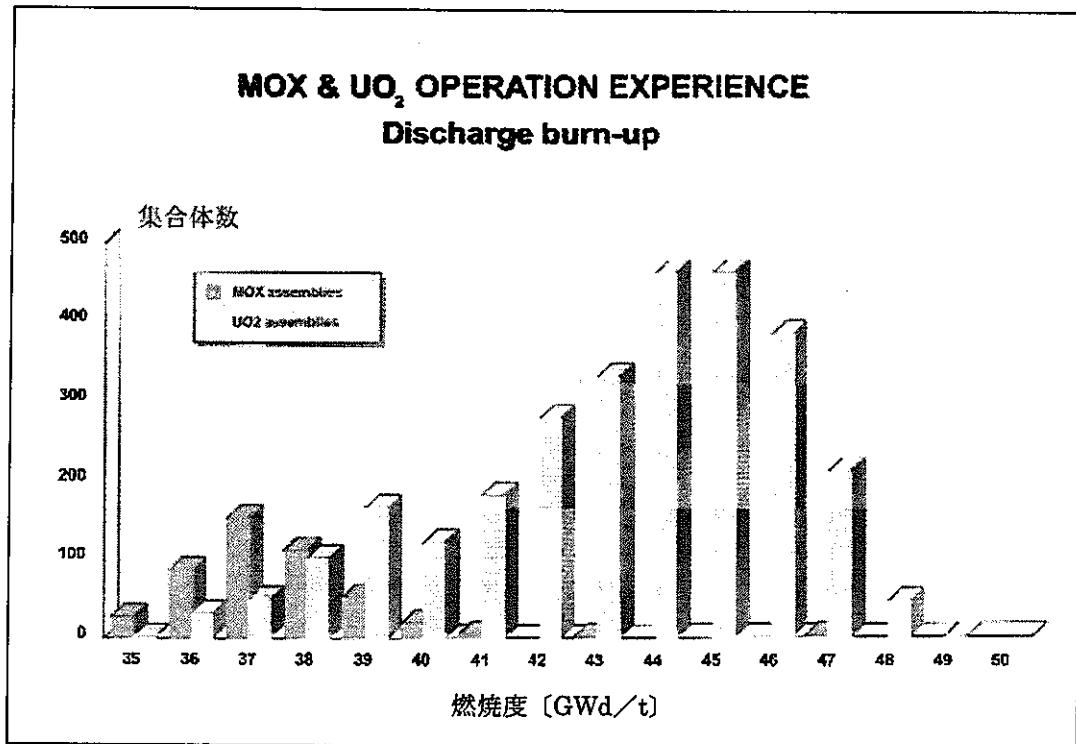
[第 1.3 表] EDFのMOX炉心管理計画

炉心管理方法	年	UO ₂ 燃料	MOX燃料
3サイクル	1995	36体 (3.25%) ~35,400MWd/t	16体 37,500 MWd/t
ハイブリッド管理 UO ₂ : 4サイクル MOX: 3サイクル		28体 (3.7%) ~45,000MWd/t	16体 37,500 MWd/t
4サイクル	2005~06	28体 (3.7%) 45,000MWd/t	12体 45,000MWd/t

・ 燃焼度は平均。

【出典】 J. L. Nigon, W. Fournier (COGEMA), "MOX Fabrication and MOX Irradiation Experience Feedback from the French Programme", International Seminar on MOX FUEL: Electricity Generation from Pu Recycling, 1996.06.04.; P. Desmoulins (EDF), JP. Marcon (FRAMATOM), JL. Nigon (COGEMA), "French MOX Fuel Irradiation Experience and Development", Global '97, Yokohama, 1997.10.05~10; Nuclear Fuel 2000.05.01; inside NRC 2001.07.30.

[第 1.8 図] 仏EDFのMOX燃料/UO₂燃料の燃焼度実績



出典 : Plutonium 2000 Con Ference, 2000.10.9~11.

MOX燃料の高燃焼度化が規制当局に認められるためには、十分な実験成果を示す必要がある。このためEDFでは、1997年からMOX燃料性能向上プロジェクト (MOX Parity Project) を立ち上げ、MOX燃料とUO₂燃料を共に4分の1炉心管理とすることを目的に研究が続けられている。現在、同プロジェクトは詳細設計フェーズを実施中であり、70,000MWd/tの燃焼度が

目標とされている。このために、核分裂ガス放出量の減少を目的としたマイクロ構造の改善が1999～2004年に行われ、2005～2010年に商業炉においてMOX燃料の照射実証と分析プログラムが予定されている。

(2) EDFのプルトニウム・リサイクルに関する長期的シナリオ（1998年3月発表）

フランスにおいては、社会党と緑の党が連合した現政権によるプルトニウム・リサイクル抑制策によって、原子力産業のプルトニウム・リサイクル計画は変更を余儀なくされている。左派連合政権となって新たに示されたプルトニウム・リサイクル抑制策、即ち

- ① プルトニウム装荷炉を20基に制限する。
- ② MELOXプラントの設備容量の拡張は、認めるとしても海外向けBWR用の拡張（40トン／年）だけで、PWR用については現行の100トン／年（115トン（酸化物）／年）に留める。

に対して、EDFは1998年3月、2050年以降に及ぶ長期的な燃料サイクル・シナリオを発表し、プルトニウム・リサイクル実施者としての将来の構想を明らかにした。シナリオはEDFの基本設計部（SEPTEN）が作成したもので、①2020年まで、②2020～2035年、③2035～2040年、におけるプルトニウム・リサイクルの実施計画と再処理の見通しが述べられている。

シナリオの前提条件として、近い将来において再処理設備容量とMOX燃料加工設備容量の増加はないものとしている。年間再処理量は800トンレベルを維持し、原子力発電電力量は現在（3,700億kWh）より若干多めの4,000億kWh、原子炉寿命は40～50年間と仮定されている。なお、現在のフランスの発電設備量は500万～700万kW余剰であり、2020年まではその余剰は解消されないと見通されている。

このような条件の下、2020年までのEDFのプルトニウム・リサイクル構想は、CP1シ

リーズとCP2シリーズの90万kW級PWR（合計28基）で30%のMOX装荷率でプルトニウムをリサイクルするというもので、従来と変わっていない。次世代炉として現在設計中の欧州加圧水炉（EPR；145万～175万kW）は、 UO_2 燃料と同一の条件でMOX燃料を燃焼することを主眼に置き、MOX装荷率は15%に留めるとしている。また、現在運転中のPWRの内、最新鋭の130万kW級PWRではリサイクルは行われない。

2020年頃は、原子炉寿命を40年とした場合、MOX装荷運転が行われる90万kW級PWRのリタイアが開始される時期であり、リサイクル炉はEPRへ徐々に移行される。2025年頃には、130万kW級PWRの寿命が50年間になるとして、1～2基のEPRがMOX装荷率50%で運転されるとしている。もし、130万kW級PWRの寿命が40年間に留まるならば、発生するプルトニウムも少なくなるので、装荷率を50%にまで上げる必要もない。

2035～2040年になると、130万kW級PWRがEPRでリプレースされるようになり、35基のEPRの内、19基でMOX燃料がリサイクルされる。年間9トンのプルトニウムを消費するためには、MOX装荷率は15%で十分である。この時期には、17基のEPRは UO_2 燃料のみを燃焼し、19基がMOX装荷炉となる。この頃、再処理量を増加することによって UO_2 使用済燃料の蓄積量を徐々に減少することができる。

EDFの戦略の目的は、 UO_2 使用済燃料を全て再処理してMOX燃料としてリサイクルすることにあり、MOX使用済燃料は長期的に中間貯蔵される。

以上のようなEDFの長期プルトニウム・リサイクル戦略では、高速炉はあてにされていない。軽水炉でのリサイクルだけで、まずプルトニウム在庫の安定化をはかり、その後、 UO_2 使用済燃料の貯蔵量を減少させ、最後にはMOX使用済燃料の再処理も視野に入れている。

1. 1. 3 MOX燃料加工の現状

2000年末にフランス政府が承認した原子力業界の再編案の骨子であった主要原子力産業を統括する持株会社（当時、TOPCOと称された）は、2001年9月3日に開催された株主総会において、アレバ社（AREVA）として正式に事業を開始することが承認された。AREVA社の傘下には、フランス核燃料公社（COGEMA）、フラマトムANP社、フラマトム・コネクターズ・インターナショナル（FCI）社およびSTマイクロエレクトロニクス社が入り、原子力部門とハイテク（コネクター・電子機器）部門が並立する二極体制が敷かれる。原子力事業は全体の4分の3を占め、原子力発電所の建設から廃炉まで原子力分野の全てがカバーされる。

同社の資本構成は、フランス原子力庁・産業部門（CEAインダストリー）78.96%、フランス政府5.19%、承認された投資家4.03%、ERAP社3.21%、フランス電力公社（EDF）2.42%、アルカテル社2.23%、従業員株主1.58%、預託供託金庫1.36%そしてTotalFinalElf社1.02%である。同社の総従業員数は約4万5千人、年間売上高は100億ユーロ（110円換算で1兆1,000億円）規模になる。同社の取締役会長にはCOGEMAのアンヌ・ローベルジョン会長が就任した。

COGEMAは2001年8月に今後7年間のバックエンド関連契約の条件に合意した。2001年10月1日から2007年12月31日までのMOX燃料加工および再処理の契約額は約40億ユーロ（4,400億円）に上るといふ。

(1) カダラッシュプラント（CFCa）

1961年に仏原子力庁（CEA）がカダラッシュ・プラントを設置したときから、高速炉用のMOX燃料が加工された。1987年まで、ラブソディー炉、フェニックス炉、スーパーフェニックス、さらに英国のドーンレイの高速炉に同MOX燃料が供給された。1987年から、EDF向けの軽水炉用MOX燃料の加工が開始された。1991年にプラントはCOGEMAに移管され、それ以来、EDFとドイツの電力会社向けの軽水炉用燃料、高速炉用燃料、高プルトニウム富化度の実験用燃料の3種類のMOX燃料が加工されている。

カダラッシュ・プラントでは、ベルゴニュークリア社の開発したM I M A S (Micronized Master Blend) プロセスが適用されている。カダラッシュで製造されたMOX燃料棒はM E L O Xプラント、あるいはベルギーのデッセルプラントに送られて集合体(90万kW級/130万kW級PWRの18×18、17×17、16×16、14×14集合体)に組み立てられる。

品質管理の向上のために多大な投資が行われた。この結果、1996年5月7日にISO9002認定、1996年11月6日にはドイツのK T A 1401認定を取得し、1997年からは統合品質管理が開始されている。1999年にはフランス品質保証賞が授与された。

MOX燃料生産能力は、1992～1994年に8トン/年から20トン/年に増加され、さらに1995年には32トン/年と拡張され、現在のカダラッシュの公称能力は40トン/年となっている。1996年から設備はドイツの電力会社向けのMOX燃料加工に充てられ、1997年はドイツの電力会社向けの32トンのMOX燃料が加工された。1998年には約35トン/年の生産を上げ、1999～2000年まで約40トン/年レベルの生産が行われている。

英国原子力燃料公社(BNFL)の起こしたMOX燃料加工トラブルを受け、カダラッシュ・プラントにドイツの電力会社向けのMOX燃料加工を委託しているシーメンス社は、COGEMAに対して1999年秋からQC監査を実施し、過去のMOX燃料加工記録をレビューするように要請した。更に、COGEMAは2000年になって、フランスのブリュー・ベリタス社に対し、カダラッシュ・プラントの品質保証(QA)システムの監査を行い、シーメンス社との契約の下に製造されたMOX燃料の品質書類をレビューすることを委託した。

一方、カダラッシュ・プラントの閉鎖問題に関しては、COGEMAは1997年12月にD S I Nのラコスト局長に宛てた書簡で、「商業的見地から、M E L O Xプラントの生産能力が現行の100トン/年から250トン/年に増加された場合にのみ、カダラッシュ・プラントの閉鎖を検討することが可能になる」と回答しているが、M E L O Xの30トン/年の生産ライン追加は1999年8月に許可されたものの、プラント全体の生産量は現行の100トン/年に制限されたままである。

(2) MELOXプラント

現政権のMELOXプラントの容量に関する方針は、PWR用を現行認可のままの100トン／年（115トン（酸化物）／年）とし、BWR用だけを40トン／年に拡張することを容認するというものである。しかしCOGEMAは、容量拡張の許認可は得ていないが、いつでも拡張が可能なように設備投資を行っており、MELOX西側増設建屋（MWF B ; MELOX West Fitting Building）は全能力^(注2)で運転すれば、250トン／年（最大80トン／年のBWR用MOX燃料生産を含む）の生産をあげることも可能である。また、品質保証管理の面では、ISO9002認定を取得した。

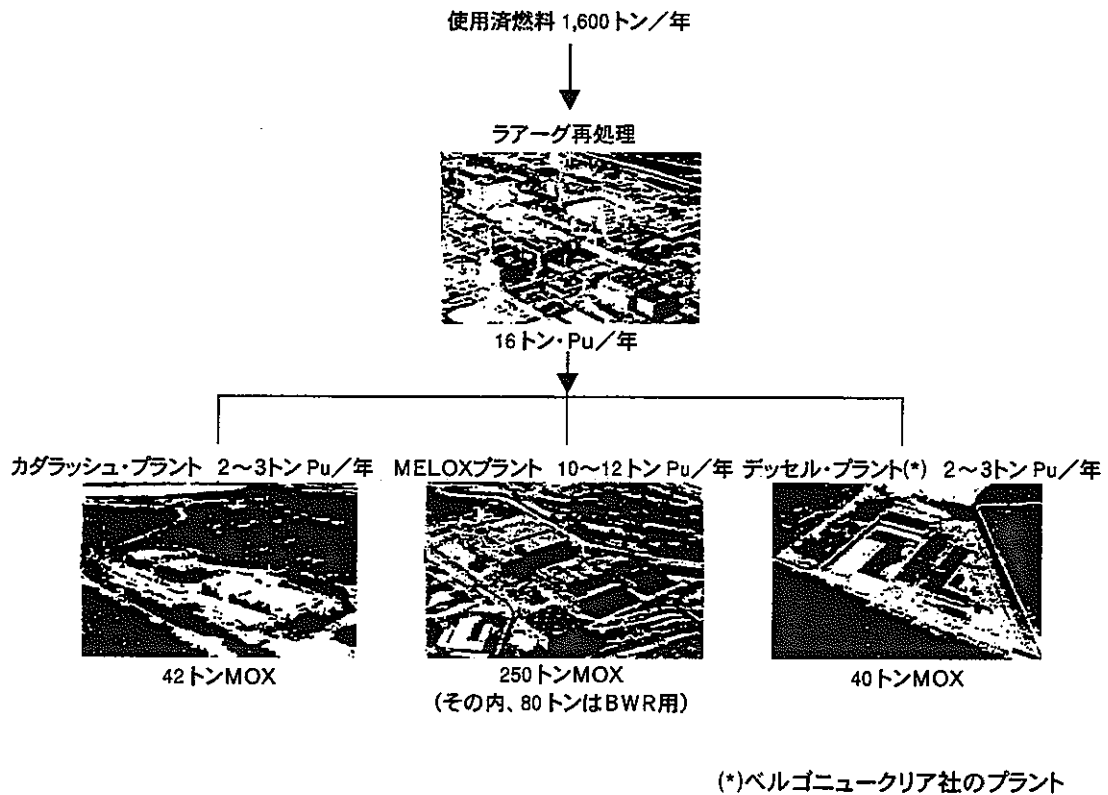
1999年7月30日、MELOX・MOX燃料加工プラントの増設（約30トン／年）を許可する政令（デクレ）が官報に発表された。しかし、MELOXプラント全体の生産量は今後も100トン／年に留められる。というのも、この政令はMELOXプラントの生産量の増大を許可するものではなく、BWR用MOX燃料を加工するためのプロセスの導入を許可するものだからである。MELOXプラントのルイ・フルニエ所長は8月2日に「まず、日本市場にMOX燃料を供給することが先決である」と強調した。

MELOXプラントは1995年運開の翌年の1996年には50トン／年の生産しか上げられなかったが、1997年～2000年は約100トン／年レベルの生産を行っている。2000年はEDFに対して80～85トン、関電向けに15～20トンのMOX燃料が加工される予定であったが、関電はMOX装荷見通しが立たないため、2000年8月に製造延期を申し出た。

フランス国内におけるMOX燃料の消費に供給が追いつかない可能性が生じている。同国では現在、90万kW級PWR20基についてMOX燃料の装荷が許可されており、そのうち17基で既にプルサーマルが行われている。COGEMAはさらに、2010年には全58基のPWRのうち28

^(注2) MELOXプラントの1日あたりの生産能率は90万kW級PWRの集合体1体で、これは燃料棒264本、またはペレット10万個に相当する。しかし、実際の能力については、1998年3月の運転では31日間で19トンの生産を達成した。このことは、許可容量の2倍の生産が可能であることを意味する。

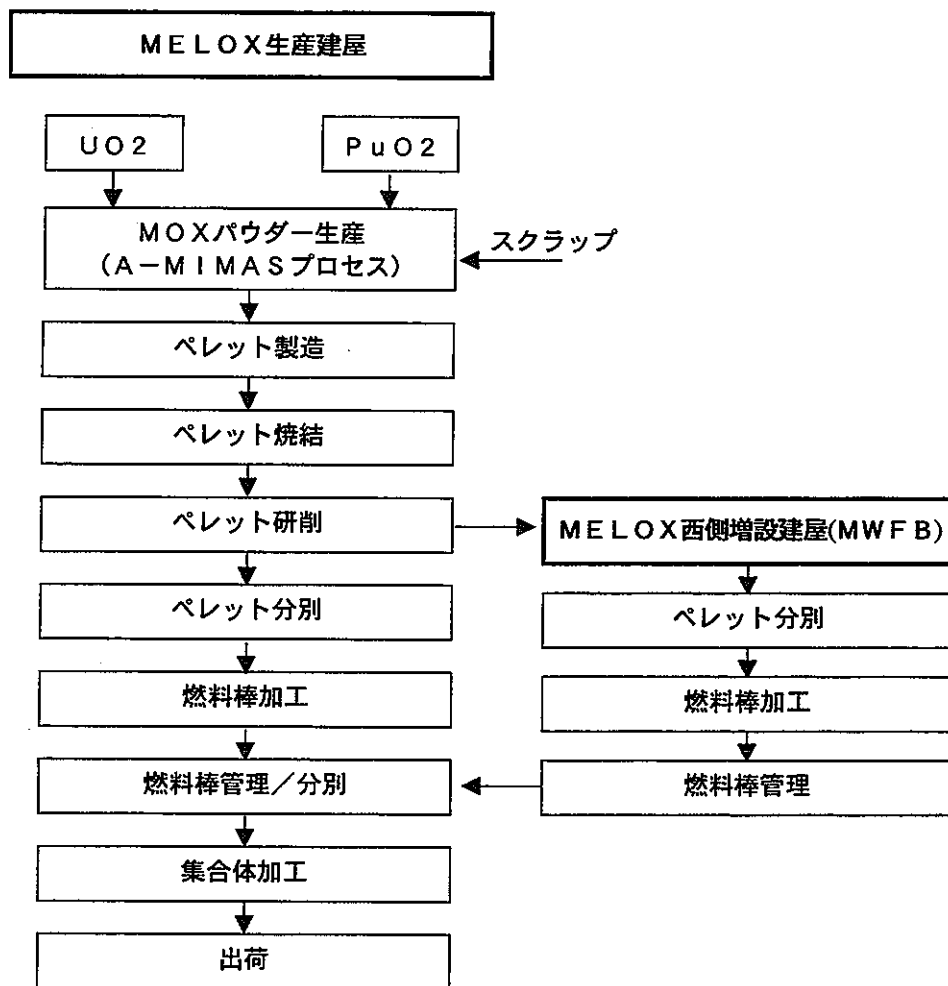
基でMOX燃料を利用する方針である。この需要を満たすためには、MELOXプラントの生産能力を250トン／年に増大し、カダラッシュ・プラントを現行の40トン／年のまま維持し、ベルギーのデッセル・プラントを40トン／年に高める必要があるという。[第1.9図]に2000年代におけるCOGEMAグループのMOX燃料加工計画を示す。



【第1.9図】 COGEMAグループの2000年代におけるMOX燃料増産計画

MELOXの西側増設建屋 (MWFB) では、PWR用 (14×14~18×18型式) とBWR用 (8×8~11×11型式) の両方の燃料集合体が生産可能である。

【第1.10図】に、MWFBを加えたMELOXプラントのMOX燃料加工フローを示す。MELOXプラントでは、最大55,000MWd/tの燃焼度のMOX燃料を生産することが可能であるという。



【第 1.10 図】 MELOXプラントのMOX燃料加工フロー

MELOXでは1999年末までに約400トンのMOX燃料がA-MIMASプロセスを用いて生産された。A-MIMASはキャンペーンを通じて均質な同位体組成を実現できるという特徴を有するほか、スクラップ燃料（パウダー状、焼結前のペレット、焼結後のペレット）を全てリサイクルすることを可能にした。また、生産管理コンピュータ・システム（PCCS）がMELOXプラントに導入され、各工程や工程間における核物質の位置と量、生産状況をリアルタイムに管理し、保障措置計画を実施する上で有効なものとなっている。

1. 2 ドイツ

1. 2. 1 バックエンド政策

(1) 基本政策

ドイツにおいてバックエンド政策が初めて公式に設定されたのは、旧西独時代の1959年の原子力法においてであり、その後1974年のバックエンドセンター（Entsorgungszentrum）構想および1976年改正原子力法を経て、1979年の連邦、州政府間の合意により、バックエンド政策が確立された。さらに、1985年1月の連邦政府による閣議で再処理を中心とするバックエンド政策の推進が確認された。

a. 連邦政府州政府間の基本的合意

1979年9月28日にバックエンドに関し、連邦と州との間で基本的合意が成立し、これが現行のバックエンド政策の基本となっている。

- ① カールスルーエの再処理施設はドイツ核燃料施設運転会社（DWK社）によって原型プラントとして運転を継続する。
- ② 使用済燃料の原子炉サイト内中間貯蔵の実施。
- ③ ユナイテッド・リプロセッサーズ・グループとの国外委託再処理契約を結ぶ。
- ④ 使用済燃料の原子炉サイト外中間貯蔵（AFR）施設を早期に建設する。
- ⑤ 大型の再処理施設を1基建設する代わりに2基以上の350トン／年規模程度の再処理施設の建設について調査する。このためのサイトのうち1つは1985年までに選定し、2000年までに再処理施設を運開させる。
- ⑥ 使用済燃料の再処理に対する代替案（例えば“直接処分”）を検討する。
- ⑦ ゴルレーベン岩塩層に廃棄物最終処分所を建設するための調査を続ける。フィージビリティ評価は1990年代初めまでに実施し、運転は今世紀末までに開始する。

b. 連邦政府の閣議決定

連邦政府は、再処理政策の代替案としての使用済燃料の直接処分に関するフィージビリティ調査をカールスルーエ原子力研究センター（KfK）に委託していたが、この結果が1984年末に報告された。連邦政府はこの結果に基づき、1985年1月23日に次の事項を閣議決定した。

- ① 連邦政府は、国内での1カ所の商用再処理施設の建設を必要と考える。連邦政府は、原子力法の中で規定されているバックエンド構想を変える考えを持ち合わせていない。なお、この原子力法ではプルトニウム等の放射性残存物質の利用を命令し、そのために使用済燃料再処理の原則を謳っている。
- ② 連邦政府は、再処理の代替策ではなく補完策として使用済燃料の直接処分を今後検討することは有意義であると考え。連邦政府は、この問題について、国際間での開発協力の下で貢献したいと考える。
現時点では、直接処分は、独自の再処理技術の開発が経済的に行い得ないような燃料についてのみ考えられる。連邦政府は研究・開発により、これらの燃料の直接処分の実用化を進める考えである。

以上の閣議決定を受けて、DWK社は1985年2月4日に重役会を開き、商用再処理工場のサイトをバイエルン州のバックースドルフに決定した。

しかしながら、バックースドルフ再処理工場（WAW）は1989年6月6日に、建設が中止されることが正式に決定された。これによって、ドイツは国内再処理を放棄し、今後はフランスおよび英国に再処理を委託することになった。さらに、使用済燃料の直接処分が1994年の原子力法改正で公式にバックエンドの代替策として認められた。

c. 1994年原子力法改正

1994年4月29日、原子力を推進するキリスト教民主・社会同盟（CDU/CSU）と自由民主党（FDP）の連立与党の単純多数により、・発電のための石炭の継続利用の確保、・原子力法の改正、・再生可能エネルギー源による発電電力を供給用電力に用いる際の補償、の3点を一括して規定したエネルギー一括法案が、連邦議会（日本の衆議院に相当）を通過し、5月20日には連邦参議院を通過、成立することになった。

原子力法の改正により、既存の原子力発電所とその運転について現在の状態が維持され、将来の改良型原子力発電所の基礎が準備されるとともに、使用済燃料の直接処分が再処理と等価のオプションとして認められることになった。以下に一括法第4款第1号、第2号の全文を示す。

第4款 原子力法改正のための第7次法

1. 第7条第2項の次に、以下の第2a項が追加される。

【第2a項】

発電に使用される核燃料物質の分裂のための施設においては、公衆に対する危険をさらに防止するため、施設の品質および運転状況、ならびに講じるべき損害予防措置により事象発生の可能性が実際的にないことに基づき、電離放射線の有害作用に対する厳しい防護措置が施設の敷地外では必要とならない場合に限り許可が与えられるという条件において第2項第3号が適用されるが、施設の設計を帰すべき事象は、原子力施設の安全と放射線防護を管轄する連邦省が管轄の州上級当局の聴聞の後に連邦官報に公示するガイドラインによって、詳細に規定される。前段は、1993年12月31日までに許可もしくは部分許可を与えられている施設の設置および運転、並びにこれら施設もしくは運転の著しい変更には適用されない。

2. 第9a条第1項は以下のように変更される。

核燃料物質を取り扱う施設を設置、運転、その他所持、著しく変更、停止、もしくは除去するか、これらの施設の外部で放射性物質を取り扱い、または、電離放射

線を生ずる施設を運転する者は、発生した放射性残留物並びに拡張もしくは解体される放射能を帯びた施設部分が、第1条第2号から第4号までに掲げられた目的に対応し、災害を生ずることなく再利用されるか、または、放射性廃棄物として秩序正しく除去されるように配慮しなければならない。

(2) エネルギー・コンセンサスからバックエンド・コンセンサスの模索へ

1993年と1995年の2回にわたって行われた将来の広範なエネルギー政策に関する交渉、いわゆるエネルギー・コンセンサス会議の失敗は、将来の原子力発電利用に関する与野党の対立に原因があった。これを教訓として、原子力政策全般について合意を得ることが困難なのであれば、合意が可能な問題とそうでない問題とを切り離して扱ったらどうかという考え方が浮上してきた。一方、1995年4月そして1996年5月と、ゴルレーベン中間貯蔵施設に使用済燃料および再処理返還高レベル廃棄物が搬入されたときの大混乱は、特に高レベル廃棄物の処分という重要かつ困難な問題をいかに解決すべきかという議論に火をつけるとともに、問題解決のための努力を急ぐ必要性を政界、業界の関係者らに広く認識させることになった。

そして、1997年2月になって、水面下で行われていた連邦政府と野党の社会民主党（SPD）の共同作業グループの協議が実を結び、放射性廃棄物政策の主要点で以下の事項が合意されたことが発表された。

- ① コンラートおよびゴルレーベンの最終処分場プロジェクト継続の必要性を確認する。
- ② コンラート中・低レベル廃棄物処分場については、許認可手続きを遅滞なく（1997年中に）終了させる。その後、投資が保証され、かつ、判明したゴルレーベンの適性によって処分コンセプトを変更する必要がない限りにおいて、遅くとも2005年から建設を開始する。
- ③ 高レベル廃棄物の処分場は2035年までは必要でないが、ゴルレーベンの探査は遅滞なく継続し、2005年にはその適性を確認できるようにする。その後、ゴルレーベンでの作業は、処分場の必要性が存在するかどうか明らかとなるまで、少なくとも

2030年まで凍結する。岩塩鉱の収用は2025年まで行わない。

- ④ ゴルレーベン中間貯蔵施設はある時点以降（連邦環境省は2000年、ニーダーザクセン州は即時を主張）、北部ドイツの原子力発電所で発生した使用済燃料と返還される再処理高レベル・ガラス固化廃棄物の貯蔵に限定して使用する。アハウス中間貯蔵施設を拡張する他、（必要あれば、）追加的にまたは新たに（南部ドイツに）中間貯蔵容量を確保し、輸送の最適化および負担の地域均等の原則を実現する。
- ⑤ ゴルレーベン前処理パイロットプラントのプロジェクトはこれ以上進めない。

また、原子力発電については、既存の原子力発電所の運転継続を保証すること、それらのリブレースに関する決定は2005年まで行わないこと、次世代炉の開発は産業界の問題であることが政策合意文書の草案に盛り込まれた。

しかし、政治レベルでの議論に入ると、税制改革に関する協議が失敗したこともあって、バックエンド政策の合意は立ち消えとなってしまった。そこで連邦政府は、SPDの合意抜きで独自に法改正でバックエンドの諸問題を解決することを決定した。

（3）1998年原子力法改正

a. 改正の重要ポイントと連邦政府の狙い

ドイツ連邦政府は、原子力法を改正するための政府法案を1997年7月16日の閣議において決定し、11月13日には連邦議会でその承認を得た。今回の法案は、現在稼働している原子力発電所の運転継続や放射性廃棄物の財政的管理に関する信頼性を高めるものとなる他、今後の原子力開発プロジェクトを法的に保証する枠組みとなる。

同改正法案に含まれる重要項目として以下のものが挙げられ、中でも②の審査手続きの導入が最も重要である。

- ① 既存原子炉に対するバックフィットの軽減
- ② 新規原子炉に対する審査手続きの導入
- ③ 放射性廃棄物処分事業の民営化
- ④ 処分場用地の収用
- ⑤ 統一条約による移行期間の延長

②の手続きは、米国式の“サイトに依存しない原子炉の形式認証手続き”と捉えられるもので、サイトが特定されたプロジェクトの許認可手続きには影響を与えることなく、原子炉概念の安全性は連邦当局（連邦放射線防護庁）が審査を行うというものである。これは独仏が共同で開発中の欧州加圧水型原子炉（EPR）に照準を合わせたものである。連邦政府、特にドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）はEPRの開発を推進する立場にあるが、需給面、経済面、そして国内の政治状況から電力会社は近い将来の発注に悲観的である。この審査手続きの導入には、EPRの開発を手続き面から支援し、近い将来には国内で建設することができなくてもその輸出の可能性を切り開き、原子力オプションの長期的な維持を可能にするという狙いがある。

一方、④および⑤はバックエンド問題の一部解決を狙ったものと言えよう。④は明らかにゴルレーベン処分場プロジェクトの探査作業を進展させるための規定であり、⑤は実質的にはモルスレーベン処分場の運転期間延長を意図している。

同法案は連邦議会の承認に続き、社会民主党（SPD）が多数を占める連邦参議院に回されたが、1998年2月、連邦参議院は原子力法改正に対する拒否権を放棄し、この結果、同改正案は法律として発効することになった。

(4) SPD／緑の党連立政権発足---新たな原子力政策へ（1998年10月）

1998年9月27日の連邦議会選挙で勝利を収めた社会民主党（SPD）と同盟90・緑の党は10月15日、連立協議の中でドイツの原子力発電所を廃止すること、および再処理を禁止す

ることで基本的に合意し、10月20日には連立協定に正式に調印した。この結果、反原子力を掲げる赤緑連立政権が誕生し、注目される連邦環境相には強硬な反原子力政策を主張する緑の党のトリッティン氏が選任されることが確定した。また議会では、反原子力勢力であるSPD、同盟90・緑の党、民主社会党（PDS）が、原子力推進派である前与党のキリスト教民主・社会同盟（CDU／CSU）、自由民主党（FDP）の289議席を大幅に上回る380議席を獲得し、反原子力勢力が多数を占めることになった。

連立協定には原子力発電から撤退するための具体的なスケジュールや詳細については明記されていなかったが、新政権は、今後1年間かけて原子炉の運転期間をめぐって電力会社と交渉する意向を示した。但し、SPDと緑の党は原子力政策の詳細部分については、大きな意見の相違があり、原子力発電所の廃止時期をめぐっては、SPDが古い原子炉から順に段階的に廃止することを主張しているのに対し、緑の党はドイツ国内の全ての発電所を即時廃止することを主張している。

一方、電力業界は、新政権が原子力の廃止政策を打ち出そうとしていることに対して反発し、RWE社のファルヌング会長は1998年10月15日、SPDと緑の党の連立政権が主張するようにドイツの19の原子力発電所を閉鎖すれば、その損害額は280億マルク（60円換算で約1兆6,800億円）に上り、ドイツの電力会社は損害賠償請求を行うことになる」と述べた。さらに、ドイツ最大の電力会社であるRWE社と他の電力会社は、原子力発電所の帳簿価額に基づく損失額だけでなく、原子力以外の発電に切り替えることで負担することになる燃料コストも請求することになるという。この他、フィアク社は10月14日、運開から20年を経た原子力発電所を閉鎖するという緑の党の提案を拒否する姿勢を示した。またシーメンス社は10月15日、同社のエネルギー生産事業部（KWU）の原子力のハイテク技術の将来に対する懸念を表明した。

連邦環境相には緑の党のトリッティン氏が選任され、一方、連邦経済相には長く電力業界に従事してきたW・ミューラー氏が登用されることとなった。

こうして、新政権は新たな原子力政策に向けて始動することになったが、緑の党が主張するように原子力発電所を即時廃止するという事態になれば、①ドイツの電力の約1/3を供給する原子力が廃止されれば電力不足に陥る可能性が高い、②税収不足が生じ前政権が立てた予算が確保できなくなり財政への影響が必至となる、③原子力産業関係者が失業し失業率がさらに増大する、④産業界が猛反発する、といったことが予想される。また、新政権が取り組むべき最大の課題は、13%にも達した失業率の改善であり、原子力発電所の運転によって約4万人の雇用が確保されているという現実を考えると、雇用に悪影響を及ぼすような政策をとることは世論の同意も得られず難しいと予想される。

新政権は、電力業界との交渉で原子力発電所の廃止時期で合意が得られなければ原子力法を改正するとしているが、仮に交渉がまとまったとしても現在の法律では原子力発電所の廃止を強制できないし、また寿命も規定されていない。従って、いずれにせよ原子力発電所の段階的廃止が政策として固まれば、新政権は、それを可能とするような原子力法の改正を行わなければならない。

(5) SPD/緑の党連立政権下の1年間(1998~1999年)

---内部対立で足踏みを続けるドイツの脱原子力政策

シュレーダー首相率いる社会民主党(SPD)と緑の党の連立政権が、脱原子力を掲げて1998年10月に発足したが、その後表面化した政権内部の対立など様々な問題を克服できず、約1年を経ても、具体的な原子力政策を打ち出せなかった。1999年7月にはミュラー経済相と電力業界が原子力発電からの撤退について合意したとの報道が流れ、これに緑の党が猛反発、連立政権は連立解消の危機に直面した。この危機は、原子力発電から段階的に撤退するための政府決定を1999年9月まで先送りすることで一旦は回避されたが、9月末に提出される予定だった政府内の作業グループによる脱原子力政策に関する法的な問題の調査結果は結局出されず、連邦政府と電力業界の脱原子力政策に関するコンセンサス協議は延期された。

ドイツ連邦政府と産業界の間で争点となっている主な原子力政策は、1) 原子炉の総運転期間の

制限問題、2) 使用済燃料の再処理禁止と輸送・貯蔵問題、3) バックエンド引当金への課税問題、4) 放射性廃棄物処分場問題の4つであるが、進展はみられなかった。その最大の原因は、脱原子力政策をめぐって政府内部のコンセンサスが得られていないことにあった。こうした状況に加え、産業界の抵抗、地方政府の反発など障害も多く、また世論調査では、国民の大多数がシュレーダー政権の脱原子力政策に否定的であるとの結果が示されるなど、脱原子力政策を進めようとするシュレーダー政権を取り巻く政治環境は厳しいものであった。

争点となった原子力政策の一年間の進捗は以下の通りであった。

a. 原子炉の総運転期間の制限問題

最大の争点であり、最も議論の多い原子炉の総運転期間については、その制限に反発してきた電力業界と原子炉の早期廃止に固執していた緑の党が態度を軟化させ、ミュラー経済相が提示する35年という総運転期間について議論するところまで来た。しかし、社会民主党（SPD）と緑の党の連立政権の任期期間中に2基の原子炉を閉鎖するのか、それとも次回の選挙後に原子炉を廃止するかで、電力会社と緑の党の主張に隔たりがあり合意は得られなかった。

原子炉の総運転期間については、シュレーダー首相とミュラー経済相が暦上の35年を提案したが、緑の党は35年は長すぎるとして30年以下を要求した。一方、電力会社、特にRWE社やハンブルク電力会社（HEW）など数年間のバックフィットや運転の中断を経験した電力会社は、原子炉の総運転期間は暦上の35年ではなく、実運転期間に基づいた35年間とするよう要求した。

わずか5年程度の差であるが、各陣営がこの期間に固執したことには大きな理由がある。仮に電力会社が総運転期間を30年以下に制限することに同意すれば、オブリッヒハイム発電所とシュターデ発電所は2002年後半に予定される次回の連邦議会選挙前に閉鎖されることになる。逆に緑の党が35年の総運転期間を受け入れるならば、最初に閉鎖されるオブリッヒハイム発電所は現政権が退陣している可能性のある2003年まで廃止されることはない。

緑の党は、少なくとも1基あるいは2基の原子炉を現政権の在任期間中に廃止すると公約していたので、現連立政権の再選に向けて2002年の連邦議会選挙に出馬する際、原子炉の段階的廃止の実績を有権者に証明しなければならず、30年を超える総運転期間を受け入れられない状況にあった。

b. 使用済燃料の再処理禁止と輸送・貯蔵問題

連邦政府は1999年1月中旬、使用済燃料の国外での再処理を2001年1月から禁止すると発表したが、その後、英仏などの再処理委託国や産業界の反発に合って先送された。その後、シュレーダー首相は5月30日に実施された独仏首脳会談で、1999年末から2000年初めの使用済燃料の輸送再開に向け最善を尽くす意向をジョスバン仏首相に表明した。また、政府は英国原子燃料公社（BNFL）と仏核燃料公社（COGEMA）と既存の再処理契約を電力会社が履行できるようにするため、使用済燃料の輸送を2004年まで継続させることを示唆した。

一方、ドイツの一部の原子力発電所ではサイト内の使用済燃料貯蔵プールの容量が満杯になりつつあり、使用済燃料を早期に搬出しなければ閉鎖に追い込まれる可能性が浮上、電力会社は輸送の早期再開を求めた。しかし、具体的な輸送再開の計画は立てられていないので、ブロックドルフ、ウンターヴェーザー、シュターデ、グローンデ、クリュンメル、ブルンスピュッテル、ネッカル、フィリップスブルク、ピブリスの各発電所は1999年12月に相次いで、サイトに隣接する使用済燃料中間貯蔵施設の建設を連邦放射線防護庁（BfS）に申請した。

クリュンメル原子力発電所とブルンスピュッテル原子力発電所のサイト内使用済燃料中間貯蔵施設の許認可をBfSに申請したハンブルク電力会社（HEW）は1999年12月1日、これらの申請は原子炉建屋から独立した中間貯蔵施設に関するもので、建設の目的は、使用済燃料輸送の回数をできるだけ少なくするためであると発表した。HEWはさらに、これらの中間貯蔵施設は両発電所の使用済燃料専用として予定されており、連邦政府が連邦の最終処分場を利用できるようにしたら、直ちに使用済燃料をそこに移す意向であることを強調した。

オブリッヒハイム原子力発電所のサイト（バーデン・ヴュルテンベルク州）にあるドイツで最初の建屋外の湿式中間貯蔵施設は1999年9月19日に運転を開始した。原子炉のすぐ近くにある貯蔵施設（3,000万マルク：60円換算で18億円）は、オブリッヒハイム発電所から出される使用済燃料を貯蔵することだけに認められている。同貯蔵施設のプールには、燃料集合体を980体まで収容することができ、使用済燃料集合体を年間約30体、排出するオブリッヒハイム発電所が全出力で30年以上運転するのに十分である。長さ11m、幅5m、深さ12mのプールの水面下に2層になって使用済燃料集合体が貯蔵されている。その中間貯蔵施設は、1.5mの厚いコンクリート・鋼壁に囲まれ、航空機墜落から防護されている。

エムスラント発電所でも、原子炉サイトにおいて2番目の中間貯蔵施設を建設する許可手続きが進められ、ネッカル共同原子力発電会社（GKN）を使用済燃料を貯蔵するためにカストールキャスク160基の中間貯蔵施設の建設を申請した。

c. バックエンド引当金への課税問題

バックエンド引当金への課税問題は、連立政権が1999年3月に、電力会社がこれまで原子力発電所の廃止措置費用および廃棄物処分費用として積み立ててきた非課税のバックエンド引当金に課税する法案を可決したことに端を発している。この計画は電力業界が積み立てた引当金のうちの約500億マルク（3兆円）に課税するというもので、電力業界はその課税額を最大で約250億マルク（1.5兆円）にもなると見積もり、訴訟も辞さないと抵抗、この問題が解決しなければ原子炉の総運転期間をめぐる協議にも応じられないと反発する姿勢を強めた。これに対し、連邦側は課税額を130億～160億マルク（7,800億～9,600億円）との見積額を提示した。一方、徴税を実施する州の財務当局は最大で250億マルクの課税額を示し、両者は合意に達しなかった。

d. 放射性廃棄物処分場問題

放射性廃棄物処分場については、トリッティン環境相がゴルレーベン岩塩ドームでの高レベル廃棄物処分場探査の中止を予告、連邦政府はドイツの放射性廃棄物処分政策を大幅に見直すこと

を示唆した。これに対し、ドイツの原子力サービス社（GNS）の幹部は1999年2月下旬、トリッティン環境相に宛てた書簡の中で、連邦政府がゴルレーベンでの高レベル廃棄物処分場の探査作業を中止し、コンラート中・低レベル廃棄物処分場の許可をニーダーザクセン州に発給させないならば、GNSは処分場利用者に、連邦政府の決定に反対するだけでなく同プロジェクトへの投資と新たに発生する廃棄物管理費用の補償を求めて訴訟を起こすよう呼びかけると警告した。

その後、トリッティン環境相は7月に実施されたZDFテレビのインタビューで、最新の処分コンセプトを分析した後にゴルレーベン高レベル廃棄物処分場に替わる最終処分場サイト選定のための手続きと基準の作成を開始したことを明らかにするとともに、その結果が2000年に出されるとの見通しを示した。また同環境相は、コンラート中・低レベル廃棄物処分場については、放射線学的観点と安全性の観点からみて好ましい特性を有していることが明らかにされたと述べた。

（7）独連邦政府と電力会社が脱原子力協定に頭文字署名（2000年6月）

ドイツのシュレーダー連邦首相とRWE社、フェバ社、フィアク社（フェバ社とフィアク社は合併してE.ON社となる）、バーデン・ヴュルテンベルク・エネルギー社（EnBW）の幹部は2000年6月15日未明、連邦政府と電力4社が脱原子力政策で合意したことを明らかにした。

連邦政府と大手電力4社が頭文字署名した今回の“脱原子力協定”には、各原子炉で2000年1月1日から廃止までに発電可能な最大電力量（残存発電電力量）が定められている。このため電力会社は、所有する原子炉を残存発電電力量を発電した後に閉鎖しなければならない。この残存発電電力量は、商業運転の開始から暦上の32年をベースに算出され、全原子炉の合計で2兆6,233億kWhである。

この他、これまで連邦政府と電力業界の間でしばしば議論となっていた再処理を含む使用済燃料の管理問題、ゴルレーベンおよびコンラート放射性廃棄物処分場問題など広範な原子力政策に

ついて明記されている。また、エネルギー産業における雇用確保の問題を重視し、エネルギーの拠点としてのドイツの地位を強化するため、環境に優しく競争力のあるエネルギー供給を可能にする方策を連邦政府と電力業界が協議することを謳っている。

電力会社が脱原子力協定を受け入れた背景には、脱原子力協定を受け入れることで、使用済燃料の輸送問題などの喫緊の問題が解決できるなど、連邦政府から原子炉の運転を妨害される懸念が払拭できることがあると考えられる。また、将来、政権が交代すれば今回の協定を白紙撤回できる可能性があることも大きい。

今回の脱原子力協定署名について野党および産業界は、将来撤回することが可能であるとするなど激しく反発したが、ドイツ国民は今回の脱原子力協定に好意的であった。ニュース放送n-tvの委託によって行われた世論調査機関Emnidの調査（6月18日の週に国民約1,000人を対象に実施）では全回答者の60%、また緑の党の支持者の83%が脱原子力協定の内容に同意すると答えた。運開から32年後に各原子炉を廃止することに反対しているのは、全体で35%、緑の党の支持者で15%であった。

一方、電力会社側は2000年10月に、2つの電力会社が相次いで原子炉閉鎖の計画を表明した。E.ONエネルギー社は10月9日、シュターデ原子力発電所（67.2万kW、PWR）を2003年末までに閉鎖すると発表した。シュターデはオブリッヒハイム発電所に次いで国内で2番目に古い原子炉（1972年運開）であり、運転中の原子炉19基の中で脱原子力協定締結以降に閉鎖期日が確定した最初の原子炉になる。E.ONエネルギー社は今回の発表により、脱原子力協定の付属文書3で2000年12月31日までに実施することを義務付けられた同発電所の定期安全審査（PSE）を回避することができる。なお、シュターデ発電所は、E.ONエネルギー社が閉鎖する発電所（計480万kW）の一部であり、閉鎖される発電所の大部分は化石燃料火力発電所である（その殆どは2001年に閉鎖予定）。また、RWE社も10月10日、脱原子力協定で廃止することに合意していたミュールハイム・ケールリッヒ原子力発電所を含む発電所（合計約380万kW）を閉鎖すると発表した。しかし、どの発電所を閉鎖するかについては明らかにしなかった。

(8) 使用済燃料中間貯蔵の容量不足の問題が顕在化(2000年)

ドイツでは現在、19基の原子炉が運転中で、このうち13基が加圧水型炉(PWR)、残りの6基が沸騰水型炉(BWR)である。これら19基の原子炉から発生する使用済燃料は年間約400～500トンで、これまでに発生した使用済燃料は1999年2月現在、合計34,890体、8,891トンである。これらの使用済燃料は、発電所サイト内(AR)貯蔵施設で貯蔵された後、英仏の再処理工場に輸送されて再処理されるか、あるいはアハウスやゴルレーベンにある集中中間貯蔵施設で長期間貯蔵された後にそのまま処分される。

しかし、ドイツでは1998年4月に発覚した使用済燃料輸送時の汚染スキャンダルで同年5月には使用済燃料の輸送が禁止された。これ以降、ドイツでは使用済燃料の輸送が中断しており、この間に発生した使用済燃料はサイト内に貯蔵されてきた。AR貯蔵容量不足問題を解決するには、新たなAR貯蔵施設を建設して容量を増やす方法とサイト外に使用済燃料を搬出して空き容量を増やす方法がある。AR貯蔵施設の建設については、連邦政府と大手電力4社が2000年6月に締結した脱原子力協定で、ドイツの全ての原子力発電所に義務付けられたが、多くの原子力発電所はこれよりも前に、新たなAR貯蔵の許可を申請している。エムスラント発電所は1998年に、ブロックドルフ、ウンターヴェーザー、シュターデ、グローンデ、クリュンメル、ブルンスピュッテル、ネッカー、フィリップスブルクそしてピブリスの各発電所は1999年12月に、グラーフラインフェルト、イーザル、グンドレミンゲンの各発電所は2000年2月にそれぞれ使用済燃料のAR貯蔵許可をBfSに申請した。各発電所が申請したAR貯蔵施設の貯蔵容量は300～2,500トンである。

このようにドイツでは近年、AR貯蔵施設の建設計画が目白押しである。しかし、「キリスト教民主同盟(CDU)やキリスト教社会同盟(CSU)が政権を握る州では、州政府がAR貯蔵施設の建設に反対しており、AR貯蔵施設の建設許可発給の目処が立っていない」「一部の原子炉ではAR貯蔵容量不足問題を2001年早々までに解決する必要がある。しかし、数年の時間を必要とするAR貯蔵施設の建設は、短期的な貯蔵容量不足問題を解決できない」といったことが課題となっている。前者については、AR貯蔵施設が事実上、最終処分場になりうるというの

が反対者の主張であるが、実際には脱原子力政策を妨害しようとするCDU/CSUの政治的な意図もあるので問題解決は容易でない。また、後者の課題を解決するには使用済燃料をサイト外に搬出する必要がある。

ドイツの電力会社は使用済燃料のAR貯蔵容量不足問題を解決するため、再三にわたって、使用済燃料輸送の早期再開を連邦政府に求めていた。BfSは2000年1月に国内における使用済燃料輸送を許可すると発表、更に2000年9月には使用済燃料の国外への輸送を許可する予定であると発表した。しかし、フランスは、ラ・アーク再処理工場に貯蔵されているドイツのHLWの返還期日が明示されていないとの理由で、ドイツの使用済燃料の受け取りを拒んだ。この問題を巡る独仏首脳協議は難航したが、BfSが11月13日にラ・アークに貯蔵されているHLWのゴルレーベンの輸送を許可したと発表したことで解決の道筋が付けられた。

(9) 再処理のための使用済燃料輸送にMOXリサイクル義務が課せられる(2000年)

BMUが使用済燃料の再処理で発生する全てのプルトニウムのリサイクルを義務付け、これを改正原子力法に盛り込む計画であることを明らかにしたことで、MOX燃料の装荷許可を取得していない原子炉は厳しい状況に追い込まれた。BMUの関係者と産業界消息筋によれば、BMUは、電力会社が英仏への輸送を望んでいる使用済燃料から取り出される分離プルトニウムのMOX燃料加工契約を電力会社に提示させ、再処理のために使用済燃料を国外へ輸送する前に、原子炉へのMOX燃料の装荷許可を取得させることを計画しているという。しかし、ドイツの電力会社が国外に貯蔵している20トン以上の分離プルトニウムの殆どはMOX燃料の加工契約の対象になっていない。従って、この新しい要件の追加で、多くの使用済燃料をラ・アークへ間もなく輸送しようとしている電力会社は苦境に立たされる。例えば、ピブリス、ネッカル、フィリップスブルク、シュターデの使用済燃料の大部分はベルギー、英国あるいはフランスのいずれの国ともMOX燃料の加工契約を結んでいないので、改正原子力法に盛り込まれる追加の要件は使用済燃料のドイツ国外への輸送を不可能にする。

(10) 脱原子力協定への正式署名（2001年6月）

ドイツ連邦政府と大手電力4社は2001年6月11日に脱原子力協定に正式署名した。脱原子力協定が頭文字署名されてから正式署名されるまでほぼ1年を要した。こうした背景には、連邦各省のレビュー結果の提出が遅れていた事や、再処理で発生したプルトニウムのリサイクルの義務付けや改正原子力法の序文の記述など脱原子力協定をベースに起草される改正原子力法の細かな点で連邦政府と電力会社が調整を続けていたことなどがある。特に争点となっていた改正原子力法の序文の記述については「ドイツの原子力発電プログラムが人類の健康を脅かしているので脱原子力法が正当化される」という表現から「想定される原子力の危険によって原子力の利用を制限することが正当化される」という表現に和らげる方向で落ち着き、連邦政府と大手電力会社が正式署名するに至った。

シュレーダー首相は脱原子力協定への署名に際し、「我々は1年前に脱原子力に向けた突破口を見出すことができた。そして本日、その結論を出した。我々が脱原子力という目標を達成できたのは、全ての当事者の協力と理解があったからである」と述べた。また、同首相は協定に署名した後、「国のエネルギー政策は、各国が独自に作成するものだが、我々は多くの国々が我々の例に従うことを期待する」と述べ、他国がドイツに続いて脱原子力政策をとることを望んでいることを明らかにした。

電力業界は、これまでの電力会社関係者の発言からも明白なようにシュレーダー政権の脱原子力政策に対して基本的に反対の立場であるが、脱原子力協定への正式署名を公然と批判することは差し控えている。その理由としては、電力会社が同協定を公然と批判すれば株主が訴訟を起こす可能性があったことが指摘されている。脱原子力政策に関する電力会社のプレスリリースや関係者の発言などを踏まえると、大手電力会社が脱原子力協定に正式署名した主な理由は以下のようによまとめられる。

- ①連邦政府と対立を続けて原子炉の運転や使用済燃料輸送などを妨害されるよりも、連邦政府に歩み寄って原子炉を安定的に運転し、使用済燃料輸送等を円滑に進めたほうが得策である。

②社会民主党（SPD）と緑の党の連立政権が次の選挙で勝利して脱原子力政策を維持したとしても、当面廃止の対象となる原子炉は老朽化した小型炉で、電力会社の経営に与える影響は最小限に抑えられる。

③原子力推進政権（CDU/CSU）が発足すれば脱原子力政策は撤回される可能性が高い。

(11) 改正原子力法「商業発電のための原子力利用の秩序正しい終結に関する法律（AtG-E）」

脱原子力協定が正式に署名されたことによって、ドイツの脱原子力政策の焦点は原子力法の改正へと移り、連邦政府は改正原子力法案を9月に閣議決定した。同法案は2001年12月14日に連邦議会を通過し、連邦参議院でも2002年2月1日に承認された。改正原子力法の主な規定は、①原子力利用の秩序正しい終結、②新規原子力発電所の建設および運転の許認可の禁止、③発電電力量の制限による標準運転期間32年の設定、④残存運転期間における安全性の向上、⑤再処理の終了、⑥原子力発電所サイト内の中間貯蔵、⑦原子力発電所の損害填補準備金の引き上げであり、その概要を〔第2.1表〕に示す。

〔第2.1表〕改正原子力法の主な規定とその概要

項目	概要
原子力利用の秩序正しい終結	原子力法の新たな目的は、商業発電のための原子力利用を秩序正しく終結させ、また終結の時点まで原子力発電所の秩序正しい運転を保証することである。（AtG-E ^(注) 第1条1号）
新規原子力発電所の建設および運転の許認可の禁止	原子力発電所および再処理施設の建設・運転許認可の発給を禁止する。（AtG-E第7条1項2節）
発電電力量の制限による標準運転期間32年の設定	原子力発電所の運転に関する権利は、原子力法で当該発電所について定められないし割り当てによって変更された発電電力量に達したときに終了する。（AtG-E第7条1a～1d項）
残存運転期間における安全性の向上	新原子力法案は初めて原子力発電所の定期安全審査に関する法的義務を定める。（AtG-E第19a条）
再処理の終了	新原子力法は2005年7月1日をもって、ドイツの原子力発電所で発生した使用済燃料を再処理のために引き渡すことを禁止する。（AtG-E第9a条1項2節） バックエンド準備証明に関する新规定（AtG-E第9条1a～1e項）は、再処理工場から引き取るべき放射性廃棄物の秩序正しい除去についての証明、ならびに使用済燃料の無害な利用についての証明を要求するものである。この利用証明の枠組みでは、特に再処理によって発生したプルトニウムの原子力発電所への再入荷が保証されていることを証明しなければならない（AtG-E第9a条1c項1節）
原子力発電所サイト内の中間貯蔵施設	原子力発電所の運転者は、原子力発電所のサイトあるいは近隣に中間貯蔵施設を建設し、発生する使用済燃料を最終処分場への搬入までそこで保管する義務を負う。
原子力発電所の損害填補準備金の25億ユーロへの増額	原子力法上の許認可取得者が調達すべき原子力発電所の運転に係る損害填補準備金の上限額を従来の5億マルクから25億ユーロに増額する。（AtG-E第13条3項2節）

(注) AtG-E: 改正原子力法の草案

【出典】ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省（BMU）「原子力利用の促進から終結へー商業発電のための原子力利用の秩序正しい終結に関する法律」2001.06.10

「再処理の終了」では、再処理を目的とした輸送期限が設定される他、使用済燃料の再処理で発生するプルトニウムをMOX燃料として再利用することの証明が義務付けられている（AtG-E第9a条1c項1節）。また、再処理によって回収されたウランの安全な管理の証明についても規定している。

1. 2. 2 MOX燃料利用の現状

ドイツにおいては、1960年代から軽水炉でのプルトニウム・リサイクルが試みられ、フランスと並んで多くのMOX燃料を装荷した実績を持つ。しかし、1994年に原子力法が改正されて使用済燃料の直接処分がバックエンドのオプションの1つとして認められ、経済性の観点からMOX燃料リサイクルに対して必ずしも積極的でなかったドイツの電力会社は、使用済燃料の中間貯蔵の路線を強めることになった。しかし、英国とフランスとの再処理ベースロード契約およびベースロード期間（10年間）以降のキャンセルされなかった再処理契約によって、プルトニウムが分離・回収されることは確かであり、経済協力開発機構／原子力機関（OECD/NEA）の1999年の原子力データでも、2010年まで年間4トンPu totalのプルトニウム需要があると見積もられている。

フランスに比べてドイツでは、MOX燃料リサイクルの情報はほとんど発表されていない。以下では限られた情報の中から、ドイツの原子炉のMOX燃料リサイクルの状況についてまとめる。

（1）MOX燃料リサイクルと装荷許可の取得状況

ドイツにおいては現在、19基の軽水炉の内、8基のPWRと2基のBWRでプルトニウム・リサイクルが行われている。1998年にイーザル2号機とネッカル2号機においてMOX燃料装荷が実施された。ネッカル1号機は1982年にMOX燃料が装荷されたが、現在では装荷は行われていない。[第2.2表]に装荷許可の取得状況と実際の装荷状況を一覧した。MOX燃料装荷許可を取得している原子炉は現在、PWRが10基、BWRが2基で、PWR 2基とBWR 3基が許認可申請中である。

[第2.2表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷許可取得と実際の装荷状況
(2001年現在)

原子炉	運開年	MWe [ネット]	MOX装荷 許可	MOX装荷
PWR				
オブリッヒハイム (KWO)	1968	340	○	○
シュターデ (KKS)	1972	640		
ビブリス A (KWB A)	1975	1,167	申請中	
ネッカル 1 (GKN 1)	1976	785	○	● (注1)
ビブリス B (KWB B)	1977	1,240	申請中	
ウンターヘーザー (KKU)	1979	1,285	○ (装荷許可申請中)	○
グラーフェンライフェルト (KKG)	1982	1,275	○	○
フィリップスブルク 2 (KKP 2)	1985	1,358	○	○
グロンデ (KWG)	1985	1,360	○ (装荷許可申請中)	○
ブロッグドルフ (KBR)	1986	1,326	○	○
エムスラント (KKE)	1988	1,290	○	
イーザル 2 (KKI 2)	1988	1,340	○	○
ネッカル 2 (GKN 2)	1989	1,269	○	○
(ミュールハイム・ケールリッヒ (KMK)) (注3)	1987	1,260	取り下げ (注2)	
BWR				
ブルンズビュッテル (KKB)	1976	771	申請中	
フィリップスブルク 1 (KKP 1)	1980	890		
イーザル 1 (KKI 1)	1979	870	申請中	
クリュメル (KKK)	1984	1,260	申請中	
グントレミンゲン B (KRB B)	1984	1,284	○	○
グントレミンゲン C (KRB C)	1985	1,288	○	○

(注1) 1982年にMOX装荷されたが、現在では装荷は行われていない。

(注2) エムスラントではまだMOX装荷が行われていない。

(注3) 脱原子力協定の一環で、ミュールハイム・ケールリッヒは運転停止されたまま、運転許可申請が取り下げられた。

MOX燃料の炉内装荷率はフランスのように一律に30%に制限するのではなく、炉毎に異なっており、30%を超える装荷率で許可されているものの方が多い。また、プルトニウム富化度は、混合ウランとして天然ウランを用いることを前提として規定されているが、混合ウランとして劣化ウランを用いた場合には富化度を高めることが認められている。放射線防護庁 (BfS) の資料では、(注3) ドイツの原子炉におけるMOX装荷許可要件と2000年12月31日時点の炉内のMOX装荷状況が[第2.3表]のように示されている。

(注3) BfS, Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2000.

[第2.3表] ドイツの原子炉のMOX燃料装荷状況

2000年12月31日現在

発電所名	略称	MOX 利用 開始年	2000年12月31日時点の 燃料装荷体数			MOX燃料の最大装荷体数			
			合計	うちMOX燃料 装荷体数		実績		許可	
			体数	体数	%	体数	%	体数	%
ブロックドルフ	KBR	1989	193	64	33.2	64	33.2	64	33.2
フィリップスブルク	KKP-2	1988	193	30	15.5	51	20.7	96	49.7
ウンターヴェーザー	KKU	1984	193	60	31.1	48	16.6	96	33.2
グンドレミンゲンB	KRB-B	1995	784	192	24.5	124	12.2	300	38.3
グンドレミンゲンC	KRB-C	1995	784	8	1.0	16	2.0	300	38.3
グラーフエンラインフェルト	KKG	1985	193	0	0.0	32	16.6	64	33.2
オブリッヒハイム	KWO	1972	97	14	14.4	24	24.7	28	28.9
ネッカル1	GKN-1	1982	177	0	0.0	16	9.0	16	9.0
グローンデ	KWG	1988	193	28	14.5	28	10.4	64	33.2
イーザル	KKI-2	1998	193	32	16.6	16	8.2	96	49.7
ネッカル2	GKN-2	1998	193	32	16.6	16	4.1	72	37.3
エムスラント	KKE	-	193	0	0.0	0	0.0	48	24.9

【出典】 BfS, Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2000.

(2) MOX燃料加工の現状

a. MOX燃料加工業者との契約状況

シーメンス社のハナウMOX燃料加工プラントが1994年に廃止されたことに伴い、ドイツの電力会社とシーメンス社は、法律で義務付けられたプルトニウム・リサイクル実施するために、欧州におけるMOX燃料の加工容量確保に動いた。電力会社は1995年初めに、フランスのCOGEMAとはカダラッシュ・プラントでのMOX燃料加工契約を、ベルギーのベルゴニュークリア社とはデッセル・プラントでのMOX燃料加工契約をそれぞれ締結して、MOX燃料の加工容量を確保した。COGEMAと結んだカダラッシュ・プラントでのMOX燃料加工契約は、10年間に約320トン重金属 (tHM) のMOX燃料を加工するというもので、16億マルク (1マルク52円換算で832億円) の契約額に匹敵する。1997年には最初のMOX燃料がカダラッシュからウンターヴェーザー原子力発電所へ輸送された。なお、ドイツの電力会社と国外のMOX燃料

加工業者との2001年1月時点での契約状況は〔第2.4表〕のようにまとめられる。

〔第2.4表〕 MOX燃料加工業者との契約状況

国	加工業者	プラント	燃料加工 開始年	加工容量 (tHTM/年)	ドイツの電力会 社へ輸送される 予定の燃料 (総トン数)
英 国	BNFL	MOX実証施設 (MD F) / セラフィールド	1993	8	8.5
		セラフィールドMOX プラント (SMP)	2000 (計画)	120	34
ベルギー	ベルゴニュークリア	デッセル・プラント	1986	40	147.5
フランス	COGEMA	MELOX / マルクール	1994	100 (250)*	---
		カダラッシュ	1989	35	262.6

(*)許認可取得および拡張後

出典：Workshop “Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium”, FZJ, 2000.1.13.

その他、2001年5月になって、E.ON社がBNFLとの間で大口（SMPのリファレンス容量の14%）のMOX燃料加工仮契約を結んだことが報道された。

b. MOX燃料納入実績

1998年12月末時点で、ドイツの発電所に納入されたMOX燃料集合体は880体で、これらに含まれるPu-fissの量は合計9,522.3kgであった。1999年には更に148体のMOX燃料集合体（Pu-fiss 1,964kgを含む）が送られた。従って、発電所に納入されたMOX燃料集合体の合計は1999年12月末時点で、1,028体（11,486.2kg Pu-fiss）である。なお、原子炉別にみたドイツ向けMOX燃料の納入実績は〔第2.5表〕の通りである。

[第2.5表] ドイツ向けMOX燃料納入実績

原子炉 (略称)	型式	1998年12月31日現在		1999年12月31日現在	
		納入されたMOX燃料集合体の合計	Pu-fiss合計 (kg)	納入されたMOX燃料集合体の合計	Pu-fiss合計 (kg)
カール (VAK)	BWR	113	32.0	113	32.0
リンゲン (KWL)	BWR	1	1.0	1	1.0
カールスルーエ (MZFR)	PHWR	8	2.0	8	2.0
オブリヒハイム (KWO)	PWR	78	694.0	78	694.0
グンドレミンゲン A (KRB-A)	BWR	80	188.0	80	188.0
グンドレミンゲン B/C (KRB-B/C)	BWR	140	707.1	212	1,163.1
ネッカー1 (GKN-1)	PWR	32	337.4	32	337.4
ネッカー2 (GKN-2)	PWR	16	390.6	16	390.6
ウンターヴェーザー (KKU)	PWR	92	1,390.7	108	1,653.2
グラーフエンラインフェルト (KKG)	PWR	60	980.2	60	980.2
フィリップスブルク (KKP-2)	PWR	108	1,886.1	108	1,886.1
グローンデ (KWG)	PWR	32	491.3	60	952.4
ブロックドルフ (KBR)	PWR	104	2,032.0	104	2,032.0
イーザル2 (KKI-2)	PWR	16	389.9	48	1,174.2
合計		880	9,522.3	1,028	11,486.2

出典：Workshop “Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium”, FZJ, 2000.1.13.

(3) グンドレミンゲン発電所におけるMOX燃料装荷

ドイツのグンドレミンゲン発電所B・C号機(各134.4万kWe)は、MOX燃料装荷運転を行っている唯一の商業BWRである。1995年にグンドレミンゲンC号機に16体の9×9型MOX燃料集合体が装荷され、1年後にはグンドレミンゲンB号機にも32体のシーメンス社設計による9×9型MOX燃料集合体が装荷された。32体の内、16体はシーメンス社のハナウ・プラントで製造されたものであるが、残りの16体はベルゴニュークリア社のデッセル・プラントで製造された。グンドレミンゲンB号機でのMOX燃料装荷はその後も継続して行われ、2001年2月現在の炉内のMOX燃料集合体数は208体となっている。なお、炉内における許認可上のMOX燃料集合体数は300体(装荷率38%)に制限され、各集合体型式毎に最高燃焼度も制限されている。

一方、グンドレミンゲンC号機も2001年にMOX装荷(B号機と同様、10×10型新集合体)が6年ぶりに行われ、2001年2月現在の炉内のMOX燃料集合体数は52体となっている。

すべてのMOX燃料集合体は、ウォーターロッド1本、ウラン/ガドリニウム燃料棒12本、MOX燃料棒68本で構成され、MOX燃料棒は6つの異なるプルトニウム富化度が用いられている。最初に製造された16体のMOX燃料集合体の平均プルトニウム富化度は2.2%Pu fiss.で、集合体の核分裂性プルトニウムの量は約4 kg Pu fiss./集合体である。その後製造されたMOX燃料集合体の平均プルトニウム富化度は全て、3.0%Pu fiss. (約5 kg Pu fiss./集合体) となっている。また、混合ウランは劣化ウランに変えられた。集合体中のMOX燃料棒のプルトニウム富化度は1～6%の幅にあり、使用されたプルトニウムは軽水炉使用済燃料（燃焼度：35,000Mwd/t）から回収されたものである。[第2.6表]にグンドレミンゲンB・C号機におけるMOX装荷の推移を示す。

【第2.6表】 グンドレミンゲン発電所B・C号機のMOX燃料装荷
(2001年2月現在)

BWR	1995 (12月)	1996 (12月)	1997 (12月)	1998 (12月)	1999 (12月)	2000 (12月)	2001 (12月)
グンドレミンゲンB： ・炉内MOX集合体数	0	32	64	96	124	192	208
・装荷体数/取出体数		32/0	32/0	36/4	28/0	?	?
グンドレミンゲンC： ・炉内MOX集合体数	16	16	16	16	12	8	52
・装荷体数/取出体数	16/0	0/0	0/0	0/0	0/4	0/4	48/4

(4) MOX燃料装荷とPu-fissのリサイクル状況

炉心に装荷することが可能な各燃料集合体中のプルトニウム量は、MOX燃料装荷許可条件、例えば、“最大Pu-fiss富化度”や“炉心に装荷可能な最大MOX燃料体数”に制限される。各原子炉の平均Pu-fiss富化度は3.1～4.6%、MOX燃料集合体1体に含まれるPu-fissは6.3～24.5kg、1回のMOX燃料交換体数は8～48体、交換されたMOX燃料中に含まれるPu-fissは85～450kgとなっている。なお、ドイツの各原子炉におけるMOX燃料装荷とPu-fiss含有量の概要をまとめると[第2.7表]のようになる。

[第2.7表] ドイツ国内の各原子炉におけるMOX燃料装荷許可の条件

1999年12月31日時点

原子炉	平均Pu-fiss富化度 (%)	MOX燃料集合体1体に含まれる平均Pu-fiss (kg)	MOX燃料交換体数 (平均)	1回の燃料交換に含まれる平均Pu-fiss (kg)	許可条件の拡張申請
イーザル2 (KKI-2)	4.6	24.5	16	392	無
グラフェンライフェルト (KKG)	3.48 ^{*)}	18.6	16	298	無 ^{*)}
フリップスブル (KKP-2)	4.2	22.5	20	450	無
ネッカー2 (GKN-2)	4.6	24.4	16	390	無
オブリッヒハイム (KWO)	3.8	10.6	8	85	無
ブロックトルフ (KBR)	3.9	20.8	16	333	無
カンターゲーザー (KKU)	3.1	16.5	16	264	有
グロント (KWG)	3.1	16.5	16	264	有
グントレンゲン (KRB)	3.7	6.3	48	302	無

*) 4.6% Pu-fiss 富化度が許可されたが、係争中

出典：Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

1998年12月31日時点で、電力各社のプルトニウム・インベントリの合計は旧契約分11,851kg Pu-fissで、今後発生するPu-fissは、旧契約分が計8,730kg、新契約分が計7,548kgである。その内訳は[第2.8表]に示す通りである。

[第2.8表] 電力各社のプルトニウム・インベントリ

1998年12月31日現在

電力会社名	インベントリ ^{*)} kg Pu-fiss		今後の発生量 ^{**)} kg Pu-fiss	
	旧契約	新契約	旧契約	新契約
BAG/IAW/SWM ^{***)}	1,652	0	448	2,462
バーデン・ヴェルテンベルク・エネルギー社 (EnBW)	116	0	684	1,260
ネッカー共同原子力発電会社 (GKN)	830	0	834	705
ハンブルク電力会社 (HEW)	1,860	0	1,650	0
オブリッヒハイム原子力発電会社 (KWO)	303	0	163	0
プロイセン電力原子力発電会社 (PEKK)	2,050	0	2,761	2,341
RWE エネルギー社 (RWEE)	5,040	0	2,190	0
リッペーエムス原子力発電会社 (KLE)	0	0	0	780
合計	11,851	0	8,730	7,548

*) 未再処理

**) Pu-fiss-Factor: 0.6%

***) BAG: バイエルンヴェルク社, IAW: イーザル電灯会社, SWM: ミュンヘン市営会社

出典：Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

各原子炉では、既存の運転許可 (MOX燃料装荷許可) に基づいて、今後もMOX燃料が装荷されていく予定である。こうしたMOX燃料の装荷により、MOX許可炉においては、1998年12月31日時点のインベントリと今後の再処理で発生する分離プルトニウムが2011年ま

でに [第2.9表] のように削減される予定である。

[第2.9表] 既存の運転許可に基づくプルトニウム削減スケジュール

単位：kg Pu-fiss

西 暦	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 [*]
イーザル 2(KKI-2)/ クラフエンライフェルト(KKG)		392	690	298	392	784	784	784	294	196			
フィリップスブルク (KKP-2)					450	450	450	450	360				
ネッカル 2 (GKN-2)		390		390	96		390		390		390		293
ブルンスピュッテル(KKB)	MOX 燃料装荷申請停止												
クリュンメル(KKK)	1990 年に申請；許認可取得から 11 年以内に約 3.5 t の Pu-fiss を削減。 KBR、KKU、KWG の空き容量を並行して利用。												
オアリッパム (KWO)	GKN-2、KKP-2 の約 0.5t の Pu-fiss を削減。												
ブロットルフ(KBR)/ ウンターヴェーザー(KKU)/ グローンデ(KWG)	861	399	861	663	597	597	597	861	861	861			
グントレミンゲン (KRB)		630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	290
エムスラント(KLE)													

*）最後のMOX燃料装荷は2017年頃

出典：Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

なお、ブルンスピュッテル、クリュンメル、ビプリスなど一部の原子力発電所が申請しているMOX装荷許可とウンターヴェーザーおよびグローンデ原子力発電所が申請したMOX燃料利用の拡張許可が、それぞれ近い将来承認されれば、[第2.9表]のプルトニウムの削減スケジュールは大幅に短縮される可能性がある。[第2.10表]に示すように、ウンターヴェーザーおよびグローンデ原子力発電所のMOX燃料利用を拡張して、平均Pu-fiss富化度を現在の3.1%から約4.5%に引き上げると、MOX燃料集合体に含まれるPu-fissが119kg増え、従来よりも45%多いPu-fissを1度にリサイクルすることが可能になる。

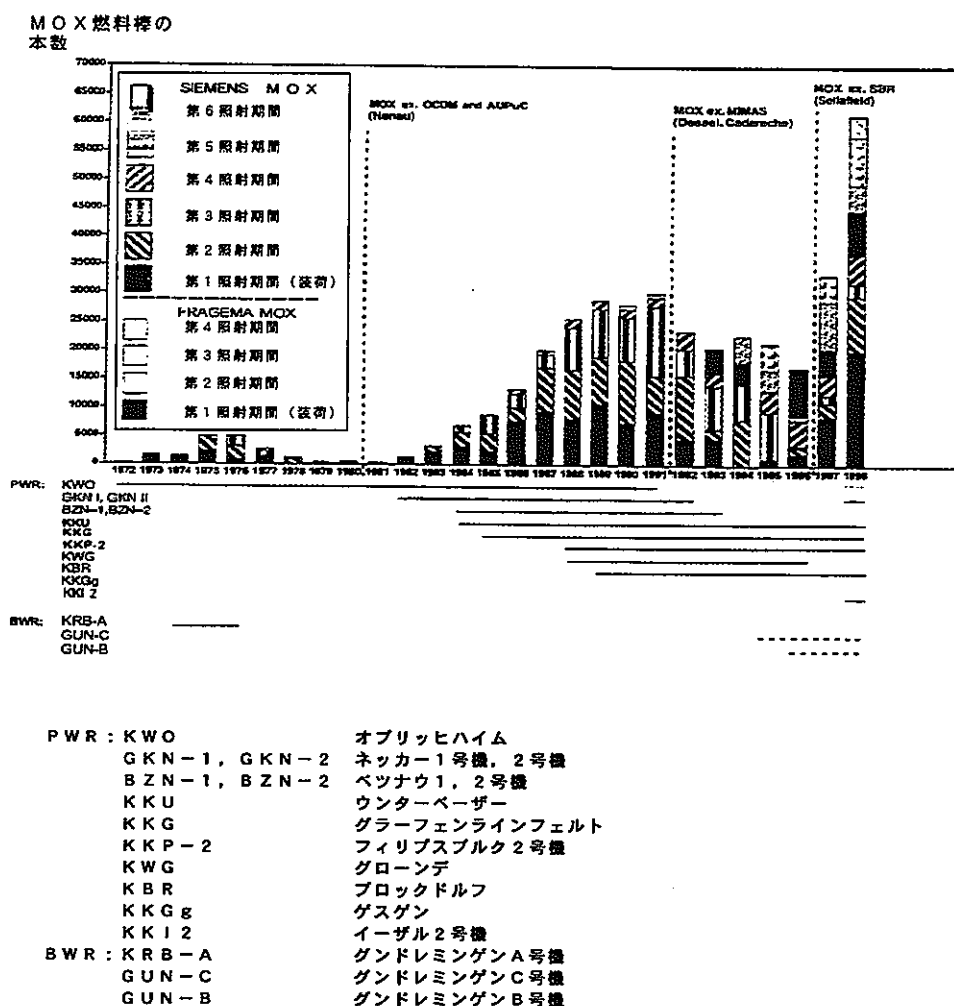
[第2.10表] MOX利用拡張許可によるプルトニウムの早期削減

原子力発電所	申請中の平均 Pu-fiss 富化度	MOX 燃料集合体 16 体中の Pu-fiss (kg)		MOX 燃料集合体 16 体に含まれる Pu-fiss の増加分	
		申請	現行許可	kg	%
ウンターヴェーザー グローンデ	約 4.5%	383	264	119	45

出典：Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

1. 2. 3 MOX燃料加工の現状

ドイツのシーメンス社はハナウMOX燃料プラントを停止した後、実際のMOX燃料加工はベルギー、フランスおよび英国で行っている。〔第2.1図〕は1998年末現在のシーメンス社のMOX燃料供給実績を示したものである。1992年以降、ベルゴニュークリア社のデッセル・プラントと仏核燃料公社(COGEMA)のカダラッシュ・プラントに加工が委託され、1997年からは英国原子燃料公社(BNFL)のセラフィールドにあるMOX実証施設(MDF)でも加工が行われるようになった。こうして現在、シーメンス社は、電力会社と結んだMOX燃料供給契約の範囲の内、設計のみを社内で行い、加工は外注している。



〔第2.1図〕 シーメンス社供給のMOX燃料装荷実績(1998年現在)

〔出典〕 W. Stach (Siemens KWU), "Advanced Mixed Oxide Fuel Assemblies with Higher Plutonium Content for Light Water Reactors", IAEA Symposium, 1999.5.17-21.

(1) シーメンス社のMOX燃料集合体設計

a. 標準MOX燃料集合体設計

シーメンス社は、過去におけるMOX集合体（14×14、15×15、16×16）設計で得られた知識を集結して、標準MOX集合体（FA）を設計し、1980年代中頃から市場（130万kW級PWR）へ供給している。

ウンターペーザー、グラーフエンラインフェルト、グローンデ、フィリップスブルク2号機、およびブロックドルフの5基の130万kW級PWRに装荷された標準MOX・FAは良好な運転性能を示している。平均プルトニウム富化度は2.91%Pu fissで、集合体は3種類のプルトニウム富化度のMOX燃料棒で構成されている。4本のウォーター・ロッドが中央に配され、減速効果を上げて出力分布の均一化が図られている。

b. 濃縮度4.0%までのUO₂燃料に相当するMOX・FA

濃縮度4.0%のUO₂燃料に相当する高プルトニウム富化度のMOX燃料集合体（14×14型）が1987年に設計され、1988年に同設計のMOX・FA8体が装荷された。この14×14型MOX・FAの設計は、混合ウランが天然ウラン、平均プルトニウム富化度が3.85% Pu fissで、ウォーターロッドは用いられていない。その後、劣化ウラン（0.25%）を混合ウランとすることが引き金となって、新型の16×16型MOX・FAが設計された。平均プルトニウム富化度は3.84%、混合ウランのウラン濃縮度は0.25%であった。

更に、130万kW級PWR用の16×16型MOX・FA（濃縮度4.0%相当）が設計され、劣化ウランを用い平均プルトニウム富化度4.2%とされた。18×18型の130万kW PWR用のMOX・FA（濃縮度4.0%相当）も設計され、劣化ウランを混合ウランとし、プルトニウム富化度は4.6% Pu Fiss. とされた。

c. 濃縮度4.0%以上のUO₂燃料に相当するMOX・FA

ウエスチングハウス（WH）社製PWRの14×14型集合体のために、濃縮度4.25%のUO₂燃料に相当する、劣化ウラン（0.25～0.30%）を用い、平均プルトニウム富化度を4.75%としたMOX・FAが新たに設計された。集合体中央に配された計装管のために、ウォーターロッドを追加して減速する必要はない。

そして、現在までで最もプルトニウム富化度の高い15×15型集合体用のMOX・FAが設計された。濃縮度4.3%のUO₂燃料に相当するために、プルトニウム富化度は4.8% Pu fiss、混合ウランとして劣化ウラン（0.25%）が配された。15×15型集合体の中央には1本のウォーター・ロッドが配された。

d. BWR用MOX・FA設計

BWR用に9×9型と10×10型のMOX・FAが設計された。一般的に、BWR用MOX・FAはPWR用に比べて複雑である。9×9-1型BWRには、6種類のMOX燃料棒の他、ウォーター・ロッドの周囲における出力ピークを防ぐために、ガドリニウム（Gd）ウラン燃料棒が配されている。平均プルトニウム富化度は約3%で、混合ウランに劣化ウラン（0.25%）が用いられている。BWR用MOX・FAの設計活動において、10×10型（A T R I U M 10™）MOX・FAが設計された。

UO₂燃料の高燃焼度化に伴い、同じ炉心に装荷されるMOX燃料についても高プルトニウム富化度のものが要求されている。濃縮度4.3%以上のUO₂燃料に相当する14×14型MOX・FA設計として、平均プルトニウム富化度5.84% Pu fiss.で、劣化ウランを用いた集合体の設計も行われている。また、欧州加圧水炉（EPR）の当初の設計ドラフトでは、約6.5% Pu fiss.の17×17型MOX・FAも検討された。

(2) ハナウMOX燃料加工プラントの状況

シーメンス社は2001年8月30日、ハナウMOX燃料加工プラントを解体し、遅くとも2002年10月までに完全に撤去する計画を進めていることを明らかにした。シーメンス社は2002年10月までに同サイトを新たな借用者に引き渡すことを決定しており、プラントの完全撤去は2001年10月に正式に決定されるという。

仏核燃料公社(COGEMA)はハナウMOXプラントのロシアへの輸出プロジェクトに関与してきたが、同プラント設備の獲得に関してはコメントしなかった。産業界筋は、軍縮プログラムを取り巻く将来の状況が明確になるまで、COGEMAがハナウの設備の購入可能性も含めロシアのMOX問題に対して何らかの行動をとることはないとの見方を示した。先進主要8カ国(G8)首脳は2001年のジェノア・サミットで、ロシアのMOXプロジェクトに対する財政面あるいは組織面での支援を進展させることができなかった。同プロジェクトへの最大の支援国である米国がクリントン前政権時代に始まったこの支援を見直している最中であることも、その理由の1つになっている。

シーメンス社のハナウMOX燃料加工プラント廃止措置部長のルーパー氏は、ジェノア・サミットでハナウMOXプラントの輸出プロジェクト問題に関して何の進展も見られなかったことから、シーメンス社経営陣が同プロジェクトを断念したことを明らかにした。ドイツ連邦政府が同プロジェクトの資金調達問題で政治的支援を行わず、G8によるプルトニウム処分論議を率先して進めなかったことが、同プロジェクトを断念させた最大の要因であるという。

シーメンス社は既に、ハナウにあるUO₂燃料加工プラント(旧RBU社のプラント)やMOX燃料加工プラント(旧アルケム社のプラント)の解体作業を進めており、UO₂燃料加工プラントは2003年までに、MOX燃料加工プラントは2005年までに廃止措置が完了する予定である。シーメンス社によれば、ハナウ複合施設の廃止措置と解体にかかるコストは総額で約7億ユーロ(110円換算で770億円)になるという。

1. 3 英 国

1. 3. 1 プルトニウム利用政策

(1) 基本政策

マグノックス炉使用済燃料の再処理の結果、英国には多量のプルトニウムがセラフィールドに貯蔵されている。こうしたプルトニウムの大部分は当初、商業用高速増殖炉（FBR）で使用される計画であったが、政府は1982年に高速炉プログラムを拡張しないことを決定し、1988年7月には、1994年3月からFBR原型炉（PER）の予算を打ち切ることを決定した。そして、政府は1992年8月に、PERを1994年3月に閉鎖することを明らかにし、続いて同年11月、欧州高速炉（EFR）への資金提供も1993年3月31日をもって打ち切ることを決定した。

一方、プルサーマルに関しても、過去にプルトニウムを含む燃料試験体が蒸気発生重水炉（SGHWR）とウィンズケールの改良型ガス冷却炉（AGR）の原型炉（WAGR）で試験的に使用されただけで、商業用AGRで使用されたことはない。英国で唯一の軽水炉であるサイズウェルB発電所でのMOX燃料利用は技術的には可能であるが、具体的計画はなく、英国所有のプルトニウムの利用方法は未決定のままである。

(2) 民生プルトニウム在庫管理問題の浮上

a. 英国王立協会の報告書

英国随一の科学協会である王立協会が1998年2月、「分離プルトニウムの管理」と題する報告書を発表した。この中で王立協会は、英国のプルトニウム管理の現状を分析し、今後取り得る様々なオプションを提示して科学的な見地からこれらのオプションを評価している。プルサーマルを進める日本にとって、英国の権威有る学術機関がプルトニウム管理についてどの

ような見解を示しているかを知ることが重要であり、今後の英国政府のプルトニウム管理政策を予測し、理解していく上で有効であると考えられる。したがって、以下に本報告書の要点を紹介し、分析する。

まず英国のプルトニウム管理の現状であるが、同協会は「英国の現在の民生プルトニウム在庫量は約54トンである。英国政府は元々、これを高速炉の燃料に用いる予定であったが、1994年に高速炉開発計画を中止し、代替策を示していないため、在庫量は今後、増加の一途をたどり、2010年には100トンを超えるであろう」との見解を示している。

次に、プルトニウム在庫が増加することに関して2つの懸念を示している。1つは、プルトニウム自体が強い化学的毒性を有するので万一、漏出したら大事に至るということ、もう1つは、適切な保障措置を講じないと核兵器製造に転用されるリスクがあることである。同協会は、原子炉級プルトニウムで核兵器を製造できる可能性が有る限り、これが核兵器製造を目論むテロリストなどに狙われるリスクはどうしても残ると指摘している。

そして、プルトニウム在庫の管理オプションについては、現行の「貯蔵」という管理方法は「技術的改善を加える余地はないが、蓄積量を際限なく増やすのは将来の世代に遺物を押しつけることになる」としている。「混合酸化物(MOX)燃料に加工して既存の原子炉で使う」という管理手法については、「既に生じたプルトニウムを活用する分には正当化され得るかもしれない。ただし、英国にPWRは1基のみしかなく、マグノックス炉やAGRをMOX燃料用に改造するのは技術的に不可能ではないが、費用など実際的な問題が残る」と指摘している。高レベル放射性廃棄物(HLW)と混ぜて「処分」という手法は「技術的に可能であるが、プルトニウムが破壊されないという欠点があり、また潜在的な燃料源を無駄にするという見方がある」としている。

この他、再処理を止めてプルトニウムの発生量を抑制するというオプションも検討しているが、使用済燃料を再処理せずに貯蔵する施設が不足しており、HLWや使用済燃料を処分できる施設も未運開であるという現状に照らすと、再処理は今後も続けなければならないであろう

との結論に至っている。

最後に、本報告書は3つの勧告を行っている。1つ目は「政府はプルトニウム在庫の量を一定に抑えるための戦略とオプションを検討すべきである」というものである。2つ目は、蓄積量を減らすような分離民生プルトニウム管理の代替オプションについて「包括的で独立したレビューを実施すべきである」というものである。3つ目は、「競合するシステムを評価し、英国の利益となりそうな国際協力を支援することができるようなR&D能力を維持すべきである」というものである。

王立協会が本報告書に関するニュースリリースを発表した翌日、マスコミはこの報告書で大々的に取り上げ、その後、報道は急速に減少した。本報告書の前書きで、同協会は「過去または将来の政策的決定についてコメントするのは専門外」とし、本研究が政策的なものではなく、あくまでも科学的な見地からプルトニウム管理の現状と今後の管理オプションについて分析・勧告するものである点を明確にしている。

b. オックスフォード・リサーチ・グループ (ORG) の報告書

原子力産業の政策と活動を研究するオックスフォード・リサーチ・グループ (ORG) は1998年10月6日、このままでは英国が世界最大級のプルトニウム保有国になるとする報告書を発表した。英国の民生用プルトニウムの備蓄量は2010年までに今の2倍に達し、再処理で取り出された世界中のプルトニウムの約半分が英国に集中することになるという。ORGは、こうした大量のプルトニウムの保管には様々なリスクが伴うと指摘している。原始的な核爆弾ならば比較的簡単に製造できるし、万一、保管中に事故が起これば生態系への影響は計り知れない。ORGは、プルトニウム管理の問題は環境問題であると同時に世界的な安全保障問題であるとし、政府に対して、もっと責任をもって積極的にこの問題に取り組むよう求めている。同報告書は、前述の王立協会の報告書に共鳴するものである。

(3) 放射性廃棄物管理政策の策定下におけるプルトニウムの取扱いに関する問題

英国では1999年に入り、新たな放射性廃棄物管理政策の策定に向けた動きが活発になっている。3月に議会上院の科学技術特別委員会によって廃棄物管理政策に関する報告書が発表された。6月には市民パネルによるコンセンサス会議が開催され、廃棄物管理の新政策に関する一般市民からの提案がまとめられた。一方、政府の諮問機関である放射性廃棄物管理委員会（RWMAC）は密かに特別委員会の報告書への対案を作成し、5月に政府へ提出していたようである。RWMACの報告書^(注4)は8月に入り初めて公表された。

a. 上院科学技術特別委員会の報告書

特別委員会が3月に発表した報告書の主要な結論は以下のようにまとめられる。

- ・ 廃棄物の処分方法として、回収可能な状態にあることを前提に“段階的な深地層処分”が可能であり望ましい
- ・ 深地層処分の対象となる廃棄物の種類に関して、廃棄物区分の再検討が必要である
- ・ 廃棄物管理政策の策定にあたっては、国民的な理解が必要不可欠である
- ・ 予見可能な将来の必要量を超えるプルトニウムを廃棄物と見なすべきである
- ・ 現行の廃棄物管理機構の改編が必要である。具体的には、包括的な処分戦略を策定する機関として「核廃棄物管理委員会（NWMC：Nuclear Waste Management Commission）」を設立する
- ・ 廃棄物の地層処分が採用された場合、処分場（もしくは貯蔵施設）の設計、建設、運転および最終的な閉鎖を担当する「放射性廃棄物処分会社（RWDC：Radioactive Waste Disposal Company）」を設立する
- ・ 使用済マグノックス燃料の再処理は継続すべきである

^(注4) The Radioactive Waste Management Advisory Committee's Response to The House of Lords Select Committee on Science and Technology Report on the Management of Nuclear Waste, RWMAC, May 1999.

- ・ 改良型ガス炉と加圧水炉からの使用済燃料の再処理は回収プルトニウムの再利用が進まなければ、廃棄物管理の観点からは無意味である

報告書は“廃棄物管理に関するその他の事項”の章で、使用済燃料の再処理、余剰プルトニウム、MOX燃料について言及している。当初、これらの問題は報告書の対象ではなかったが、環境保護団体が特別委員会への意見書において取り上げ、また特別委員会のメンバーにも強く関心を持つ者がいたことが明らかになっている。委員会の関係者によると、再処理の中止を報告書に盛り込もうとしていたメンバーは、委員長の指示により委員会から外されたという。

報告書は使用済燃料の再処理に関しては、以下の通りの見解を示している。

「我々は、使用済マグノックス燃料の長期貯蔵や直接処分に伴う問題を考慮し、使用済燃料の再処理は継続すべきと考える。改良型ガス炉と加圧水炉の使用済燃料の再処理は直接処分に比較すれば環境的に中立であるが、回収されたプルトニウムの再利用が進まなければ、廃棄物管理の観点からは無意味である」

余剰プルトニウムに関しては、報告書は、政府が回収プルトニウムの管理に関する明確な方針を示すことを要請するとともに、余剰プルトニウムを廃棄物と見なすことを提案している。MOX燃料については、将来的に英国内で使用する可能性があるかもしれないと述べるに留めている。

その他、報告書は外国からの使用済燃料の再処理から生じる廃棄物の等価交換についても言及している。特別委員会の見解は、英国でILWの処分施設が25年以内に運開する見込みがない以上、海外の使用済燃料の再処理から発生したILWは、HLWに等価交換するのではなく、そのまま返却することになるというものである。

b. 市民パネルの勧告

科学技術特別委員会の報告書は廃棄物管理政策を進める上でのパブリック・アクセプタンスの重要性を指摘し、そのために政策の策定過程における開放性と透明性を向上させること、特に、公衆の参加の必要性を説いている。そして、パブリック・アクセプタンスを得る方法の1つとして、“市民パネル”なるものを例示した。

市民パネルによる放射性廃棄物の管理に関するコンセンサス会議が、主に英国の民間団体が主催して、1999年5月21日から4日間ロンドンで開催された。会議の3日目にパネルは質疑応答やその後の討議内容をもとに、独自の結論を盛り込んだ声明文を発表した。この中で再処理に関し、同パネルは、海外との既存の再処理契約は尊重されるべきだが、新たな再処理契約を結ぶべきではないと結論している。

原子力産業はパネルの報告がほぼ産業界の意向に沿ったものであり好意的に受け止めている。

“地球の友”は、報告書が再処理の禁止や廃棄物処分政策を否定していると理解し、報告書を歓迎している。しかし、その他の環境保護団体は報告書の結論に納得せず、特に原子力産業のカルチャーの変化については懐疑的である。彼らはパネルの報告書の内容に関わらず、原子力産業（時に政府を）を非難し続けるつもりである。原子力産業界の変化を受け入れようとしなないこれらの団体はパネルのメンバーやマスコミの信頼を失っているという。

c. RWMACの対案

政府の諮問機関である放射性廃棄物管理委員会（RWMAC）は、特別委員会の報告書が英国の全ての放射性廃棄物を管理するために、総合的でかつ、明確な長期的政策を策定すべきとしている点に同意している。しかし、そのプロセスにおいて、過去に行われた以上にオープンな形で国民の理解を得る必要があることを強調している。そして、新政策の策定において幅広い国民の理解を得るために、コンサルテーションの積極的な導入が必要で、具体的な政策の策定プロセスとして、“コンサルテーション－提案－コンサルテーション－修正－決定”という手順を採る

ことを勧告している。これまでの“決定－発表－擁護”という手順からの決別である。

HLW/ILWの処分については、特別委員会が勧告した通り深地層処分が好ましいとしたものの、UK Nirex社のセラフィールドへの深地層処分場建設計画の頓挫で明らかになったように、深地層処分への国民の拒否反応が強いことを指摘した。そして、HLW/ILW処分を公衆の議論の対象とすべきであると勧告している。さらに、結果として深地層処分への国民の合意が得られない場合には、持続可能な開発という概念と矛盾しない何らかの代替策に同意せざるを得ないとした。

さらに、RWMACは1999年8月に発行した第19回年次報告書^(注5)において、環境相がRWMACに対して使用済燃料の再処理による廃棄物の問題について調査するよう依頼したと記述している。情報によると、RWMACは余剰のプルトニウムとウランを廃棄物と見なすかどうかという点に個別の章を割くことが予測されており、2000年春までに調査を完了させる目標であるという。

因みに、RWMACは回収プルトニウムに関しては特別委員会と同意見である。つまり、政府は明確な余剰プルトニウム管理政策を策定すべきであり、予測可能な将来におけるプルトニウム利用量は限度があるのだから、それ以上の余剰プルトニウムは、確固とした理由がない限り廃棄物と見なすべきという立場である。そして、RWMACが余剰プルトニウムを廃棄物と見なす立場を取っているということは、再処理の廃棄物問題を検討する際に大きな影響を与えられらる。

一方、政府関係者のプルトニウムへの見解として、ウィッティ卿のコメントを取り上げなければならない。同氏は、特別委員会の報告書への政府の対応時期についての答弁の中で、地球温暖化防止という観点におけるプルトニウム利用の意義について聞かれた。その回答で、プルトニウムにエネルギー源として一定の価値のあることを認めたが、将来の原子力政策に関わらず、ある

^(注5) Nineteenth Annual Report of: The Radioactive Waste Management Advisory Committee, RWMAC, August 1999.

量のプルトニウムは廃棄物として処分すべきであることを明言した。

1999年10月25日の議会答弁においてM・ミーチャー環境相は、放射性廃棄物管理の新政策の策定に関する協議用文書を2000年初めに発表するとしていたが、同文書はその後、1年以上を経ても発行されず、この問題を先送りしたまま2001年6月7日の総選挙となった。予想通り労働党が処理し、ブレア政権の続投となった。

(4) 新生ブレア政権がエネルギーと放射性廃棄物管理政策のレビューを開始（2001年）

新生ブレア政権がまず着手したのはエネルギーレビューであった。英国の政策の目的を設定し、現状の政策が長期的目標と矛盾していないか確認する戦略を開発することを主眼として、行政実行革新局（PIU）の主導の下に7月20日にワークショップが開催され、個人および組織からの意見が求められ、10月11日現在で179件の意見書が、ブリティッシュエナジー（BE）社、BNFL等から寄せられた。

続いて9月12日にミーチャー環境担当閣外大臣が、長い間待たれていた放射性廃棄物管理の協議用文書（コンサルテーション・ペーパー）を発行した。英国における放射性物質の長期的管理に関する政策は、1997年3月にNIREX社のセラフィールドにおけるRCFの建設申請が却下されて以降、本質的には存在していないと言える。それ以降、政府は、「近い将来にコンサルテーション・ペーパーを公表する」と何度も公言してきた。政府筋によれば、2001年6月の総選挙も遅れの原因であるが、プルトニウムを廃棄物と見なすか、エネルギー源と見なすかについて政府内に見解の相違があることが主な要因であったという。

政府はこれまで、様々な関係者から、政府がリードを取り、公衆と向かい合い、できるだけ公開性のある広範なコンサルテーションを実施するよう圧力を掛けられてきた。ニュースリリースも明らかに政府がこれらの助言を受け入れたことを示しており、それはコンサルテーション・ペーパーに添付されているノートにも反映されている。その内容は以下の通りである。

放射性廃棄物の安全な管理と題したコンサルテーション・ペーパーは固体放射性廃棄物の管理方法に関する国家レベルでの議論を開始することを目的としている。当面の間、それは安全に貯蔵されているが、政府は広範な国民の支持を獲得する最終的な管理を目的とした政策の実施へと動く時が来たと認識した。

このことを達成する前に、我々は国民が十分に議論に参加することを保証しなければならない。効果のある議論は、十分かつ正確な情報が提供され、広範な人々が参加するように促す様々な方法を適用することによって初めて達成される。

それゆえ我々は、この議論に国民に従事させる最善の方法に関して国民の見解を求めている。このコンサルテーションの結果は政策の取り纏めを助け、国民の十分な支援を得た政策の実施という成功をもたらす。

コンサルテーション・ペーパーに対する意見書の提出は2002年3月12日まで文書あるいはE-mailにて受け付けられており、提出された全ての意見書は、プロセスの次の段階が決定される時に考慮に入れられることになっている。また、政策決定プロセスとして5つの段階が提案されており、そのタイムスケールは以下のようにになっている。

ステージ	実施事項	期間
1	提案したプログラムについて6ヶ月のコンサルテーションを実施。意見書の検討、次のステージの計画を実施。	2001-02年
2	リサーチ、公開討論の実施。様々な放射性廃棄物管理オプションを検証し、最善のオプションを推奨する。	2002-04年
3	更なるコンサルテーションの実施。提案されたオプションについて公衆の見識を得る。	2005年
4	選択されたオプションを公表。このオプションの導入方法について公衆の見識を求める。	2006年
5	法律制定	2007年

以下では、現在廃棄物とは見なされていないプルトニウム、回収ウランと劣化ウランおよび使用済燃料についてまとめる。コンサルテーション・ペーパーは、これらの物質の利用は現状においては不透明で、今後廃棄物と見なされる可能性もあり、そうなれば廃棄物管理戦略に影響を与

えることになると指摘している。

a. プルトニウムの取扱い

2000年末において、民生プログラムより発生した英国の分離プルトニウムは61.5トンに上り、そのほとんどはセラフィールドサイトに貯蔵されている。これらのプルトニウムの90%以上は国家プログラムの一環として建設されたマグノックス炉から発生したものである。これらの原子炉とそこから発生したプルトニウムは政府の原子力債務であり、そのコストは最終的には納税者に降りかかることになるであろう。

コンサルテーション・ペーパーは、プルトニウムは混合酸化物（MOX）燃料としてサイズウェルB号機やその他の改良型原子炉で使用することが可能であると指摘し、1トンのプルトニウムは200万トンの石炭に匹敵するエネルギーを発生することができるという。しかし、現在のところ、英国にはMOX燃料の利用を認可された原子炉はない上に、BE社はウラン燃料に比べてMOX燃料は経済的ではないことを理由に、サイズウェルBにおいてMOX燃料を装荷する計画も有していない。

更にコンサルテーション・ペーパーは、長期間貯蔵されたプルトニウムにおいて、アメリシウム241がどのように生成され、プルトニウムの純度が悪化するのかを説明している。長期間貯蔵されたプルトニウムからアメリシウム241を除去することは可能であるが、燃料加工のコストを増加させることになるという。

また、議会上院科学技術特別委員会、英国王立協会、貿易産業省の特別委員会3つの重要な委員会全てが、予見可能な将来のプルトニウムの必要量は保持されるべきであるが、それ以外の余剰プルトニウムは廃棄物と見なすべきであると勧告しているという。

コンサルテーション・ペーパーは、英国に貯蔵されているプルトニウムが膨大であること、た

とえMOX燃料の装荷が英国の原子炉で認可されたとしても、その全てがMOX燃料として利用できるわけではないこと、MOX燃料を装荷できる原子炉が英国には十分にはないことなどの観点から、一部のプルトニウムを廃棄物と見なすべきかどうかを考慮することが重要であると述べると共に、その全ての評価において、経済の変化や気候変動の考慮などにより原子力が魅力的なものとなる可能性があり、プルトニウムのエネルギーとしての価値を検討する必要があるとしている。

いずれにしても、プルトニウム在庫の一部を廃棄物と見なすかどうかも含めて、英国の分離プルトニウムの長期的な管理政策に関する様々な意見を募集するとコンサルテーション・ペーパーは結んでいる。

b. 回収ウランおよび劣化ウランの取扱い

コンサルテーション・ペーパーによれば、再処理によって回収された回収ウランと濃縮で発生した劣化ウランは5万～6万トンあり、最終的には10万トンを超える可能性があるという。回収ウランはAGR燃料加工に利用されてきたが、天然ウランの方が低コストなので、この目的で利用することは非経済的であり、結果的に回収ウランは貯蔵されている。

コンサルテーション・ペーパーは、劣化ウランの濃縮が経済性に見合った時にどのように行われ、MOX燃料加工する際にどのように劣化ウランが混合されるかを説明している。更に、劣化ウランが軍事プログラムからの高濃縮ウランとどのように混合することができるかについても述べ、英国に存在する回収ウランおよび劣化ウランは将来利用するために保持すべきか、または廃棄物と見なすべきかについて様々な意見を求めるとしている。

c. 使用済燃料の取扱い

現在、使用済燃料は廃棄物として分類されていない。現状の政策下では、使用済燃料を再処理するかどうかについての決定は、その所有者の商業的判断に委ねられている。

AGRおよびPWRからの使用済燃料は適切な冷却期間の後に、①再処理するか、②直接処分するか、③長期貯蔵するか、という3つのオプションを有している。しかし、マグノックス使用済燃料は、湿式貯蔵により冷却する必要があるが、一定期間後に腐食するため、直接処分は適切なオプションではない。それゆえ、たとえマグノックス発電所が閉鎖されても、マグノックス使用済燃料の再処理はしばらく継続されることになる。

コンサルテーション・ペーパーが指摘しているように、もし再処理により分離されたウランとプルトニウムが廃棄物と見なされれば、AGRとPWRの使用済燃料からウランとプルトニウムを分離する理論的根拠がなくなってしまう。この議論は、必然的にBNFLが英国の使用済燃料の再処理を継続すべきかどうかという疑問を投げかけることになる。

コンサルテーション・ペーパーは、BNFLは海外の顧客に対して商業的に再処理を実施しており、この業務により生じたプルトニウムやウランなどの回収物と廃棄物を顧客に返すことが政府によって要求されていることを明確にしている。従って、海外委託の再処理事業によって、英国の放射性廃棄物管理には直接的影響が与えられることはない。

概ね、コンサルテーション・ペーパーは政府がリードし、如何にして政策決定プロセスを進行し、最初から国民を関与させるかといった、放射性廃棄物問題の全ての関係者から寄せられた助言を反映しているように思える。2002年3月12日までに多数の意見書の提出が予想され、それらはコンサルテーションの透明性を保証するために公開されるという。しかし、これらの意見書がどのように公開されるかはまだ決定されていない。

1. 3. 2 MOX燃料加工の現状

英国原子燃料公社(BNFL)は、試験的規模ながら1960年代からMOX燃料を製造してきた。1989年9月には、8トン/年規模のMOX実証施設(MDF; MOX Demonstration Facility)の建設を決定し、1993年10月からプルトニウムを使用してのホット運転を開始した。その後、海外からのMOX燃料の需要増を見込み、商業規模でMOX燃料を製造するため、

年間生産量120トンというSMPの建設を計画した。

(1) SMPの建設から運開まで

a. SMP建設時の状況

BNFLは1994年3月に地方当局（コーブランド・ボロー評議会）からSMPの計画許可を取得して翌月より工事を開始し、1998年中に建設工事を終了させていた。1994年当時、政府内でSMP建設を承認したのは貿易産業省（DTI）と考えられる。なぜなら、BNFLは公開有限責任会社（Public Limited Company）で、その筆頭株主は政府を代表する貿易産業大臣であるからである。BNFLはSMP建設申請時にも何らかの経済性評価を行い、DTIはそれを基に建設の是非を検討したはずである。

b. 運転許可申請とEAの承認（1996～1999年）

BNFLは商業運転に関する認可を得るため1996年11月、EAに申請を行った。計画ではウラン酸化物を用いたホット試験を皮切りに、プルトニウムの使用へと段階的に試運転を進め、1998年4月に本格操業を開始することが予定されていた。当時、BNFLはウラン試験が順調に行われても自動的に次の段階に進まず、別の認可を取得するものとし、仮にウラン試験を行った後でSMPの運転を認めないという決定が下された場合は、プラントを除染して試験前の状態に戻すことが可能であるとしていた。

EAはBNFLの事業内容を公開し、公衆を含む関係者から意見を募るパブリック・コンサルテーション（公開審議）を1997年2月10日から8週間にわたって開催し、さらに、PAコンサルティング（PAC）社にSMPの経済性評価を委託し、1998年1月にその結果を発表した。PAC社は、SMPの建設費用を抜きにして、その操業利益がいくつかのシナリオにおいて1～3億ポンド（1ポンド=180円として180～540億円）、平均で2億3,000万ポンド（414億円）になると計算し、SMPの操業は経済的に成り立つとした。EAはこの評価に基づき、再度

のパブリック・コンサルテーションを開催した。しかし、SMP運転の反対派は、この経済性評価にSMP建設費用の3億ポンドが考慮されなかったことを指摘し、その信憑性を疑う意見を示していた。

こういった状況下で、EAは1998年10月23日、SMP運転による経済的利益が環境への影響を上回ると判断し、ようやく肯定的な見解を表明した。同日発表されたプレス・リリースは、「(BNFLの) THORP再処理プラントで海外の顧客から送られてきた使用済燃料から回収され、顧客の所有物であるプルトニウムからMOX燃料を製造するという目的に限り、SMPでのプルトニウムを用いた試験運転、商業規模での運転および最終的な廃止措置は正当化される。今回のEAの決定はこの目的に限り有効であり、その他の目的による運転は別途考慮する必要がある」としていた。

さらに、EAはこの問題が持つ政治的・経済的影響を考慮し、DETRとMAFFに、今回の決定を変更させる意志があるか、またEAに対して行政指導をするか、意見を問うことにした。同様にウランを使用した試験運転に関してもEAは肯定的見解を表明し、DETRとMAFFに最終的な判断を任せた。

c. SMPのウラン試験の認可

J・プレスコット副首相兼環境・運輸・地域問題大臣は1999年6月11日、BNFLに対してSMPのウラン試験を実施することを認可した。同時に副首相は、SMPの商業規模の運転に関する3度目のコンサルテーションを開催し、その結果を以て最終的な運転認可の判断を下すことを明らかにした。ウラン試験は約9か月を要すると見積もられ、2000年終了を目標とされた。

政府がウラン試験認可に至った経緯は、後日発表された報告書^(注6)において明らかになっている。

^(注6) Ministers' Decision On The Justification For The Uranium Commissioning Of The Mixed Oxide Plant, DETR, 1999.6.25.

る。報告書は、ユーラトム指令80/836（改正指令84/467）を引き合いに出し、SMPに関わる認可を発給するにはその正当性を証明する必要があることを強調している。

BNFLは機会ある毎に、まずSMPのウラン試験の認可を発給することを政府に要請してきた。BNFLは既にSMPに人員を配置しており、運転が遅れば遅れるほど経済的損失が大きくなるためであった。さらに、仮にウラン試験の実施後に運転の中止が決定されても、ウランの除染は比較的安いコストで済み、発生する廃棄物も少量で、かつ低レベル廃棄物（LLW）であることも理由の1つである。

報告書によると、ウラン試験を認可することの主な利点は（最終的に商業運転が認可された場合）プルトニウム試験と商業運転の日程が早まることとされた。商業運転が早まればBNFLは1カ月当たり約150万ポンド（2億7,000万円）の経費が浮くことになる。

BNFLは当然、この決定を歓迎したが、同時に再度パブリック・コンサルテーションが開催されることによって商業運転が遅れることや、PAC社の経済性評価とBNFLによるMOX燃料市場調査が公表されることによる営業上の損害を懸念した。それにも関わらず、BNFLは6月11日のプレス・リリースの中で、情報の公開がSMP運転プロセスを促進することを認め、パブリック・コンサルテーションの開催に全面的に協力していく旨を明らかにした。

d. 第3回パブリック・コンサルテーションの開催（1999年7月～）

SMPの運転に関する3回目のパブリック・コンサルテーションの詳細は6月25日に公表され^(注7)、同時にPAC社のSMP経済性評価報告書^(注8)とBNFLによるMOX燃料市場調査の報告書^(注9)も公表された。PAC社の経済性評価については、BNFLの事業およびSMP運

^(注7) Consultation On The Economic Case For The Sellafield MOX Plant, DETR, 1999.6.25.

^(注8) PA Consulting Group Final Report; Assessment Of BNFL's Economic Case For The Sellafield MOX Plant, 12 December 1997, Commercial In Confidence Version Released June 1999, DETR, 1999.6.25.

^(注9) BNFL MOX Market Review For DETR, DETR, 1999.6.25.

転に対して重大な商業的ダメージを与えると考えられる情報は秘匿された。政府はこれら一連の報告書に対する意見を7月23日まで受け付け、公衆から寄せられた意見を検討して最終的な決断が下される。

ところで、BNFLが各国と結んでいるMOX燃料加工契約の状況は秘匿されたが、BNFLが（保守的に）見積っている予想契約量全体に対する割合で〔第3.1表〕のように公表された。

〔第3.1表〕 SMPのMOX燃料加工契約状況――BNFLの発表

	契約済	契約意思 表明・予約	交渉中	予測分	合計
予想契約量全体に対する割合（％）	6.7	11.0	25.7	56.6	100

EAが1998年10月にSMP運転に肯定的な見解を示した際は、MOX燃料の製造は経済的に正当化されるとの判断であったが、政府はBNFLに対してMOX燃料市場の調査を依頼し、再度その経済的な正当性を判断しようとした。これは、1998年10月に成立したドイツの社会民主党と緑の党による連立政権が脱原子力政策の一環として、英仏と結んでいる使用済燃料の再処理契約を破棄する動きを見せていることにより、MOX燃料需要の見通しが不安定になっているためである。

BNFLの市場評価報告書は、日本、ドイツ、スイスのMOX燃料需要について言及しており、日本とスイスについては、状況の急激な変化が無い限り安定したMOX燃料需要が見込めるとしている。ドイツに関しても、ドイツ政府と電力会社からの情報から、既存の再処理契約は履行され、MOX燃料の使用は継続されると予測し、ドイツもMOX燃料の重要な市場であるとしている。そして、BNFLは最終的に、SMPの建設費を考慮しないという条件の下で、日本、ドイツおよびスイスとのMOX燃料取引の30～40%だけで、運転コストや廃止措置費用などの将来的コストが賄えると結論し、運転の正当性を主張した。

BNFLの実質的な所有者であるDTIもBNFLのMOX燃料市場評価を承認し、S・パイヤーズ貿易産業相はDETR関係者に宛てた書簡の中で「BNFLが実施したMOX燃料市場の調査結果はDTIの見解に合致したものであり、我々はこれを承認する」と述べた。

e. 地球の友（FOE）によるSMPの経済性評価（1999年7月）

第3回パブリックコンサルテーションに意見を寄せた関係者の中には、当然、周辺環境への影響からSMP運開に反対する環境保護団体も含まれていた。その1つである「英国地球の友（FOE）」は、政府の専門委員会に委員として参加した経験を持つ原子力コンサルタント（F・バーカー、M・サドニキ、G・マッケロン）へ委託してSMPの経済性評価報告書^(注10)を作成し、それを9月に公表した。また、これとは別に、FOEはTHORP再処理工場が締結した日本とドイツとの再処理契約に関する報告書^(注11)も同時期に発表した。

報告書は海外のMOX燃料市場を分析し、BNFLとMOX燃料加工契約を結んでいる国においてMOX燃料を使用する上での問題点を指摘している。報告書はまず、各国がMOX燃料加工を依頼する根拠として、使用済燃料の再処理を委託している電力会社はそれがプルトニウムという形で返還されるよりは、MOX燃料として返還されることを望んでいることを挙げた。このことは、使用済燃料の再処理を委託していない電力会社が商業規模でMOX燃料を購入した実績がなく、また、その様な関心を示したこともないという当然とも言える点を根拠としている。

結局、MOX燃料の使用は経済性以外の点を考慮に入れた場合に正当化されるのであり、それはエネルギー・セキュリティや核不拡散といった問題、およびMOX燃料に加工しなかった場合のプルトニウム返還に伴う問題などの政治的要因であるという。

その他、報告書が指摘したMOX燃料利用への障害は、THORPにおける使用済燃料の再処

(注10) ANALYSIS OF THE ECONOMIC CASE FOR THE SELLAFIELD MOX PLANT', Fred Barker, Mike Sadnicki and Gordon MacKerron, July 1999.

(注11) "THORP: THE CASE FOR CONTRACT RENEGOTIATION", Dr. Patrick Green, 2 June 1999.

理スケジュールが遅れ契約量を満足していないこと、原子炉でのMOX燃料使用認可、そしてMOX燃料の輸送などの問題であった。このうち、MOX燃料の使用認可と輸送の問題は、特に日本の顧客に当てはまるとされた。

日本、ドイツおよびスイスの使用済燃料（合計4,458トン）から回収されるプルトニウム44.6トンがSMPで加工されるとして、[第3.2表]のように推定された。また、SMPのコストは[第3.3表]のように仮定されている。

[第3.2表] PAC社のMOX燃料加工のモデルケース（FOEが絶対量を推定）

年間のMOX燃料加工量	SMP運転年数	MOX燃料加工総量
74.3トン	10年	743トン

[第3.3表] FOEによるSMPのコストの仮定（1997年価額）

項目	コスト	備考
建設費用	3億ポンド（540億円）	価格評価に含めていない
運開までのコスト	8,500万ポンド（153億円）	2000年に完了予定
年間の追加資本額	767万ポンド（13億8,060万円）	2001～2010年
年間の運転費用（固定分）	2,970万ポンド（53億4,600万円）	2001～2010年
年間の運転費用（変動分）	7万4,000ポンド（1,332万円）	2001～2010年
運転終了後の除染費	2,970万ポンド（53億4,600万円）	2011年
総廃止措置費用	5,000万ポンド（90億円）	2016～2020年

これらの前提を基にしたFOEの計算によると、BNFLが予測していると考えられる損益分岐点のMOX燃料価格は2,052ポンド/kg MOX（モデルケースの40%の契約量）～2,689ポンド/kg MOX（モデルケースの30%の契約量）（約37万円/kg MOX～約48万円/kg MOX）となっているが、これは仏核燃料公社（COGEMA）がドイツの電力会社に供給しているMOX燃料の価格が1,850ポンド/kg MOX（約33万円/kg MOX）と言われているのに比べかなり割高である。フランス電力公社（EDF）に至っては、COGEMAから750ポンド/kg MOX（13.5万

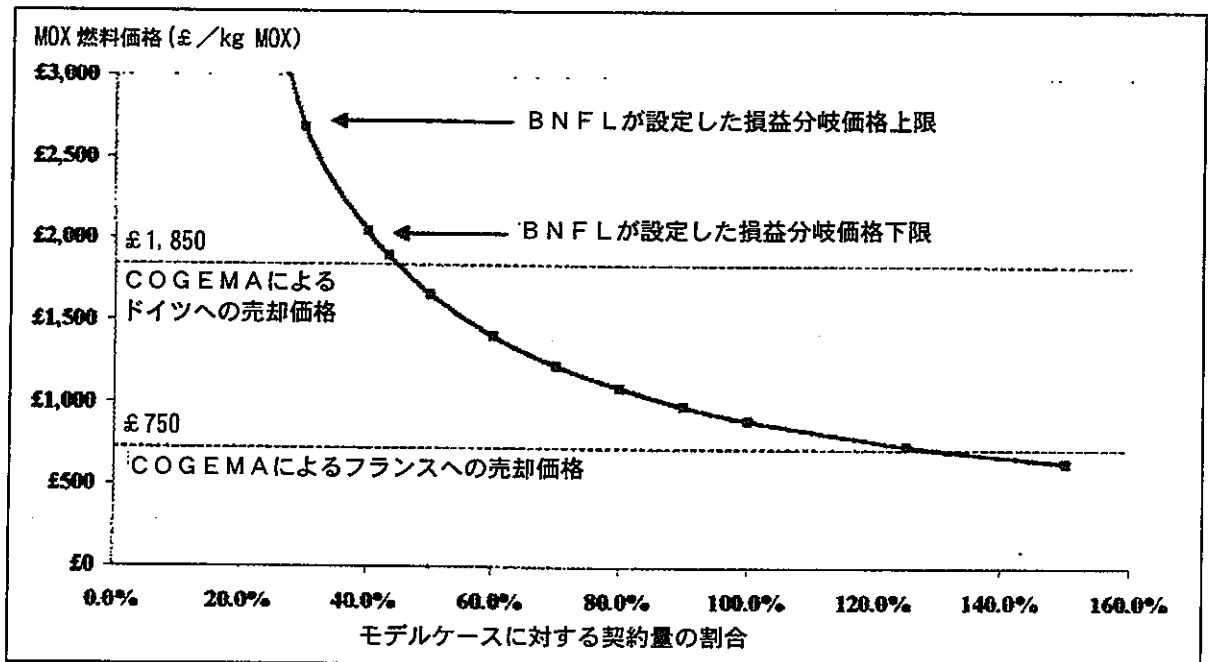
円/kg MOX) でMOX燃料を購入しているという。

こういった状況を考慮すると、BNFLが希望通りのMOX燃料価格を維持できる可能性は低く、その結果、利益を確保するために契約量を増やす必要が出てくる。従って、報告書は以下の様に結論付けている。

- ① BNFLが約2,000ポンド/kg MOX (36万円/kg MOX) という比較的高い値段でMOX燃料を売却できれば、モデルケースの50%~60%の契約量で1億ポンド(180億円)以上の利益を出すことができる。しかし、MOX燃料市場の現状を考えると、この価格を維持するのは困難と予測される
- ② BNFLが約750ポンド/kg MOX (13.5万円/kg MOX) という低い値段でしかMOX燃料を売却できなければ、損益分岐点に至ることは不可能である
- ③ BNFLが約1,250ポンド/kg MOX (22.5万円/kg MOX) という値段でMOX燃料を売却する場合、1億ポンド以上の利益を出すためには、モデルケースのおよそ90%の契約量を確保することが必要である

FOEの報告書が算出した損益分岐点を越えるために必要なMOX燃料価格とモデルケースに対する契約量の割合を[第3.1図]に表す。グラフの縦軸がMOX燃料価格(ポンド/kg MOX)、横軸がモデルケースに対する契約量の割合である。

[第 3.1 図] 損益分岐点を越えるために必要なMOX燃料価格と契約量の割合



SMPの経済性に関してFOEの報告書が算出したものと、1998年にPAC社が算出したものとは結果が大きく異なる。PAC社の評価が非常に肯定的であったのに対し、FOEの報告書は、建設費用を抜きにして考えたとしても、SMPが利益を出す可能性は低いとした。そして、両者の差異があまりに大きいため、政府はこれを見過ごすことはできず、現時点ではSMPのプルトニウム試験を認めるべきではないと結論したという。

f. SMPでの固化処理オプション (2001年4月)

前項でFOEのために調査を行った英国の独立系コンサルタントのサドニキ氏とバーカー氏は2001年4月20日、プルトニウムの処理・処分オプションの経済性を比較した「英国における民生プルトニウムの処分」と題する242頁から成る報告書を発表した。両氏は放射性廃棄物管理委員会(RWMAC)のメンバーであるが、米マッカーサー基金の下に、個人的見解としてこの報告書を作成したという。

同報告書によると、106トンと予測されている将来の英国のプルトニウム在庫は、MOX燃料としてブリティッシュ・エナジー社のサイズウェル発電所B号機（PWR）とその他4つの原子炉で燃焼するより、セラミック固化処理した方が25%ほどコスト安であるという。固化処理のコストが15億ポンド（2,700億円）にあるのに対して、原子炉での燃焼オプションのコストは20億ポンド（3,600億円）と見積もられた。また、SMPのプルトニウム固化処理施設への改造は低コストで実施できるという。

この報告書が発表されたのは、米エネルギー省（DOE）がサウスカロライナのサバンナリバーサイトにおける固化処理施設の建設計画を予算制限のために中止すると公表した後で、両氏は、「莫大なコストがかかる処理施設（即ちSMP）を既に建設済みであるという点において、英国は米国やロシアに比べて有利である」とし、SMPをプルトニウム固化処理施設として利用することのメリットを早急に評価するよう政府に求めた。

両氏は更に、BNFLに対して、分離プルトニウムの固化処理サービスを海外顧客に提供すること、およびSMPをMOX燃料加工と固化処理の両方の施設として利用することが可能であることも併せて提案した。

g. 第4回と第5回のパブリックコンサルテーション（2001年3月～8月）

SMPの運転を許可するかどうかに関する4回目のパブリック・コンサルテーションは2001年3月28日に開始され5月23日に終了したが、そのわずか約1ヶ月後の6月21日に、第4回パブリック・コンサルテーション終了時には完成していなかったSMPの経済性評価報告書を公開し、8月24日まで公衆の意見を求めることになった。

7月27日に公表された同報告書は、アーサー・ディー・リトル（ADL）社が環境省の依頼で作成したものであるが、公表されたものは商業上の機密事項が削除されていた。

この背景には、地球の友（FOE）が5月24日にロンドン高等裁判所にSMPの経済性をレビューするよう訴えたことがある。更にFOEは、ADL社に委託されていたSMPの経済性評価の結果を、公開審議の対象外とした関係大臣の決定の合法性についても非難し、大臣が決定を下すのに参考にするであろう重要な情報を公衆が得ることができないのは不公平であると主張した。

h. SMPの運開承認（2001年10月）

政府は5回のパブリック・コンサルテーションの後、2001年10月3日にSMPの運開を承認した。ベケット環境相とミルバーン保健相は、これまでのコンサルテーションやSMPの経済性評価を委託していたADL社の報告書、その他SMPに関して提出された意見書を含む全ての関連する情報を参考に、環境、安全とセキュリティー、および経済性に関して検討した結果、放射性物質の排出を伴うSMPの全ての活動は、その活動がもたらす利益が諸処の不利益を上まわなければならないとする欧州共同体法のユートラム指令に基づき、正当化されると結論付けた。その後、保健安全執行部（HSE）から12月19日にSMPのプルトニウム試験許可が発給され、BNFLは翌日の12月20日からプルトニウム試験を開始した。

ADL社の報告書は政府の決定に大きく影響したと思われる。政府は報告書の中で、SMPの運開により1億5,900万ポンド（286億2,000万円）の利益が得られる一方、SMPを運開しなかった場合においては5,800万ポンド（104億4,000万円）の損失を被り、控えめに評価しても、SMPを運開したならば、SMPを運開しなかった場合に比べて2億1,600万ポンド（388億8,000万円）の利益をもたらすというADL社の結論を引用している。このADL社の評価は、MOX燃料の輸送スケジュールの遅れ、契約の喪失などの諸処の悪条件を考慮したダウンサイド・シナリオを想定したものであるが、両相は、MOX燃料加工の競合会社における問題の発生などのSMPに利益をもたらすような好条件が考慮されていないことを指摘している。また、海外の顧客にインタビューした結果、MOX燃料加工を求める強い希望があるとするADL社の結論を受け入れるとしている。

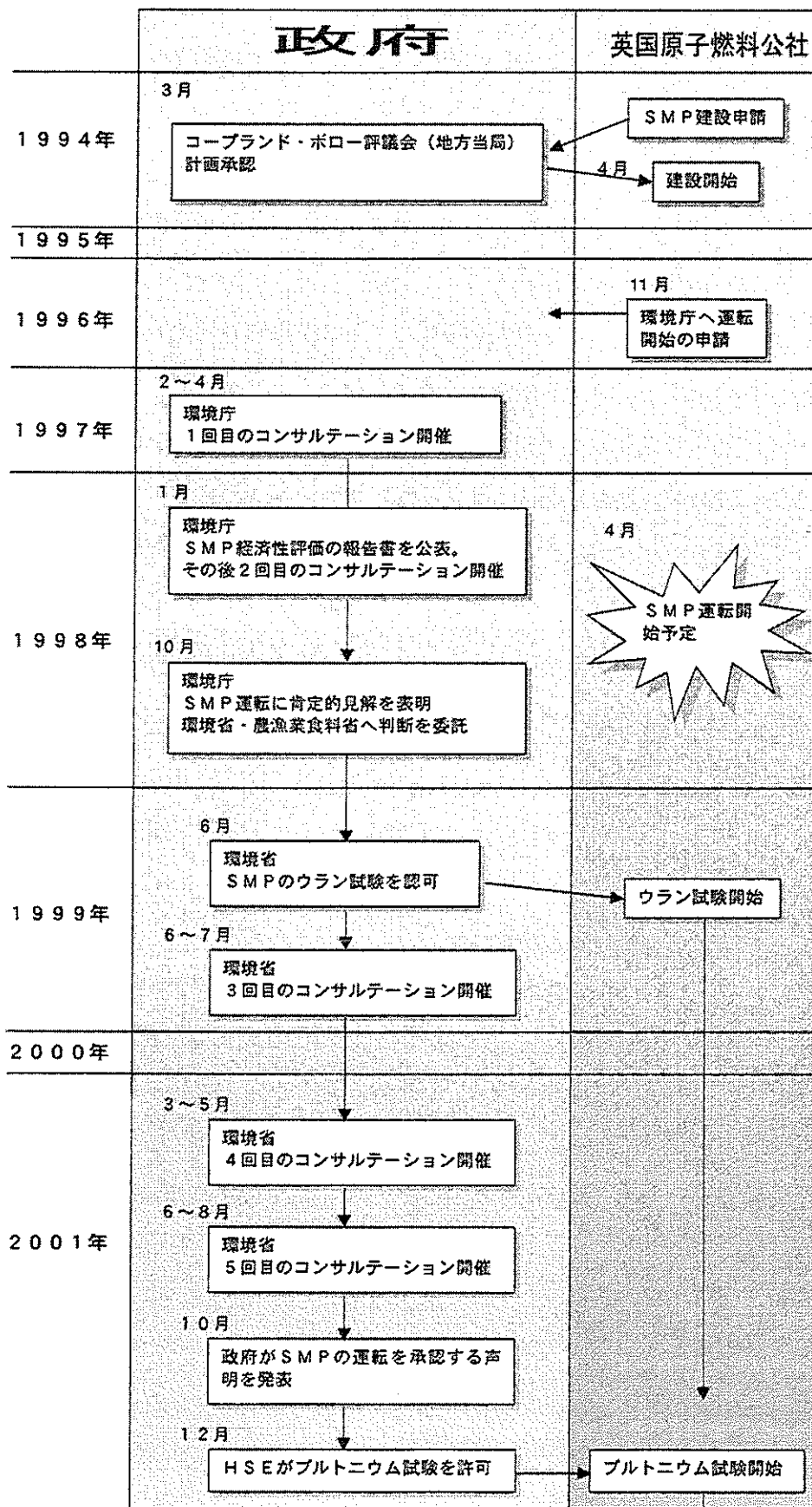
その他、2001年5月のBNFLがドイツとスウェーデン向けのMOX燃料仮契約を結んで、SMPの損益分岐点を越えたことも、政府がSMPの運開を承認する上で有利に働いたと考えられる。

この政府の決定に対して、アイルランド、ノルウェー、その他環境保護団体のグリーンピースやFOEは一斉に反発した。特にアイルランドは、セラフィールド・サイトからアイリッシュ海への放射性物質の放出に対する危険性を指摘し、その閉鎖を同サイトの運開以来要請してきた。政府の決定の後、アイルランドは国際海洋法裁判所（ハンブルグ）に対して、SMPの運開は近隣の海洋環境に悪影響を与える可能性がある以外に、9月に米国でテロ攻撃が起きたことを挙げて、SMPからの放射性物質の輸送は潜在的なリスクが伴うとして、SMP運開の中止命令を求めていた。しかし、同裁判所は2001年12月3日、その要求を退けた。

また、グリーンピースとFOEは、政府はSMPの経済性評価を歪めているとして、高等法院にSMP運開中止を求めていたが、2001年11月15日、同院はその訴えを棄却した。

その後、アイルランド政府はオスロ・パリ条約（OSPAR）へ採決を求めた。一方、グリーンピースとFOEは控訴院に控訴を行ったが、12月7日に却下された。[第3.2図]にSMP運開に関するこれまでの経緯をまとめた。

[第3.2図] SMP運転に関するこれまでの経緯



(2) MOX実施施設 (MDF) におけるデータ偽造スキャンダル (1999~2000年)

1999年9月14日付けの英インディペンデント紙はBNFLのMOX実証施設 (MDF) においてMOX燃料の検査データが偽造されていたことを伝えた。BNFLは今回の事件に関わった3名の作業者を解雇したことを明らかにし、データ偽造が独自の調査で判明したことを強調した。問題となった燃料も数多くの品質検査によって規格内であることが保証されており、安全性に全く問題はないと述べた。

BNFLの発表では、既に関西電力へ輸送された高浜発電所4号機用の燃料についてはデータに問題はなく、加工中の第2弾の同発電所3号機向けMOX燃料の抜き取り検査のデータに問題があったということであったが、後日、4号機用燃料にもデータ偽造があったことが明らかになり、関西電力では2000年1月19日、BNFLとのMOX燃料加工契約、再処理契約を問題が解決されるまで「指名停止」するという措置を採った。また、天然ウラン転換契約も4カ月間の「指名停止」となった。

関西電力は高浜発電所3、4号機でMOX燃料を使用する予定であり、両機では最初に8体のMOX燃料を使用し、実績を積み重ねて徐々に本数を増やしていく計画であったが、同計画は期日を設定せず延期されることになった。

政府の保健安全執行部 (HSE) の下部組織である原子力施設検査局 (NII) は1999年9月にBNFLから検査データの偽造の報告を受けて以来、同社とともに事態の発生原因の解明に取り組んできが、2000年2月、HSEはNIIの調査結果をとりまとめた報告書^(注12)を発表した。同時にセラフィールドにおけるBNFLのサイト管理状況に関する報告書^(注13)も発表された。

^(注12) “An Investigation into the Falsification of Pellet Diameter Data in the MOX Demonstration Facility at the BNFL Sellafield Site and the Effect of this on the Safety of MOX Fuel in Use”, HSE, 2000.2.18.

^(注13) “HSE Team Inspection of the Control and Supervision of Operations at BNFL’s Sellafield Site”, HSE, 2000.2.18.

a. 保健安全執行部（HSE）／原子力施設検査局（NII）の報告書

検査データが偽造されているのではないかとの疑惑が最初に持ち上がったのは1999年8月20日のことであったという。MDFの品質保証チームが異なるロットで検査値が酷似していることに気づき、詳細に比較したところ、過去の検査値がそのままコピーされていたのであった。9月10日に事態の報告を受けたNIIは直ちにMDFの運転中止を指示し、データが偽造された燃料の特定とその原因の調査を開始した。

NIIの調査と並行してBNFLも独自の調査を開始した。同社の調査報告書^(注14)もNIIの報告書と同時期に発表され、その中で検査作業員によってデータが偽造されていたことを認めた。また、BNFLの報告書は、1999年9月7日の検査においてMOX燃料2ロット中に小さなネジや何らかの物質片が発見されていた事実を明らかにした。しかし、それらのロットは寸法も規格外であり、直ちに不良品として除外されたという。

NIIとBNFLはともに、作業員が悪意で検査データを偽造したとは考えておらず、燃料の直径測定という極めて単純な作業が偽造を引き起こしたと結論付けている。しかし、NIIの報告書はデータ偽造が1996年から実施されていたことを明らかにしており、これまで事態が発覚しなかったことも考慮すると、BNFLの作業管理体制に重大な欠陥があったことが如実に表れている。NIIの報告書の要点は以下の通りである。

- ・ BNFLには、作業員に検査データの偽造を許してしまうような組織的な欠陥が存在していた。
- ・ 人間工学的な配慮が欠如した施設設計、単純な作業および容易に機械的データ記録システムを変更できたこともデータ偽造の原因と考えられる。
- ・ 検査データが偽造された燃料の安全性に問題はない。

^(注14) “A Review of MOX Demonstration Facility Secondary Quality Control Data Falsification Issue”, BNFL, 2000.2.18.

燃料の安全性に関して、NIIは以下の3つの理由を挙げて、データが偽造された燃料を原子炉で使用することに問題はないと結論付けた。

- ① MDFの施設および燃料製造プロセスを調査した結果、データが偽造された燃料は通常要求される品質を保持しており、原子炉での使用に耐えうる。
- ② 当該燃料はX線検査を受けており（顧客も確認している）、物理的な不具合があれば、その時点で除外されている。
- ③ 当該燃料がレーザー測定器による寸法検査を受けていることは確かであり、また、これ以外にも寸法不具合の燃料が除去される仕組みがいくつか設定されていることを考慮すると、燃料の安全性に問題はないと確信する。

次に、一連のスキャンダルはセラフィールドにおけるBNFLのサイト管理に問題があると考えられ、セラフィールドのサイト管理状況に関する調査も実施された。同調査に関する報告書の要点は以下の通りである。

- ・セラフィールドには安全管理が容易でない複雑な施設が集中しているにも関わらず、サイト全体をカバーする高品位の安全管理システムに欠けている。
- ・セラフィールドは既存の安全管理システムを運用するのに十分な資源に欠けている。
- ・社内に効果的な監査システムが存在しない。

この他、報告書では28項目に及ぶ改善点が勧告された。

b. BNFLの対応

BNFLは4月18日、MOXスキャンダルによって失われた顧客の信頼を回復するために、経営幹部9名の更迭を含む抜本的な組織改革に着手することを発表した。更迭の対象になったのは、保健・安全・環境担当役員、人事担当役員、財務担当役員および6名の非常任役員全員であ

った。また、BNFLは同日、HSEが作成した2つの報告書への回答となる2つの対策報告書^(注15)を発表した。

c. MOX燃料の検査データ偽造に関するBNFLの対策

データ偽造の直接的な原因となった、データの手計測と計測値の手入力という単純作業については、計測の自動化および計測値のコンピュータへの自動入力化が進められ、事態の再発が防止されることとなった。偽造に関与した作業員に対しては、既に、解雇を含めた懲戒処分が下されている。また、偽造を黙認していたと見られる数名の現場監督者はMOX燃料関連業務および安全管理業務から外され、再訓練を受けている。

組織の見直しの一環として、安全、品質、運転管理などの重要な部門の作業員の資質テストも実施され、基準を満たした者だけが継続してそれらの職場で勤務することになった。また、より独立した品質管理が実施されるよう、担当部門の組織改編も実施された。

d. セラフィールド・サイトの管理体制に関するBNFLの対策

BNFLは管理体制の強化のために抜本的な組織改革に取り組み、現行のBNFLの組織では、施設の運転管理責任が複数のライン・業務管理者間にまたがっているのを一本化し、責任の所在を明確にすることを示した。この目的の下に、燃料製造・原子炉サービス、マグノックス発電事業、使用済燃料管理事業、廃止措置事業の4つの業務グループの責任者が任命されることになった。

2000年7月になって、BNFLは関西電力へ納入したMOX燃料の引き取りと補償金の支払で関西電力と合意し、BNFLとの取引禁止が解かれた。このことは、SMP運開にとっては

^(注15) “Rebuilding Trust, BNFL’s response to NII’s recommendations included in the report on data falsification in MDF”, BNFL, April 2000.
“Going forward safely, BNFL’s response to the HSE team inspection report on the control and supervision of operation at Sellafield”, BNFL, April 2000.

肯定的な要素となる。

e. HSEの監査報告（中間報告）（2001年2月）

HSE/NIIの勧告を受けて以来BNFLは、業務責任者の訓練・配置転換・再教育といったHSEが求めた抜本的な組織改革を行うなど、MDFに対する全ての勧告の対応策を実施し、完了した。NIIの主席検査官によれば、すべての勧告はNII、BNFLの両方にとって非常に厳しいもので、BNFLが各々の勧告の対応策の立案・実施をし、HSEがそれを承認するという過程において、強制力があり透明性のある方法を適用した。2000年12月、HSEはこのBNFLの対応策の実施内容を承認したことをBNFLに伝えている。HSE/NII勧告とBNFLの実施した対策を〔第3.4表〕に一覧する。

〔第3.4表〕 検査データ偽造に対するBNFLの対策

No.	HSEの勧告の要旨	BNFLの対策 ^(注) の要旨
1	抜き出し検査の自動化	・自動検査器の導入 ・試験運用
2	レーザー測定の簡素化	・検査ジグの改善 ・測定の監視システムの構築
3	検査データが保存されるコンピュータのセキュリティを強化する	・新しいソフトの導入 ・セキュリティ評価
4	データ偽造に関わった作業者の処分	・該当者の特定と懲戒処分 ・処分対象者の再訓練
5	データ偽造を黙認していた作業者の処分	・該当者の特定と職務の解任 ・該当者の再訓練
6	他のMDF従事者の再訓練	・再訓練計画の策定 ・MDFの運転再開に向けた訓練とその評価 ・不適格者の再々訓練
7	品質管理体制の改善	・品質管理者の再訓練 ・MOX燃料事業部の品質管理責任者の選任
8	チームリーダーの役割の見直し	・リーダーの責任の明確化とその理解
9	偽造を黙認していた監督者の処分	・該当者の特定と処分
10	他部署のチームリーダーの再訓練	・再訓練の実施
11	過去のプラント責任者の役割の確認	・過去の責任者の評価 ・改善点の抽出
12	MDFの管理体制の見直し	・現在の責任者へのインタビュー ・必要であれば責任者の交代等の処分
13	責任者育成のための教育	・現在の責任者の負荷を評価 ・全ての責任者にその責任を理解させる
14	MDFで発生したことがサイト全体に与える影響の把握	・サイト全体への影響の把握 ・HSEへの報告
15	経営幹部がMDFの事態を放置していた理由の把握と再発防止策の報告	・経営体制の改善とHSEへの報告 ・サイト全体の管理体制の再定義

【出典】“Rebuilding Trust, BNFL’s response to NII’s recommendations included in the report on data falsification in MDF”, BNFL, April 2000; “Progress on BNFL’s Response to Three Reports Issued by HSE on 18 February 2000”, HSE, February 2001.

HSEが最重要事項として据えた項目は、組織と管理に関するBNFLの対策であった。これは、勧告ナンバー15の、なぜBNFLの上層部の管理下でこのような事態が発生することになってしまったかということに対するもので、データ偽造の事態が発生することになった根本的な原因を特定するのに必要不可欠なものである。そこでNIIは、MDFの管理責任を負う上層部、また管理責任を負わないもののMDFの作業に関与した管理者に対して、この事件の根本的な原因は何か、それらを解決するために何をしてきたか、事態の再発を防ぐために何を提案したか、徹底的に追求した。

これに対しHSEは、BNFLが根本的な原因を特定し解決するために、かなりの努力を行ったと評価している。HSEの中間報告書によると事故の再発を防止するためにBNFLが実施した対応は以下の通りである。

- ・セラフィールド・サイトにおける組織改革
- ・“作業の遵守と品質”に重点を置く
- ・燃料製造の知識のある優秀なスタッフを起用する
- ・MDFをこれ以上MOX燃料の生産施設として使わない
- ・最高経営責任者による透明性の強化

最も注目すべきことは、BNFLがMDFをMOX燃料の生産施設として使用せず、開発・支援目的のみに使用することを決定し、運転再開前に安全解析書を提出することが義務付けられたことである。

1. 4 ベルギー

1. 4. 1 プルトニウム利用政策

1970年代初めから1980年代後半にかけて、政府（キリスト教社会党政権）は産業界に対して、バックエンドの方策として再処理－リサイクル・オプションを採用するよう要請し、シナトム社は、仏核燃料公社（COGEMA）といくつかの再処理契約を締結した。しかし、政府が1988年12月に、同国8番目の原子力発電所として建設を予定されていたドール5号機の開発計画を放棄して以来、新規原子力発電所の建設予定はなく、もし原子力発電が最終的に拡張されないということになれば、原子炉の供用期間の後期に排出された使用済燃料から回収されたプルトニウムはリサイクルできないことになる。原子力発電開発をめぐるこの政治的不確実性が、MOX燃料利用に関するベルギーの将来の情勢を左右する主要因となっている。

その後、1990年に政府は議会からの要請の下、使用済燃料管理政策を多角的に再検討することが開始された。1993年に政府は、現行の再処理－リサイクル・オプションが非リサイクル・オプションよりも経済的であることを再確認し^(注16)、これを議会へ報告した。そして、議会での討議の結果、以下の事項が決定された。

- ① 1978年の再処理契約から生じるプルトニウムはMOX燃料としてリサイクルする
- ② 2000年以降の新たな再処理契約は保留する
- ③ 1998年頃に再び議会でバックエンド政策を再検討する
- ④ 直接処分オプションの可能性についても検討し、5年以内に再処理と同程度の知識を蓄える

以上の議会での決定を受け、シナトム社の現在のバックエンドに対する戦略は、再処理にも直接処分にも固執しない中立的なものとなっている。以下にシナトム社の戦略をまとめる。

^(注16) 非プルトニウム・リサイクルでは20億～50億ベルギー・フランの追加コストが必要になる。

- ① 発電所サイトでの使用済燃料貯蔵（乾式およびプール）容量を確保する
- ② 1978年の再処理契約を履行する
- ③ 2基の原子炉でMOX燃料をリサイクルし、プルトニウムの余剰を避ける
- ④ 2000年以降のオプションについてはオープンにしておく
 - ・再処理業者との交渉を維持する
 - ・直接処分オプションを評価

シナトム社は、議会および政府の指示に従い、2つのバックエンド・オプションの広範なレビューを行った。

シナトム社は、エンジニアリング会社のトラクトベル社とベルゴニュークリア社に対し、使用済燃料コンテナの開発、適切な封入プロセスのフィージビリティ・スタディの実施、使用済燃料処理プラントの基本設計研究を委託した。一方、直接処分という代替案が検討されることになったため、再処理が延期され、廃止となる可能性も出てきた。これによって、ドールとチアンジュの使用済燃料中間貯蔵容量が拡張されることとなった。

直接処分オプションの実現可能性と設計に関する研究は1994年半ばに開始され、予定通り1997年末までに終了した。直接処分関連の分析及び試験結果等は、数人の海外の専門家（ドイツの原子力サービス社〔GNS〕、スウェーデンの核燃料・廃棄物管理機関〔SKB〕及び英国のEWE社）に提出され、専門家からは、包括的かつ詳細な予備設計における問題の体系的かつ具体的なアプローチについて、肯定的な助言が得られた。

ベルギーにおけるMOX燃料及び回収ウラン濃縮（ERU）燃料の装荷は2002年まで継続される見込みであり、その時までには、回収可能な全ての放射性物質はリサイクルされている。その後のMOX燃料とERU燃料の装荷についてはまだ検討中であるが、その決定は、技術的な要因というよりも、規制環境、政治的なアクセプタンス、経済性、世界におけるバックエンドの方向性に依存するところが大いと考えられる。

(1) フェルホフシュタット新政権の脱原子力政策（1997年～）

原子力開発が積極的に進められてきたベルギーで1999年7月、原子力発電からの撤退を掲げるフェルホフシュタット政権（自由主義系、社会主義系、環境保護系の6政党の連立）が発足した。新政府の脱原子力政策は、新規原子力発電所の建設と再処理を凍結し、さらに既存の原子力発電所を運開後40年で廃止するというものである。新政権は脱原子力政策の一環として再処理とMOXリサイクルの凍結を公約していることから、ベルギーにおけるMOXリサイクルの先行きは不透明さを増している。

前政権が設置した“発電方法の分析とエネルギー再評価に関する委員会”（通称アンペール委員会）は2000年12月に、化石燃料の価格不安定性と地球温暖化防止の観点から原子力オプションを維持し、資源節約と放射性物質の削減効果を有する再処理およびプルトニウム・リサイクルの中止決定を再検討すべきであるとの報告書を政府に提出した。アンペール委員会の報告書は政府任命の国際ピアレビュー・グループやドイツのヴッパータール気候・環境・エネルギー研究所の評価に委ねられ、これらの評価報告書は2001年4月に発表された。ベルギー政府はアンペール委員会の報告書やその評価結果を検討したうえで、今後の原子力政策について最終的な結論を出す方針であったが、2001年10月9日、オリヴィエ・ドゥールズ・エネルギー大臣は原子力発電所からの撤退を確認する旨のプレスリリースを発表し、当初の政府内の合意通り、原子炉を運開後40年で閉鎖することを明示した。12月7日には閣議で脱原子力法案が承認され、2002年に国会に提出される予定である。

ベルギーは、2001年以降の仏核燃料公社（COGEMA）との再処理契約を全てキャンセルしたが、これまでの再処理で発生した高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を引き取り、デッセルにあるベルゴプロセス社の中間貯蔵施設で約50年間貯蔵する予定である。原子力からの撤退を掲げるフェルホフシュタット政権は、放射性廃棄物を既存の原子力施設サイトで管理する方針を確認しているだけで、具体的なバックエンド計画を打ち出していない。しかし、ベルギーが脱原子力政策を進めていくうえで、バックエンド問題の解決は不可欠である。

1. 4. 2 プルトニウム・リサイクルの現状

ベルギーのエレクトラベル社は7基のPWRを運転しており、国内の電力供給の約55%は原子力発電で賄われている。7基の内の3基（ドール1、2号機、チアンジュ1号機）の運転当初から1990年までに排出された使用済燃料は再処理されており、回収されたプルトニウムの一部は高速増殖炉プログラムで利用された。

現行のシナトム社とCOGEMAとの間の再処理契約の下、1990～2000年の間に約4.7トンのプルトニウムが回収される予定である。MOX燃料装荷許可を取得しているチアンジュ2号機（97万kW）とドール3号機（102万kW）は、1995年3月にチアンジュ2号機に8体のMOX燃料集合体が初めて装荷され、同年5月にはドール3号機へも8体のMOX燃料が初めて装荷された。チアンジュ2号機とドール3号機におけるMOX燃料の装荷実績を〔第4.1表〕に示す。

〔第4.1表〕チアンジュ2号機とドール3号機のMOX燃料装荷実績

年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
チアンジュ2号機 運転サイクル：15カ月 炉心集合体数：合計157体	8	12	12	8	0	8	0
ドール3号機 運転サイクル：12カ月 炉心集合体数：合計157体	8	8	8	8	8	8	8

（注）新燃料の装荷実績であり、再装荷された燃料は含まれない。

MOX燃料リサイクルの具体的なプログラム方針は、回収プルトニウム在庫量と国内のMOX燃料加工設備容量に鑑みて、以下のような検討に基づいて立てられている。

- ① チアンジュ2号機とドール3号機は共に、フラマトム社製90万kW PWRであり、現在プルトニウム・リサイクルが実施されているフランスのPWRと同じ設計である。
- ② 炉心への影響を少なくするために、MOX燃料集合体の炉心装荷率を約20%と低く抑える。そのために、MOX燃料のリサイクルは2基の原子炉で行う。

- ③ 2基の原子炉の運転計画（ UO_2 燃料の濃縮度、サイクル・レングス等）が違っていても、MOX燃料集合体の設計は一種類とし、どちらの原子炉でも受け入れ可能なものとする。
- ④ MOX燃料集合体の燃焼度は、 UO_2 燃料と同一の45,000MWd/tとする。この燃焼度は、フランスやドイツで現在実施されているMOX燃料燃焼度よりも高い。
- ⑤ 被曝低減や核物質防護の観点から、搬入されたMOX燃料集合体は、（乾式の貯蔵区域ではなく）プールへ直接、貯蔵する。

高燃焼度化の方針に基づき、MOX燃料集合体のプルトニウム富化度は、濃縮度3.8%の UO_2 燃料と同じサイクル・レングスと反応度の下、等価なエネルギーが得られるように設定された。その結果、全プルトニウム富化度は6.7%・Pu tot.、核分裂性プルトニウム富化度は約5%・Pu fiss.とされた。ベルギーは、MOX燃料リサイクルを商業的に行うに際し、過去のBR3で実施された高燃焼度（65,000MWd/t）の経験をもとに、当初から高燃焼度戦略を採用した。MOX燃料棒と集合体は、フラジェマ社/FBFC社/ベルゴニュークリア社の連携の下に供給されている。

燃料集合体は、異なったプルトニウム富化度毎に3つの領域に分けられた。また、MOX燃料集合体と UO_2 燃料集合体の境界部分における出力ピークを制御するために、MOX燃料集合体の周辺部の燃料棒のプルトニウム富化度は低く設定されている。

MOX燃料の炉心管理については、ドール3号機ではサイクル・レングスはフランスと同様、12カ月であるが、チアンジュ2号機のサイクル・レングスは約15カ月で、1サイクル当たりの燃焼度が高くなっている。

両機の炉心には、17×17型（長さ12フィート）の同一の集合体が157体装荷されるが、炉心管理方法は以下のように異なっている。

ドール3号機

- ・サイクルレングス=12カ月
- ・1/4炉心燃料交換
- ・低中性子漏洩交換パターン

チアンジュ2号機

- ・サイクルレングス=15カ月
- ・1/3炉心燃料交換
- ・低中性子漏洩交換パターン
- ・UO₂新燃料集合体は中性子毒 (Gd₂O₃) を用いて出力分布を平均化し、負の減速材温度係数を確保するが、MOX燃料集合体については、中性子毒の必要のない炉心配置となっていることから中性子毒は用いられない。

炉心におけるMOX燃料集合体の配置は、以下の原則に基づいて決められる。

- ① 停止裕度の低下を避けるために、制御棒に近いところにMOX燃料集合体は配置しない。
- ② MOX燃料の出力を測定するために、各サイクルにおいては、少なくとも1体のMOX燃料集合体を計測可能な位置に置く。
- ③ 出力分布異常を是正するための十分な裕度を保つために、第1サイクルのMOX燃料集合体は、余りホットな位置に置かない。

1. 4. 3 MOX燃料加工の現状

1973年からMOX燃料加工を開始したベルゴニュークリア (BN) 社のデッセルプラントは1986年からMIMASプロセスを導入し、同年から2001年末中頃現在までに468.9トンのMIMAS・MOX燃料 (このうち、PWR集合体は916体、BWR集合体は336体) を生産した。消費されたプルトニウムは27トンに上る。現在のプラントの公称能力は35トン/年だが、許認可上は40トン/年を取得しており、許認可限度一杯までの生産を目指している。各年毎の生産量は、①キャンペーン数 (燃料型式と仕様によってキャンペーンを変える)、②パラメータ数 (例えば、プルトニウム富化度で、一般的にはPWRの場合には3種類であるが、最大6種類の場合

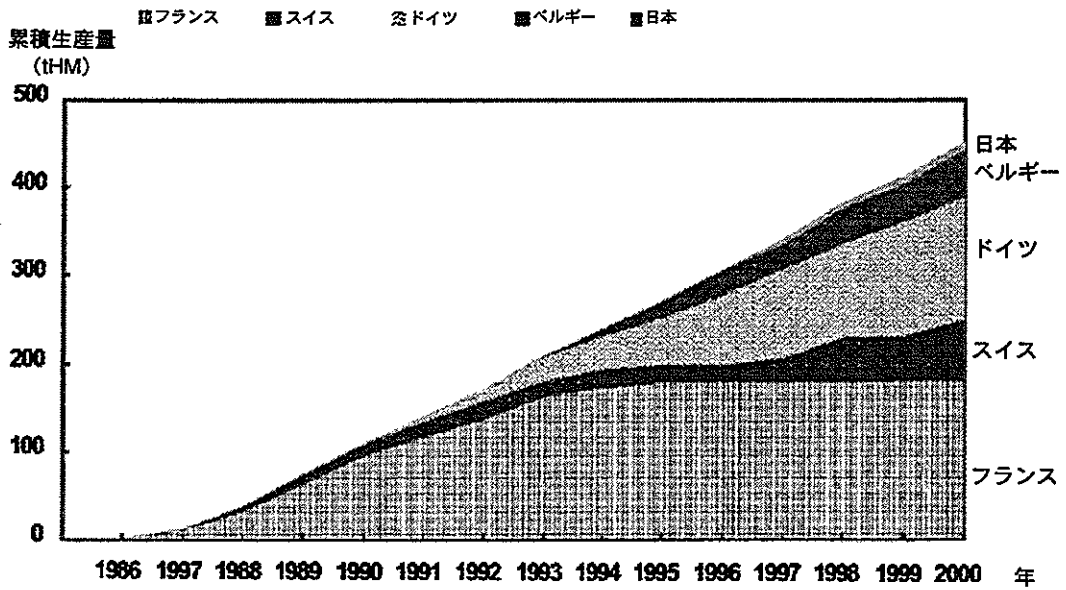
もある)、③技術的要因(顧客の特別な要件)といった要因に依存している。1986年以降、BN社は主に、フランス、スイス、ドイツ、ベルギーおよび日本に対して以下のようにサービスを提供してきた。

- ① フランス(EDF向け17×17型PWR燃料)
- ② ドイツ(16×16型PWR用[ブロックドルフ、ウンターペーザー、グラーフエンラインフェルト、フィリップスブルク]、9×9型BWR用[グンドレミンゲン])
- ③ スイス(14×14型PWR用[ベツナウ1]、15×15型PWR用[ゲスゲン])
- ④ ベルギー(17×17型PWR用[ドール3、チアンジュ2])
- ⑤ 日本(東京電力向け8×8型BWR燃料[福島第一3号機、柏崎刈羽3号機])

[第4.2表]と[第4.1~4.3図]にMOX加工実績、[第4.3表]に納入先一覧を示す。

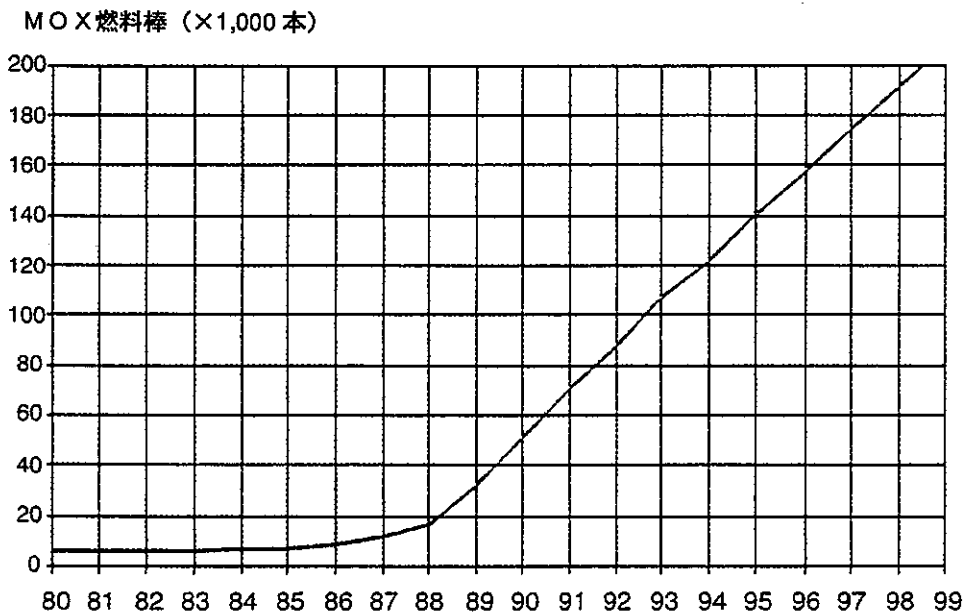
[第4.2表] MIMASプロセスによる炉型毎のMOX燃料加工実績(2001年7月現在)

炉型	集合体型式	燃料棒数	集合体数	tHM
PWR	15×15/SS304 clad	3,216	16	4.7
PWR	17×17/3 cycles Zr4	100,320	380	176.0
PWR	17×17/4 cycles/Zr4	31,680	120	54.7
PWR	14×14Zr4 or Zr4 Duplex	17,184	96	31.6
PWR	15×15/Zr4 Duplex	17,952	88	37.6
PWR	16×16/Zr4 or Zr4 Duplex	42,688	184	97.8
PWR	18×18 Zr4 Duplex	9,472	32	17.0
合計		222,512	916	419.4
BWR	8×8	2,752	60	7.5
BWR	9×9	8,419	124	18.5
BWR	10×10	12,312	152	23.5
合計		23,483	336	49.5
総計		245,995	1,252	468.9



[第 4.1 図] ベルゴニュークリア社の供給国毎の MIMAS プロセスによる MOX 燃料の累積加工実績 (1986~2000年)

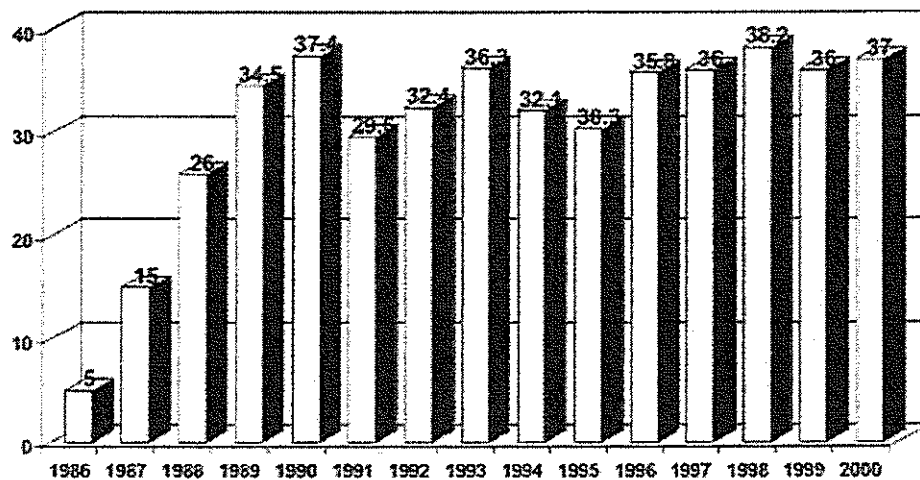
出典 : P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.



燃料棒数 :	200,270 本	194,922 本 (MIMAS プロセス)
tHM :	375	366 (MIMAS プロセス)
集合体数 :	1,160 体	979 体 (MIMAS プロセス)

[第 4.2 図] ベルゴニュークリア社のデッセル MOX 燃料加工プラントにおける加工実績 (1998年中頃現在)

年間生産量 (tHM)



[第 4.3 図] ベルゴニュークリア社のMOX燃料の年間加工実績
(1986~2000年)

出典 : P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

[第4.3表] ベルゴニュークリア社製MOX燃料の納入先一覧
(1987～2001年)

納入年	納入先	国	年間納入回数
1987	EDF	フランス	1
	CNA SENA 社	フランス	2
1988	EDF	フランス	2
	ベツナウ 1	スイス	1
1989	EDF	フランス	4
	ベツナウ 1	スイス	1
1990	EDF	フランス	4
	ベツナウ 1	スイス	1
1991	EDF	フランス	4
1992	EDF	フランス	2
	ベツナウ 1	スイス	2
	ウンターベーザー	ドイツ	1
1993	EDF	フランス	2
	グラーフエンラインフェルト	ドイツ	1
	フィリップスブルク	ドイツ	1
1994	EDF	フランス	5
	ブロックドルフ	ドイツ	1
	エレクトラベル社	ベルギー	2
1995	グンドレミンゲンB	ドイツ	1
	グンドレミンゲンC	ドイツ	1
	エレクトラベル社	ベルギー	2
1996	ブロックドルフ	ドイツ	1
	フィリップスブルク	ドイツ	1
	エレクトラベル社	ベルギー	1
1997	ゲスゲン	スイス	1
	エレクトラベル社	ベルギー	1
	グンドレミンゲンB	ドイツ	1
	グンドレミンゲンC	ドイツ	1
1998	東京電力	日本	1
	ブロックドルフ	ドイツ	1
	エレクトラベル社	ベルギー	2
	ゲスゲン	スイス	1
	ベツナウ 1+2	スイス	2
1999	東京電力	日本	1
	ブロックドルフ	ドイツ	1
	グンドレミンゲンB	ドイツ	1
	グンドレミンゲンC	ドイツ	1
	ウンターベーザー	ドイツ	1
2000	エレクトラベル社	ベルギー	1
	ゲスゲン	スイス	1
	グンドレミンゲンB	ドイツ	1
	ゲスゲン	スイス	1
2001	イーザル 2	ドイツ	1
合計			65 回

出典：ベルゴニュークリア社資料, 2001.08.

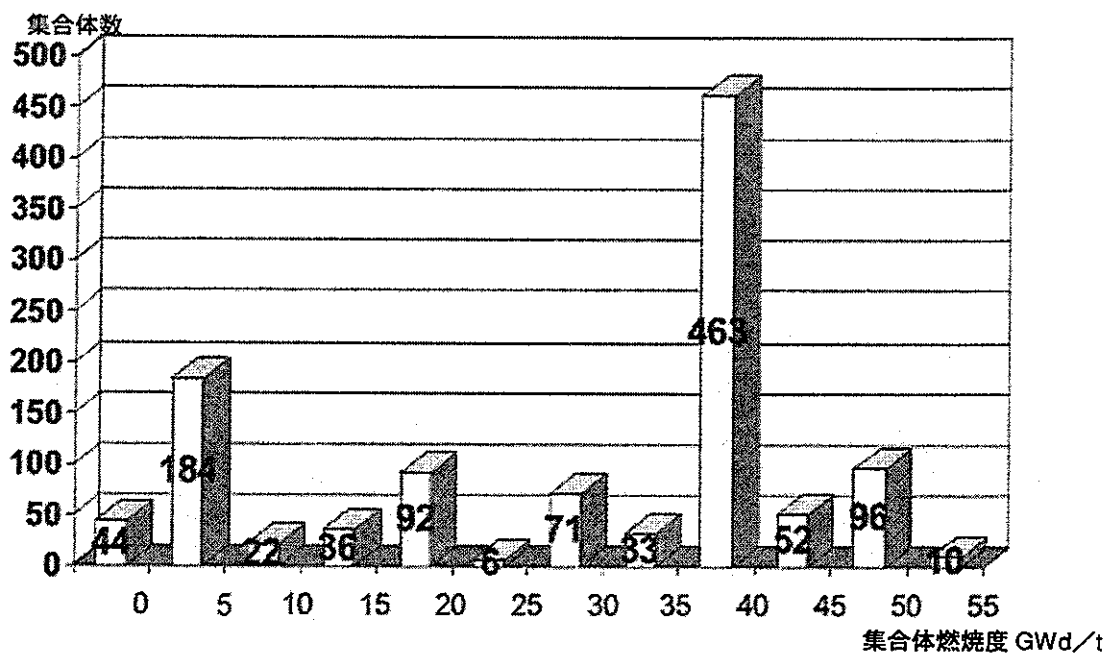
2000年末現在、BN社のデッセル・プラントで加工可能なMOX燃料の仕様は以下の通りである

[第4.4表] MIMASプロセスによるMOX燃料加工（試験済）の仕様

項目	仕様
MOX燃料設計（認定企業）	BN社、フラジェマ社、シーメンス社、東芝/日立/JNF社
MOX燃料加工キャンペーン規模	4～29tHM/キャンペーン
キャンペーン毎のPu富化度の種類	3～6種類/キャンペーン
ペレット中のPu total 富化度	最大8.8%（試験時には14.4%を実証）
スクラップのリサイクル	主混合で最大76%（プルトニウムの最大25%がスクラップとしてリサイクルされる）
Am含有量	最大20,000ppm（いくつかのロットでは最大25,000ppm）
主混合でのPu total 富化度	25～35%（45%のケースが1例有）
UO ₂ 原料	AUCまたはTU2による転換 劣化ウランまたは天然ウラン
PuO ₂ 原料	COGEMA、BNFLから供給
被覆管材料	SS304、Zr4、Zr4duplex、Zr2、Zr2/Zr liner、Zr2/Fe doped liner

出典：P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

今日までに、19基の軽水炉（17PWR、2BWR）でBN社が供給したMIMAS・MOX燃料が商業的に装荷されている。MOX燃料の現在の燃焼度性能はUO₂燃料に匹敵し、48,000MWd/t以上の燃焼度のMOX燃料の排出が増加している。現在までに達成された最高燃焼度は、スイスのベツナウ1号機（6サイクル後）における集合体平均燃焼度：51,000MWd/t、ペレットのピーク燃焼度：60,000MWd/tであった。[第4.4図] および [第4.5表] に、2000年10月現在のMIMAS・MOX燃料の燃焼度実績、およびその各国毎の比較を示す。



[第 4.4 図] MIMAS・MOX燃料の燃焼度実績
(2000年10月現在)

出典：P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

[第 4.5 表] MIMAS・MOX燃料集合体の各国軽水炉において
商業的に達成された燃焼度実績 (2001年9月現在)

サイクル数	集合体数				
6				1 (51 GWd/t)	4 (58 GWd/t)
5		1 (53 GWd/t)	4 (49 GWd/t)	17	24
4		3 (44 GWd/t)	60 (48 GWd/t)	50 (57 GWd/t)	32
3	8 (27.5 GWd/t)	376	72	16	40
2	8		16	32	24
1			32	40	68
during 1 st cycle				24	84
	フランス PWR SS clad	フランス PWR Zr4 clad	ドイツ PWR Zr4 clad	スイス PWR Zr4 clad	ドイツ BWR Zr2 clad

出典：P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

BN社では、2005年までに次のような条件が、MOX燃料加工に要求されるものと考えている。

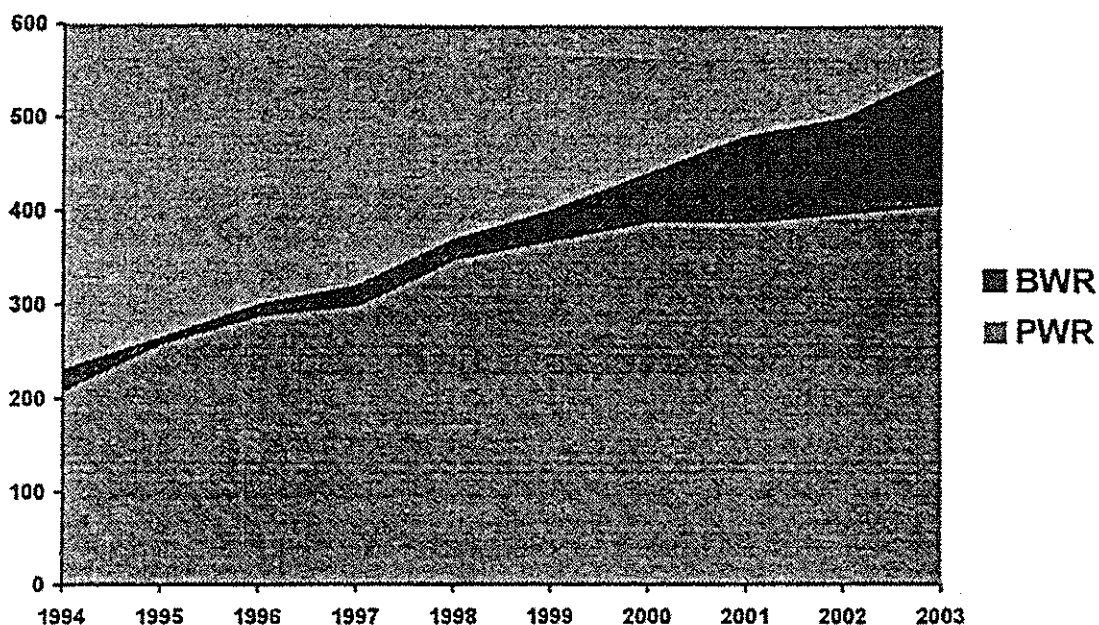
- ① BWR燃料（8×8、9×9）のシェアが増加し、生産の柔軟性が要求される。
- ② 東芝、日立等の燃料メーカーから様々な設計が要求される。
- ③ 混合されるUO₂パウダーの種類が多くなる。
- ④ 以下のような理由から、高プルトニウム富化度の傾向が強まる。
 - －高燃焼度化（60,000MWd/tレベル）が要求される。
 - －再処理で回収されるプルトニウム中の核分裂プルトニウムの割合が下がる傾向にある。
- ⑤ 供給されるプルトニウムの放射能が高くなる傾向となる。従って、放射線とパウダーの発熱が高くなり、生産効率が下がる。
- ⑥ アメリシウムを最大20,000ppm含むプルトニウムを取り扱うようになる。
- ⑦ ICRP-60勧告が適用される。
- ⑧ 燃料性能向上のための研究開発が、特に核分裂ガス放出を焦点に当てて実施される。現在、MOXパウダーの結晶粒度を大きくする、燃料中のプルトニウムを均質にするという2つの方法について開発が行われている。

このような展開の中で新たに課せられる制限を満足するために、MOX燃料加工プラントを以下のように改善していかなければならないとBN社では考えている。

- ① プルトニウム中の核分裂性プルトニウムの割合が減り、プルトニウム富化度が増し、更にパウダーの発熱量が多くなることから、パウダーの混合・移送システムの改造が必要となる。
- ② 偶数プルトニウム同位体（Pu-238、Pu-240、Pu-242）による中性子放出が大幅に増加するので、大規模な中性子しゃへい対策が必要となる。
- ③ 遠隔プロセス制御や各プロセス毎の機械化を行って従業員の被曝を低減する。
- ④ 製品の多様化と品質向上の要求に応えるために、加工中の製品および最終製品の試験・分析（結晶粒度測定、同位体含有率の分析等）機器を継続的に開発・設置する。

様々な分析において、今後、大型のMOX燃料加工プラントの運転が開始されたとしても、MOX燃料加工の需要は少なくとも今後数年間は高い状況が続くと見られている。BN社でも、[第4.5図]に示すように、2003年までMOX燃料生産の堅実な伸びが見通されており、2000年頃以降からは、BWR用燃料の受注割合が増加すると見られている。しかし、2005年以降については、MOX燃料市場およびBN社の立場は、欧州の再処理プラントがどの程度、再処理契約を確保できるかにかかっており、それがMOX燃料加工産業にも波及することになる。加工需要の創出と市場の開拓が、欧州MOX燃料産業が生き残るために必要である。

累積生産量 (トン)



出典：ベルゴニュークリア社資料

[第4.5図] ベルゴニュークリア社の2003年までのMOX燃料生産見通し

1. 5 スイス

1. 5. 1 プルトニウム利用政策

スイスにおいては、1990年9月の国民投票の結果に基づき、2000年9月まで新規原子力発電所の建設が凍結されていた。2000年10月以降、新規原子力発電所建設を禁止する法的拘束はないが、現在策定中の政府の新原子力法案では新規原子力発電所の建設を原則として可能とし、一方、2つの反原子力イニシアティブも上がっている。従って、現段階ではスイスの将来の原子力プログラムは未確定である。また、プルトニウム利用に関する連邦政府の公式な政策声明は出ておらず、電力会社の戦略が同国の路線を決定している。当初から再処理路線を取ってきた国として、プルトニウム・リサイクルの経験が蓄積されているが、再処理／リサイクル路線が世界的に厳しい環境にある上、欧州連合（EU）に属さないスイスの場合には米国の事前承認という問題もある。

このような条件を背景に、スイスでは1993年後半ごろから、地層処分される高レベル廃棄物（HLW）の中に使用済燃料を含めることが処分コンセプトとしてうち立てられ、使用済燃料の貯蔵も可能な大型廃棄物貯蔵施設（ZWILAG施設）も2000年に運開された。しかし、たとえ直接処分オプションが追加されたとしても、合計5基の原子炉を運転している国内の電力会社4社はいずれも英仏との間でベースロードの再処理契約を締結しており、同契約の下に回遊されるプルトニウムはリサイクルする他ない。

しかしながら、連邦評議会（内閣）は1999年6月7日の閣議で、新原子力法の草案に使用済燃料の再処理の禁止を以下のように盛り込むことを決定した。

「使用済燃料の再処理を禁止する。ただし、原子力発電事業者は英仏の再処理事業者との既存の再処理契約を履行することが認められる」

再処理禁止を新原子力法に規定することに関する連邦評議会の決定についての電力会社の反応は以下のようにまとめられる。

- ・使用済燃料の再処理は、フランス核燃料公社（COGEMA）と英国原子燃料公社（BNFL）との既存の契約に従って実施される。契約は2003年までに終了する予定であり、この期限を越えて契約を更新する明確な意図はない。
- ・今のところウランの市場価格が非常に低いため、再処理のオプションは新しい燃料の購入よりも割高である。
- ・再処理されない使用済燃料は、建設が提案されている処分場に直接処分される。電力会社によって設立されたヴェレンリンゲン集中中間貯蔵施設（ZWILAG）は、2000年初めに運開される予定であり、スイスで発生する使用済燃料をはじめとする放射性廃棄物を40年間にわたって貯蔵する十分な容量を有する。この期間内に適切な処分コンセプトを策定し、最終処分場を建設することが望まれる。
- ・ただし、再処理のオプションは原則として維持するべきである。連邦評議会が再処理の禁止を新原子力法に規定しようとしていることは“政治的主張に基づく行為”であり、受け入れることはできない。

また、原子力の平和利用を推進し、原子力利用に関する決定の自由の保持を求めているスイス原子力産業会議（SVA）は、1999年6月7日付のプレスリリース^(注17)の中で、新原子力法の草案に関する連邦評議会の決定について以下のように批評した。

^(注17) Schweizerische Vereinigung fuer Atomenergie (SVA), “Fehlende Fuehrungsstaerke – Die SVA zu den atompolitischen Entscheiden des Bundesrates”, SVA-Communique, 1999.06.07.

使用済燃料の再処理という政治的な決定が不要な分野において、連邦評議会は再処理の禁止を提案することにより強いリーダーシップを示そうとしている。これに対して、中・低レベル放射性廃棄物の最終処分など政府の強い決断力が求められている分野では、リーダーとしての責任をほとんど果たしていない。

スイスが再処理のオプションを放棄することは、改正されたスイス連邦憲法で持続性の原則が明記されている事実からしてナンセンスである。政治的あるいは日和見主義的な決定に基づく再処理の制限（つまり、貴重なエネルギー資源であるウランとプルトニウムの回収の放棄）は使い捨て主義そのものであり、持続性の原則を無残に嘲るものである。また、再処理オプションの放棄は、スイスにおけるバックエンド技術の発達を妨げるだけで全く余計な行為であるといえる。

このように、使用済燃料の再処理禁止を新原子力法に盛り込む方針について、スイスの原子力産業界は基本的に反対の姿勢を示した。しかし、既存の再処理契約の履行が認められ、使用済燃料の貯蔵も可能なZWILAG施設が2000年に運開されたことから、新規再処理の禁止は差し迫った問題として捉えられていない。

2000年9月24日にベルン州で行われた州民投票で、同州に立地するミューレベルク原子力発電所（BWR、37.2万Kw、1972年運開）の早期閉鎖のイニシアティブが圧倒的多数で否決された。同イニシアティブは、ミューレベルク発電所の2002年末までの閉鎖、さらに運転会社であるBKWエネルギー社に対して海外の原子力発電所からの電力輸入の停止を要求するもので、“原子力に依存しないベルン州協会”（BOA協会）によって1999年6月にベルン州当局に提出された。イニシアティブの提出のきっかけとなったのは、連邦評議会（内閣）が1998年10月にミューレベルク発電所の運転認可期限を2012年まで延長したことである。BKWエネルギー社は、ミューレベルク発電所の早期閉鎖が大多数の州民によって却下されたことを歓迎しており、原子力支持の意見が公衆に浸透している証拠であると強調した。

このような状況を踏まえて、連邦評議会は10月2日、現在審議中の新原子力法案において既存の原子力発電所の運転期限を設定せず、今後も原子力オプションを維持する方針を発表した。

原子力反対派として知られているM・ロイエンベルガー連邦エネルギー相（社会民主党）は、スイスにおける5基の原子力発電所の運転期間を40年に制限する規定を新原子力法案に盛り込むことを提案していたが、同法案に関する公衆からの意見聴取の結果、運転期間の法的な制限に反対する多数のコメントが寄せられた。

しかし、連邦評議会は新原子力法案にある再処理禁止の条項に関しては、既存の再処理契約の履行が可能であることや放射性廃棄物の輸送問題が解決されること、また長期的には再処理が経済的でないことを挙げ、再処理禁止の決定を撤回しなかった。

そして、2001年2月に連邦評議会は新原子力法案を連邦議会へ提出した。原子力発電事業者が2000年12月31日以前に英仏の再処理事業者と締結した再処理契約の履行は認められるため、同法案に盛り込まれた再処理禁止の実際の影響はさほど大きくないとの見方もあるが、原子力産業界は連邦政府の決定に強く反対している。広域電力供給委員会のC・ムグリン委員長（中央スイス発電会社）は、2001年6月21日に開催された“エネルギーフォーラム・スイス”の会議で、再処理によって回収されるウランやプルトニウムの有効利用を放棄することは連邦憲法に定められた持続性の原則に違反すると指摘し、新原子力法案における再処理禁止規定の削除をあらためて要求した。一方、新原子力法案を審議していた議会上院は12月13日、再処理の全面禁止を拒否し、禁止期間を10年間に限定するよう要求した。

MOX燃料の製造コストがウラン燃料の約3～4倍にも上るといった経済性の問題が指摘されていることは事実であり、発電コストの抑制に力を入れている電力会社がいずれMOXリサイクルの中止を検討する可能性は否定できない。また、全ての放射性廃棄物を貯蔵できるヴェレンリンゲン集中中間貯蔵施設（ZWILAG）が2001年7月3日に使用済燃料の受入れを開始したことにより、使用済燃料を英仏の再処理工場に輸送しなくても、使用済燃料管理で行き詰まる恐れはなくなった。

こうして、再処理およびMOXリサイクルの有用性と必要性に関する議論が錯綜する中、スイスの原子力発電所におけるリサイクル・プログラムの先行きは不透明さを増している。

1. 5. 2 プルトニウム・リサイクルの現状

スイスは1978年から北東スイス発電会社（NOK）のベツナウ1号機で実験的なプルトニウム・リサイクルを開始し、実証フェーズを経て1994年から商業的リサイクルに移っている。1997年現在、プルトニウム・リサイクルを実施している原子炉は、ベツナウ1、2号機とゲスゲン原子力発電会社（KKG）の3基のPWRである。ゲスゲンについては、1997年に初めてMOX燃料装荷が開始された。

以下では各電力会社におけるMOX燃料リサイクルの状況を報告する。

(1) 北東スイス発電会社（NOK）

NOKは、1978年からベツナウ1号機（36.4万kW PWR）でMOX燃料の装荷が試験的に開始し、1988年から実証プログラムに入り、1994年からはMOX燃料の商業的利用を開始した。ベツナウ2号機（36.4万kW PWR）は、1984年からMOX燃料装荷実証プログラムが開始され、1997年からはベツナウ1号機に続いて商業的利用が開始された。ベツナウ1、2号機のリサイクル計画の概要は〔第5.1表〕に示す通りである。

〔第5.1表〕 ベツナウ発電所のプルトニウム・リサイクル計画

フェーズ プラント	試験プログラム		実証プログラム		商業的利用	
	ベツナウ 1号機	ベツナウ 1号機	ベツナウ 1号機	ベツナウ 2号機	ベツナウ 1号機	ベツナウ 2号機
リサイクル期間	1978～1981	1988～1997	1984～1995	1984～1995	1994～1999	1998～2005
混合ウラン	天然ウラン	劣化ウラン	天然ウラン	天然ウラン	劣化ウラン	劣化ウラン
MOX燃料集合体 加工業者	WH社 (BN,FBFC)	COMMOX社 (WH,ABB,FBFC)	シーメンス社	シーメンス社	WH社(BNFL)	シーメンス社 (BNFL,BN)
集合体の最高 燃焼度 (MWd/t)	30,000	43,000	36,000	36,000	38,000	*(42,000)
UO ₂ 燃料の濃縮度	3.30%	3.25%	3.40～4.00%	3.40～4.00%	3.25～4.00%	4.00～4.25%

WH：ウェスチングハウス社、BN：ベルゴニュークリア社、FBFC：フランス・ベルギー燃料成形加工会社、
ABB：アセア・ブラウン・ボベリ社、BNFL：英国原子燃料公社

*計画

ベツナウ1号機の試験プログラム・フェーズの開始された1978年においては、NOK社所有のプルトニウムはまだ存在していなかったため、プルトニウムは第三者機関から調達された。MOX燃料の設計と部分的な組立はウエスチングハウス(WH)社によって行われた。試験フェーズは1981年まで(3サイクル)行われた。その後、米国では核不拡散法(NNPA)の下、政府の圧力が高まり、WH社は米国内のMOX燃料加工施設を断念した。

次の実証フェーズを開始するにあたり、NOK社は1982～83年にフランスからのプルトニウム300kg·Pu fiss.を米国の承認の下でリサイクルすることが可能になった。NOK社はベツナウ2号機用の同プルトニウムの加工をシーメンス社に委託したが、米国の承認を得ることが難しかったため、シーメンス社へ供給するプルトニウムを再び第三者機関からリースすることとした。このような状況から、実証フェーズでリサイクルされたプルトニウムの量は、当初計画されていた300kg·Pu fiss.よりも多くなった。実証プログラム自体は成功裏に終わり、装荷率20%で十分な安全性を実証することができた。

ベツナウ1号機のMOX燃料加工はCOMMOX社とWH社との契約の下、ベルゴニュークリア社のデッセルプラント(P0)で行われ、約60体のMOX燃料集合体が加工された。ベツナウ1号機の実証プログラムでは、混合ウランとして劣化ウランを用いると共に、加工量を増加して、リサイクルの経済性が高められた。プルトニウムは再び、第三者機関からのリースで調達され、1/3炉心管理で数年間運転された。

試験フェーズと実証フェーズを通じて、1995年末までにベツナウ1、2号機において1.3トンの核分裂性プルトニウムがリサイクルされた。

1994年から商業的フェーズに入ったが、商業的なMOX燃料リサイクルにおいても不足するプルトニウムはやはり第三者機関から融通される。NOK社のプルトニウム・リサイクル戦略においては、プルトニウムのリサイクルを再処理で回収するよりも先行させることによって、プルトニウム在庫が余剰になることが避けられている。

現在のベツナウ1・2号機の運転許可においては、40%のMOX燃料装荷率（全炉心燃料121体の内、最大48体のMOX燃料）が認められている。現在および将来のプルトニウム・リサイクル計画は基本的に、英国原子燃料公社（BNFL）のTHORP再処理プラントのベースロード契約によって回収されるプルトニウムの量と回収時期に基づいたものとなっている。両機の燃料関連仕様と2001年までのMOX装荷実績を〔第5.2～5.5表〕に示す。

a. ベツナウ1号機

ベツナウ1号機では2000年の運転停止期間中に、BNFL製のMOX燃料集合体4体に欠陥があることが確認され、これら4体を含むMOX燃料集合体12体（BNFLが1996年に納入した燃料バッチ）を炉心から取り出す作業が行われた。欠陥が見つかった4体のうちの2体は、1997年の燃料交換時に欠陥が発見されて取り出され、修理が終了した後、1999年の運転停止期間中に再装荷されたものであった。しかし、運転再開直後に一次冷却系の放射線レベルが僅かに上昇していることが明らかになり、2000年の定期点検において、この原因がBNFL製MOX燃料の漏れによるものであることが確認された。

1999年の燃料交換後に発見されたMOX燃料の欠陥による一次冷却系の放射能レベルの上昇は、ベツナウ1号機の安全運転に影響を及ぼすものではなく、実際の放射能量も一次冷却系における許可制限値を下回っていた。このため、NOKのプルトニウム・リサイクル計画が一連の燃料欠陥問題の影響を受けて変更されることはなかった。

ベツナウ1号機の2000年の燃料交換時には、MOX燃料が取り出されただけでなく、ベルゴニュークリア社製のMOX燃料集合体16体が新たに装荷された。これにより、ベツナウ1号機の炉内にあるMOX燃料集合体数は計20体（装荷率16.5%）となり、このうち4体が1997年に装荷されて以来、問題なく使用が続けられているBNFL製のMOX燃料集合体である。許可装荷率の40%までまだ余裕があることから、2001年6月23日から7月4日にかけて実施された燃料交換の際には、さらに8体のMOX燃料集合体がベツナウ1号機の炉心に装荷された。

b. ベツナウ2号機

ベツナウ2号機の2000年の燃料交換時には、ベルゴニュークリア社によって製造された新しいMOX燃料集合体4体が装荷された。2000年現在、ベツナウ2号機の炉内に装荷されているMOX燃料集合体は計16体（装荷率13.2%）あり、このうち4体が1998年に装荷されたBNFL製MOX燃料集合体である。これらのMOX燃料の性能に問題はないと報告されている。

2001年においては、燃料交換と定期点検、計装・制御システムのリプレースのために7月13日に運転が停止された。炉内にある燃料の約5分の1が新燃料に換えられ、全ての作業は9月中旬に終了する予定であるが、今回はMOX値量は装荷されなかった。

【第 5.2 表】 ベツナウ 1 号機のプラント概要

所有者／運転者	NOK
炉型	PWR (ウェスティングハウス社製)
運開年月	1969年7月
グロス電気出力 (運開当初／現在)	36万4,000kW／38万kW
炉心燃料集合体	121体
燃料集合体内の燃料棒 燃料型式	179本 14×14
MOX初装荷年	1978年
MOX装荷終了年	継続中
燃料交換・運転計画	サイクルレンジス=18カ月 各サイクルにおける炉心燃料交換率=30%
使用済燃料管理	約70トン重金属の使用済燃料を貯蔵プールで貯蔵 (設計容量:108トン重金属、高密度ラックを使用)

【第 5.3 表】 ベツナウ 1 号機のMOX燃料装荷実績

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の装荷体数		4	8	12	4	0	0	16	8
累積装荷体数	64	68	76	88	92	92	92	108	116
取り出された燃料集合体数		4	11	17	28	0	4	12	0
再装荷された燃料集合体数	0	0	0	0	0	0	12	0	0
炉内の燃料集合体数	40	40	37	32	8	8	16	20	28
実際の装荷率 (%)	33.1	33.1	30.6	26.4	6.61	6.61	13.2	16.5	23.1
許可装荷率 (%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40

(注) 炉心集合体数 (UO₂燃料+MOX燃料) : 合計 121 体

【第 5.4 表】 ベツナウ 2 号機のプラント概要

所有者／運転者	NOK
炉型	PWR (ウェスティングハウス社製)
運開年月	1971年10月
グロス電気出力 (運開当初／現在)	36万4,000kW／38万kW
炉心燃料集合体	121体
燃料集合体内の燃料棒 燃料型式	179本 14×14
MOX初装荷年	1984年
MOX装荷終了年	継続中
燃料交換・運転計画	サイクルレングス=18カ月 各サイクルにおける炉心燃料交換率=30%
使用済燃料管理	約 70 トン重金属の使用済燃料を貯蔵プールで貯蔵 (設計容量: 108 トン重金属、高密度ラックを使用)

【第 5.5 表】 ベツナウ 2 号機のMOX燃料装荷実績

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の装荷体数		0	0	0	0	4	8	4	0
累積装荷体数	52	52	52	52	52	56	64	68	68
取り出された燃料集合体数			8						
再装荷された燃料集合体数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
炉内の燃料集合体数		8	0	0	0	4	12	16	16
実際の装荷率 (%)	6.6	0	0	0	0	3.3	9.9	13.2	13.2
許可装荷率 (%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40

(注) 炉心集合体数 (UO₂燃料+MOX燃料): 合計 121 体

(2) ゲスゲン原子力発電会社 (KKG)

ゲスゲン発電所 (102万kW PWR) は1996年末にMOX燃料の装荷許可を取得した。同許可においては、合計177体の炉内燃料集合体の内、最大64体 (装荷率約36%) をMOX燃料集合体とすることが規定されている。そして、ベルゴニュークリア社製のMOX燃料集合体、8体が1997年に初めて同発電所に納入され、1997年夏の運転停止期間中に8体が炉心に装荷された。その後、1998年から2001年まで毎年20体が装荷された。同炉の燃料関係の仕様および2001年までの装荷実績を [第5.6~5.7表] に示す。

同炉のMOX燃料集合体の設計は、ベツナウと同様、シーメンス社によるもので、その仕様は、15×15型集合体、プルトニウム平均富化度4.8%で、混合されるウランは劣化ウラン (濃縮度0.25%) である。なお、炉内で共存するUO₂交換燃料の濃縮度は4.3%である。

15×15型MOX燃料集合体中のMOX燃料棒のプルトニウム富化度は次の通りである。

<u>プルトニウム富化度</u>	<u>MOX燃料棒数</u>
2.7%	20本
3.9%	80本
5.9%	104本

ゲスゲン発電所では、過去2回の運転サイクルにおいて原子炉冷却材の放射能レベルの上昇が計測されたため、2000年の運転停止期間中に4体のMOX燃料集合体を取り出された。これらのMOX燃料は適当な時期に再装荷される予定である。2000年に新たに装荷されたMOX燃料集合体は20体で、これによりゲスゲン発電所におけるMOX燃料の装荷率は許可された上限の36%に達した。また、同発電所では2000年に初めて、ロシアのマシノストロイテルニ・ザヴォド (MSZ) 社によって製造された回収ウラン燃料集合体4体が装荷された。

ゲスゲン発電所は2001年7月7日から28日にかけて燃料交換と定期点検のため停止され、

新しいMOX燃料集合体20体が装荷された。また、2000年の時点でMOX燃料の装荷率が上限に達していたことから、古いMOX燃料を炉心から取り出す作業も行われた。取り出されたMOX燃料集合体20体のうち8体はMOX利用開始年の1997年に装荷されたもので、57,000MWd/tという高燃焼度を達成した。ガスゲン発電所では現在、シーメンス社設計のベルゴニュークリア社製MOX燃料が使用されており、運転性能は良好であると評価されている。

(3) その他の原子炉でのリサイクル

MOX燃料装荷の実施されていないベルン発電会社のミューレベルク発電所(37.2万kW BWR)とライブシュタット原子力発電会社のライブシュタット発電所(113.5万 kW BWR)の2基のBWRについては、ミューレベルク発電所の使用済燃料から回収されたプルトニウムはガスゲン発電所で使用されることになっており、ミューレベルク発電所自体にはMOXリサイクル計画はない。

ライブシュタットは、以前は2001年頃にMOX装荷を行う計画であったが、現在のところ、MOX燃料と炉心の設計は行われたものの、事故解析は実施されておらず、規制当局への申請も行われていない。スイス情報筋では、スイスのBWRではMOXリサイクルは実施されず、回収されたプルトニウムは全てPWR(ベツナウ1・2号機、ガスゲン発電所)でリサイクルされ、2005年以後、再処理は行われず、恐らく使用済燃料は直接処分されるであろうと観測している。

以上のようにスイスにおいては、1994年から商業的プルトニウム・リサイクルがPWRにおいて小規模ながら開始され、英仏のベースロード再処理契約で回収されるプルトニウムが今後、各々数トンオーダーでリサイクルされる計画である。しかし、2005年以降の見通しについては、ベルギーと同様、ベースロード以降の再処理契約を英仏と結んでおらず、このままりサイクルを継続するのか、途中で直接処分オプションに切り換えてしまうのか、現段階では不透明である。

【第 5.6 表】 ガスゲン発電所のプラント概要

所有者／運転者	ガスゲン・デニケン原子力発電会社 (KKG)
炉型	PWR (シーメンス社製)
運開年月	1979年2月
グロス電気出力 (運開当初／現在)	97万 kW／102万 kW
炉心燃料集合体	177体
燃料集合体内の燃料棒 燃料型式	205本 15×15
MOX初装荷年	1997年
MOX装荷終了年	継続中
燃料交換・運転計画	サイクルレングス=12ヵ月 各サイクルにおける炉心燃料交換率=33%
使用済燃料管理	使用済燃料を貯蔵プールで貯蔵 (高密度ラックを使用)

【第 5.7 表】 ガスゲン発電所のMOX燃料装荷実績

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の装荷体数					8	20	20	20	20
累積装荷体数					8	28	48	68	88
取り出された燃料集合体数								4	20
再装荷された燃料集合体数								0	
炉内の燃料集合体数					8	28	48	64	64
実際の装荷率 (%)					4.5	15.8	27.1	36	36
許可装荷率 (%)					36	36	36	36	36

(注) 炉心集合体数 (UO₂燃料+MOX燃料) : 合計 177 体

1. 6 スウェーデン

1. 6. 1 バックエンド政策

スウェーデンは現在、使用済燃料の直接処分をバックエンド・オプションとしているが、1960年代から1976年頃にかけては、再処理がバックエンド政策の要とされていた。オスカーシャム原子力発電所を所有するオスカーシャム発電会社（OKG）は当時、英国原子力公社（UKAEA）に140トンの再処理契約を委託した。同契約では、再処理で発生した廃棄物はUKAEAが最終的に貯蔵し、回収されたウランとプルトニウムはOKG社に帰属するとされていた。

しかし、1976年頃から国際燃料サイクル市場では、ウランの価格が下落し、一方で再処理コストが上昇した。更に、米国のカーター大統領の提唱で開始された国際核燃料サイクル評価（INFCE）の影響により、政治的な観点からも再処理オプションへの関心は薄れていった。

こうして、スウェーデンの原子力発電事業者は再処理契約の継続に関心を失い、代わりに直接処分の道を選ぶに至ったのである。1980年には中央集中貯蔵施設（CLAB）の建設が開始され、スウェーデン国会でも1983年に、使用済燃料の再処理は行わないとする政策が決議された。1985年には、CLABへ最初の使用済燃料が搬入された。

1. 6. 2 産業界からプルトニウム・リサイクル戦略が浮上

OKG社の原子力発電所で発生し、英国のセラフィールドに輸送された使用済燃料は何年もの間、UKAEAから再処理事業を引き継いだ英国原子燃料会社（BNFL）の酸化物燃料再処理プラント（THORP）のプールに貯蔵されていた。1995年にOKG社はBNFLより、再処理は1997年に予定されているとの情報を得ていた。しかしOKG社の経営陣は、再処理が政府の政策に反するものであり、プルトニウムをセラフィールドからスウェーデンあるいは他の国に輸送することは、スウェーデンにおいて政治問題化するとの認識を持つようになった。また、再処理後のプルトニウム輸送には政府の許認可が必要であることも明らかであった。

しかし、一方でOKG社は、主に環境的な理由から、使用済燃料を再処理せずに返還することにも非常に抵抗を感じており、そのオプションが実施された場合には、超過コストはOKG社ではなく国が負担すべきであると考えていた。

(1) アナバーグ調査委員会による検討と勧告

スウェーデン政府はOKG社と協議した後、使用済燃料の取扱いの代替案を公式に検討することを決定し、元環境・エネルギー省次官で現在は国家環境保護庁長官のR・アナバーグ氏を調査委員会（構成1名）の委員に任命し、代替案の検討にあたらせた。

アナバーグ委員は1996年4月30日に検討結果の大綱を発表し、①再処理後に返還、②再処理せずに返還、③スワップの3つのオプションを技術的、法的、経済的側面から比較検討し、主に環境面を考慮し、セラフィールドへ送られた使用済燃料はそのまま再処理するよう勧告した。

勧告の中でアナバーグ委員は、再処理して返還するオプションについて、再処理、輸送、MOX燃料のスウェーデンでの使用と最終処分の各段階において、放射線防護と安全性の観点からの問題は特にないと見た。再処理せずに返還するオプションについては、OKG社とBNFLの契約変更が前提となり、安全性、放射線防護、経済性の観点から最終的な結論を評価することは、現時点では不可能とした。更に、本オプションの実施にはTHORPとCLABの施設の拡充が必要であるとした。またスワップについては、BNFLの同意、さらに英国とスウェーデンの政府決定が必要であり、おそらく第三国の政府承認も必要となり、手続きが困難であるとされた。

(2) OKG社の決定と政府の姿勢

アナバーグ委員の勧告を根拠として、OKG社はBNFLに使用済燃料の再処理を行わせることを決定した。そして、1997年にスウェーデンの使用済燃料の再処理が実施された。また、OKG社は、約4年後に同社の原子炉でMOX燃料を使用する予定であることを発表した。

しかし、OKG社のこの決定は政治的な懸念を引き起こし、国会では環境相に対して同問題に関する質疑が行われた。環境相は質疑の中で、アナバーグ委員の勧告を主張する一方で、OKG社がプルトニウムをMOX燃料として返還することを政府が認可するかどうかに関しては、決定していないと述べた。

このようにしてOKG社は、プルトニウムを英国に長期間貯蔵し、高額のコストを負担することになるかもしれないという政治的なリスクを負うことになった。しかし、再処理を受け入れるべきであるとしたアナバーグ委員の勧告は、スウェーデンがこの種の問題に関して行った唯一の評価であるという点で重要な意味を持ち、OKG社にとって将来、有利に働くものと考えられる。

(3) MOX燃料使用許可申請

OKG社は1998年11月、140トンの使用済燃料からのプルトニウムを用いたMOX燃料の使用許可申請をスウェーデン原子力発電監督局(SKI)に提出した。

この使用済燃料は1997年8月から9月にかけて再処理され、136トンのウランとMOX燃料集合体100体分に相当する833kgのプルトニウムが回収されている。OKG社はこのプルトニウムをBNFLのセラフィールドMOXプラント(SMP)か、ベルゴニュークリア社のデッセル・プラントでMOX燃料に加工し、スウェーデンの輸送船「シギン号」で同社が所有するオスカーシャム原子力発電所に海上輸送する予定である。MOX利用計画には、同発電所2、3号機のどちらかが使用される予定であり、100体のMOX燃料は50体ずつ2回の燃料交換に分けて装荷されるという。

一方、スウェーデンの原子力発電会社4社が共同出資している廃棄物管理関連会社であるSVAFOMも、1998年12月、スタズヴィク研究センターに貯蔵されているR-1研究炉用使用済燃料4.8トンの再処理をBNFLに委託し、プルトニウムをMOX燃料製造用にOKG社に譲渡する計画に関して、SKIに許可を申請した。

SKIは両者の許可申請を審査し、1999年6月23日に「政府は双方の許可を発給すべきである」との見解をまとめて環境省と外務省に意見書を送付した。そしてSKIは意見書の中で、政府に対して、許可を発給する上で各社に幾つかの条件を付すよう提言した。OKG社に関しては、MOX燃料の輸入前に、燃料の取扱方法と燃料損傷時の放射線防護対策をスウェーデン放射線防護研究所（SSI）に提示するべきであると提言した。

しかしながら、1999年後半になって発覚したBNFLのMOX燃料の検査データを巡る一連の不祥事を受け、スウェーデン環境省は2000年2月29日、スタズヴィク研究センター内のR1研究炉から発生した使用済燃料4.8トンの再処理をBNFLに委託する計画を中断する意向を発表した。また、MOX加工に関しても、スウェーデン政府の許可が下りるか難しくなった。

2001年になってOKG社がBNFL以外のMOX燃料加工の委託先、例えばベルゴニュークリア社を検討しているという報道もあったが、2001年5月、OKG社は、フラマトムANP社との間でMOX燃料加工を含む燃料供給を締結したことを発表した。この契約はBNFLのセラフィールド再処理工場で回収され、現在保管中の同社のプルトニウムと回収ウランのリサイクルに関するもので、回収ウランについては、ロシアで高濃縮ウラン（HEU）と混合され、軽水炉燃料集合体に加工される。プルトニウムのMOX燃料加工はフラマトムANP社からBNFLへ発注され、セラフィールドMOXプラント（SMP）で加工されて2005～2006年頃にOKGへ納入される計画である。

今回のリサイクル契約により、OKG社は再処理契約に基づく回収物の引取義務を履行することができる。ただしOKG社では、フラマトムANP社との契約が完了した後はMOX利用を行わない方針を明確にしている。

一方、スウェーデン政府は、OKG社とSVAFOの許可申請に関する決定を未だに示していない。当初の予定では1999年中に下される予定であった。MOX加工に関するOKG社とフラマトムANP社の契約が成立するにはスウェーデン政府の承認が必要であり、消息筋は、今回の契約発表は政府に圧力をかけることを狙ったものとの見方を示している。

2. MOX燃料加工、再処理に関する 計画および実績

2000年度年次報告書（2001年3月）以降の調査をもとに、以下の分野のデータを最新化した。

- MOX燃料加工の実績および計画
（第7図・表シリーズ）
- MOX燃料利用の実績および計画
（第8図・表シリーズ）
- 再処理関連情報
（第9図・表シリーズ）
- その他のプルトニウム利用関連情報
（第10図・表シリーズ）

MOX燃料加工の実績および計画

- [第7.1表] 欧州のMOX燃料加工プラントの一覧表
- [第7.2表] 世界のMOX燃料加工プラントの設備容量の現状と見通し(1998年末現在)
- [第7.3表] COGEMAのMELOXプラント拡張計画
- [第7.4表] 仏MELOX・MOX燃料加工プラント建設プロジェクトの歴史(1985~1998年)
- [第7.5表] 仏カダラッシュMOX燃料加工プラントの生産実績の推移(1991~1997年)
- [第7.6表] MIMASプロセスによるMOX燃料加工(試験済)の仕様
- [第7.7表] MIMASプロセスによる炉型毎のMOX燃料加工実績(2001年7月現在)
- [第7.1図] ベルゴニュークリア社のMOX燃料の年間加工実績(1986~2000年)
- [第7.2図] ベルゴニュークリア社の供給国毎のMIMASプロセスによるMOX燃料の累積加工実績(1986~2000年)
- [第7.3図] ベルゴニュークリア社の2003年までのMOX燃料生産見通し
- [第7.4図] MIMAS・MOX燃料の燃焼度実績(2000年10月現在)(2001年9月現在)
- [第7.8表] MIMAS・MOX燃料集合体の各国軽水炉において商業的に達成された燃焼度実績
- [第7.5図] ベルゴニュークリア社製MOX燃料のプルトニウム特性の変化(1986~1998年)
- [第7.6図] シーメンス社供給のMOX燃料装荷実績(1998年現在)
- [第7.7図] シーメンス社によるMOX燃料累積供給量の推移(実績および見通し)
- [第7.9表] シーメンス社の1998年4月までのMOX燃料加工・設計実績
- [第7.8図] シーメンス社のMOX燃料集合体の燃焼度分布
- [第7.9図] シーメンス社のPWR用MOX燃料設計
- [第7.10図] シーメンス社のBWR用MOX燃料設計
- [第7.11図] ロシアに建設が予定されているWPU・MOX燃料加工施設(DEMOX)のプロセス・フロー
- [第7.10表] 英国のMOX実証施設(MDF)の運転までの経緯(1994年現在)
- [第7.12図] 英国のセラフィールドMOXプラント(SMP)の建設スケジュール(1995年初め現在)
- [第7.13図] MDFのレイアウト
- [第7.14図] MOX燃料の製造プロセス
- [第7.15図] MDFのMOX混合・造粒装置
- [第7.16図] MDFでのMOX燃料加工のための準備作業と加工のスケジュール
- [第7.11表] MDFにおけるMOX燃料検査と通常のウラン燃料検査との比較
- [第7.12表] 英国原子燃料公社(BNFL)の初期の熱中性子炉用MOX燃料加工実績
- [第7.13表] 米国メーカー製MOX燃料加工実績(1988年現在)
- [第7.14表] ロシアのMOX燃料加工施設
- [第7.15表] 日本の商業MOX燃料加工プラント
- [第7.16表] OECD/NEAによるOECD各国の燃料加工需給(2000年現在)

[第7.1表] 欧州のMOX燃料加工プラントの一覧表

プラント名	カダラッシュ	MELOX	デッセル PO	ハナウプラント (閉鎖)	ハナウプラント (建設中止)	MDF	SMP (プルトニウム試験中)
所有者	COGEMA	MELOX社 COGEMA : 50% フラマトム社 : 50%	BN社	シーメンス社	シーメンス社	BNFL/UKAEA	BNFL
所在地	フランス カダラッシュ	フランス イゼール県	ドイツ モンペリエ	ドイツ ハナウ	ドイツ ハナウ	英国 セラフィールド	英国 セラフィールド
運開年	1970年 1989年から軽水炉用が 運開	1995年	1973年 1984年に溶解性を 向上するためにプロセス を改良	1972年	-	1993年秋からホット運転	2002年 (予定)
設備能力 (トン・重金屬/年)	40	100(115トン・酸化物)	40	25	120	8	120
投資額		20億フラン以上			11+2.5億マルク	2,600万ポンド	3億ポンド (建設終了時) (2001年現在、4億7,300万ポンド)
プロセス	COCA→MIMAS	A-MIMAS	MIMAS	AUPuC+OCOM	OCOM	SBR	
MOX燃料加工 実績および現状	軽水炉用加工設備は、EDF の軽水炉用に生産が行われて いたが、ドイツの電力会社の MOX燃料加工に振り向けら れている。 1996年には25トン、1997 年には30トン、1998年は約 35トン、1999年以降、約40 トン/年レベルで生産が行われ ている。	MOX中のウラン：劣化ウラン 1995年3月に最初のMOX パウダーを生産し、1998年4 月にEDFから性能認定を取 得、1995年末で76体の集合 体を生産、1996年は50トン が生産された。1997年は以 降、約100トン/年レベルの生産 が行われており、2000年末ま での累積は約450トン。 MELOX西側増設建屋 (MWF B : 約30トン/年) が1999年7月に許可され、B WR用燃料の加工が可能にな ったが、許可容量は100トン /年のまま。	2001年7月までのMIMAS プロセスによる累積生産量 は469トン、そのうち、PWR 用は419トン、BWR用は50 トン。集合体の組立は、FBFC 社が実施。	MOX中のウラン：天然ウラン、劣化ウラン (1993年～) 1993年末時点で、6,542Kg のPu fss.から174,174Kgの U+Puパウダーを生産し、燃 料集合体787体、燃料棒 113,00本を加工した(ただし この中には、特殊な燃料も含 まれている)。電力会社との合 意の下、1994年4月下旬に閉 鎖を決定。	プラントはほとんど完成の 状態で、1993年運開予定であ ったが、訴訟のために運開の 見通しが立たず、電力会社は 1995年6月までで財政支援 を打ち切る。また、1995年 になって、ロシアの兵器級Puを 利用したMOX燃料加工を行 うことが独政府により提案さ れたが、中止となった。1995 年末からデコミ計画の策定を 開始し、2002年10月には完 全撤去する予定。	MOX中のウラン：天然ウラン 1992年1月に締結された 北東スイス発電会社(NOK) との契約に基づいて、運開後 数年間、ベツナウ1号機(P WR)に28体のMOX燃料集 合体を供給する予定である。 1994年2月に性能検定プロ グラムを終了し、同年7月に NOKへ第1回の輸送(航空) が行われた。1998年春現在、 10トン以上のMOX燃料を生 産。 1999年9月にMOXベレッ ト検査データ偽造が発覚し た。施設の運転は停止され、 規制当局からの命令に従い改 善措置を行い、2000年12月 末に運転再開の承認を得た。	BNFLは1993年、プラ ント建設のための計画(建 設)許可申請を提出した。独 シーメンス社が技術協力す ることになっている。 1994年最初にプロセスの 主要機種の引き合いを行い、 計画許可取得後、1994年4 月から建設開始。1995年12 月に焼結炉搬入。 1998年11月に環境庁の運 転承認は得られたが、政府 は、1999年6月、ウラン試 験が認可され、プルトニウム 試験の許可待ちの状態であ ったが、6回目のパブリック・ コンサルテーションの 後、2001年10月に政府によ って運開が承認された。12 月19日にはプルトニウム試 験許可が発給され、20日から プルトニウム試験が開始さ れた。
拡張計画		BWR用設備の追加は許可 されたが、PWR用の拡張は 政府から拒否されている。 COGEMAは将来、250ト ン/年(BWR用80トン/年を 含む)の生産が可能であると している。	POの設備は2000年に40 トン/年以上に増強された。 P1(計画中)の設計は完了し たが、訴訟のため中断。米 国およびロシアの兵器Pu加 工用プラント(60トン/年)と しても提案していたが断念。		当初の計画では、1992年に 20トン/年で運開し、段階的 に能力を高め、1997年には 120トン/年の公称能力に達 する予定であった。	注記) COCA : Cobroyage Cadarache MIMAS : Micronization of a Master Blend A-MIMAS : Advanced MIMAS AUPuC : Ammonium Uranyl Plutonyl Carbonate OCOM : Optimized Co-milling SBR : Short Binderless Route	

[出典] IEA Jまとめ

[第7.2表] 世界のMOX燃料加工プラントの設備容量の現状と見通し
(1998年末現在)

単位：トンHM/年

国	サイト	プラント	1998	2000	2005	2010
ベルギー	デッセル	P O	35	40	40	40
フランス	カダラッシュ	C F C	35	40	40	40
	マルクール	M E L O X	120	200 ^a	200 ^a	250 ^a
インド	タラプール	A F F F	5	10	10	10
日本	東海村	P F P F	15 ^b	15 ^b	5 ^c	5 ^c
	六ヶ所村	M O X F F F			100	100
ロシア	チェリャビンスク	R T - 1 (施設内)			10	10
	チェリャビンスク	Mayak, Complex 300				40
英国	セラフィールド	M D F	8	8	8	8
	セラフィールド	S M P		120	120	120
合計			218	433	533	623

^a 期日は不確実

^b A T R と F B R 用

^c F B R 用

【出典】“MOX Fuel Use as A Back-end Option: Trends, Main Issues and Impacts on Fuel Cycle Management”, IAEA/OECD・NEA, IAEA Symposium on MOX Fuel Cycle Technologies for Medium and Long Term Deployment, 1999.5.17-21.

[第7.3表] COGEMAのMELOXプラント拡張計画

単位：トン/年

年	1996	1997	1998	1999	2000	～
既存プラント (PWR用)	85	100	(120)	(140)	(160)	(170)
追加設備 (BWR用)				(20)	(40)	(80)

() : 環境相の許可署名を得るのが難しい。

(注記) : 1998年末現在の許可容量は100トンHM/年(115トン・酸化物/年)。

【出典】 Nuclear Fuel 1997.11.17 ; 1998.11.16 他

[第7.4表] 仏MELOX・MOX燃料加工プラント建設プロジェクトの歴史（1985～1998年）

年 月	事 項
1985	<ul style="list-style-type: none"> ・ EDF、90万kW PWRでMOX燃料をリサイクルすることを決定 ・ EDF、フラマトムおよびCOGEMAの間で議定書に署名 ・ MELOXプラントの設計作業開始
1988	<ul style="list-style-type: none"> ・ 詳細な予備設計
1988.03	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公聴会 ・ 予備安全報告書
1990.05	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本原子力施設の許可取得
1990～1993	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土木工事 ・ 機器据付
1993.06～1993.07	<ul style="list-style-type: none"> ・ 暫定的安全報告書 ・ 放出許可取得のための公聴会
1993.11	<ul style="list-style-type: none"> ・ UO₂燃料棒
1994.08（末）	<ul style="list-style-type: none"> ・ カダラッシュからMOX燃料棒を搬入
1994.08～1994.10	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転許可
1994.10～	<ul style="list-style-type: none"> ・ ラ・アークから定常的にPuO₂を搬入
1994.12.12	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最初のMOX燃料集合体を生産
1995.02.03	<ul style="list-style-type: none"> ・ PuO₂をプロセスに導入
1995.02（末）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 集合体8体をプレイエ2号機へ納入
1995.03（末）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合計24体の集合体を生産 ・ MOXペレットの品質検定を実施中 ・ プロセス性能検定、制御仕様（50%完了） ・ 実験設備の検定（完了）
1995（末）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 合計76体の集合体を生産
1996	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1996年の目標は85トンであったが、製品不良のため50トンに留まる。
1997	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1997年は100トン以上生産
1998～2000	<ul style="list-style-type: none"> ・ 約100トン/年レベルで生産

【出典】 Nuclear Fuel 1996.11.18, 1998.11.16 ; COGEMA資料 1995.4, 2001.

[第7.5表] 仏カダラッシュMOX燃料加工プラントの生産実績の推移
(1991～1997年)

	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年
設備容量 (tM)	(生産開始)	15	15	20	30	30	35
生産量 (tM)	2.3	8.7	15.3	21.2	31.6	約25	32

【出典】 Nuclear Fuel 1996.11.18; COGEMA資料 1995.4; COGEMA 1997年報;
D. Hugelmann(COGEMA), "MOX Fuel Fabrication in France: A Mature Industry",
RECOD 98, Vol.1, 1998.10.25～28.

[第7.6表] MIMASプロセスによるMOX燃料加工(試験済)の仕様

項 目	仕 様
MOX燃料設計(認定企業)	BN社、フラジェマ社、シーメンス社、東芝/日立/JNF社
MOX燃料加工キャンペーン規模	4～29tHM/キャンペーン
キャンペーン毎のPu富化度の種類	3～6種類/キャンペーン
ペレット中のPu total 富化度	最大8.8% (試験時には14.4%を実証)
スクラップのリサイクル	主混合で最大76% (プルトニウムの最大25%がスクラップとしてリサイクルされる)
Am含有量	最大20,000ppm (いくつかのロットでは最大25,000ppm)
主混合でのPu total 富化度	25～35% (45%のケースが1例有)
UO ₂ 原料	AUCまたはTU2による転換 劣化ウランまたは天然ウラン
PuO ₂ 原料	COGEMA、BNFLから供給
被覆管材料	SS304、Zr4、Zr4duplex、Zr2、Zr2/Zr liner、Zr2/Fe doped liner

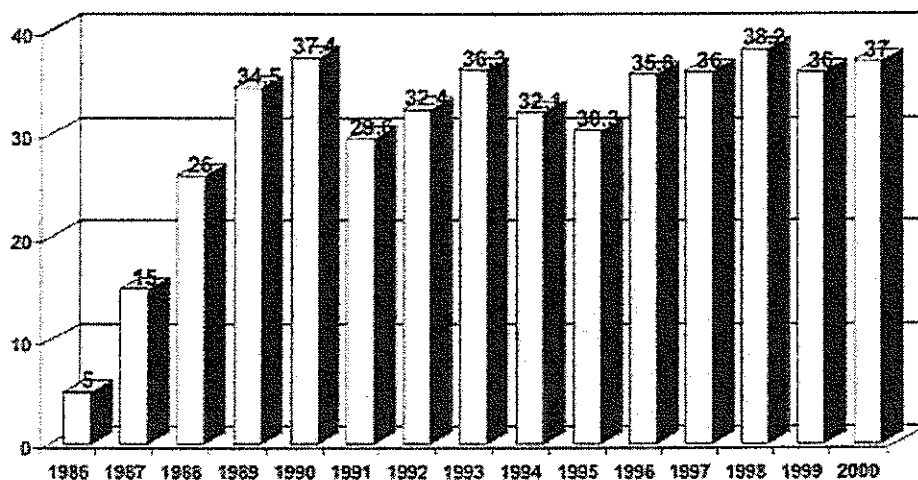
出典: P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

[第7.7表] MIMASプロセスによる炉型毎の
MOX燃料加工実績 (2001年7月現在)

炉型	集合体型式	燃料棒数	集合体数	tHM
PWR	15×15/SS304 clad	3,216	16	4.7
PWR	17×17/3 cycles Zr4	100,320	380	176.0
PWR	17×17/4 cycles/Zr4	31,680	120	54.7
PWR	14×14Zr4 or Zr4 Duplex	17,184	96	31.6
PWR	15×15/Zr4 Duplex	17,952	88	37.6
PWR	16×16/Zr4 or Zr4 Duplex	42,688	184	97.8
PWR	18×18 Zr4 Duplex	9,472	32	17.0
合計		222,512	916	419.4
BWR	8×8	2,752	60	7.5
BWR	9×9	8,419	124	18.5
BWR	10×10	12,312	152	23.5
合計		23,483	336	49.5
総計		245,995	1,252	468.9

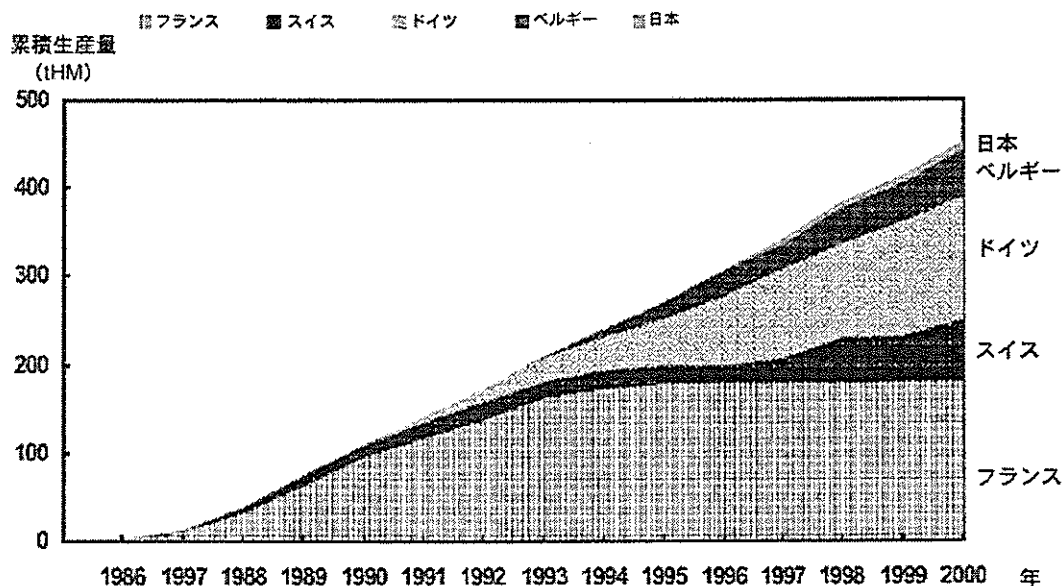
【出典】BN社資料, 2001.

年間生産量 (tHM)



[第 7.1 図] ベルゴニュークリア社のMOX燃料の年間加工実績
(1986~2000年)

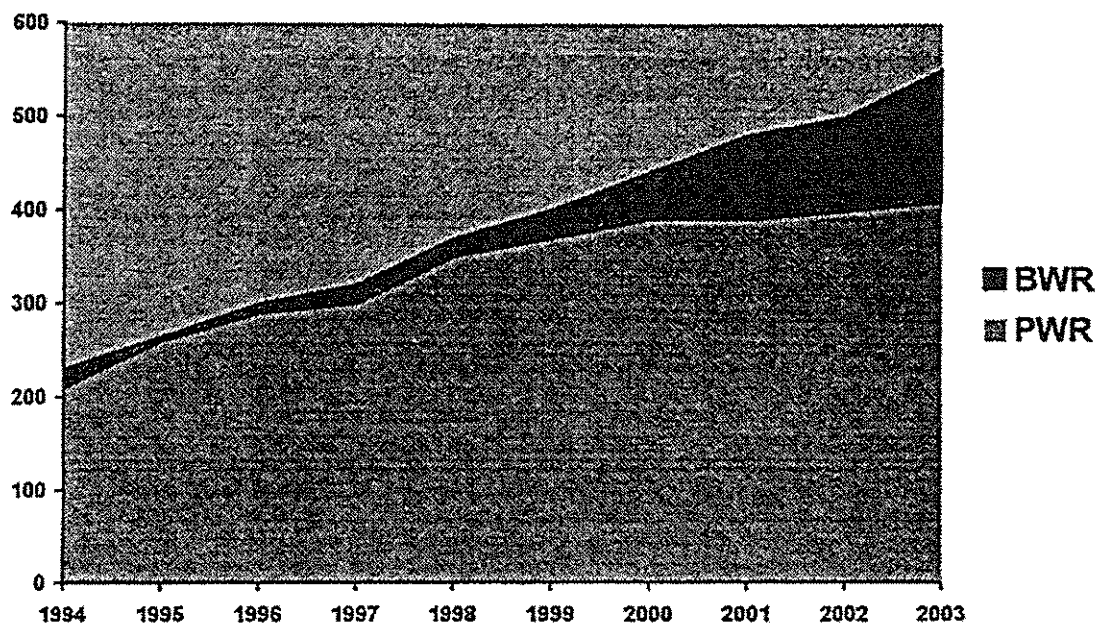
出典 : P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.



[第 7.2 図] ベルゴニュークリア社の供給国毎の
MIMASプロセスによるMOX燃料の累積加工実績
(1986~2000年)

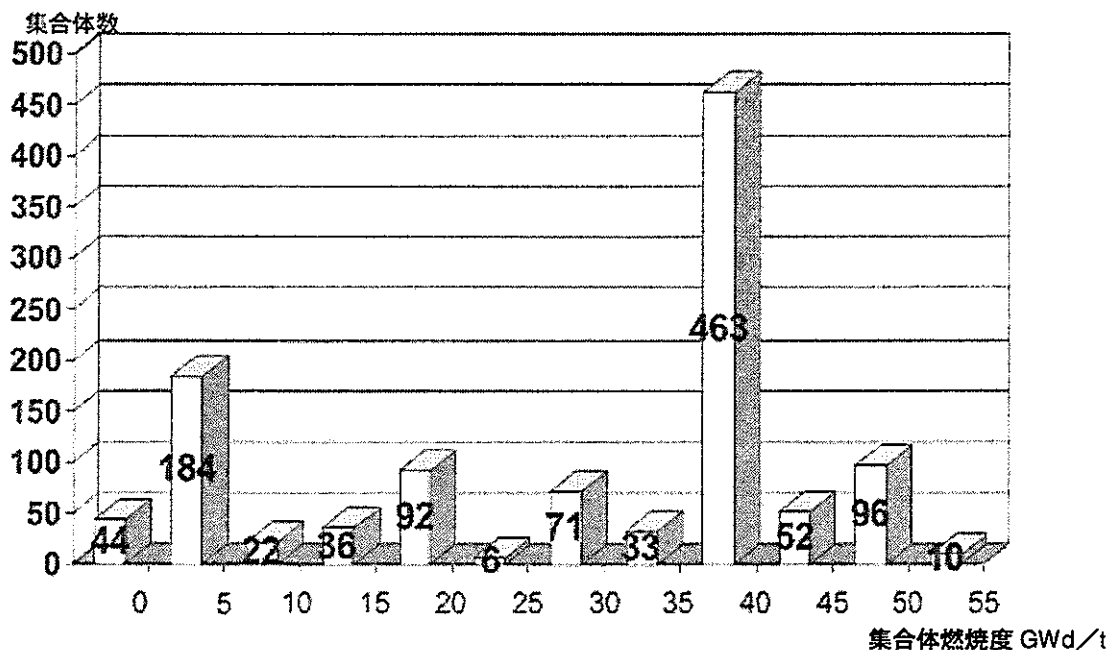
出典 : P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

累積生産量 (トン)



【出典】ベルゴニュークリア社資料

【第 7.3 図】 ベルゴニュークリア社の 2003 年までの MOX 燃料生産見通し



【第 7.4 図】 MIMAS・MOX 燃料の燃焼度実績
(2000年10月現在)

出典 : P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

[第7.8表] MIMAS・MOX燃料集合体の各国軽水炉において
商業的に達成された燃焼度実績（2001年9月現在）

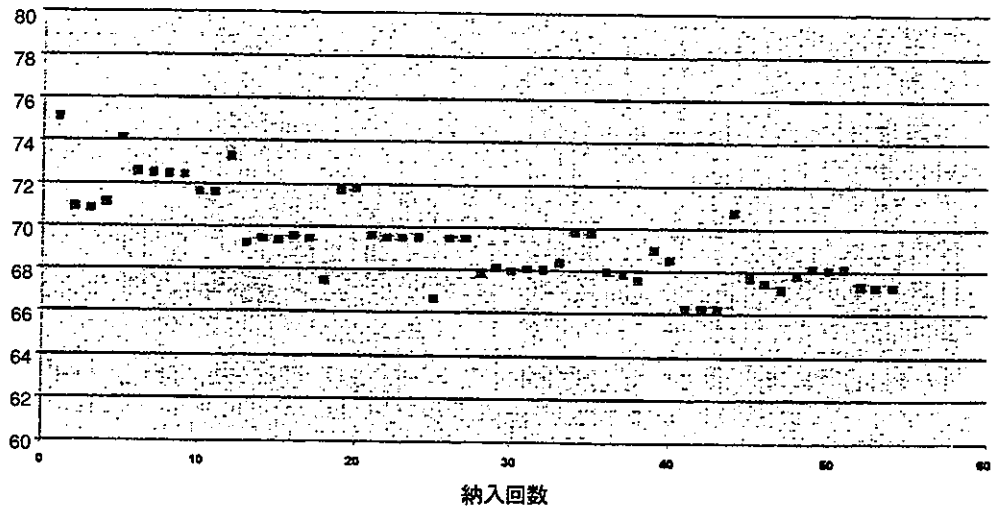
サイクル数

集合体数

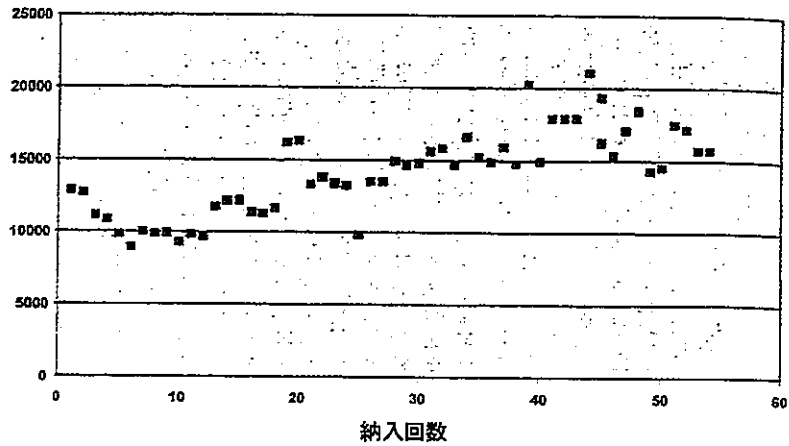
6			1 (51 GWd/t)	4 (58 GWd/t)
5		1 (53 GWd/t)	4 (49 GWd/t)	17 24
4		3 (44 GWd/t)	60 (48 GWd/t)	50 (57 GWd/t)
3	8 (27.5 GWd/t)	376	72	16 40
2	8		16	32 24
1			32	40 68
during 1° cycle				24 84
	フランス PWR SS clad	フランス PWR Zr4 clad	ドイツ PWR Zr4 clad	スイス PWR Zr4 clad
				ドイツ BWR Zr2 clad

出典：P. Deramaix(BN), BN Developed MIMAS Process: A Mature Process to Convert the Stockpiles of Separated Plutonium into MOX Fuel for Use in LWRs, ENS Top Fuel 2001, 2001.05.27-30.

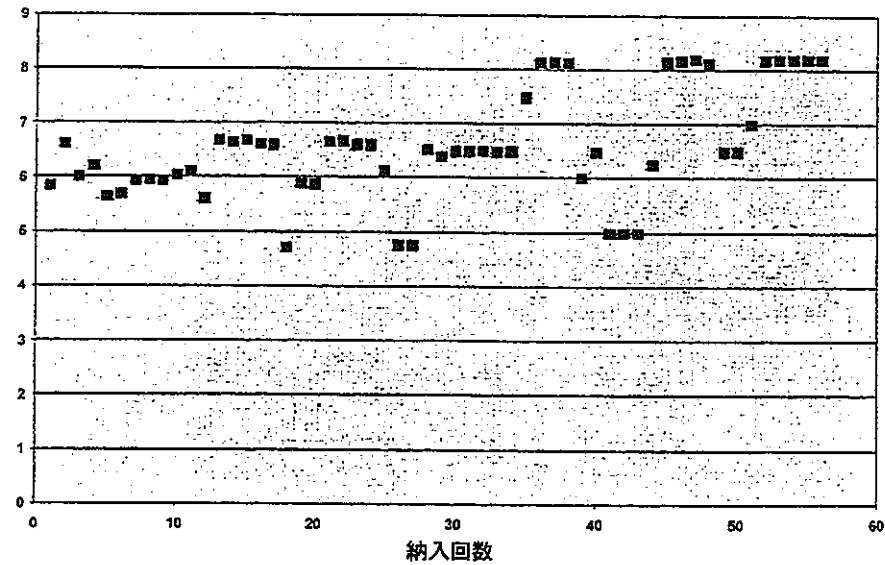
核分裂性プルトニウム (Pu fiss.) の含有率 (%)



アメリシウム (Am) の含有率 (ppm : Am / Pu)

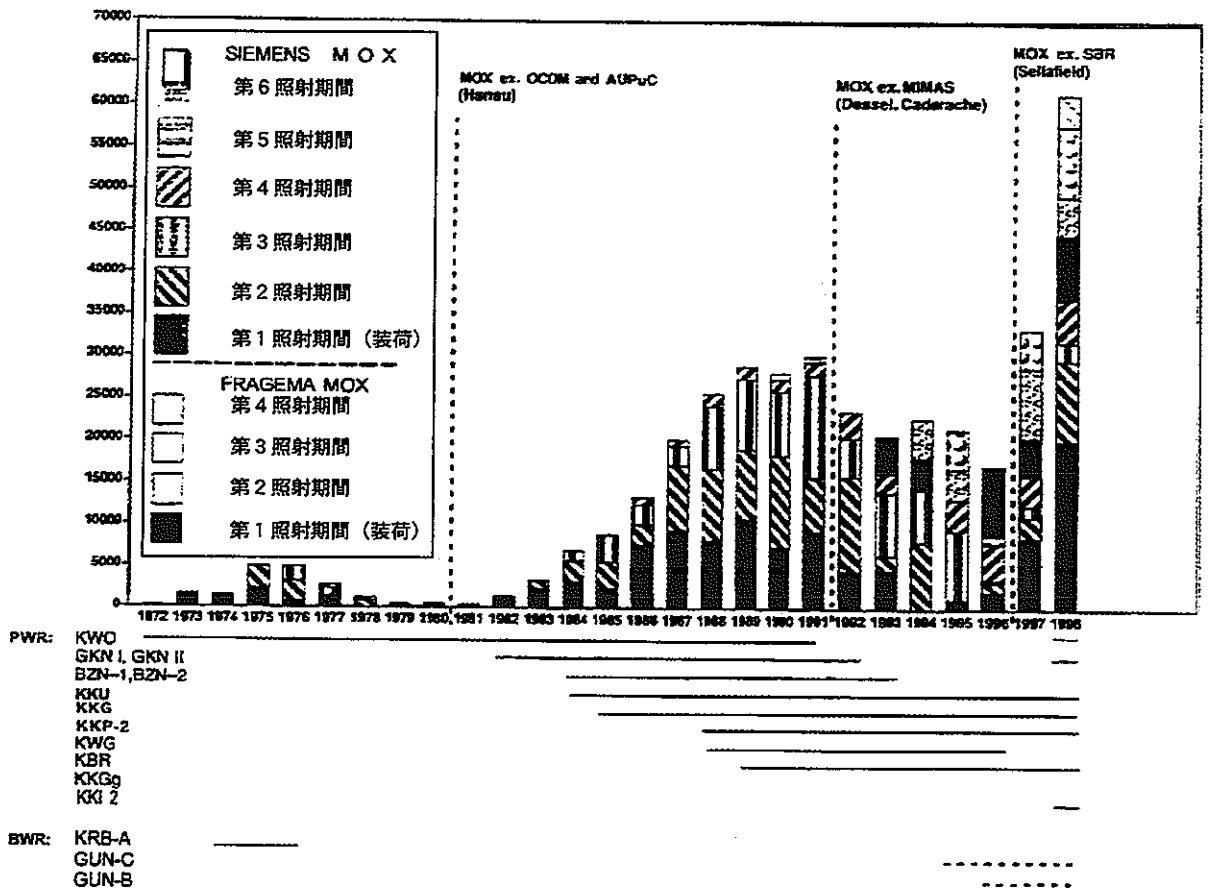


最大プルトニウム富化度 (%)



[第 7.5 図] ベルゴニュークリア社製 MOX 燃料のプルトニウム特性の変化 (1986~1998年)

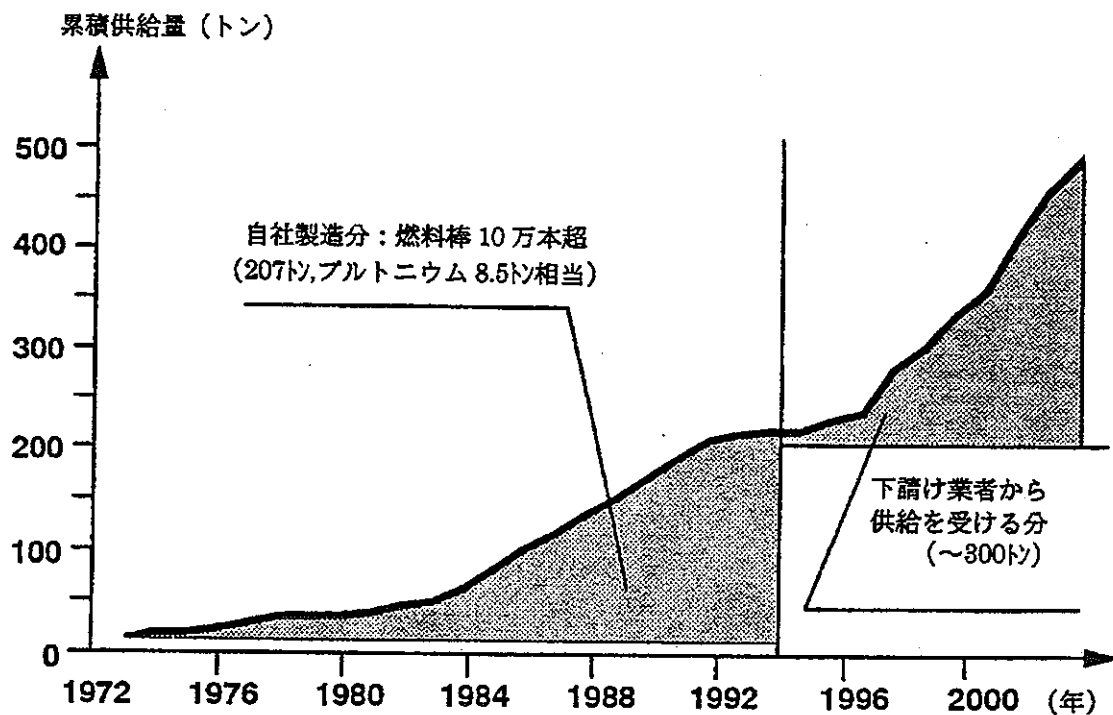
MOX燃料棒の本数



PWR : KWO	オブリヒハイム
GKN-1, GKN-2	ネッカー1号機, 2号機
BZN-1, BZN-2	ベツナウ1, 2号機
KKU	ウンターペーザー
KKG	グラーフェンラインフェルト
KKP-2	フィリップスブルク2号機
KWG	グローンデ
KBR	ブロックドルフ
KKGg	ゲスゲン
KKI 2	イーザル2号機
BWR : KRB-A	グンドレミンゲンA号機
GUN-C	グンドレミンゲンC号機
GUN-B	グンドレミンゲンB号機

【第7.6図】 シーメンス社供給のMOX燃料装荷実績 (1998年現在)

【出典】 W. Stach (Siemens KWU), "Advanced Mixed Oxide Fuel Assemblies with Higher Plutonium Content for Light Water Reactors", IAEA Symposium, 1999.5.17-21.




[第 7.7 図] シーメンス社による MOX 燃料累積供給量の推移
(実績および見通し)

【出典】 P.Urban, et al.(KWU), "Siemens - Competency in Design and Delivery of MOX Fuel Assemblies", International Seminar on MOX FUEL: Electricity Generation from Pu Recycling, Low Wood Hotel, Windermere, England, 1996.06.04.

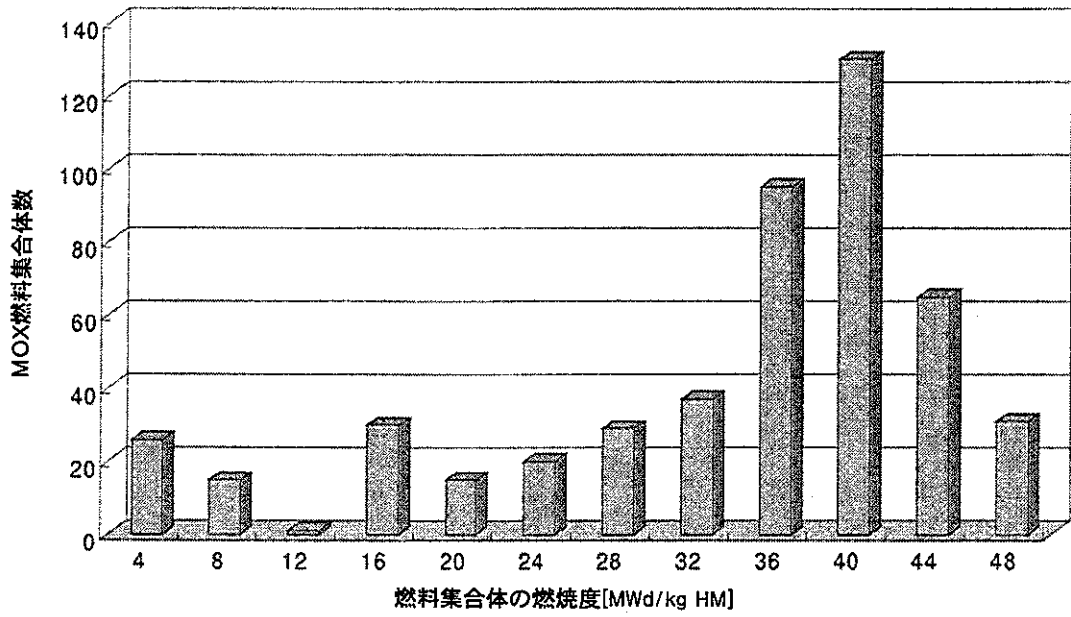
[第7.9表] シーメンス社の1998年4月までの
MOX燃料加工・設計実績

原子炉		型式	初装荷年	累積体数/燃料棒数 [集合体数][燃料棒数]		最高燃焼度 [MWd/kgHM]
カール	(VAK)	6-0	1966	113 ^{*)}	1,134	34 ^{**)}
リンゲン	(KWL)	6-0	1970	1 ^{*)}	15	26 ^{**)}
グンドレミンゲン 1	(KRB-1)	6-0	1974	64	2,240	20 ^{**)}
ピックロックポイント	(BRP)	9NS	1972	2 ^{*)}	48	22
		11NS	1974	26 ^{*)}	641	31
カールスルーエ	(MZFR)	37K-0	1972	8	296	14 ^{**)}
オブリヒハイム	(KWO)	14-16	1972	29	5,220	35
オブリヒハイム	(KWO)	14-16	1981	33	5,940	37
ネッカー 1	(GKN-1)	15-20	1982	32	6,560	42
ゲスゲン	(KKGg)	15-20-1	1997	8	1,632	18
ウンターペーザー	(KKU)	16-20	1984	20	4,720	37
		16-20-4	1987	56	12,992	40
ゲラーフェンラインフェルト	(KKG)	16-20	1985	16	3,776	34
		16-20-4	1987	44	10,208	45
グローンデ	(KWG)	16-20-4	1988	32	7,424	43
フィリップスブルグ 2	(KKP-2)	16-20-4	1988	32	7,424	45
ブロックドルフ	(KBR)	16-20-4	1989	24	5,568	44
ネッカー 2	(GKN-2)	18-24-4	1998	8	2,368	0
ベツナウ 1	(BZN-1)	14-(16+1)	1997	4	716	10
ベツナウ 2	(BZN-2)	14-(16+1)	1984	56	10,024	40
グンドレミンゲン B	(GUN-B)	9-1	1996	100	6,800	23
グンドレミンゲン C	(GUN-C)	9-1	1995	16	1,088	28
合計				724	96,834	

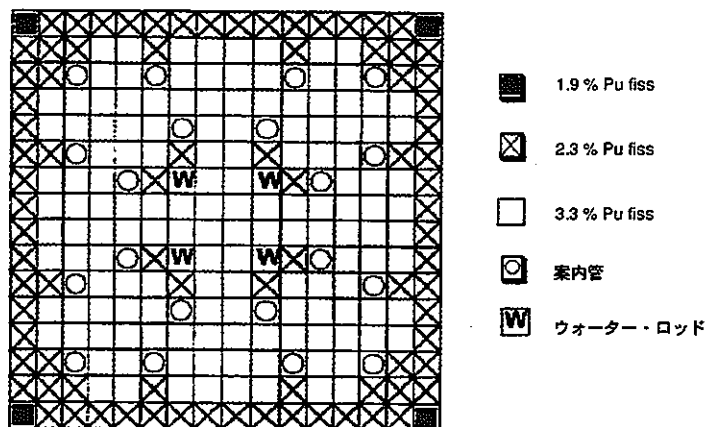
^{*)} 部分的なMOX燃料を含む ^{**)} ピーク・ペレット燃焼度  旧プロセスでの製造

【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU-Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.

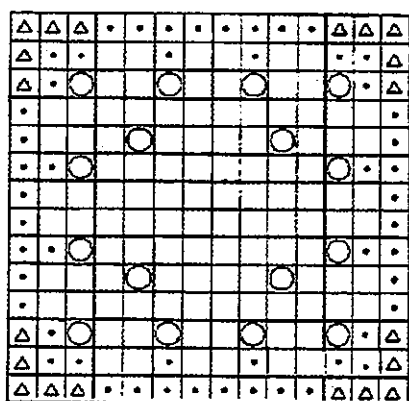
【第7.8図】 シーメンス社のMOX燃料集合体の燃焼度分布



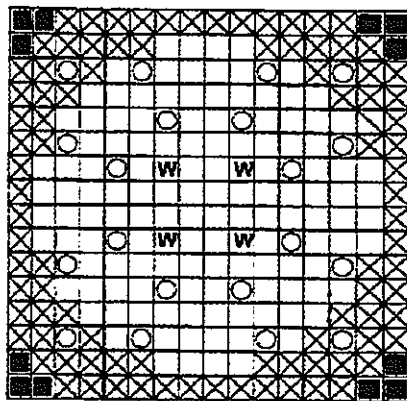
出典：Workshop “Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium”, FZJ, 2000.1.13.



標準MOX・FA設計
(平均 2.91% Pu fiss、天然ウラン)



- △ 2.3% Pu fiss
- 3.3% Pu fiss
- 4.3% Pu fiss
- ⊙ 案内管



- 2.0% Pu fiss
- ⊗ 2.8% Pu fiss
- 4.1% Pu fiss
- ⊙ 案内管
- W ウォーター・ロッド

14×14型MOX・FA設計

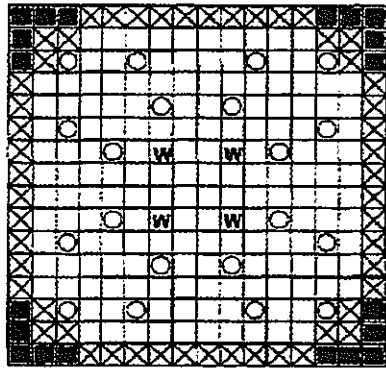
(平均 3.8% Pu fiss、天然ウラン)

16×16型MOX・FA設計

(平均 3.48% Pu fiss、劣化ウラン)

【第 7.9 図】 シーメンス社のPWR用MOX燃料設計 (1 / 2)

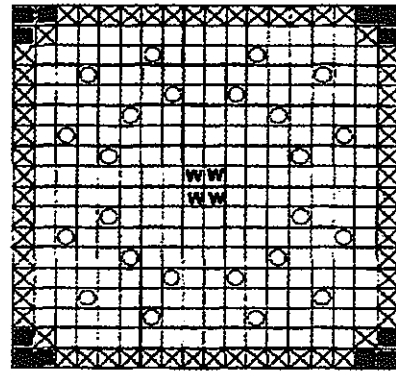
【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU- Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.



- 2.3% Pu fiss ○ 案内管
- ⊗ 3.4% Pu fiss ⊞ ウォーター・ロッド
- 4.7% Pu fiss

16×16型MOX・FA設計

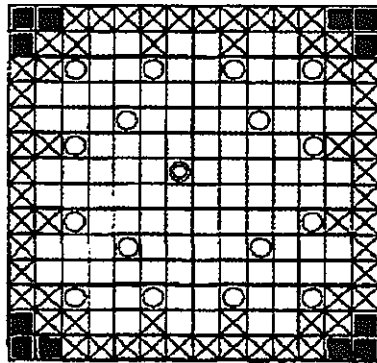
(平均 4.2% Pu fiss、劣化ウラン)



- 2.3% Pu fiss ○ 案内管
- ⊗ 3.3% Pu fiss ⊞ ウォーター・ロッド
- 5.0% Pu fiss

18×18型MOX・FA設計

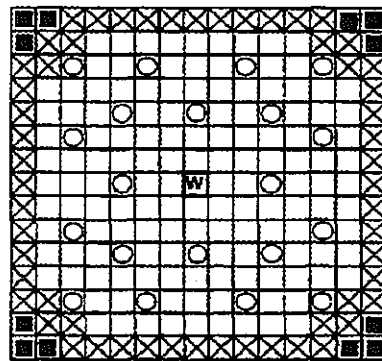
(平均 4.6% Pu fiss、天然ウラン)



- 2.8% Pu fiss ○ 案内管
- ⊗ 3.8% Pu fiss ⊞ 計装管
- 5.5% Pu fiss

14×14型MOX・FA設計

(平均 4.75% Pu fiss、劣化ウラン)



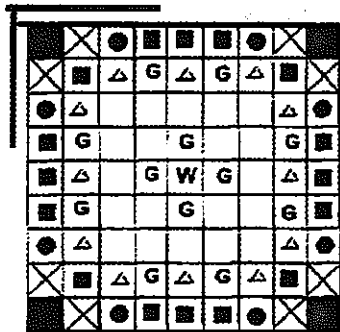
- 2.6% Pu fiss ○ 案内管
- ⊗ 3.5% Pu fiss ⊞ ウォーター・ロッド
- 5.5% Pu fiss

15×15型MOX・FA設計

(平均 4.8% Pu fiss、劣化ウラン)

[第 7.9 図] シーメンス社のPWR用MOX燃料設計 (2 / 2)

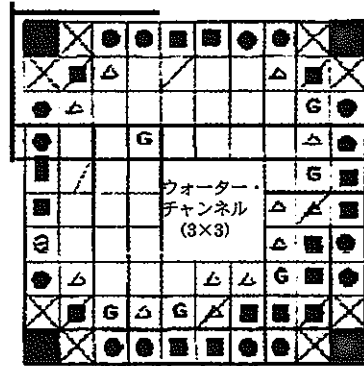
【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU- Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.



- | | |
|-----------------|--|
| ■ 1.15% Pu fiss | △ 4.30% Pu fiss |
| ⊗ 1.70% Pu fiss | □ 5.52% Pu fiss |
| ● 2.30% Pu fiss | G 3.95% U-235
+1.25% Gd ₂ O ₃ |
| ■ 2.60% Pu fiss | W ウォーター・ロッド |

9×9-1型MOX・FA設計

(平均 3.0% Pu fiss、劣化ウラン)



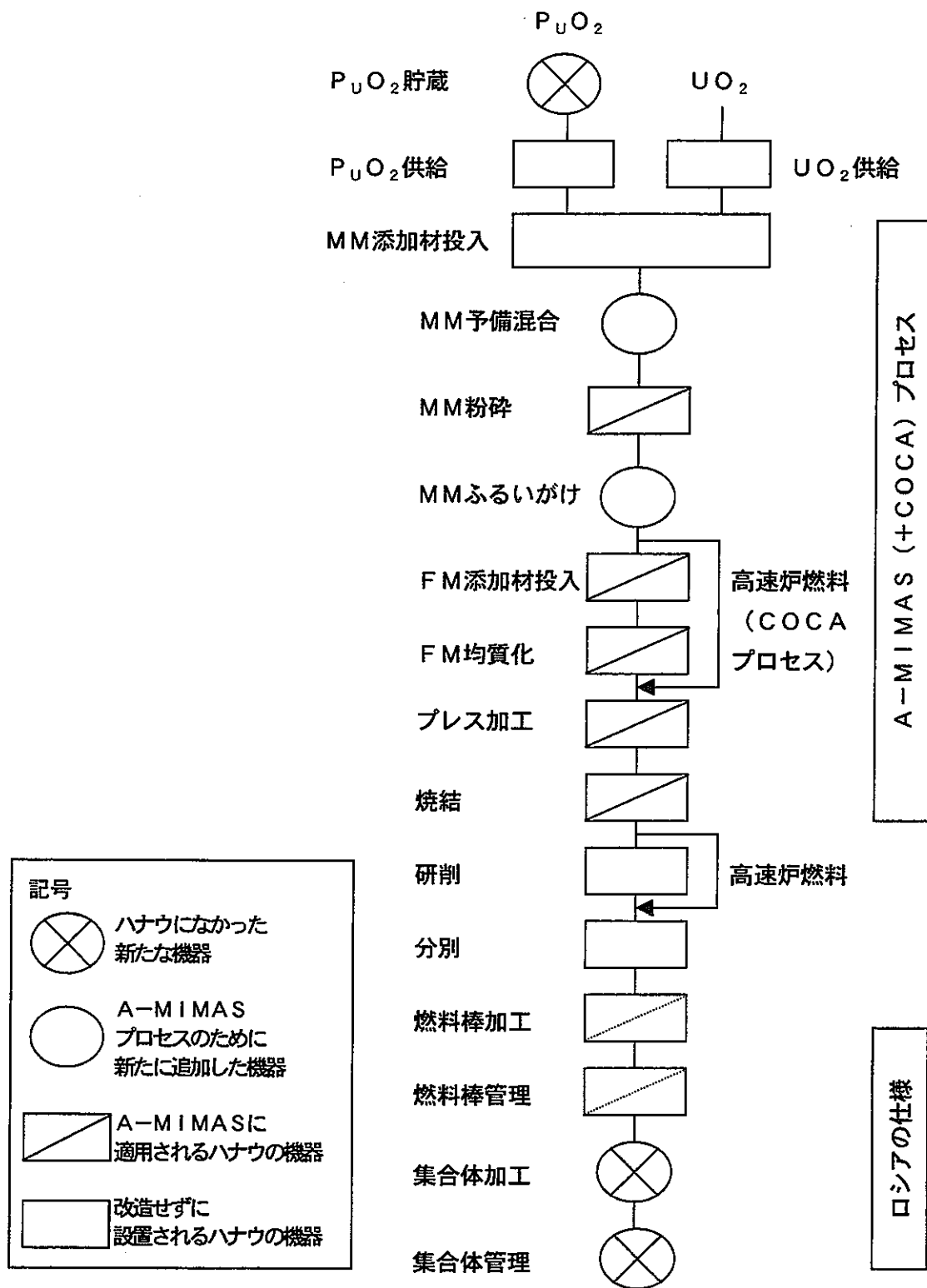
- | | |
|----------------------------|--|
| ■ 2.5% Pu fiss | △ 4.70% Pu fiss |
| ⊗ 1.85% Pu fiss | △ 4.70% Pu fiss
(短い燃料棒) |
| ● 2.55% Pu fiss | □ 5.52% Pu fiss |
| ■ 3.40% Pu fiss | □ 5.52% Pu fiss
(短い燃料棒) |
| ■ 3.40% Pu fiss
(短い燃料棒) | G 3.95% U-235
+1.25% Gd ₂ O ₃ |

ATRIUM 10™型MOX・FA設計

(平均 3.7% Pu fiss、劣化ウラン)

[第 7. 10 図] シーメンス社のBWR用MOX燃料設計

【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU- Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.



【第 7.11 図】 ロシアに建設が予定されている W-Pu-MOX 燃料加工施設 (DEMOX) のプロセス・フロー

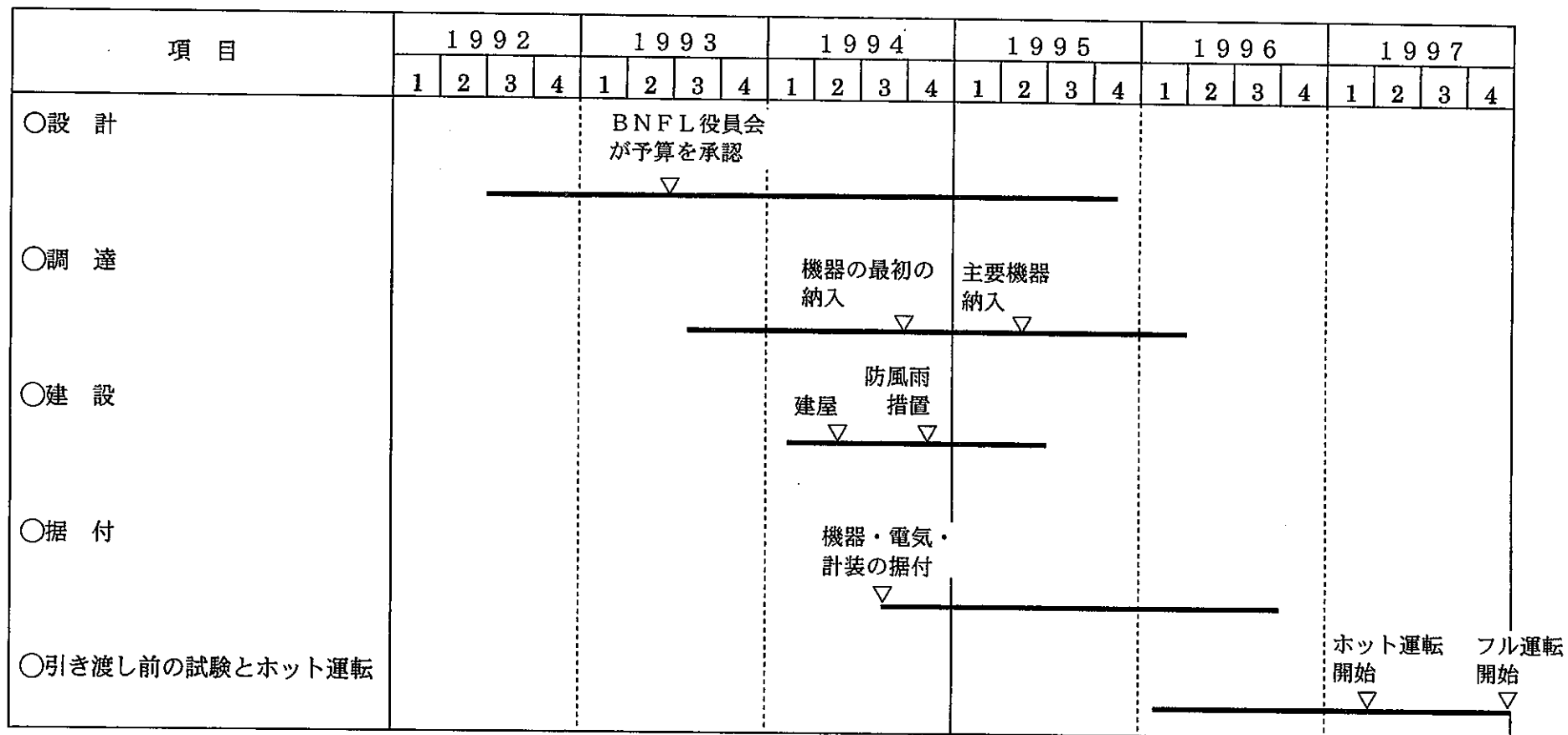
【出典】 Y.Kolotilov (Russia), H.Meffin (Siemens), L.Gaitte(COGEMA), L.Cret(SGN), "DEMOX - Recycling of Russian W-Pu in MOX Fuel". RECOD '98.1998.10.25~28.

[第7.10表] 英国のMOX実証施設(MDF)の運転までの経緯
(1994年現在)

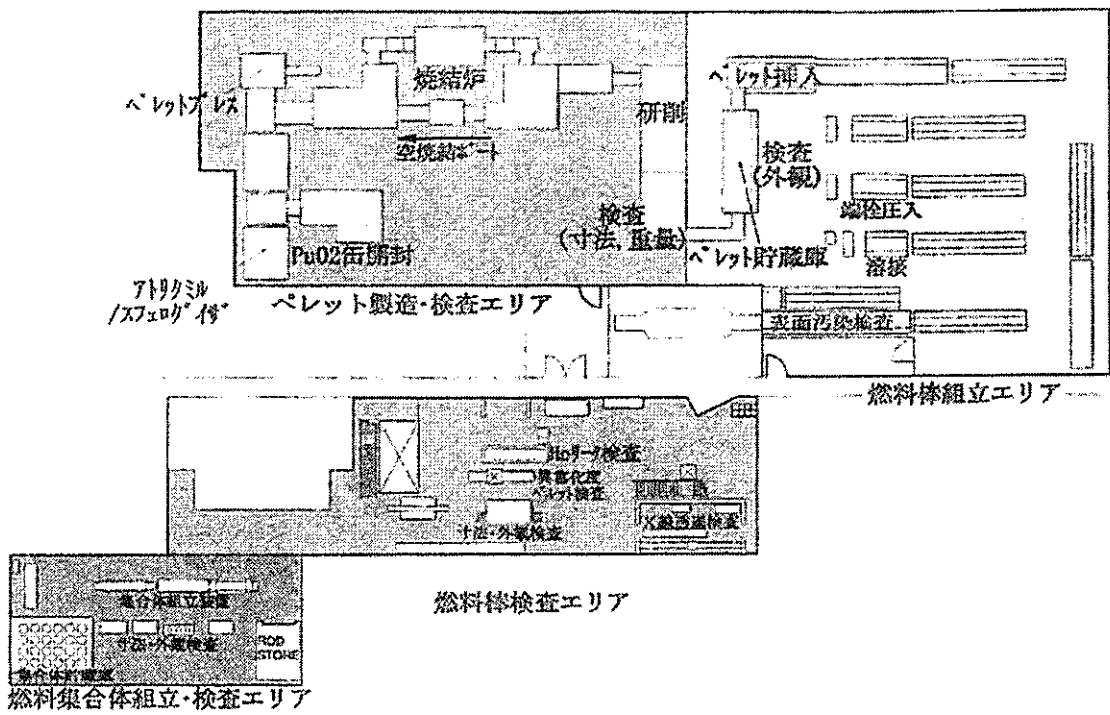
年月	事項
1990年3月	全体プログラム計画立案
8月	最終プログラム承認
11月	計画許可取得
1991年7月	プラントおよび機器の据付許可取得
9月	建屋完成
1992年5月	建屋内部の改造完了
6月	機器調達完了
7月	運転許可取得
12月	機器据付完了
1993年1月	施設がAEAテクノロジー燃料サービス部へ移管
5月	ウラン試験開始
10月	プルトニウムをプラントへ導入 MOX燃料の試験加工を実施
1994年2月	性能検定プログラム終了
1994年中頃	スイスのベツナウ1号機にMOX燃料を装荷

【出典】RECOD'94, 1994.4.24-28 / AEA Technology, BNFL
A. Roberts (BNFL), "Progress in MOX Fuels Fabrication",
Global '97, 1997.10.05~10.

【第 7.12 図】 英国のセラフィールドMOXプラント (SMP) の建設スケジュール (1995年初め現在)

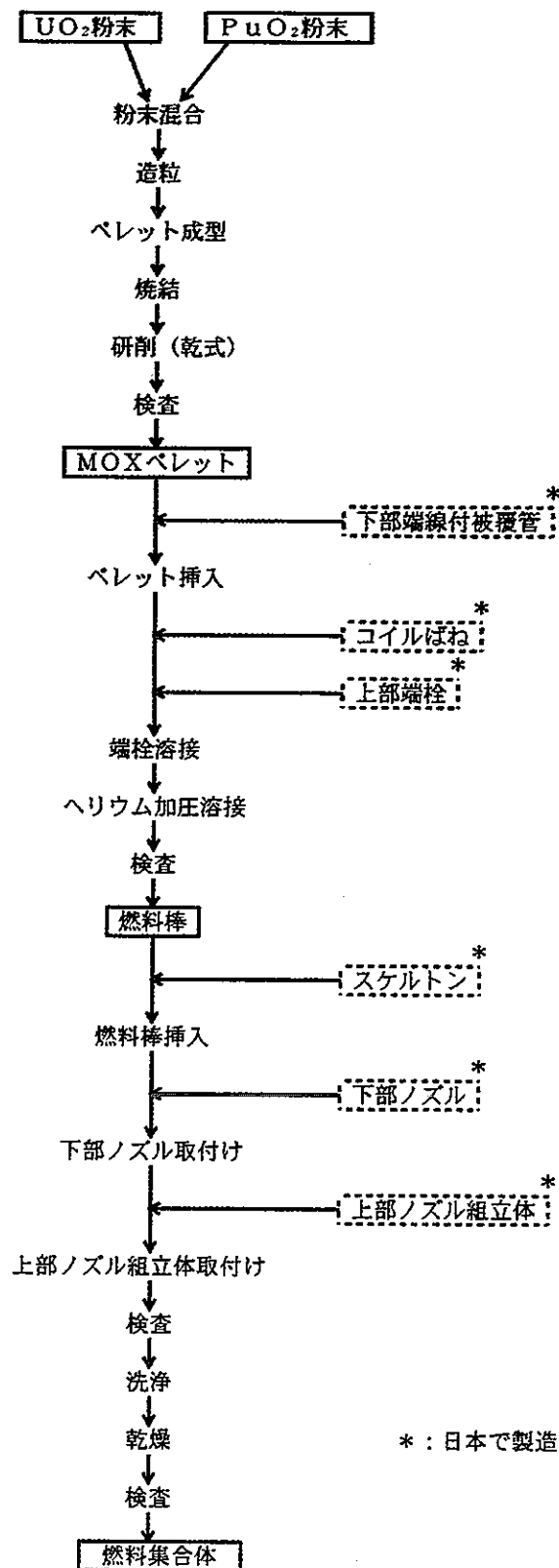


【出典】 BNL/AEA MOX Fuel Capabilities : Presentation, 1993.12



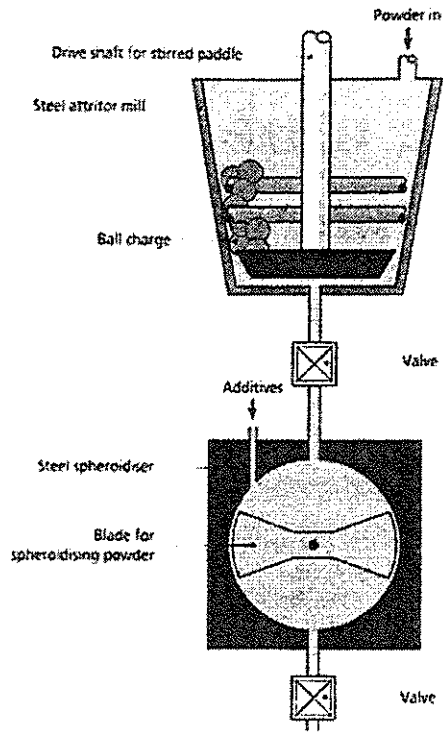
[第 7.13 図] MDFのレイアウト

【出典】三菱重工業（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.12.



【出典】関西電力（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.6.

【第 7.14 図】 MOX 燃料の製造プロセス



[第 7.15 図] MDFのMOX混合・造粒装置

【出典】三菱重工業（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.12.

項目	H 5 年	H 6 年	H 7 年	H 8 年	H 9 年	H 10 年	H 11 年
BNFL資格認定予備調査	[Bar]						
MOX燃料製造データ評価	[Bar]						
ペレットロータビリティテスト		[Bar]					
MDF書類、システム審査			[Bar]				
燃料集合体組立装置製作				[Bar]			
燃料集合体組立実証				[Bar]			
燃料部材製造、輸送				[Bar]			
燃料ホルダー製作、輸送					[Bar]		
MOX燃料加工 最初の8体						[Bar]	
2回目の8体							[Bar]

[第 7.16 図] MDFでのMOX燃料加工のための準備作業と加工のスケジュール

【出典】関西電力（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.6.

[第 7.11 表] MDFにおけるMOX燃料検査と通常のウラン燃料検査との比較

項目	MOX燃料	ウラン燃料
I. ペレット		
1. 不純物	○	○
2. ウラン濃縮度	○	○
3. 寸法 (外径)	○	○
4. 密度	○	○
5. 外観	○	○
6. 化学成分		
UorU+Pu+ ²⁴¹ Am	○	○
O/U比orO/M	○	○
7. Pu富化度	○	-
8. Pu均一度	○	-
II. 燃料棒		
1. 寸法		
全長	○	○
プレナム長さ	○	○
溶接部外径	○	○
2. わん曲 (真直度)	○	○
3. 外観	○	○
4. 表面汚染	○	○
5. ヘリウム漏えい	○	○
6. 溶接部の健全性	○	○
III. 燃料集合体		
1. 寸法		
燃料要素間隔	○	○
全長	○*	○
エンベロープ	○	○
直角度	○	○
下部ギャップ	○	○
上部ギャップ	○	-**
2. 外観	○	○

○：検査実施 -：検査なし

*：MOX燃料の燃料集合体全長は、MOX燃料発熱による熱膨張を考慮し、組立工程での管理・実測結果等から算出する。

**：ウラン燃料では、下部ギャップについて、Go-NoGo検査を行っているが、MOX燃料は上部、下部ギャップについてGo検査を行う。

【出典】関西電力（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.6.

[第 7.12 表] 英国原子燃料公社 (BNFL) の初期の熱中性子炉用
MOX燃料加工実績

国/原子炉	集合体数	Pu 富化度 (%)	被履管材料	MOX (kg)	燃焼度 (GWd/t) 計画 (実際)
英国					
WAGR	4	1.39	ステン鋼	66	12 (20)
WAGR	1	1.6	ステン鋼	132.5	18 (10)
SGHWR	1	1.8	ジルコイ	216	20 (12)
ベルギー					
BR3	1	6.0/7.0	ステン鋼	16	25 (45)
ドイツ					
カール	1	1.73	ジルコイ 2	62.5	11 (16)
イタリア					
ガリアーノ	8	1.4/2.85	ジルコイ 2	1800	20 (25)
スウェーデン					
アジェスタ	4	2.0	ジルコイ 2	530	5.5 (12)

【出典】 BNFL / AEA MOX Fuel Capabilities : Presentation, 1993.12

[第 7.13 表] 米国メーカー製 MOX 燃料加工実績 (1988 年現在)

	原子炉名	炉型	MOX燃料 製造メーカー	使用期間・実績
米 国	San Onofre-1	PWR	W H	
米 国	Saxton	PWR	W H	1965~1972年
イタリア	Trino	PWR	W H	1976~1985年
スイス	Garigliano	BWR	GE-BN	1968~1979年
米 国	Beznau-1	PWR	W H	1978~1981年
米 国	Quad Cities-1	BWR	G E	燃焼度 24,000MWd/トン (集合体)、34,000MWd/トン (ペレット) 達成
米 国	Big Rock Point	BWR	ENC-GE	燃焼度 28,000MWd/トン (集合体)、31,000MWd/トン (ペレット) 達成 1969~1979年
米 国	Dresden-1	BWR	UNC-GUNF	1970~1977年
日 本	美浜1号	PWR	W H	1988年3月~

【出典】 IEA Jまとめ

【第 7.14 表】 ロシアのMOX燃料加工施設

施 設	加工プロセス	装荷炉	加工実績 (トン)	加工能力 (年産)
PAKET (チェリャビンスクの マヤク)	UO ₂ -PuO ₂ を機械的混合し、 ペレットに成形	BR5 BN-350 BN-600	3,800 本 : 1 トン 1,778 本 } 1 トン 1,524 本 }	~1996年 : 300kg/年 (10~12 集合体/年) 1997年以降 : 1 トン/年 (30~40 集合体/年)
RIAR (デイトロフグラード)	ビプロ・バックド燃料	BOR-60 BN-350 BN-600	12,800 本 } 254 本 } 1.8 トン 762 本 }	1 トン/年
Complex-300 (チェリャビンスク)	UO ₂ -PuO ₂ を 30%Pu/HM に 混合 (主混合) した後、二次 混合、予備圧縮、造粒、ペレ ット成形を行う	BN-600 BN-800 VVER-1000 (現在評価中)	—	60 トン/年 (50%建設済、現在延期中)

【出典】 Management of Separated Plutonium: The Technical Options, OECD / NEA, 1997.

[第 7.15 表] 日本の商業MOX燃料加工プラント

位 置	青森県上北郡六ヶ所村（再処理事業所内、再処理工場隣接地点）
最大加工能力	130 トンHM/年
建設費	約 1,200 億円
運開（予定）	2009年4月頃 （工事開始：2004年4月頃）
主 建 屋	約 70m×約 70m 延床面積 約 2万㎡
操業人員	約 300 人
原料MOX粉末	六ヶ所再処理工場で回収されるMOX粉末 （MOX粉末は、プルトニウム：ウラン=1：1の混合酸化物粉末）
希釈用ウラン	劣化ウラン （劣化ウランは、ウラン濃縮施設での濃縮ウラン生産に伴い発生する。 劣化ウランで原料MOX粉末を希釈し、所定の富化度とする。）
製品燃料	軽水炉用（PWR、BWR）MOX燃料

【第7.16表】 OECD/NEAによるOECD各国の燃料加工需給（2000年現在）

1. 各国の燃料加工能力

単位：トン・重金属/年

国	燃料の種類	1999 (実績)	2000 (実績)	2001	2005	2010	2015
ベルギー	LWR	400	400	400	400	400	N/A
	MOX	35	35	35	35	N/A	N/A
カナダ	HWR	2,750	2,750	2,750	2,950	3,450	3,450
フランス	LWR	1,200	750	750	750	750	750
	MOX	140	140	140	200	200	200
ドイツ	FBR	20	20	N/A	N/A	N/A	N/A
	LWR	650	650	650	650	650	650
日本	LWR	1,674	1,674	1,674	1,674	1,674	1,674
	MOX	9	9	9	N/A	130	130
	FBR	4	4	4	4	4	4
韓国	LWR	400	400	400	400	400	400
	HWR	400	400	400	400	400	400
メキシコ	LWR	0	0	0	0	0	0
オランダ	LWR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
スペイン	LWR	275	275	275	275	275	275
スウェーデン	LWR	600	600	600	600	600	600
英国	LWR	-	-	-	-	-	-
	GCR	1,275	1,275	1,275	1,275	275	275
	MOX	8	0	N/A	120	120	120
米国	LWR	3,900	3,900	N/A	N/A	N/A	N/A
合計		13,740	13,282				

2. 各国の燃料加工需要

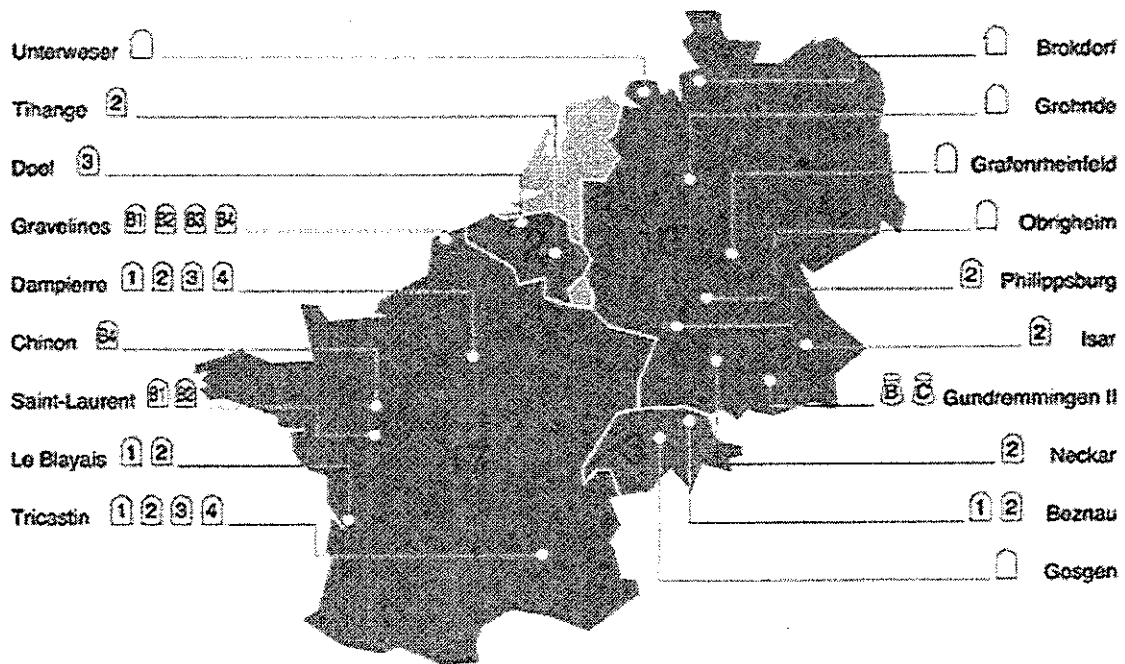
単位：トン・重金属/年

国	999 (実績)	2000 (実績)	2001	2005	2010	2015
ベルギー	94	110	144	114	141	N/A
カナダ	1,400	1,400	1,500	2,300	2,300	2,300
チェコ	43	122	122	79	78	78
フィンランド	72	47	68	68	97	97
フランス	1,177	1,177	1,146	1,063	980	871
ドイツ	430	370	425	420	375	380
ハンガリー	52	52	52	52	52	52
日本	993	905	1,107	1,100	1,600	1,400
韓国	560	550	680	670	820	760
メキシコ	22	45	22	42	21	21
オランダ	10	10	8	0	0	0
スペイン	190	202	240	240	240	240
スウェーデン	230	215	215	200	210	210
スイス	64	64	64	64	64	64
トルコ	0	0	0	0	30	60
英国	888	723	723	800	350	160
米国	2,100	2,100	2,140	2,000	2,000	1,700
合計	8,325	8,092	8,656	9,212	9,358	

【出典】 Nuclear Energy Data, 2001, OECD/NEA

MOX燃料利用の実績および計画

- [第 8.1 図] 欧州におけるMOX装荷炉一覧
- [第 8.1 表] 各国の軽水炉におけるMOX燃料装荷実績 (2001年12月現在調査)
- [第 8.2 表] 世界のMOXリサイクル状況 (1999年初め現在)
- [第 8.3 表] 世界のMOX装荷実績 (1999年初め現在)
- [第 8.4 表] 各国毎のMOX装荷許可条件の比較 (1999年初め現在)
- [第 8.5 表] EDFのMOX燃料装荷状況 (1987~1998年)
- [第 8.6 表] EDFのMOX炉心管理計画
- [第 8.7 表] 仏電力公社 (EDF) の 90 kW 級 PWR におけるプルトニウム・リサイクル計画 (2001年12月現在)
- [第 8.8 表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷許可取得と実際の装荷状況 (2001年現在)
- [第 8.9 表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料の利用状況 (1999年2月現在)
- [第 8.10 表] ドイツの原子炉のMOX燃料装荷状況
- [第 8.11 表] ドイツ電力会社のプルトニウム・リサイクル計画
- [第 8.12 表] ドイツ電力会社の既存の燃料加工契約 (2000年8月31日現在)
- [第 8.13 表] ドイツの原子炉のプルトニウム在庫量および将来の発生量 (2000年8月31日現在)
- [第 8.14 表] ドイツの電力各社のプルトニウム・インベントリ
- [第 8.15 表] 既存の運転許可に基づくドイツの電力会社のプルトニウム削減スケジュール
- [第 8.16 表] ベツナウ発電所におけるMOXリサイクル・プログラム
- [第 8.17 表] ベツナウ1号機のMOX燃料装荷実績
- [第 8.18 表] ベツナウ2号機のMOX燃料装荷実績
- [第 8.19 表] ゲスゲン発電所のMOX燃料装荷実績
- [第 8.20 表] スイスの各原子力発電所のPu予想回収量
- [第 8.2 図] スイスのベツナウの14×14型MOX燃料集合体
- [第 8.3 図] UO_2 -MOX平衡炉心の装荷パターン
- [第 8.21 表] チアンジュ2号機とドール3号機のMOX燃料装荷実績
- [第 8.22 表] チアンジュ2号機/ドール3号機の初期のMOX燃料炉心管理
- [第 8.4 図] チアンジュ2号機/ドール3号機用MOX燃料集合体
- [第 8.5 図] チアンジュ2号機/ドール3号機の炉内MOX燃料集合体装荷パターン
- [第 8.23 表] フランス、ベルギー、ドイツおよびスイスのMOX燃料の炉心管理/仕様の比較
- [第 8.24 表] 米国における過去のMOX装荷実績
- [第 8.25 表] OECD 域内のプルトニウム需要 (2000年現在)
- [第 8.26 表] 日本のプルスーマル計画と実証成果



□ PWR* □ BWR** 32 "moxified" reactors in Europe

*Pressurized Water Reactor **Boiling Water Reactor

出典 : <http://www.moxfuel.com:8084/Mox/MoxFuel.nsf/Documents/ReactorsEurope>

[第 8.1 図] 欧州における MOX 装荷炉一覧
(1999年6月現在)

[第 8.1 表] 各国の軽水炉におけるMOX燃料装荷実績

(2001年12月現在調査)

プラント名	炉型	出力 (MWe)	装荷 (年)	装荷体数
(日本)				
敦賀-1	BWR	357	1986	2
美浜-1	PWR	340	1988	4
(米国)				
ドレスデン-1	BWR	210	1967~1969	15
ビッグロックポイント	BWR	75	1969~1976	53
クオドシティズ-1	BWR	833	1974	5
サクストン	PWR	5.5	1965~1972	9
サンオノフレ-1	PWR	456	1970	4
ギネー	PWR	490	1981	4
(ドイツ)				
カール	BWR	16	1966	113(*)
リンゲン	BWR	252	1970	1(*)
グンドレミンゲンA	BWR	250	1974~1976	64
MZFR (カールスルーエ)	BWR	58	1972	8
オブリヒハイム	PWR	357	1972~	62
ネッカル	PWR	840	1982~	32
ウンターベーザー	PWR	1,320	1984~	20
ウンターベーザー	PWR	1,320	1987~	28
グラーフラインフェルト	PWR	1,345	1985	16
グラーフラインフェルト	PWR	1,345	1987~	28
フィリップスブルク2	PWR	1,402	1988~	32
ブロックドルフ	PWR	1,395	1989~	24
グローンデ	PWR	1,394	1988~	24
ウンターベーザー	PWR	1,320	1992	
グラーフラインフェルト	PWR	1,345	1993	16
フィリップスブルク2	PWR	1,402	1993	20
グラーフラインフェルト	PWR	1,345	1994	28
ブロックドルフ	PWR	1,395	1994	16
グンドレミンゲンC	BWR	1,344	1995	16
グンドレミンゲンB	BWR	1,344	1996	32
ウンターベーザー	PWR	1,320	1996	4
グンドレミンゲンB	BWR	1,344	1997	32
フィリップスブルク2	PWR	1,402	1997	
イーザル2	PWR	1,455	1998	
グンドレミンゲンB	BWR	1,344	1998	36
ネッカル2	PWR	1,365	1998	
グンドレミンゲンB	PWR	1,344	1999	28
グンドレミンゲンB	PWR	1,344	2000	
グンドレミンゲンB	PWR	1,344	2001	
グンドレミンゲンC	BWR	1,344	2001	48
フィリップスブルク2	PWR	1,402	2001	16

プラント名	炉型	出力 (MWe)	装荷 (年)	装荷体数
(フランス)				
CNAセナ	PWR	320	1974~1975	6
CNAセナ	PWR	320	1987	8
サンローランB1	PWR	956	1987	16
サンローランB2	PWR	956	1988	16
サンローランB1	PWR	956	1988	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1989	16
グラブリーヌ4	PWR	951	1989	16
サンローランB2	PWR	956	1989	16
サンローランB1	PWR	956	1990	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1990	16
グラブリーヌ4	PWR	951	1990	8
ダンピエール1	PWR	937	1990	16
サンローランB1	PWR	956	1991	16
サンローランB2	PWR	956	1991	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1991	16
グラブリーヌ4	PWR	951	1991	16
サンローランB1	PWR	956	1992	16
サンローランB2	PWR	956	1992	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1992	16
ダンピエール1	PWR	937	1992	16
サンローランB1	PWR	956	1993	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1993	8
グラブリーヌ4	PWR	951	1993	16
ダンピエール2	PWR	937	1993	16
ブレイエ2	PWR	951	1994	8
ダンピエール2	PWR	937	1994	16
グラブリータ3	PWR	951	1994	16
グラブリータ4	PWR	951	1994	16
サンローランB1	PWR	956	1994	16
サンローランB2	PWR	956	1994	16
ブレイエ2	PWR	951	1995	8
ダンピエール1	PWR	937	1995	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1995	16
サンローランB1	PWR	956	1995	16
サンローランB2	PWR	956	1995	16
ダンピエール1	PWR	937	1996	8
ダンピエール2	PWR	937	1996	8
グラブリーヌ3	PWR	951	1996	8
サンローランB2	PWR	956	1996	16
トリカスタン2	PWR	955	1996	16
トリカスタン3	PWR	955	1996	16
トリカスタン1	PWR	955	1997	16
トリカスタン4	PWR	955	1997	16
サンローランB1	PWR	956	1997	16
グラブリーヌ4	PWR	951	1997	8
グラブリーヌ1	PWR	951	1997	16

プラント名	炉 型	出力 (MWe)	装 荷 (年)	装荷体数
ブレイエ1	PWR	951	1997	16
サンローランB 2	PWR	956	1997	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1997	16
ダンピエール1	PWR	937	1997	16
トリカスタン2	PWR	955	1997	16
トリカスタン3	PWR	955	1997	16
ブレイエ1	PWR	951	1998	16
ブレイエ2	PWR	951	1998	16
ダンピエール1	PWR	937	1998	16
ダンピエール2	PWR	937	1998	16
グラブリーヌ1	PWR	951	1998	16
グラブリーヌ3	PWR	951	1998	16
グラブリーヌ4	PWR	951	1998	16
サンローランB 1	PWR	956	1998	16
トリカスタン1	PWR	955	1998	16
トリカスタン2	PWR	955	1998	16
トリカスタン3	PWR	955	1998	16
トリカスタン4	PWR	955	1998	16
グラブリーヌ2	PWR	951	1998	16
ダンピエール3	PWR	937	1998	16
ダンピエール4	PWR	937	1998	16
シノンB 4	PWR	954	1998	16
MOXリサイクル炉 (19基)	PWRs	90万kW級	1999	192
MOXリサイクル炉 (20基)	PWRs	90万kW級	2000	210
(スイス)				
ベツナウ1	PWR	364	1978	4
ベツナウ2	PWR	364	1984~1989	52
ベツナウ1	PWR	364	1988~1990	36
ベツナウ1	PWR	364	1992	4
ベツナウ1	PWR	364	1994	4
ベツナウ1	PWR	364	1995	8
ベツナウ1	PWR	364	1996	12
ベツナウ1	PWR	364	1997	4
ゲスゲン	PWR	1,020	1997	8
ベツナウ2	PWR	364	1998	4
ゲスゲン	PWR	1,020	1998	20
ベツナウ2	PWR	364	1999	8
ゲスゲン	PWR	1,020	1999	20
(ベツナウ1) *	PWR	364	1999	(12)*
ベツナウ2	PWR	364	2000	4
ゲスゲン	PWR	1,020	2000	20
ベツナウ1	PWR	364	2001	8
ベツナウ2	PWR	364	2001	0
ゲスゲン	PWR	1,020	2001	20

*1997年に取り出された集合体を再装荷

プラント名	炉 型	出力 (MWe)	装 荷 (年)	装荷体数
(ベルギー) BR-3	PWR	11.2	1963~1969 1972 1976 1979 1981 1984 1985~1987	4 22 31 22 18 28 26
チアンジュ2	PWR	970	1995	8
ドール3	PWR	1,020	1995	8
チアンジュ2	PWR	970	1996	12
ドール3	PWR	1,020	1996	8
チアンジュ2	PWR	970	1997	12
ドール3	PWR	1,020	1997	8
チアンジュ2	PWR	970	1998	8
ドール3	PWR	1,020	1998	8
ドール3	PWR	1,020	1999	8
チアンジュ2	PWR	970	2000	8
ドール3	PWR	1,020	2000	8
チアンジュ2	PWR	970	2001	0
ドール3	PWR	1,020	2001	8
(イタリア) ガリリアーノ トリノ	BWR PWR	164 270	1968~1975 1976	62 8
(オランダ) ドーデバルト	BWR	58	1971~1981 1988	7 5
(スウェーデン) オスカーシャム1	BWR	462	1974	3
(インド) タラプール1	BWR	160	1994	2
タラプール2	BWR	160	1996	4
タラプール2	BWR	160	1998	2

【出典】 I E A J まとめ

(*) P u 燃料要素を部分的に含んだ燃料を含む。

[第 8.2 表] 世界のMOXリサイクル状況 (1999年初め現在)

国 炉型	運転中の 原子炉		MOX装荷 許可炉		MOX 装荷炉	
	PWR	BWR	PWR	BWR	PWR	BWR
フランス	57	0	20	0	17	0
ドイツ	14	6	10	2	9	2
ベルギー	7	0	2	0	2	0
スイス	3	2	3	1	3	0
日本	23	28	1	1	0	0
小計	104	36	36	4	31	2
合計	140		40		33	

【出典】 J. L. Provost (EDF), M. Schrader (RWE), S. Nomura(JNC) "MOX Fuel Fabrication and in LWRs Worldwide", IAEA Symposium of MOX Fuel Cycle Technologies for Medium and Long Term Deployment, Vienna, 1999.5.17-21.

[第 8.3 表] 世界のMOX装荷実績 (1999年初め現在)

国	MOX装荷		プルトニウム 利用 tHM (推定)	MOX装荷炉数
	tHM (推定)	集合対数		
フランス	450	1000	23	17 PWR
ドイツ	210	800	12	9 PWR 2 BWR
スイス	60	160	3	3 PWR
ベルギー	30	70	2	2 PWR
合計	750	2030	40	33

【出典】 J. L. Provost (EDF), M. Schrader (RWE), S. Nomura(JNC), "MOX Fuel Fabrication and in LWRs Worldwide", IAEA Symposium of MOX Fuel Cycle Technologies for Medium and Long Term Deployment, Vienna, 1999.5.17-21.

[第 8.4 表] 各国毎の MOX 装荷許可条件の比較 (1999 年初め現在)

国	炉内の MOX 装荷率	最大 Pu fiss 富化度 (%)	最大燃焼度 (GWd/t)
フランス	30%	5.3 (Pu total)	40
ドイツ	50%	4.65	48
ベルギー	1/5	7.7 (Pu total)	
スイス	40%	5.5	50
日本	1/3	8 (13% Pu total)	45

【出典】 J.-P. West (EDF), L. Heins (Siemens), J. J. Jadot (Tracheal Energy Engineering), T. Fujishiro (JAERI), "Overview of Safety Analysis, Licensing and Experimental Background of MOX Fuels in LWRs", IAEA Symposium of MOX Fuel Cycle Technologies for Medium and Long Term Deployment, Vienna, 1999.5.17-21.

[第 8.5 表] EDFのMOX燃料装荷状況(1987~1998年)

原子炉	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	燃料体数合計	MOX 燃料体数合計
ブレイエ1											C15 16MOX	C16 16MOX	2	32
ブレイエ2								C12 8MOX	C13 8MOX	C14 -	C15 -	C16 16MOX	5	32
シノンB3													0	0
シノンB4												C11 16MOX	1	16
ダンピエール1				C9 16MOX	C10 -	C11 16MOX	C12 -	C13 -	C14 16MOX	C15 8MOX	C16 16MOX	C17 16MOX	9	88
ダンピエール2							C12 16MOX	C13 16MOX	SH	C14 8MOX	C15 -	C16 16MOX	5	56
ダンピエール3											C15 -	C16 16MOX	1	16
ダンピエール4											C15 -	C16 16MOX	1	16
グラブリーヌ1											C15 16MOX	C16 16MOX	2	32
グラブリーヌ2												C16 16MOX	1	16
グラブリーヌ3			C8 16MOX	C9 16MOX	C10 16MOX	C11 16MOX	C12 8MOX	C13 16MOX	C14 16MOX	C15 8MOX	C16 16MOX	C17 16MOX	10	144
グラブリーヌ4			C8 16MOX	C9 8MOX	SH	C10 16MOX	C11 16MOX	C12 16MOX	C13 -	C14 -	C15 8MOX	C16 16MOX	9	96
サンローランB1	C5 16MOX	C6 16MOX	SH	C7 16MOX	C8 16MOX	C9 16MOX	C10 16MOX	C11 16MOX	SH	C12 16MOX	C13 16MOX	C14 16MOX	10	160
サンローランB2		C6 16MOX	C7 16MOX	SH	C8 16MOX	C9 16MOX	C10 -	C11 16MOX	C12 16MOX	C13 16MOX	C14 16MOX	C15 -	10	128
トリカスタン1											C16 16MOX	C17 16MOX	2	32
トリカスタン2										C15 16MOX	C16 16MOX	C17 16MOX	3	48
トリカスタン3										C15 16MOX	C16 16MOX	C17 16MOX	3	48
トリカスタン4											C15 16MOX	C16 16MOX	2	32
MOX運転燃料体数合計	1	2	3	4	4	5	6	7	5	9	13	17	76	
MOX燃料体数合計	16	32	48	56	48	80	56	88	56	88	168	256		992

【出典】 A. Gloaguen (EDF), "EDF's Program for Spent Fuel Management", IAEA International Symposium on Storage of Spent Fuel from Power Reactors, Vienna, 1998.11.9~13.

[第 8.6 表] EDFのMOX炉心管理計画

炉心管理方法	年	UO ₂ 燃料	MOX燃料
3サイクル	1995	36体 (3.25%) ~35,400MWd/t	16体 37,500 MWd/t
ハイブリッド管理 UO ₂ : 4サイクル MOX: 3サイクル		28体 (3.7%) ~45,000MWd/t	16体 37,500 MWd/t
4サイクル	2005~06	28体 (3.7%) 45,000MWd/t	12体 45,000MWd/t

・ 燃焼度は平均。

【出典】 J. L. Nigon, W. Fournier (COGEMA), "MOX Fabrication and MOX Irradiation Experience Feedback from the French Programme", International Seminar on MOX FUEL: Electricity Generation from Pu Recycling, 1996.06.04.; P. Desmoulins (EDF), JP. Marcon (FRAMATOM), JL. Nigon (COGEMA), "French MOX Fuel Irradiation Experience and Development", Global '97, Yokohama, 1997.10.05~10; Nuclear Fuel 2000.05.01; inside NRC 2001.07.30.

[第 8.7 表] 仏電力公社 (EDF) の 90 万 kW 級 PWR における
プルトニウム・リサイクル計画 (2001 年 12 月現在)

① 既に装荷されている原子炉 : 20 基	
サン・ローラン	B 1 (1987 年~)
	B 2 (1988 年~)

グラブリーヌ	B 1 (1997 年~)
	B 2 (1998 年~)
	B 3 (1989 年~)
	B 4 (1989 年~)

ダンピエール	1 (1990 年~)
	2 (1993 年~)
	3 (1998 年~)
	4 (1998 年~)

ブレイエ	1 (1997 年~)
ブレイエ	2 (1994 年~)

トリカスタン	1 (1997 年~)
	2 (1996 年~)
	3 (1996 年~)
	4 (1997 年~)

シノン	B 1 (2000 年~)
	B 2 (1999 年~)
	B 3 (1999 年~)
	B 4 (1998 年~)
② 許認可を申請中の原子炉 : 2 基	
グラブリーヌ	C 5 および C 6
③ 許認可取得が計画されている原子炉 : 6 基	
ブレイエ	3 および 4
クリュアス	1 ~ 4

【出典】MELOX 社パンフレット, 1993; Nucleonics Week 1994.03.28;
EDF 資料, 1996; Nucleonics Week, 1998.07.30; A.Gloague
(EDF) "EDF's Program for Spent Fuel Management", IAEA
International Symposium on Storage of Spent Fuel from Power
Reactors", Vienna, 1998.11.9~13; Nuclear Fuel 2000.5.1.

[第8.8表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷許可取得と実際の装荷状況
(2001年現在)

原子炉	運開年	MWe [ネット]	MOX装荷 許可	MOX装荷
PWR				
オブリッヒハイム (KWO)	1968	340	○	○
シュターデ (KKS)	1972	640		
ビブリス A (KWB A)	1975	1,167	申請中	
ネッカル 1 (GKN 1)	1976	785	○	● (注1)
ビブリス B (KWB B)	1977	1,240	申請中	
ウンターヘーザー (KKU)	1979	1,285	○ (装荷許可申請中)	○
グラーフェンライフェルト (KKG)	1982	1,275	○	○
フィリップスブルク 2 (KKP 2)	1985	1,358	○	○
グロンデ (KWG)	1985	1,360	○ (装荷許可申請中)	○
ブロクトルフ (KBR)	1986	1,326	○	○
エムスラント (KKE)	1988	1,290	○	
イーザル 2 (KKI 2)	1988	1,340	○	○
ネッカル 2 (GKN 2)	1989	1,269	○	○
(ミュールハイム・ケールリッヒ (KMK)) (注3)	1987	1,260	取り下げ (注2)	
BWR				
ブルンズビュッテル (KKB)	1976	771	申請中	
フィリップスブルク 1 (KKP 1)	1980	890		
イーザル 1 (KKI 1)	1979	870	申請中	
クリュンメル (KKK)	1984	1,260	申請中	
グントレミンゲン B (KRB B)	1984	1,284	○	○
グントレミンゲン C (KRB C)	1985	1,288	○	○

(注1) 1982年にMOX装荷されたが、現在では装荷は行われていない。

(注2) エムスラントではまだMOX装荷が行われていない。

(注3) 脱原子力協定の一環で、ミュールハイム・ケールリッヒは運転停止されたまま、運転許可申請が取り下げられた。

[第8.9表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料の利用状況

(1999年2月現在)

原子力発電所	MOX燃料の利用状況		
	許可取得	1999年2月現在の装荷状況	
		装荷の有無	炉内装荷体数
バーデン・ヴュルテンベルク州			
オブリヒハイム	○	○	8
フィリップスブルク 1	×	—	
フィリップスブルク 2	○	○	40
ネッカル1	○	×	0
ネッカル2	○	○	8
バイエルン州			
グラーフラインフェルト	○	○	16
イーザル1	×	—	
イーザル2	○	○	16
グンドレミンゲンB	○	○	96
グンドレミンゲンC	○	○	16
ヘッセン州			
ビブリスA	×	—	
ビブリスB	×	—	
ニーダーザクセン州			
シュターデ	×		
ウンターヴェーザー	○	○	32
グローンデ	○	×	0
エムスラント	○	×	0
ラインラント・プファルツ州			
ミュールハイム・ケールリヒ	×	—	
シュレスヴィヒ・ホルシュタイン州			
ブルンスビュッテル	×	—	
クリュンメル	×	—	
ブロックドルフ	○	○	64

【出典】Deutscher Bundestag, Drucksache 17/747, 1999.04.12

[第8.10表] ドイツの原子炉のMOX燃料装荷状況

2000年12月31日現在

発電所名	略称	MOX 利用 開始年	12月31日時点の 燃料装荷体数			MOX燃料の最大装荷体数			
			合計	うちMOX燃料 装荷体数		実績		許可	
				体数	体数	%	体数	%	体数
ブロックドルフ	KBR	1989	193	64	33.2	64	33.2	64	33.2
フィリップスブルク	KKP-2	1988	193	30	15.5	51	20.7	96	49.7
ウンターヴェーザー	KKU	1984	193	60	31.1	48	16.6	96	33.2
グンドレミンゲンB	KRB-B	1995	784	192	24.5	124	12.2	300	38.3
グンドレミンゲンC	KRB-C	1995	784	8	1.0	16	2.0	300	38.3
グラーフエンラインフェルト	KKG	1985	193	0	0.0	32	16.6	64	33.2
オブリヒハイム	KWO	1972	97	14	14.4	24	24.7	28	28.9
ネッカー1	GKN-1	1982	177	0	0.0	16	9.0	16	9.0
グローンデ	KWG	1988	193	28	14.5	28	10.4	64	33.2
イーザル	KKI-2	1998	193	32	16.6	16	8.2	96	49.7
ネッカー2	GKN-2	1998	193	32	16.6	16	4.1	72	37.3
エムスラント	KKE	-	193	0	0.0	0	0.0	48	24.9

【出典】 BfS, Statusbericht zur Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland 2000.

【第8.11表】ドイツ電力会社のプルトニウム・リサイクル計画
 (既存のMOX燃料装荷許可、2000年8月31日現在のPu在庫量・予測発生量に基づく)

■ 既存のMOX燃料加工契約

電力会社	発電所	MOX燃料集合体の装荷体数およびそれらの燃料に含まれるPufiss(体数/kgPu)															合計 (kgPu)	最終運転年 (予定)*			
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014			2015		
E. ON原子力社	KKI2	16/392	16/392	16/392	16/392		16/392	8/196										2,156	2020		
	KKG		16/298	16/298		16/392	16/392	16/392	16/392	8/196								2,359	2014		
	KBR		16/333	16/333	16/333	16/333	16/333	16/333	16/333	16/333	16/333	16/333						2,995	2019		
	KKU		16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264							2,112	2011		
	KWG		16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	16/264	12/198						2,310	2017		
EnBW	KKP2			オブリヒハイム+カールスルーエ研究センターの回収Puを装荷		20/459	16/365	20/460		20/460	16/376							2,121	2017		
ネッカー共同原子力発電会社	GKN2			オブリヒハイムの回収Puを装荷								16/402	16/402			12/282		2,135	2021		
HEW	KKK**)							32/186	32/186	64/372	64/372	64/372	64/372	64/372	40/233			2,465	2016		
オブリヒハイム原子力発電会社		回収PuはKKP2とGKN2に装荷																			
RWEパワー社	KRB		84/529	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	100/630	46/290	9,009	2017
	KLE	MOX燃料の装荷開始時期は未定																			

(略称)KKI:イーザル、KKG:グラフェンライフェルト、KBR:ブロッツェル、KKU:ウンターヘーザー、KWG:グロンデ、KKP:フリッツスブルク、GKN:ネッカー、KKK:クリュメル、KRB:グントレミンゲン、KLE:エムスラト

*) 運転から32年後。

***)MOX装荷許可の2003年発給を想定。プルスビュッテルの回収PuはKKKに装荷され、KKKの回収Pu(460kgPufiss)はKWGに装荷される予定(2002年に12体、2003年に16体)。

(2000年11月にE. ON原子力社が作成)

[第8.12表] ドイツ電力会社の既存のMOX燃料加工契約(2000年8月31日現在)

電力会社	発電所	納入者/加工業者*)	燃料集合体数**)	装荷年
E. ON 原子力社	イーザル2	シーメンス/ベルゴニュークリア COGEMA	2×16 1×16、1×8	2002&2003 2005&2006
	ガラフェンラインフェルト	フラジエマ	2×16	2001&2002
	ブロックドルフ	フラジエマ	3×16	2001-2003
		N.N./COMMOX	4×16	2004-2007
	ウンターベーザー	シーメンス/COMMOX	3×16	2001-2003
		N.N./COMMOX	4×16	2004-2007
	グローンデ	シーメンス/COMMOX シーメンス/COMMOX クリュンメル の分離Puを装荷(HEW参照)	1×16 1×4	2001 2002 2002-2003
EnBW	フィリップスブルク2	フラジエマ/COMMOX	36	2002&2003
ネッカル共同 原子力発電会社	ネッカル2	フラジエマ シーメンス/BNFL***)	1×16、1×12 2×16	2001&2002 2006&2007
HEW	グローンデ	シーメンス/COMMOX	1×12	2002
		シーメンス/BNFL	1×16	2003
	クリュンメル	シーメンス/BNFL	2×32、2×64	2005-2008
オブリヒハイム 原子力発電会社	X)	X)オブリヒハイムの分離Puはフィリップスブルク2とネッカル2に装荷		
RWE エネルギー社	グンドレミンゲン	シーメンス/COMMOX シーメンス/ベルゴニュークリア	84 416	2001 2002-2006
		シーメンス/COMMOX	320	2004-2009
	エムスラント	BNFL(製造オプション)	全プルトニウム量に応じた燃料製造	

*) 燃料加工工場:

ベルゴニュークリア社=デッセル

COMMOX、COGEMA、フラジエマ=カダラッシュ、メロックス、デッセル

BNFL=セラフィールド

***) 未納入または未使用

***) 交渉中

N.N.=未定

(2000年10月にE. ON原子力社が作成)

[第8.13表] ドイツの原子炉のプルトニウム在庫量および
将来の発生量(2000年8月31日現在)

発電所	在庫量 (旧契約より)			将来の発生量** (未履行契約より)	合計
	PuO2*	貸付分	未使用の MOX燃料 集合体		
	kg Pufiss			kg Pufiss(予測)	kg Pufiss(予測)
イーザル1	444			14①	458
イーザル2	0		784②	1,025	1,809
グラフェンライフェルト	196	370		1,448	2,014
ブロックドルフ	413			1,361	1,774
グローンデ	245		263	858	1,366
シュターデ	307	104		559③	971
ウンターベーザー	1,050	-112		1,374	2,312
ヴェルガッセン	204	-12		299	492
フィリップスブルク	972	-603		1,430	1,799
ネッカル	447	10		1,414	1,871
ブルンズビュッテル	759	293		389	1,441
クリュンメル	281	488		716	1,485
オブリッヒハイム	200	114		153	466
グントレンゲン2④	976		230	167	1,373
ビブリス	3,903	293		2,525	6,721
エムスラント	0			1,040	1,040
合計	10,398	945	1,277	14,772	27,392

*) 未加工(ハナウ・プラントの貯蔵用集合体内のプルトニウムを含む)

**) Pufiss係数:0.6%

①契約に基づき再処理事業者/第三者への引渡が予定されているプルトニウム1,380kgを含まない。

②このうち391 kg Pufissは2000年8月20日に照射。

③2003年閉鎖予定。全ての燃料集合体(約144トン)はCOGEMAに輸送され、

これによりプルトニウム発生量は約456kg増加する見通し。

④このうちE. ON原子力社(EKK)への割当分128kgはEKK所有の発電所で利用される。

(2001年2月にE. ON原子力社が作成)

【第8.14表】 ドイツの電力各社のプルトニウム・インベントリ

1998年12月31日現在

電力会社名	イベントリ ^{*)} kg Pu-fiss		今後の発生量 ^{**)} kg Pu-fiss	
	旧契約	新契約	旧契約	新契約
BAG/LAW/SWM ^{***)}	1,652	0	448	2,462
パーデン・ヴェルテンベルク・ エネルギー社 (EnBW)	116	0	684	1,260
ネッカル共同原子力発電会社 (GKN)	830	0	834	705
ハンブルク電力会社 (HEW)	1,860	0	1,650	0
オブリッヒハイム原子力発電会社 (KWO)	303	0	163	0
プロイセン電力原子力発電会社 (PEKK)	2,050	0	2,761	2,341
RWE エネルギー社 (RWE)	5,040	0	2,190	0
リップパーエムス原子力発電会社 (KLE)	0	0	0	780
合計	11,851	0	8,730	7,548

*) 未再処理

**) Pu-fiss-Factor: 0.6%

***) BAG: バイエルンヴェルク社、LAW: イーザル電灯会社、SWM: ミュンヘン市営会社

出典: Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

【第8.15表】 既存の運転許可に基づくプルトニウム削減スケジュール

単位: kg Pu-fis

西 暦	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011 ^{*)}
イーザル 2(KKI-2)/ グラーフェンラインフェルト(KKG)		392	690	298	392	784	784	784	294	196			
フリッパースブル (KKP-2)					450	450	450	450	360				
ネッカル 2 (GKN-2)		390		390	96		390		390		390		293
ブルンシュテット(KKB)	MOX 燃料装荷申請停止												
クリエン(KKK)	1990年に申請; 許認可取得から11年以内に約3.5tのPu-fissを削減。 KBR、KKU、KWGの空き容量を並行して利用。												
オブリッヒハイム (KWO)	GKN-2、KKP-2の約0.5tのPu-fissを削減。												
ブロックトルフ(KBR)/ ウンターザーザ(KKU)/ グロント(KWG)	861	399	861	663	597	597	597	861	861	861			
グントレンゲン (KRB)		630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	290
ラスラント(KLE)													

*) 最後のMOX燃料装荷は2017年頃

出典: Workshop "Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium", FZJ, 2000.1.13.

[第 8.16 表] ベツナウ発電所におけるMOXリサイクル・プログラム

フェーズ	試験プログラム		実証プログラム		商業的利用	
	プラント	ベツナウ 1号機	ベツナウ 1号機	ベツナウ 2号機	ベツナウ 1号機	ベツナウ 2号機
リサイクル期間		1978~1981	1988~1997	1984~1995	1994~1999	1998~2005
混合ウラン		天然ウラン	劣化ウラン	天然ウラン	劣化ウラン	劣化ウラン
MOX燃料集合体 加工業者		WH社 (BN,FBFC)	COMMOX社 (WH,ABB, FBFC)	シーメンス社	WH社 (BNFL)	シーメンス社 (BNFL)
集合体の最高 燃焼度 (MWd/t)		30,000	43,000	36,000	38,000	*(42,000)
UO ₂ 燃料の濃縮度		3.30%	3.25%	3.40~4.00%	3.25~4.00%	4.00~4.25%

WH：ウェスティングハウス社、BN：ベルゴニュークリア社、FBFC：フランス・ベルギー燃料成形加工会社、ABB：アセア・ブラウン・ボベリ社、BNFL：英国原子燃料公社
*計画

[第 8.17 表] ベツナウ1号機のMOX燃料装荷実績

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の 装荷体数		4	8	12	4	0	0	16	8
累積装荷体数	64	68	76	88	92	92	92	108	116
取り出された 燃料集合体数		4	11	17	28	0	4	12	0
再装荷された 燃料集合体数	0	0	0	0	0	0	12	0	0
炉内の 燃料集合体数	40	40	37	32	8	8	16	20	28
実際の装荷率 (%)	33.1	33.1	30.6	26.4	6.61	6.61	13.2	16.5	23.1
許可装荷率 (%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40

(注) 炉心集合体数 (UO₂燃料+MOX燃料)：合計 121 体

[第 8.18 表] ベツノウ 2 号機の MOX 燃料装荷実績

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の装荷体数		0	0	0	0	4	8	4	0
累積装荷体数	52	52	52	52	52	56	64	68	68
取り出された燃料集合体数			8						
再装荷された燃料集合体数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
炉内の燃料集合体数		8	0	0	0	4	12	16	16
実際の装荷率 (%)	6.6	0	0	0	0	3.3	9.9	13.2	13.2
許可装荷率 (%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40

(注) 炉心集合体数 (UO₂ 燃料+MOX 燃料) : 合計 121 体

[第 8.19 表] ゲスゲン発電所の MOX 燃料装荷実績

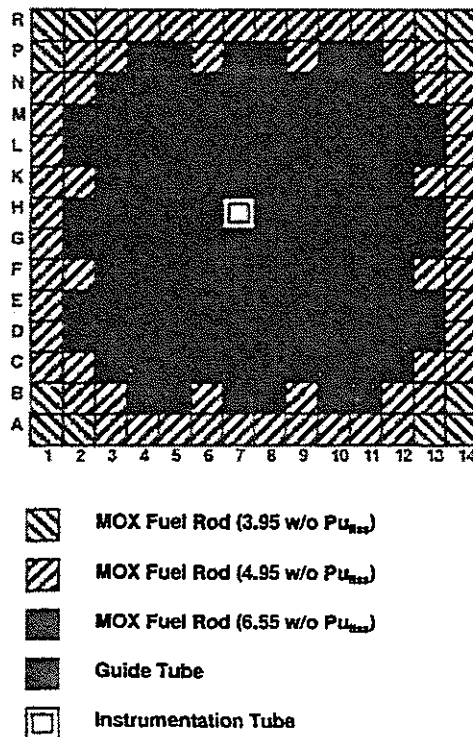
年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
新燃料集合体の装荷体数					8	20	20	20	20
累積装荷体数					8	28	48	68	88
取り出された燃料集合体数								4	20
再装荷された燃料集合体数								0	
炉内の燃料集合体数					8	28	48	64	64
実際の装荷率 (%)					4.5	15.8	27.1	36	36
許可装荷率 (%)					36	36	36	36	36

(注) 炉心集合体数 (UO₂ 燃料+MOX 燃料) : 合計 177 体

[第 8.20 表] スイスの各原子力発電所の Pu 予想回収量

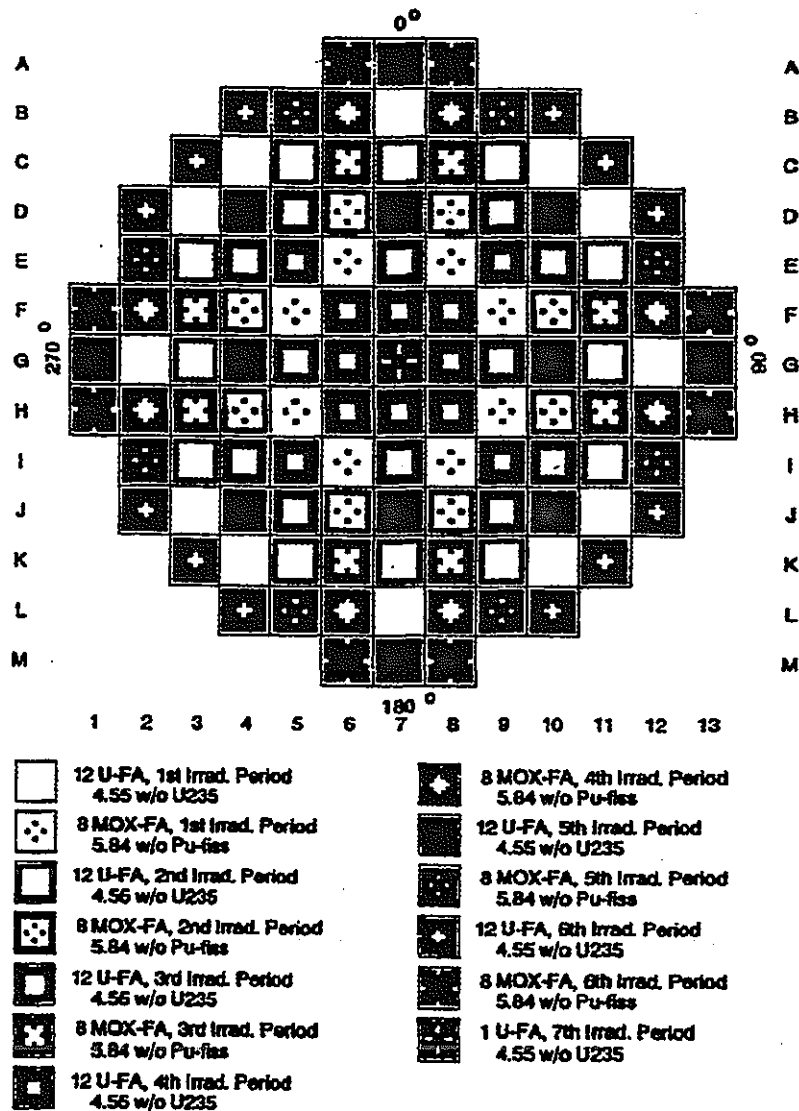
電力会社 ⁽¹⁾	発電所名	炉型	運転年	出力 [万 kWe]	SF 予想 発生量 ⁽³⁾ [トン]	再処理 契約量 [トン]	Pu 予想 回収量 ⁽⁴⁾ [kg Pu-fiss]
NOK	ベツナウ1	PWR	1969	35	880	433	2,377
	ベツナウ2	PWR	1971	35			
BKW	ミュレベルク	BWR	1972	35.5	400	228	1,170
KKG	ゲスゲン	PWR	1979	96.5	874	288	1,656
KKL	ライブシュタット	BWR	1984	103	960	128	734

- (1) NOK : 北東スイス発電会社
 BKW : ベルン発電会社 w
 KKG : ゲスゲン原子力発電会社
 KKL : ライプシュタット原子力発電会社
- (2) 1995年1月現在のネット電気出力
- (3) 運転期間 40年として計算
- (4) 再処理業者の見積



[第 8.2 図] スイスのベツナウの 14×14 型 MOX 燃料集合体

【出典】 R. W. Stratton (NOK) et al., "Hybrid Cycles and Reduced Reload Batches: A Contribution to Reducing Fuel Cycle Costs," TOPFUEL '99, 1999.9.13-15.



【第 8.3 図】 UO_2 -MOX 平衡炉心の装荷パターン

【出典】 R. W. Stratton (NOK) et al., "Hybrid Cycles and Reduced Reload Batches: A Contribution to Reducing Fuel Cycle Costs," TOPFUEL '99, 1999.9.13-15.

[第8. 21表] チアンジュ2号機とドール3号機のMOX燃料装荷実績

年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
チアンジュ2号機 運転サイクル：15カ月 炉心集合体数：合計157体	8	12	12	8	0	8	0
ドール3号機 運転サイクル：12カ月 炉心集合体数：合計157体	8	8	8	8	8	8	8

(注) 新燃料の装荷実績であり、再装荷された燃料は含まれない。

[第8. 22表] チアンジュ2号機/ドール3号機の初期のMOX燃料炉心管理

原子炉	チアンジュ2 (*1)			ドール3 (*1)		
	12	13	14	14	15	16
新燃料装荷：						
装荷年月	95-3	96-6	97-7	95-5	96-6	97-4
UO ₂ 燃料集合体数	44	40	40	36	36	36
濃縮度【%】	3.8	4.05	4.05	3.9	3.95	3.95
MOX燃料集合体数	8	12	12	8	8	8
平均Pu富化度【%】	6.70	7.28	7.30	6.70	7.28	7.30
平均Pu fiss. 富化度【%】	4.60	4.85	4.87	4.60	4.85	4.87
1サイクル毎の炉心燃焼度 【MWD/T】	15,270	~14,000	N/A	10,960	~12,800	N/A
MOX燃料燃焼度(サイクル終了時) 【MWD/T】						
1サイクル後	16,700	~17,600	N/A	11,800	~15,100	N/A
2サイクル後	-	~32,900	N/A	-	~26,600	N/A

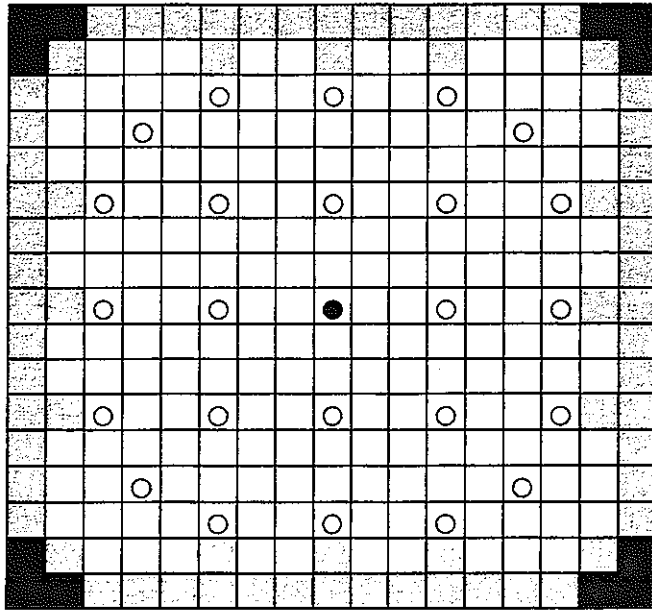
(*1) 燃料交換サイクル期間とMOX燃料/UO₂燃料の炉心管理は以下の通り。






チアンジュ2号機：15ヶ月、3サイクル/3サイクル

ドール3号機：12ヶ月、4サイクル/3 or 4サイクル

(注記) N/A; not available

燃焼度は平均値。



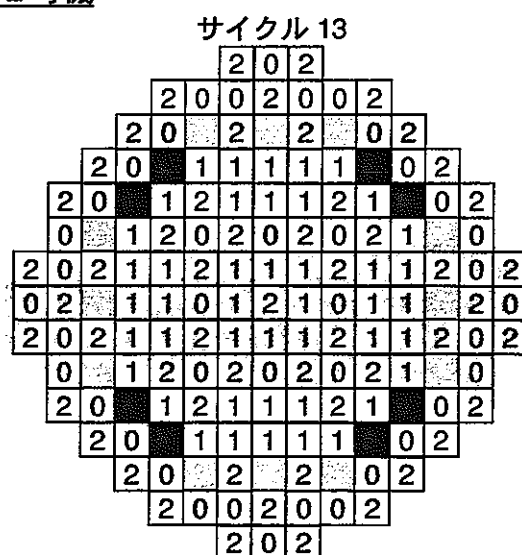
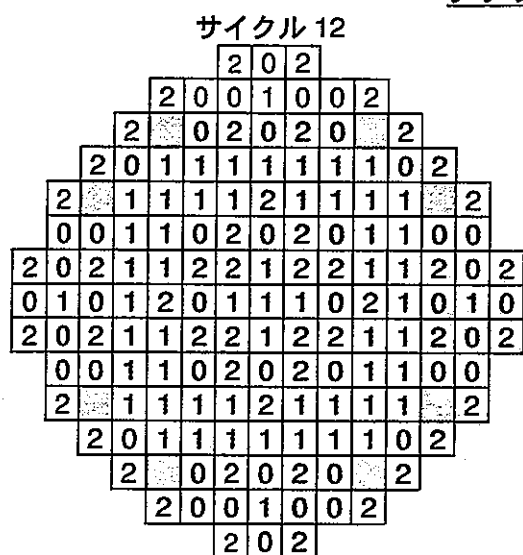
- 
領域1 12本 低Pu富化度
- 
領域2 68本 中Pu富化度
- 
領域3 184本 高Pu富化度
- 
案内管
- 
計装管

平均Pu富化度 6.7%Pu tot.

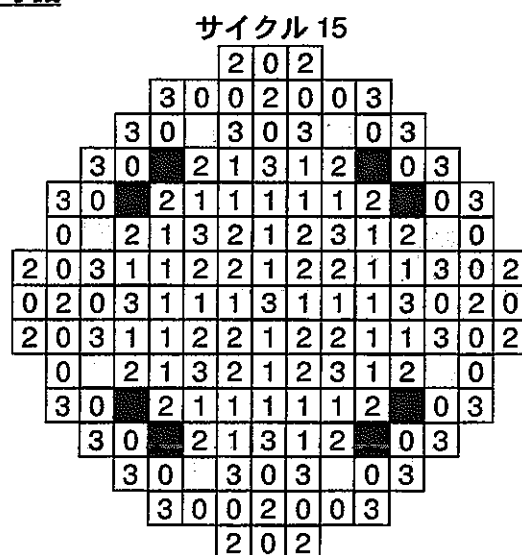
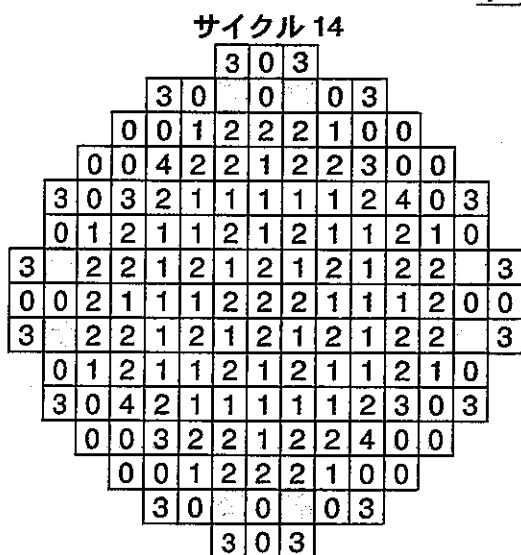
Pu組成 : Pu-238/Pu-239/Pu-240/Pu-241/Pu-242/Am-241
 (%) : (1.3/61.9/24.2/7.9/4.7/1.5)

[第 8.4 図] チアンジュ 2号機/ドール 3号機用MOX燃料集合体

チアンジュ2号機



ドール3号機



X X-サイクル燃焼済の UO₂ 燃料集合体
 MOX新燃料集合体
 1-サイクル燃焼済の MOX燃料集合体

[第 8.5 図] チアンジュ2号機/ドール3号機の炉内MOX燃料集合体装荷パターン

【第8.23表】 フランス、ベルギー、ドイツおよびスイスのMOX燃料の炉心管理/仕様の比較

国	フランス		ベルギー		ドイツ				スイス		
プラント	EDF90万kW		A	B	A	B	C	KONVOI ^(*)	ハッパ1	ハッパ2	ゲスゲン
集合体型式	17×17				16×16			18×18	14×14		15×15
サイクル・ロングス	12カ月		15カ月	12カ月				18カ月	12カ月		
等価ウラン濃縮度	3.25%	3.25%	3.8%	3.8%	3.5%	4.0%	3.5%	4.0%	3.25% / 4.0~4.25%		3.5%
平均 Pu fiss. 富化度	3.7%	3.7%	5.4%	5.4%	2.9%	4.4%	3.5%	4.6%	4.1%		4.8%
最大富化度	4.6%	4.2%	6.1%	6.1%	3.3%	5.4%	4.1%	5.1%	4.7%		5.4%
混合UO ₂	劣化ウラン				天然ウラン	劣化ウラン					
最大出力係数(**)	1.15	1.07	1.07		1.10	1.16	1.09	1.10	1.07		1.16
MOX集合体取替体数	16	16	12	8	16	16	16	16	12		16
MOXサイクル	3サイクル	3サイクル	3サイクル	4サイクル	4サイクル	4サイクル	3or4サイクル	4サイクル	3サイクル		4サイクル
UO ₂ 集合体取替体数	36	24	40	36	36	28	36	32	24		36
UO ₂ サイクル	3サイクル	4サイクル	3サイクル	3or4サイクル	4サイクル	5サイクル	4サイクル	4サイクル	3サイクル		4サイクル

(注記)

(*) KONVOI炉はネッカル2号機とエムスラントの2基。

(**) MAX. power shape factor

【第8.24表】 米国における過去のMOX装荷実績
(1960年代~1985年)

原子炉	照射期間	MOX集合体数 (燃料棒数)	燃焼度 [MWd/t] (ペレット・ビーク燃焼度)
Ginna (PWR)	1980-1985	4 (716)	39,800 (?)
Quad Cities-1 (BWR)	1985-1980年代	5 (48)	39,900 (57,000)
Big Rock Point (BWR)	1969-1970年代後半	53 (1,248)	~20,000 (*)
San Onofre-1 (PWR)	1970-1972	4 (720)	19,000 (23,500)
Dresden-1 (BWR)	1968-1970年代初め	15 (103)	~19,000 (~14,000)
Saxton (PWR 研究炉)	1965-1972	9 (638)	多くが再構成された (51,000)
その他の試験炉	1960年代-1970年代	(1,000s of rods)	

(*) 見積

【出典】 Sherrell R.Greene(ORNL), "The United States Reactor-Based Plutonium Disposition Programme", Physics and Full Performance of Reactor-Based Plutonium Disposition, OECD/NEA Workshop, Paris, 1998.9.28~30.

【第8.25表】 OECD域内のプルトニウム需要（2000年現在）

単位：トン・total Pu/年

国	燃料の種類	2000	2001	2005	2010	2015
ベルギー	LWR	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
フランス	FBR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	LWR	8.1	8.7	9.3	10.0	10.0
ドイツ	LWR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
日本	FBR	0.0	0.0	N/A	N/A	N/A
	LWR	N/A	N/A	3.7	3.7	
	ATR	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
スイス	LWR	0.7				
英国	LWR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合計		9.4	8.8	13.0	13.7	

【出典】 Nuclear Energy Data, 2001, OECD/NEA

[第 8.26 表] 日本のプルサーマル計画と実証成果

○プルサーマル計画

電力会社	2000年まで	2000年代初頭	2010年まで
東京電力	1999年 福島第一3号機 2000年 柏崎刈羽3号機 [累計2基] ^(*)	1基 [累計3基]	0~1基 [累計3~4基]
関西電力	1999年 高浜4号機 2000年 高浜3号機 [累計2基] ^(*)	[累計2基]	1~2基 (大飯発電所) [累計3~4基]
中部電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
九州電力		1基 [累計1基]	[累計1基]
日本原電		2基 [累計2基]	[累計2基]
北海道電力			1基 [累計1基]
東北電力			1基 [累計1基]
北陸電力			1基 [累計1基]
中国電力			1基 [累計1基]
四国電力			1基 [累計1基]
電源開発			1基 [累計1基]
合計	4基 [累計4基]	5基 [累計9基]	7~9基 [累計16~18基]

(*) 英国原子燃料公社 (BNFL) のMOXペレットの検査データ偽造問題から全て装荷は無期延期されている。

○MOX燃料装荷実証 (1986~1991年)

<p>●少数体規模実証計画</p> <p>[BWR]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1986年7月~1990年1月 (3サイクル) ・日本原子力発電 敦賀1号機 2体 (新型8×8燃料) <p>[PWR]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1988年3月~1991年12月 (3サイクル) ・関西電力 美浜1号機 4体 (14×14燃料)
<p>●ATRの使用実績</p> <p>新型転換炉「ふげん」では600体以上のMOX燃料を問題なく照射</p>

【出典】原子力 eye, 1998.02、関電ホームページ、その他

再処理関連情報

- [第 9.1 表] フランス、日本および英国の再処理設備容量の実績と予測（2000年現在）
- [第 9.2 表] 英国、フランスおよびロシアの軽水炉用商業再処理プラント
- [第 9.3 表] ラ・アーク再処理工場の1976～2001年における使用済燃料の再処理量
- [第 9.4 表] 仏ラ・アーク再処理工場の各プラントの施設およびその役割
- [第 9.1 図] フランスにおける2000年以降の核燃料サイクル・バックエンド政策プログラム
- [第 9.5 表] フランスおよびドイツの使用済MOX燃料再処理実績（1987～1998年）
- [第 9.6 表] COGEMAの再処理契約
- [第 9.7 表] 英国のTHORP再処理プラントの契約状況（1995年現在）
- [第 9.8 表] ドイツの電力会社と英仏の再処理事業者との再処理契約量
- [第 9.9 表] ドイツ電力会社の仏核燃料公社（COGEMA）および英国原子燃料公社（BNFL）との再処理契約～今後処理される予定の使用済燃料量（2000年8月31日現在）
- [第 9.10 表] スイスの再処理契約量
- [第 9.11 表] ベルギーのシナトム社と仏核燃料公社（COGEMA）との間の再処理契約
- [第 9.2 図] WAK再処理パイロットプラントのデコミッションング：マスター・スケジュール（1999年9月現在）

【第9.1表】 フランス、日本および英国の再処理設備容量の実績と予測（2000年現在）

単位：トン・重金属/年

国	燃料の種類	1999（実績）	2000	2001	2005	2010	2015
フランス	LWR	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
	Magnox	0	0	0	0	0	0
日本	LWR	90	90	90	400	840	840
英国	LWR+AGR	900	900	900	900	900	900
	Magnox	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	0
合計		4,190	4,190	4,190	4,500	4,940	3,440

【出典】 Nuclear Energy Data, 2001, OECD/NEA

【第9.2表】 英国、フランスおよびロシアの軽水炉用商業再処理プラント

国	英 国	フ ラ ンス		ロ シ ア
プラント	THORP	UP3	UP2-800	RT-1
立 地	セラフィールド	ラ・アーグ	ラ・アーグ	オゼルスク
所 有 者	BNFL	COGEMA	COGEMA	MINATOM
再処理能力 (トン/年)	1,200 (実際は850)	800	800 (最大850)	400
運 開 年	1994	1990	1994	1976
状 況	<p>1993年12月の政府承認の下、1994年1月からホット運転が開始された。1994年3月4日、高等法院がTHORP運転承認を支持する判決を下し、3月28日からヘイシャム発電所(AGR)の使用済燃料の剪断が開始された。</p> <p>1995年1月から化学分離施設の運転が開始され、1995年の再処理実績(せん断)は約200トン。1996/97年は約400トン、1997/98年は781トン、1998/99年は461トン、1999/00年は879トン、2000/01年は348トン、2001/02年は2002年1月17日現在、606トン(剪断済)。</p> <p>1994年3月から2000/01年まで(2001年3月31日までの7年間)の再処理量は合計約3,164トン。</p>	<p>1990年に全面的に運転され、フランス国外の再処理委託契約に基づいて使用済燃料の再処理が行われている。1995年に初めて全能力での運転を達成した。</p> <p>1999年は849トン、2000年は387トン、2001年は217トンを再処理し、1989~2001年の累積再処理量は約7,039トン。</p> <p>2001年においては海外の使用済燃料不足のため、EDFの燃料も再処理。</p>	<p>同プラントは、EDF専用の再処理プラントで、1994年8月に商業運転が開始された。</p> <p>1999年の実績は713トン、2000年は805トン、2001年は733トンで、1976年以降のUP2の時代を通じての再処理実績は、MOX燃料とFBTR燃料を含め、約10,209トンに上る。</p>	<p>VVER-440と高速増殖炉の使用済燃料を再処理。</p> <p>VVER-1000の使用済燃料を再処理できるよう改造する計画あり。</p> <p>VVER-1000用のRT-2(1,500トン/年)の建設は約30%の進捗だが、資金不足のため計画は棚上げ。</p>

【出所】：Enerpresse 2000.01.04/2001.01.03/2002.01.07; Nuclear Fuel 2000.12.25/2002.01.07/2002.01.21; その他

【第9.3表】 ラ・アーク再処理工場の1976～2001年における
使用済燃料の再処理量

単位：トン

年	UP2プラント の軽水炉使用済 燃料再処理量	UP3プラント の軽水炉使用済 燃料再処理量	MOX使用済 燃料の再処理量	高速炉使用済 燃料の再処理量	合 計
1976	14.6	—	—	—	14.6
1977	17.9	—	—	—	17.9
1978	38.3	—	—	—	38.3
1979	79.3	—	—	2.2	81.5
1980	104.9	—	—	1.5	106.4
1981	101.3	—	—	2.2	103.5
1982	153.5	—	—	—	153.5
1983	221.0	—	—	2.0	223.0
1984	255.1	—	—	2.1	257.2
1985	351.4	—	—	—	351.4
1986	332.6	—	—	—	332.6
1987	424.9	—	—	—	424.9
1988	345.7	—	—	—	345.7
1989	430.3	30.0	—	—	460.3
1990	331.0	195.0	—	—	526.0
1991	311.1	351.4	—	—	662.5
1992	219.9	448.0	4.5	—	672.4
1993	354.0	600.0	0.0	—	954.0
1994	575.9	700.4	0.0	—	1,276.3
1995	758.1	800.6	0.0	—	1,558.7
1996	862.0	818.9	0.0	—	1,680.9
1997	849.6	820.3	0.0	—	1,669.9
1998*1	806.8	821.9	4.9	—	1,633.6
1999*2	713	849	未確認	未確認	1,562
2000*3	805	387	未確認	未確認	1,192
2001*4	733	217	未確認	未確認	950
合 計 (概数)	10,190	7,039	9.4	10.0	17,248

【出典】 L'aval du cycle nucléaire, Tome 1:Etude générale, OPECST, 1998.6;

(1998年実績*1) Reprocess to Recycle, COGEMA, 1999.1; (1999年実績*2) Enerpresse 2000.1.4;

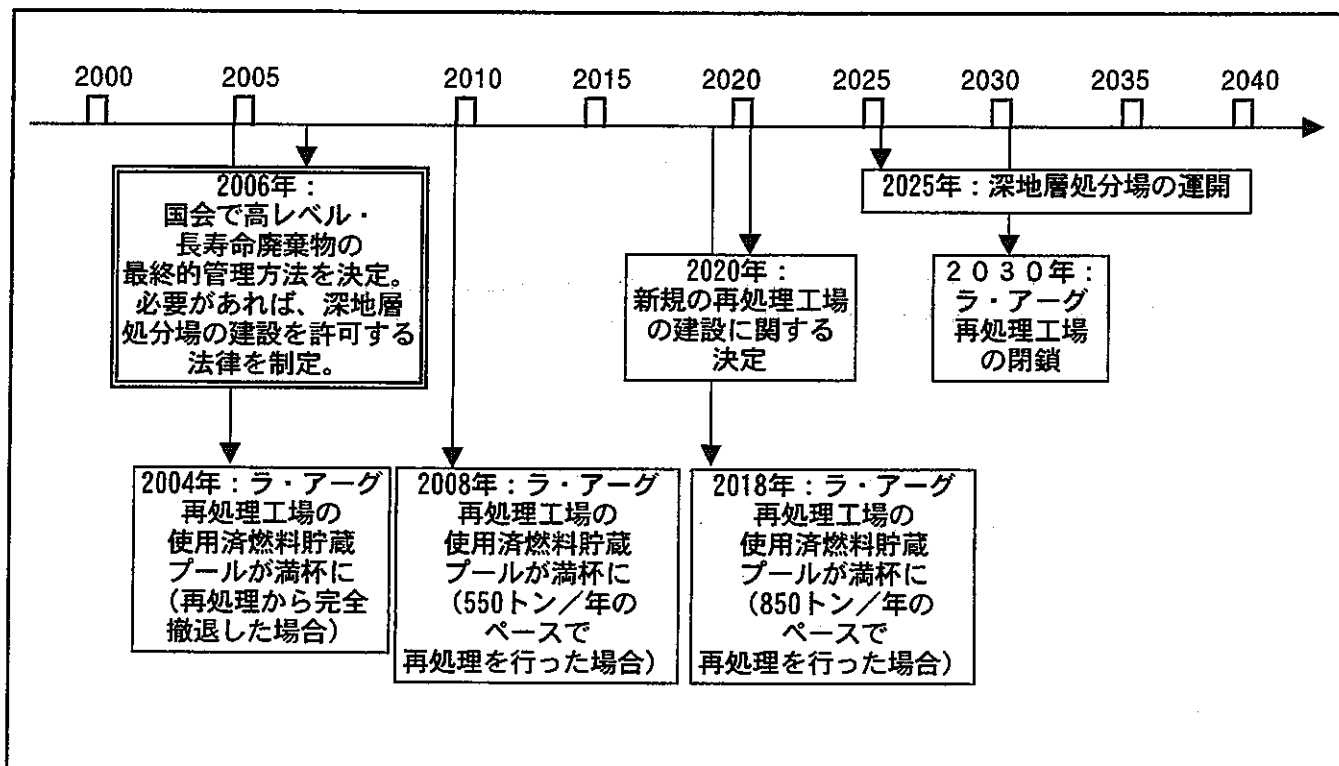
(2000年実績*3) Enerpresse 2001.1.3, ; (2001年実績*4) Enerpresse 2002.1.7.

[第9.4表] 仏ラ・アーク再処理工場の各プラントの施設およびその役割

UP 2-400 プラント	
NPHおよびHAO北側	使用済燃料の搬入・貯蔵施設
HAO南側	使用済燃料の剪断・溶解施設
HADE	核分裂生成物の分離施設
HAPF SPF (1~6)	核分裂生成物の貯蔵施設
MAu	ウランおよびプルトニウムの抽出、並びにウランの精製および六フッ化ウランまたは硝酸ウラニルの形態での貯蔵施設
MAPu	プルトニウム酸化物の精製および第1処理施設
BST1	プルトニウム酸化物の第2処理および貯蔵施設
UP 2-800 プラント	
NPHおよびCプール	使用済燃料の搬入・貯蔵施設
R1	使用済燃料の剪断・溶解・精製施設
R2	精製された溶液からの核分裂生成物の抽出施設
R7	核分裂生成物のガラス固化施設
UP 3 プラント	
T1	使用済燃料の剪断・溶解・精製施設
T2	ウラン、プルトニウムおよび核分裂生成物の抽出施設
T3	硝酸ウラニルの精製施設
T4	プルトニウム酸化物の精製および処理施設
T5	硝酸ウラニルの貯蔵施設
T7	核分裂生成物のガラス固化施設
BS1	プルトニウム酸化物の貯蔵施設
BC	プラントの管理および試験施設

(注) MAuおよびMAPu施設は2000年に一体化し、R4施設となる。2000年にはMAPF SPF (5, 6) 施設のみが残され、通常は空であるMAPF SPF (4) 施設が、両施設の補助施設として利用される。

【出典】 SURETE NUCLEAR 1992 Rapport d' Activite, 1993.6 /DSIN



〔第9.1図〕 フランスにおける2000年以降の核燃料サイクル・バックエンド政策プログラム

【出典】「核燃料サイクルのバックエンド：包括的研究」（第1巻）、OPECST, 1998. 6.

【第 9.5 表】 フランスおよびドイツの使用済MOX燃料再処理実績
(1987～1998年)

国	フランス			ドイツ
	試験的再処理	商業的再処理	商業的再処理	試験的再処理
プラント	APM	UP2-400	ラ・アーグ	WAK
軽水炉	グラーフエン ラインフェルト	ウンターベーザー オブリッヒハイム ネッカー		オブリッヒハイム
再処理量 (トン・U+Pu)	2.1	4.7	4.9	0.23
キャンペーン期間	1991 年末～ 1992 年初め	1992 年 11 月	1998 年 第 1 四半期	1987 年 10 月～11 月
新燃料時のプルト ニウム富化度 (%Pu tot.)	4.1%	4.1～4.4%		
燃焼度 (MWd/t)	34,000	33,000～41,000		32,000
冷却期間 (年)	3.5	5.5		
使用済燃料中の Pu (total) の含有 率	3 %以下	3 %以下		1.81%Pu fiss

【出典】 Reprocessing News, 1993.11; Nuclear Fuel 1987.12.14; L'aval du cycle nucléaire,
Tome 1: Etude générale, OPECST, 1998.6.

[第9.6表] COGEMAの再処理契約

(1) 海外顧客およびEDFとの間で締結された軽水炉使用済燃料の再処理契約

単位：トン

契約の種類	欧州の顧客との契約量	日本の顧客との契約量	全体契約量
シリーズ1 (UP2)	374	151	525
シリーズ2 (UP2)	727	0	727
追加契約 (UP2)	898	0	898
シリーズ3 (UP3)	4,226	2,774	7,000
ベルギーの追加契約分 (UP3)	66	0	66
EDFとの契約 (UP2およびUP2-800)	8,156	0	8,156
合計	14,447	2,925	17,372

(2) UP3プラントのベースロード期間における海外顧客との契約量

単位：トン

顧客	契約量(全体に占める%) [1988年時点]	契約量(全体に占める%) [1993年現在]
日本(10社)	2,567(36.7)	2,774(39.3)
ドイツ(15社)	2,498(35.7)	3,112(44.0)
スイス(4社)	547(7.8)	510(7.2)
ベルギー(シナトム社)	464(6.6)	530(7.5)
オランダ(PZEM)	140(2.0)	140(2.0)
スウェーデン(SKBF/SNFS)	784(11.2)	0(0)
合計	7,000(100)	7,066(100)

(注) COGEMA : 仏核燃料公社 【出典】COGEMA資料
 EDF : 仏電力公社
 PZEM : ゼーランド州立電力会社
 SKBF/SNFS : スウェーデン核燃料供給会社

[第9.7表] 英国のTHORP再処理プラントの契約状況（1995年現在）

単位：tU

国	ベースロード期間（10年間）	ベースロード後の10年間
英国	2,158 (AGR)	1,520(NE)+880(SNL) (*1)
ドイツ	969 (LWR)	1,055
日本	2,673 (LWR)	
スイス	422 (LWR)	
スウェーデン	140 (LWR)	
スペイン	145 (LWR)	
オランダ	53 (LWR)	
カナダ	2 (LWR)	
イタリア	143 (LWR)	
(予備容量)	295	
合計	7,000 (*2)	3,455

注) (*1) SNL社は再処理の他、1,044トンの貯蔵契約をBNFLと結んだ。

(*2) 1995年中頃現在、海外から約3,100tU、NE社およびSNL社から約1,800tUが輸送済。

【出典】IEAJまとめ

[第9.8表] ドイツの電力会社と英仏の再処理事業者との再処理契約量

契約	COGEMA	BNFL
ベースロード契約（旧契約）	3,111tHM	884tHM
ポスト・ベースロード契約（新契約）	1,127tHM	302tHM

【出典】Workshop “Optionen bei der Verwertung und Entsorgung von Plutonium”, FZJ, 2000.1.13.

(注記) 1994年の原子力法改正で使用済燃料の直接処分が再処理と同等の処分オプションとして認められた際に、ドイツの電力会社の殆どは、契約内容に柔軟性を持たせ、取引条件を改善するために、ポスト・ベースロード契約の内容について再び交渉した。

[第9.9表] ドイツ電力会社の仏核燃料公社(COGEA)および英国原子燃料公社(BNFL)との再処理契約～今後再処理される予定の使用済燃料量(2000年8月31日現在)

電力会社	原子力発電所	COGEMA			BNFL		
		納入予定	納入済 未処理	合計	納入予定	納入済 未処理	合計
		tU	tU	tU	tU	tU	tU
E. ON	ヴェルガッセン		37.9				
	ウンターベーザー	73.0		73.0	80.6	134.6	215.2
	グラフェンフェルト	164.6	65.4	230.0			
	グローンデ	108.0	16.0	124.0	17.9	45.1	63.0
	ブロックドルフ	159.6	21.3	180.9	20.0	54.7	74.7
	シュターデ 1)	67.8	17.2	85.0			
	イーザル1 2)	70.1	44.9	115.0	115.0		115.0
	イーザル2	127.0	32.0	159.0			
	E. ON社合計	770.1	234.7	966.9	233.5	234.4	467.9
RWE	グントレミンゲン2					84.0	84.0
	その他	249.0		249.0	138.0	21.2	159.2
	RWE社合計	249.0		249.0	138.0	105.2	243.2
HEW	ブルンスピュッテル	55.2	0.7	55.9			
	クリュンメル				75.0	28.1	103.1
	HEW社合計	55.2	0.7	55.9	75.0	28.1	103.1
EnBW	フリップスブルク1	131.3	28.6	159.9			
	フリップスブルク2				60.0		60.0
	フリップスブルク合計	131.3	28.6	159.9	60.0		60.0
ネッカル共同 原子力発電会社	ネッカル	57.7	50.7	108.4	105.8	22.5	128.3
オブリッヒハイム 原子力発電会社	オブリッヒハイム	5.2	22.2	27.4			
RWE	エムスラント				16.0	111.9	127.9

- 1)シュターデ:2003年閉鎖予定。全ての燃料集合体(約144トン)はCOGEMAに輸送される予定。
2)イーザル1:分離プルトニウムは再処理事業者/第三者に引き渡される予定。

(2000年12月にGNSが作成)

[第9.10表] スイスの再処理契約量

電力会社	再処理契約量 (tU)				
	COGEMA			BNFL	合計
	UP2	UP3	計		
NOK	50	160	210	225	435
BKW	80	120	200	30	230
KKG	—	170	170	120	290
KKL	—	65	65	65	130
4社合計	約130	500以上	640以上	約450	約1,100

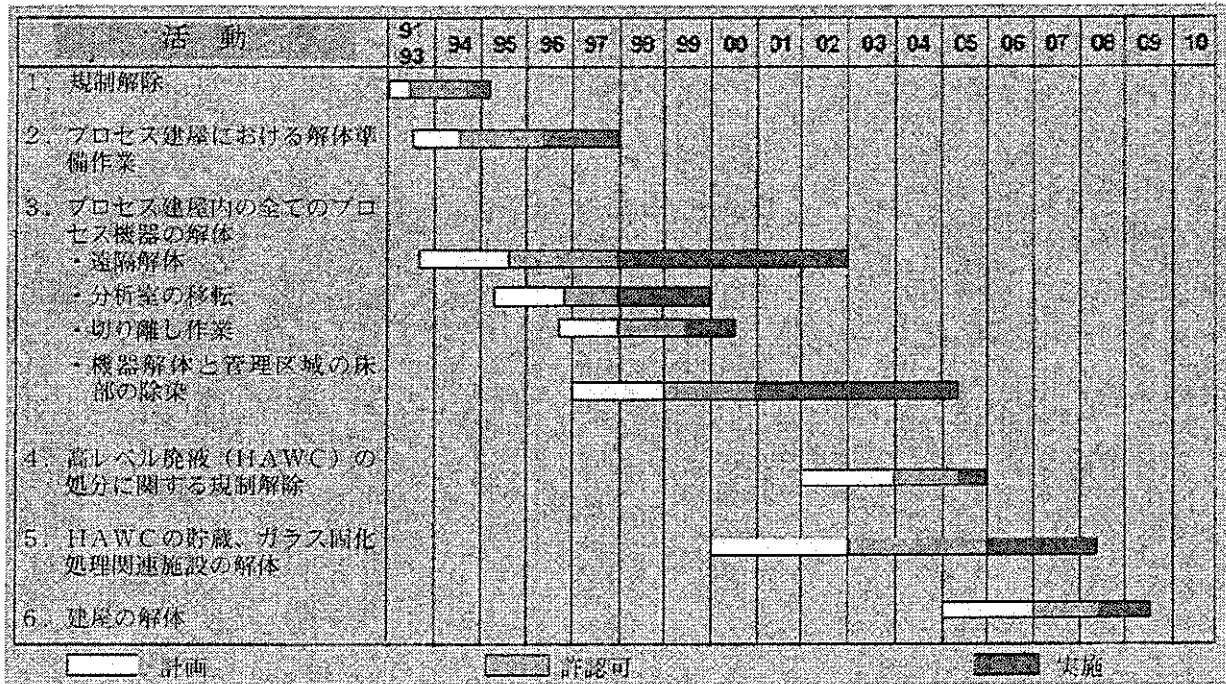
注) 数字は概数

【出典】IEAJまとめ

[第9.11表] ベルギーのシナトム社と仏核燃料公社
(COGEMA) との間の再処理契約

再処理期間 (年)	契約量	既に再処理済の量 (1994年末現在)
1980~1985	140トン	140トン
1990~2000	530トン	160トン
2001~2010	225トン	
2001~2015	年間120トンのオプション契約量	

【出典】"Plutonium Recycling : A Question of Timing",
Kyoto Roundtable, 1995.2.6-7/SYNATOM



**[第 9.2 図] WAK再処理パイロットプラントのデコミッションング
: マスター・スケジュール (1999年9月現在)**

【出典】 カールスルーエ研究センター (FZK) ホームページ

その他のプルトニウム利用関連情報

- [第 10.1 表] 1994年OECD/NEA調査におけるUO₂/MOX燃料コストとプルトニウム価値
- [第 10.2 表] PWR使用済燃料のプルトニウム組成
- [第 10.3 表] 各種熱中性子から排出される使用済燃料のプルトニウム同位体組成
- [第 10.4 表] プルトニウム同位体の特性
- [第 10.1 図] 各種炉のプルトニウム・バランス
- [第 10.2 図] 仏GOGEMA組織図(2000年12月31日現在)
- [第 10.5 表] 英国原子力公社(UKAEA)と英国原子燃料公社(BNFL)の1993/94年におけるMUFデータ
- [第 10.6 表] フランスの炉型毎の使用済燃料に含まれる放射性元素あるいは放射性核種の組成
- [第 10.7 表] 炉心から取り出して3年を経過したフランスの炉毎の使用済燃料のアクチニド含有量
- [第 10.8 表] フランスにおける炉型毎の核分裂生成物の化学組成
- [第 10.9 表] フランスにおける炉型毎の使用済燃料の残留熱の推移
- [第 10.10 表] フランス三賢人による原子力発電の経済性評価における電力需給シナリオ別のCO₂放出量、超ウラン元素蓄積量、燃料使用量、発電電力量(2000~2050年)
- [第 10.3 図] フランス三賢人の評価における超ウラン元素蓄積量とCO₂放出量の比較
- [第 10.4 図] EDFの使用済燃料発生量と再処理量の相関関係
- [第 10.5 図] フランスの原子力発電所とラアーグの貯蔵プール内のUO₂/MOX使用済燃料の貯蔵量予測

[第10.1表] 1994年OECD/NEA調査における
UO₂/MOX燃料コストとプルトニウム価値

燃料の種類	UO ₂ 燃料 (1 kg)	MOX燃料 (1 kg)
ウラン購入	\$509 (\$70.1×7.267kg)	\$65 (\$70.1×0.933kg)
転換	\$58 (\$8×7.267kg)	\$7 (\$8×0.933kg)
濃縮	\$552 (\$110×5.014SWU)	—
燃料加工	\$509 (\$275×1kg)	\$1100 (\$1100×1kg)
合計	\$1394	\$1172
節約額	—	\$222
プルトニウム価値	—	\$5.0/g Puf (\$222÷44g Puf)

【出典】 The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, 1994 / OECD・NEA

[第 10.2 表] PWR使用済燃料のプルトニウム組成

(1) 排出直後

サイクル		Pu-236 [ppm]	Pu-238 [%]	Pu-239 [%]	Pu-240 [%]	Pu-241 [%]	Pu-242 [%]	Am-241 /Pu+ Am-241 [ppm]
濃縮度 U235/U	燃焼度 [GWd/t]							
3.25%	33	12	1.26	56.62	23.18	13.86	4.73	3500
3.70%	43	15	1.97	52.55	24.09	14.73	6.22	4400
4.40%	53	20	2.74	50.37	24.15	15.16	7.06	5100

(2) 排出後のプルトニウム組成の変化

排出後の経過年	Pu 組成 (%)						
	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Pu-tot	Am-241
0	1.26	56.62	23.18	13.86	4.73	99.65	0.35
2	1.26	56.62	23.18	12.44	4.73	98.23	1.77
5	1.26	56.62	23.18	10.52	4.73	96.31	3.69
10	1.26	56.62	23.18	8.28	4.73	94.07	5.93
15	1.26	56.62	23.18	5.69	4.73	91.48	8.52

(3) Am-241 の含有量の変化

単位 : ppm/Total Pu

初期濃縮度		3.25%	3.70%	4.40%
排出直後		3500	4400	5100
3 年間貯蔵後に再処理	再処理前	24600	26800	28000
	再処理の 2 年後	10800	11200	11600
5 年間貯蔵後に再処理	再処理前	36900	39900	41600
	再処理の 2 年後	9980	10300	10670
10 年間貯蔵後に再処理	再処理前	59300	63700	66610
	再処理の 2 年後	8100	8400	8700

【出典】 Plutonium Fuel: An Assessment, 1989, OECD/NEA

[第 10.3 表] 各種熱中性子から排出される使用済燃料のプルトニウム同位体組成

炉型	平均燃焼度 (Mwd/t)	プルトニウム同位体組成 (%)				
		P u-238	P u-239	P u-240	P u-241	P u-242
Magnox	3000	0.1	80.0	16.9	2.7	0.3
	5000	不明	68.5	25.0	5.3	1.2
CANDU	7500	不明	66.6	26.6	5.3	1.5
AGR	18000	0.6	53.7	30.8	9.9	5.0
BWR	27500	2.6	59.8	23.7	10.6	3.3
	30400	不明	56.8	23.8	14.3	5.1
PWR	33000	1.3	56.6	23.2	13.9	4.7
	43000	2.0	52.5	24.1	14.7	6.2
	53000	2.7	50.4	24.1	15.2	7.1

【出典】 Plutonium Fuel: An Assessment, 1989, OECD/NEA

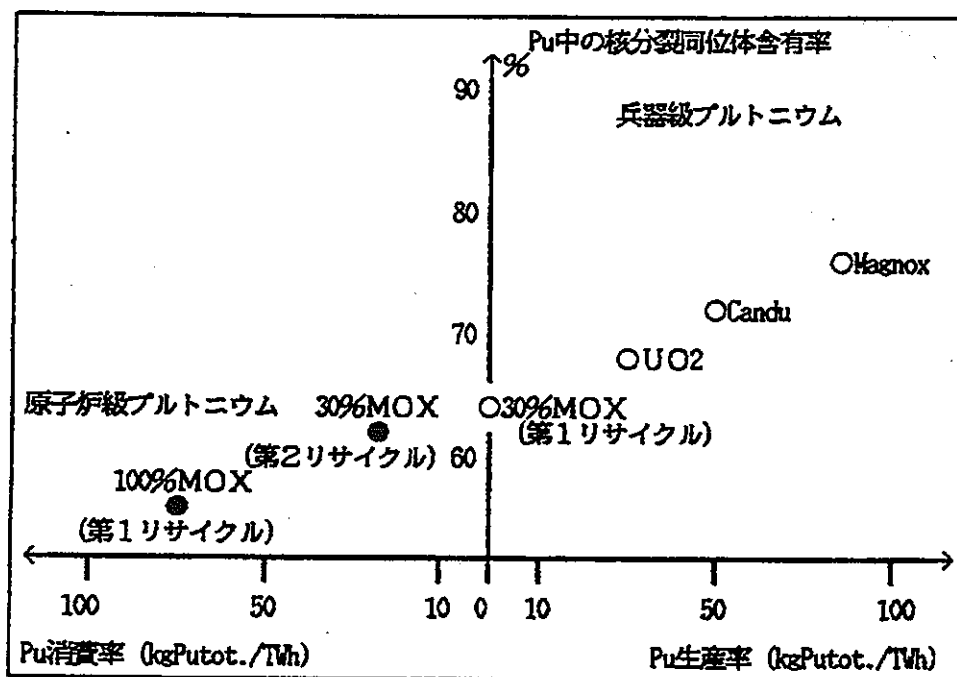
[第 10.4 表] プルトニウム同位体の特性

同位体	半減期	崩壊 (a)(b)	比放射能 1.0E9Bq/g	自発核分裂中性子 n/g.s.	発熱量 mW/g	生成物
P u-236	2.8 年	α	19,000	37,000	—	U-232
P u-237	45.3 日	$\beta +$	—	—	—	N p-237
P u-238	87.7 年	α	600	2,600	560	U-234
P u-239	24,000 年	α	2	0.03	1.9	U-235
P u-240	6,500 年	α	8	1,000	6.8	U-236
P u-241	14.4 年	β	3,700	—	4.2	Am-241
P u-242	380,000 年	α	0.1	1,700	0.1	U-238
Am-241	430 年	α, γ	120	1.1	114	

(a) P u-241 の崩壊 (0.002%) によって α 粒子が生ずる

(b) 全ての崩壊には、X線、 γ 線の放射が伴う

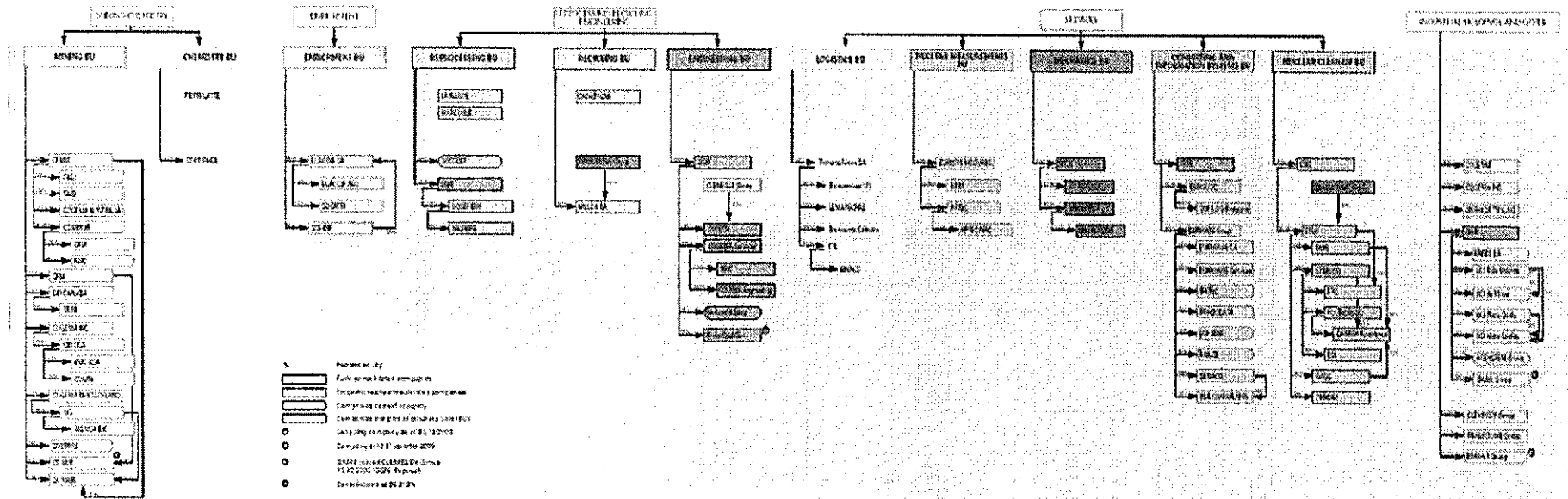
【出典】 Plutonium Fuel: An Assessment, 1989, OECD/NEA



[第 10.1 図] 各種炉のプルトニウム・バランス

【出典】 The 2nd Annual International Policy Forum, 1995.3.21-24/COGEMA

【第 10.2 図】 仏 COGEMA 組織図 (2000 年 12 月 31 日現在)



【出典】 COGEMA 2000 年報, 2001.

[第 10.5 表] 英国原子力公社 (UKAEA) と英国原子燃料公社 (BNFL) の 1993/94 年における MUF データ

機 関	サイト	プルトニウム	高濃縮ウラン (HEU) (kg-U-235)	低濃縮ウラン (LEU) (t)	天然ウラン (t)	回収ウラン/ 劣化ウラン (t)
UKAEA	ドーンレイ	-1.9	-0.7	+0.012	Negligible	+0.036
	ハーウェル	Negligible	0	0	Negligible	+0.074
	スプリングフィールド / リズレー	N/A	0	0	Negligible	+0.1
	ウィンズケール	+0.2	Negligible	Negligible	-0.013	+0.1
	ウィンフリス	+0.3	Negligible	Negligible	+0.002	-0.009
BNFL	カーペンハースト	N/A	+0.9	+0.9	+0.9	+0.9
	セラフィールド	-16.9	Negligible	-0.030	+0.1	-14.6
	スプリングフィールドズ	N/A	N/A	-0.683	+13.5	-0.9

注) + : 増 量
 - : 損 失
 N/A : サイトに物質が存在しない

【出典】 Nuclear Energy, 1995.10

[第 10.6 表] フランスの炉型毎の使用済燃料に含まれる放射性元素
あるいは放射性核種の組成

単位：kg/トン

	ウラン	プルトニウム	マイナーアクチニド	核分裂生成物
900 万 kW 級 PWR	955	9.96	0.595	32.9
1,300 万 kW 級 PWR	953	10.2	0.677	35.6
高燃焼度 PWR	943	11.4	0.972	44.6
混合酸化物 (MOX) 燃料を装荷した PWR (注 1)	921	38.9	2.85	36.9
スーパーフェニックス 第 1 炉心 (注 2)	722	186	7.15	84.0

(注 1) 装荷当初のプルトニウム含有率は 5.3%、すなわち 53kg

(注 2) 装荷当初のプルトニウム含有率は 20.4%、すなわち 204kg

【出典】 COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION RELATIVE AUX RECHERCHES
SUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS: RAPPORT D'EVALUATION
No2, 1996.06 / CNE

**[第 10.7 表] 炉心から取り出して3年を経過したフランスの炉毎の
使用済燃料のアクチニド含有量**

単位：kg/トン

	900 万 kW 級 PWR	1,300 万 kW 級 PWR	高燃焼度 PWR	混合酸化物 (MOX) 燃料 を装荷した PWR	スーパーフェニックス 第 1 炉心
Np	0.42	0.43	59	0.16	0.29
Pu	9.8	10	11	38	180
Am	0.32	0.38	0.50	2.8	7.8
Cm	0.027	0.042	0.081	0.64	0.30

【出典】 COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION RELATIVE AUX RECHERCHES
SUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS: RAPPORT D'EVALUATION
No2, 1996.06 / CNE

[第 10.8 表] フランスにおける炉型毎の核分裂生成物の化学組成

単位：kg/トン

族	900 万 kW 級 PWR	1,300 万 kW 級 PWR	高燃焼度 PWR	混合酸化物 (MOX) 燃料 を装荷した PWR	スーパーフェニックス 第 1 炉心
Kr,Xe	4.7	6.0	7.5	5.9	12
Cs,Rb	3.0	3.1	3.9	3.5	9.8
Sr,Ba	2.4	2.5	3.1	2.1	4.8
Y,La	1.7	1.7	2.2	1.5	3.5
Zr	3.6	3.7	4.6	2.7	6.4
Se,Te	0.53	0.56	0.70	0.62	1.5
Mo	3.3	3.5	4.4	3.4	7.7
I	0.21	0.23	0.28	0.30	0.74
Tc	0.82	0.23	1.1	0.85	2.0
Ru,Rh,Pd	3.9	0.86	5.4	6.8	15
Ag,Cd,In, Sn,Sb	0.22	0.25	0.32	0.54	1.1
その他					
Ce	2.4	2.5	3.1	2.3	5.3
Pr	1.1	1.2	1.4	1.1	2.7
Nd	4.0	4.2	5.2	3.8	8.8
Sm	0.77	0.82	1.0	9.1	2.4
Eu	0.13	0.15	0.20	0.25	0.26
合計	32.9	35.6	44.6	36.9	84.0

【出典】 COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION RELATIVE AUX RECHERCHES
SUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS: RAPPORT D'EVALUATION
No2, 1996.06 / CNE

【第 10.9 表】 フランスにおける炉型毎の使用済燃料の残留熱の推移

単位：kW／燃料集合体

冷却年数	1	2	4	5	6	8	10	20	30	40	50	100
900 万 kW 級 PWR		2.4	1.0		0.69	0.57	0.52	0.40	0.34	0.29	0.25	0.14
高燃焼度 PWR		4.0	1.56		1.0	0.82	0.73	0.55	0.46	0.39	0.34	0.19
混合酸化物 (MOX) 燃料を装荷した PWR	8.7	4.2		1.6			1.1		0.83			0.48
スーパフェニックス 第 1 炉心	3.0	1.7			0.84		0.75					

【出典】 COMMISSION NATIONALE D'EVALUATION RELATIVE AUX RECHERCHES
SUR LA GESTION DES DECHETS RADIOACTIFS: RAPPORT D'EVALUATION
No2, 1996.06 / CNE

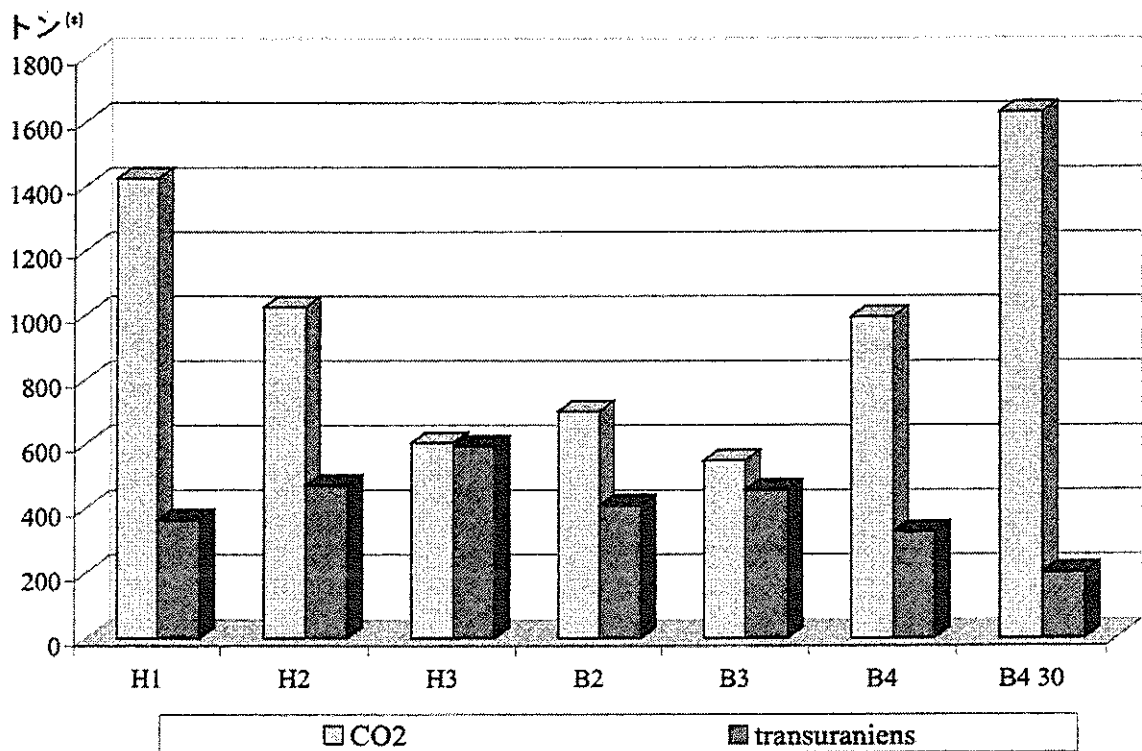
[第10.10表] フランス三賢人による原子力発電の経済性評価における
 電力需給シナリオ別のCO₂放出量、超ウラン元素蓄積量、
 燃料使用量、発電電力量（2000～2050年）

需給シナリオ	H1	H2	H3	B2	B3	B4-45	B4-30
燃 料（石油換算100万トン）							
天然ガス	1,784	1,233	621	748	704	1,340	2,196
石 油	95	95	95	39	44	44	44
石 炭	72	72	72	19	19	19	57
CO ₂ （石炭換算100万トン）							
放出量	1,425	1,037	607	710	556	1,006	1,646
1997～2050 年の放出量	1,935	1,547	1,117	1,220	1,066	1,516	2,156
超ウラン元素（トン）							
蓄積量	365	473	594	411	459	329	204
電 力 (TWh)	30,625	30,650	30,650	26,180	26,180	26,150	26,150
1977～2050 年の超ウラン元素蓄 積量（トン）	459	603	724	541	589	459	334
2000～2050 年の発電電力量当た りの超ウラン元素発 生量 (k/TWh)	12	15.4	19.4	15.7	17.5	12.6	8
2000～2050 年の発電電力量当た りのCO ₂ 放出量（石 炭換算k/TWh)	46.5	33.8	19.8	27.1	21.2	38.5	62.9

【出典】 J-M Charpin et al., Economics Forecast Study of the Nuclear Power Option, Report to Prime Minister, 2000.7.

[第10.3図] フランス三賢人の評価における超ウラン元素蓄積量と
CO₂放出量の比較

電力需給シナリオ別のCO₂放出量と超ウラン元素蓄積量（2000～2050年）

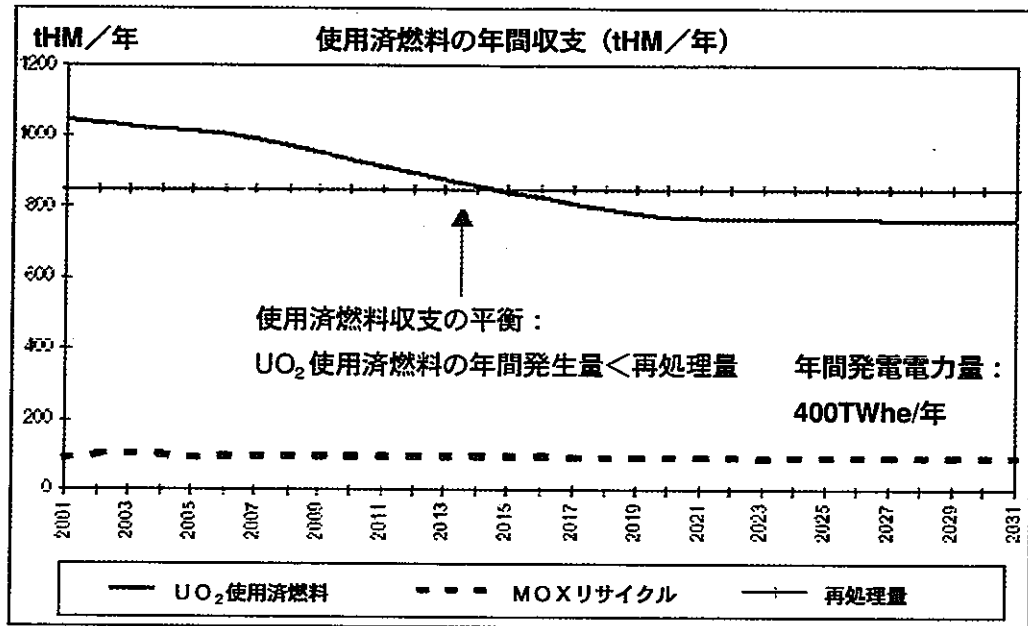


(*) CO₂ : トン (C換算)

超ウラン元素 : トンHM

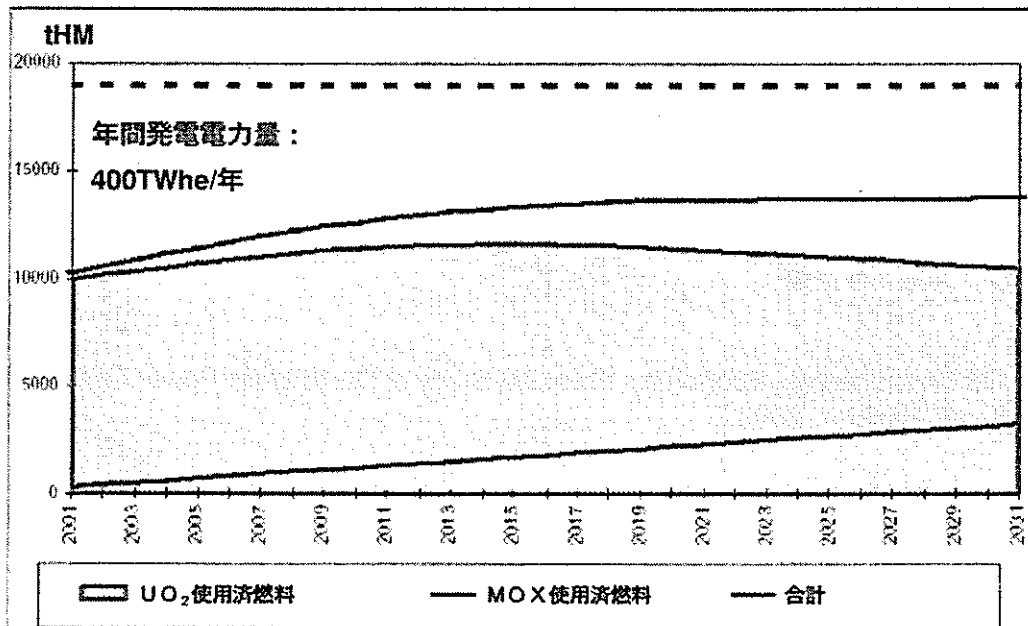
【出典】J-M Charpin et al., Economics Forecast Study of the Nuclear Power Option, Report to Prime Minister, 2000.7.

[第 10.4 図] EDFの使用済燃料発生量と再処理量の相関関係



【出典】 M. Debes(EDF), "Increasing Fuel Burn Up and Reprocessing-Recycling Policy: Two Complementary Means for Competitiveness and Fuel Cycle Equilibrium", TOPFUEL 2001, 2001.05.27-30.

[第 10.5 図] フランスの原子力発電所とラアークの貯蔵プール内のUO₂/MOX使用済燃料の貯蔵量の予測



【出典】 M. Debes(EDF), "Increasing Fuel Burn Up and Reprocessing-Recycling Policy: Two Complementary Means for Competitiveness and Fuel Cycle Equilibrium", TOPFUEL 2001, 2001.05.27-30.

3. プルトニウム在庫

国際原子力機関（IAEA）の指導の下、米国、英国、フランス、ロシア、中国の核兵器保有国、5カ国と日本、ドイツ、ベルギー、スイスの非核兵器保有国で民生プルトニウムを利用している4カ国がプルトニウム保有量を公表することになり、1998年4月にIAEAがプルトニウム管理指針（INFCIRC/549）を提出した。この時には、ロシアを除く8カ国の保有量の情報が提出されただけであったが、[資料11.1]に示すように、これまでにロシアを含め、加盟する全ての国々の情報がIAEAへ提出されている。[第11.1～11.2表]は2002年3月上旬現在までに公表されている各国の民生分離プルトニウム在庫と使用済燃料中のプルトニウム推定量をIAEA区分に沿ってまとめたものである。

また、世界の軍事/民生の分離プルトニウム在庫見積、およびその他の各国毎のプルトニウム在庫情報を[第11.3～11.11表]と[第11.1～11.6図]にまとめた。

プルトニウム在庫関連図表一覧

[資料11.1]	IAEAの民生プルトニウム管理のINFCIR/549シリーズ文書
[第11.1表]	2000年末現在の民生分離プルトニウム情報
[第11.2表]	2000年末現在の民生の使用済燃料中のプルトニウム情報
[第11.1図]	分離プルトニウムの在庫：現状と将来の傾向
[第11.3表]	ISISの見積った12カ国の民生分離プルトニウム在庫
[第11.4表]	余剰の軍事プルトニウムとHEU
[第11.5表]	事実上の核保有国における軍事核物質在庫の見積
[第11.6表]	米国におけるプルトニウム収支
[第11.7表]	兵器Puの同位体組成
[第11.8表]	兵器Puの発熱量（5～10年後）
[第11.9表]	兵器Puの γ 線量率（5～10年後）
[第11.10表]	各種軽水炉におけるMOX燃料利用の可能性
[第11.11表]	各種軽水炉における使用済MOX燃料の特性
[第11.2図]	サイト毎のプルトニウムの貯蔵状況（1994年9月現在）
[第11.3図]	米国の余剰兵器級プルトニウムの処分オプション
[第11.4図]	DOEによる余剰兵器プルトニウム処分オプションの投資/運転コスト評価
[第11.5図]	米国の兵器プルトニウム処分プロセス案

IAEA

INFORMATION CIRCULAR

INFCIRC/549: COMMUNICATION RECEIVED FROM CERTAIN MEMBER STATES
CONCERNING THEIR POLICIES REGARDING THE MANAGEMENT OF PLUTONIUM,
16 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.1 " (Permanent Mission of Japan) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.1/1 " (Permanent Mission of Japan) 11 Nov. 1998

INFCIRC/549/Add.1/2 " (Permanent Mission of Japan) 9 Sept. 1999

INFCIRC/549/Add.1/3 " (Permanent Mission of Japan) 10 Oct. 2000

INFCIRC/549/Add.1/4 " (Permanent Mission of Japan) 10 Dec. 2001

INFCIRC/549/Add.2 " (Permanent Mission of Germany) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.2/1 " (Permanent Mission of Germany) 28 May 1998

INFCIRC/549/Add.2/2 " (Permanent Mission of Germany) 23 Dec. 1999

INFCIRC/549/Add.2/3 " (Permanent Mission of Germany) 4 Dec. 2000

INFCIRC/549/Add.3 " (Permanent Mission of Belgium) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.3/1 " (Permanent Mission of Belgium) 11 Nov. 1998

INFCIRC/549/Add.3/2 " (Permanent Mission of Belgium) 16 Sept. 1999

INFCIRC/549/Add.3/2/Corr.1 " Corrigendum 8 Oct. 1999

INFCIRC/549/Add.3/3 " (Permanent Mission of Belgium) 11 Oct. 2000

INFCIRC/549/Add.4 " (Permanent Mission of Switzerland) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.4/1 " (Permanent Mission of Switzerland) 28 May 1998

INFCIRC/549/Add.4/2 " (Permanent Mission of Switzerland) 9 Sept. 1999

INFCIRC/549/Add.4/3 " (Permanent Mission of Switzerland) 10 Oct. 2000

INFCIRC/549/Add.4/4 " (Permanent Mission of Switzerland) 15 May. 2001

INFCIRC/549/Add.4/4 Corr.1 " Corrigendum 22 August 2001

INFCIRC/549/Add.5 " (Permanent Mission of France) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.5a " (Permanent Mission of France) 6 Apr. 1998

INFCIRC/549/Add.5/1 " (Permanent Mission of France) 11 Nov. 1998

INFCIRC/549/Add.5/2 " (Permanent Mission of France) 3 Nov. 1999

INFCIRC/549/Add.5/3 " (Permanent Mission of France) 19 Mar. 2001

INFCIRC/549/Add 5/4 " (Permanent Mission of France) 23 Nov. 2001

INFCIRC/549/Add 5/5 " (Permanent Mission of France) 12 Feb. 2002

INFCIRC/549/Add.6 " (Permanent Mission of the United States of America) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.6/1 " (Permanent Mission of the United States of America) 11 Oct. 1999

INFCIRC/549/Add.6/2 " (Permanent Mission of the United States of America) 23 Dec. 1999

INFCIRC/549/Add.6/3 " (Permanent Mission of the United States of America) 22 Nov. 2001

INFCIRC/549/Add.7 " (Permanent Mission of China) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.7/1 " (Permanent Mission of China) 11 Jan. 2000

INFCIRC/549/Add.8 " (Permanent Mission of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 31 Mar. 1998

INFCIRC/549/Add.8/1 " (Permanent Mission of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 11 Nov. 1998

INFCIRC/549/Add.8/2 " (Permanent Mission of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 9 Sept. 1999

INFCIRC/549/Add.8/3 " (Permanent Mission of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 19 Jul. 2000

INFCIRC/549/Add.8/4 " (Permanent Mission of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 24 Aug. 2001

INFCIRC/549/Add.9 " (Russian Federation) 11 Nov. 1998

INFCIRC/549/Add.9/1 " (Russian Federation) 31 May 1999

INFCIRC/549/Add.9/2 " (Russian Federation) 27 Mar. 2000

INFCIRC/549/Add.9/3 " (Russian Federation) 15 May. 2001

[第11.1表] 2000年末現在の民生分離プルトニウム情報

国	1) 再処理プラントで貯蔵中の未照射のプルトニウム					2) MOX燃料加工プロセス中のプルトニウム					3) 原子炉サイト等にある未照射のMOX燃料中のプルトニウム					4) その他の場所にある未照射のプルトニウム					備考											
	00	99	98	97	96	95	00	99	98	97	96	95	00	99	98	97	96	95	00	99	98	97	96	95		00	99	98	97	96	95	
ベルギー							2.5	2.8	2.8	2.6			1.4	1.0	0	0.1			微量	微量	微量	微量			他国にあるもの		0.9	1	0.8			
日本	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6		3.1	3.1	3.2	3.3	3.1		1.2	1.2	0.8	0.8	0.9		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		他国にあるもの	32.1	27.6	24.4	19.1	15.1		
ドイツ		0	0	0	0		0.58	0.41	0.3	0.4			5.48	4.84	3.9	2.7			1.13	1.31	1.8	1.8										
スイス	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		0.6	0.6	0	0.6	0.1		<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05		他国所有のもの	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1		
中国			0												0		0				0		0									
フランス	53.7	55.0	52.0	48.4	43.6	36.1	14.8	13.0	11.8	12.2	11.3	10.1	9.2	8.2	6.8	6.3	5.0	3.6	5.0	5.0	5.3	5.4	5.5	5.5	他国所有のもの	38.5	37.7	35.6	33.6	30	25.7	
																									他国にあるもの	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.2	0.2	
英国	75.1	69.5	66.1	57.4	52.1		0.8	0.8	0.8	0.5	0.5		2.2	2.2	2.2	2.2	2.2		0	0	0	0	0		他国所有のもの	16.6	11.8	10.2	6.1	3.8		
																									他国にあるもの	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9		
米国		0	0	0	0		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			4.6	4.6	4.6	4.6			40.4	40.4	40.4	40.4			3) 4) は元々軍事用							
ロシア	32.3	30.9	29.2		27.2*		-						0.2	0.2	0.2		0.064*	0.9	0.9	0.9		0.87*		他国にあるもの	0.6							

*: 1996年7月1日現在

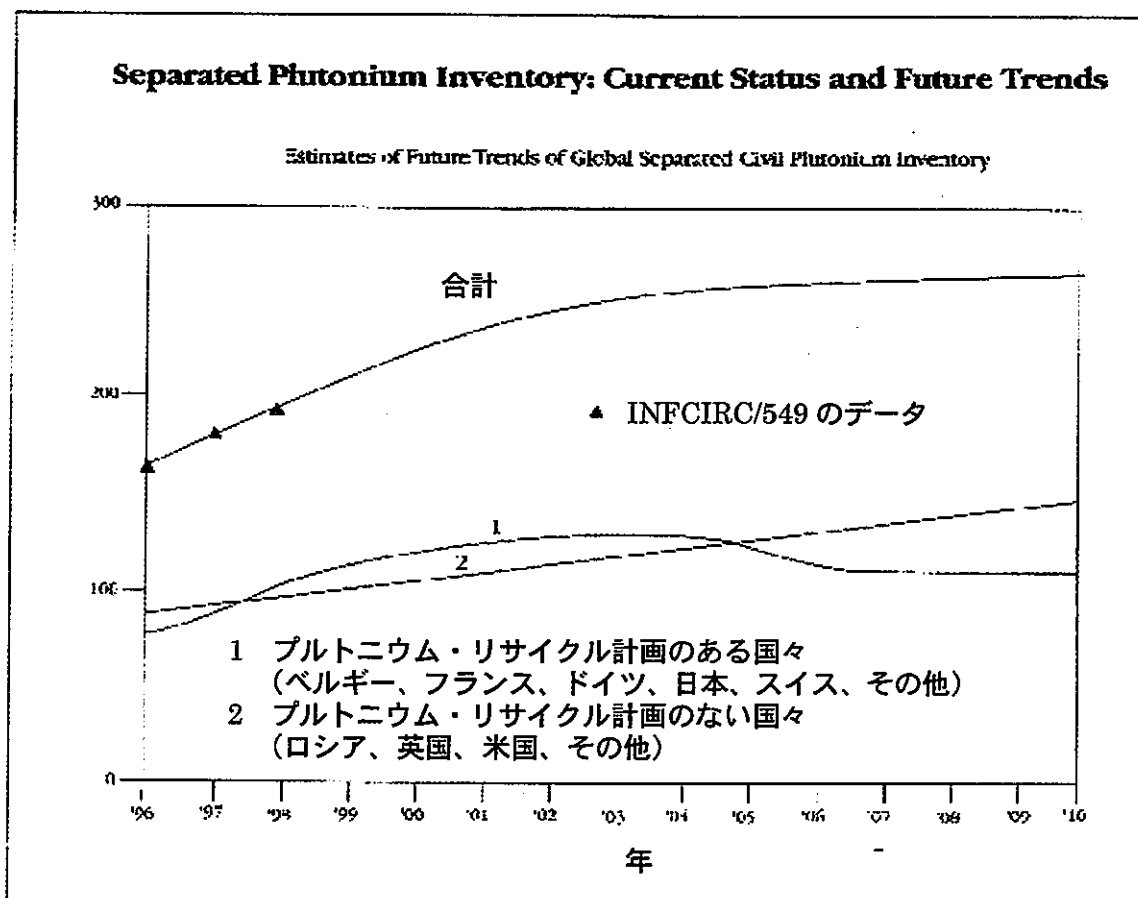
出典: IAEA ICFCIR/549シリーズ文書
Site: <http://www.iaea.org/worldatom/Documents/Infcircs/Numbers/nr501-550.shtml>

[第11.2表] 2000年末現在の民生の使用済燃料中のプルトニウム情報

国	1) 民間の原子炉サイト内のプルトニウム					2) 再処理工場の使用済燃料中のプルトニウム					3) その他の場所のプルトニウム					備考										
	00	99	98	97	96	95	00	99	98	97	96	95	00	99	98	97	96	95		00	99	98	97	96	95	
ベルギー		17	16	14	12			0	0	0	0			0	0	0	0									
日本	80.5	72	63	55	48		0.9	1	1	1	1		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5									
ドイツ		36.75	31.5	未提出				0	0	未提出				5.90	5.90	未提出										
スイス	8	7	6	6	7		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0		他国にあるもの	3	5	5	5	6		
中国		未提出						未提出						未提出												
フランス	82.6	80.0	74.9	66.7	65	64	81.3	79.2	83.4	88.8	88	87	0.5	0.6	0.5		0	0								
英国	7	7	5.6	5	4.3		36	39	40.2	42.1	43.0				0.1	0.1	0.1									
米国		319	302	287	270			0	0	0	0			15	15	15	13									
ロシア	49	47	42		40以下*		4	4	9		30以下*		21	20	16										1) に含む*	

*: 1996年7月1日現在

出典: IAEA ICFCIR/549シリーズ文書
Site: <http://www.iaea.org/worldatom/Documents/Infcircs/Numbers/nr501-550.shtml>



〔第 11.1 図〕 分離プルトニウムの在庫：現状と将来の傾向

【出典】 J- S. Choi(IAEA), Plutonium 2000: Conferencce Report, Belgium Nuclear Society(BNS), Brussels, 2000.10.9-11.

[第 11.3 表] ISIS の見積った 12 カ国の民生分離プルトニウム在庫

1996 年末現在

国	A:国内にある量	B:海外にある量	C:国内にあるうちの他国所有の量	D:国の所有する量 (A+B+C)
英国	54.8	0.9	3.8	51.9
フランス	65.4	0.2	30.0	35.6
ベルギー	2.7	0.8(b)以下	2 以下(b)	1.5 以下
ドイツ	4.9	Not declared(c)	Not declared	21 以下(c)
日本	5.0	15.1	0	20.1
スイス	0.1~0.15	0~6(d)	0.1	1 以下
ロシア	28.1	Not declared	Not declared	28.1
米国	5	0	0	5
中国	0	0	0	0
インド	0.5	0	0	0.5
オランダ	0	1.5 以下?	0	1.5 以下
イタリア	0?	0.5 以下?	0	0.5 以下
合計	166.5			166.7

1997 年末現在

国	A:国内にある量	B:海外にある量	C:国内にあるうちの他国所有の量	D:国の所有する量 (A+B+C)
英国	60.1	0.9	6.1	54.9
フランス	72.3	0.05 未満	33.6	38.7
ベルギー	2.8	0.8	2 以下(b)	1.6 以下
ドイツ	6.0	Not declared(c)	Not declared	24 以下(c)
日本	5.0	19.1	0	24.1
スイス	0.7	0~5	0.05 未満	1 以下
ロシア	29.1	Not declared	Not declared	29.1
米国	5	0	0	5
中国	0	0	0	0
インド	0.6	0	0	0.6
オランダ	0	1.5 以下?	0	1.5 以下
イタリア	0?	0.5 以下?	0	0.5 以下
合計	181.6			181.0

【出典】 Plutonium Watch, Institute for Science and International Security (ISIS), 1999.5.

[第 11.4 表] 余剰の軍事プルトニウムと H E U

(1997 年末現在)

単位：トン

	合計在庫 (中央見積値)	余剰と声明され た量	余剰在庫見積	I A E A 保障措 置下にある量
●プルトニウム				
ロシア	131	50	95	0
米国	85	38	49	2
英国	7.6	4.4	6	4.4
中国・フランス	9	-	3	0
●H E U				
ロシア	1,050	500	890	0
米国	645	165	480	10
英国	21.9	-	5	0
中国・フランス	45	-	10	0
合 計	1,995	757	1,538	16.4

【出典】 W. Walker (University of St. Andrews), "Nuclear Power and Non-Proliferation", European Seminar on Nuclear in a Changing World, European Commission, Brussels, 1998.10.14~15.

【第 11.5 表】 事実上の核保有国 (de facto nuclear weapon states) における
軍事核物質在庫の見積

1994年12月31日現在

単位 : kg

国	種 別	兵器級 P u	兵器級 U
イスラエル	de facto	440	—
インド	de facto	300	Neg.
パキスタン	de facto	Neg.	210
北朝鮮	凍結	25~40	0
南アフリカ	解体	0	400

1995年12月31日現在

単位 : kg

国	兵器級 P u	兵器級 U
イスラエル	460	—
インド	330	Neg.
パキスタン	Neg.	210

2000年までに

単位 : kg

国	兵器級 P u	兵器級 U
イスラエル	510	—
インド	450	?
パキスタン	kg オーダー	210

【出典】 D. Albright et al., Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies, SIPRI, 1997.

[第11.6表] 米国におけるプルトニウム収支

<u>生産／獲得</u>	<u>トン Pu</u>
政府の生産炉	103.4
政府の非生産炉	0.6
米国民間産業	1.7
海外	5.7
合 計	111.4
<u>消費／移動</u>	
戦争や実験	3.4
測定誤差	2.8
通常運転時のロス	3.4
核分裂・消滅	1.2
崩壊等	0.4
米民間産業	0.1
海外	0.7
合 計	12.0
生産／獲得 合計	111.4
消費／移動 合計	-12.0
機密の取引／端数調整	0.1
実際の保有量	99.5

【出典】 Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials: Draft Programmatic Environmental Impact Statement (Summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[第 11.7 表] 兵器 Pu の同位体組成

単位：％（概数）

種類 GWd/tU	WPu -	GCR 5-6	AGR 18-24	PWR 33	PWR 50	BWR 30
Pu-238	0.0	0.3	0.6	1.6	2.6	2.8
Pu-239	94	69	54	58	50	55
Pu-240	5.5	25	31	25	28	23
Pu-241+Am	0.5	4.2	10	10	11	14
Pu-242	0.02	1.1	5	5.5	8	5

【出典】 H.Bairiot (FEX), "Use of MOX in the Disposition of Weapons-Grade Pu", International Seminar on MOX Fuel: Electricity Generation from Pu Recycling, 1996.6.4

[第 11.8 表] 兵器 Pu の発熱量 (5 ~ 10 年後)

種類 GWd/tU	WPu	GCR	AGR	PWR	PWR	BWR
	-	5-6	18-24	33	50	30
5 年	2.3	5.8	9	14	21	22
10 年	2.4	6.5	11	16	23	25

[第 11.9 表] 兵器 Pu の γ 線量率 (5 ~ 10 年後)

種類	Wpu	GCR	AGR	PWR	BWR
5 年	1.0	4.9	9	11	12
10 年	1.3	8	13	17	20

* WPu (5 年後) を 1.0 として比較した

【出典】 H.Bairiot (FEX), "Use of MOX in the Disposition of Weapons-Grade Pu", International Seminar on MOX Fuel: Electricity Generation from Pu Recycling, 1996.6.4

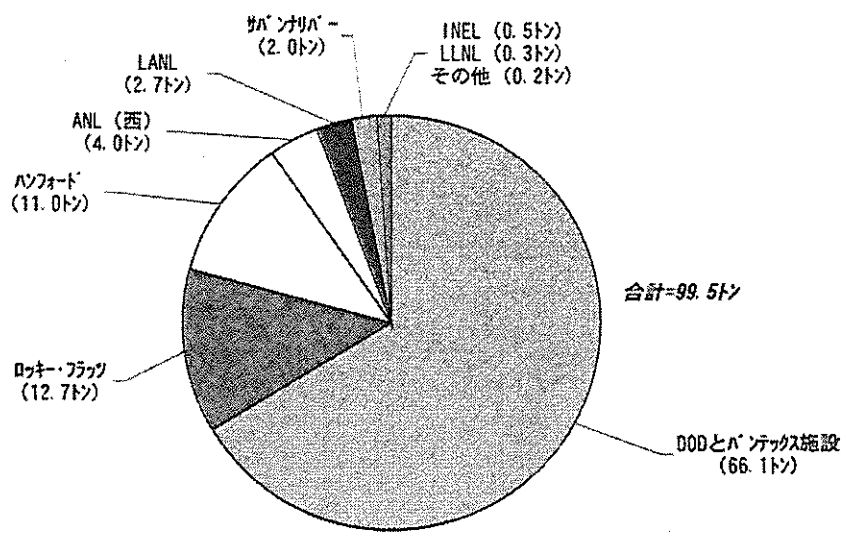
[第 11.10 表] 各種軽水炉におけるMOX燃料利用の可能性

パラメータ	開発中の軽水炉			既存の軽水炉		
	ABB-CE System 80+	GE ABWR	WH PDR600	C-E	GE	WH
熱出力 (MW)	3,817	3,926	1,933	3,817	3,484	3,560
電気出力 (MW)	1,256	1,300	600	1,256	1,155	1,150
設備利用率 (%)	75	75	75	82	75	75
平衡炉心での Pu 富化度 (%)	6.8	5.8	6.6	4.6	3.0	4.5
1基当たりの Pu 燃焼量 (Kg/年)	1,670	1,590	880	1,590	760	1,070
燃焼度 (MWd / KgHM)	42.6	39.0	40.0	32.5	37.6	44.0
利用基数	2	2	4	2	3	3
50トンの Pu を処分する 期間 (年)	15.0	15.7	14.2	15.7	21.9	15.6

[第 11.11 表] 各種軽水炉における使用済MOX燃料の特性

Pu 同位体	兵器級 Pu	UO ₂ 使用済 燃料	開発中の軽水炉			既存の軽水炉		
			ABB-CE System 80+	GE ABWR	WH PDR600	C-E	GE	WH
Pu-238	0.000	0.02	—	0.006	0.001	—	0.010	0.002
Pu-239	0.937	0.54	0.631	0.590	0.621	0.609	0.421	0.497
Pu-240	0.059	0.21	0.227	0.270	0.242	0.234	0.353	0.295
Pu-241	0.004	0.16	0.126	0.105	0.118	0.137	0.151	0.163
Pu-242	0	0.07	0.017	0.028	0.018	0.021	0.066	0.043
Pu 含有率 (%)	100	0.9-1.1	5.1	4.1	5.1	3.7	2.0	3.2
Pu 消費率 (%)	—	生産	27	31	25	22	36	33
集合体の放射線 遮蔽 (排出時) (rem/時)	—	2-8E6	7.9E6	2.0E6	2.0E6	8.4E6	2.2E6	3.0E6
集合体の放射線 遮蔽 (10年後) (rem/時)	—	2-6E4	6.3E4	1.6E4	1.7E4	5.0E4	1.8E4	2.1E4
Pu 発熱量 (10年後) (W/Kg)	2.3	14.3	5.6	8.2	3.8	3.9	11.0	5.0

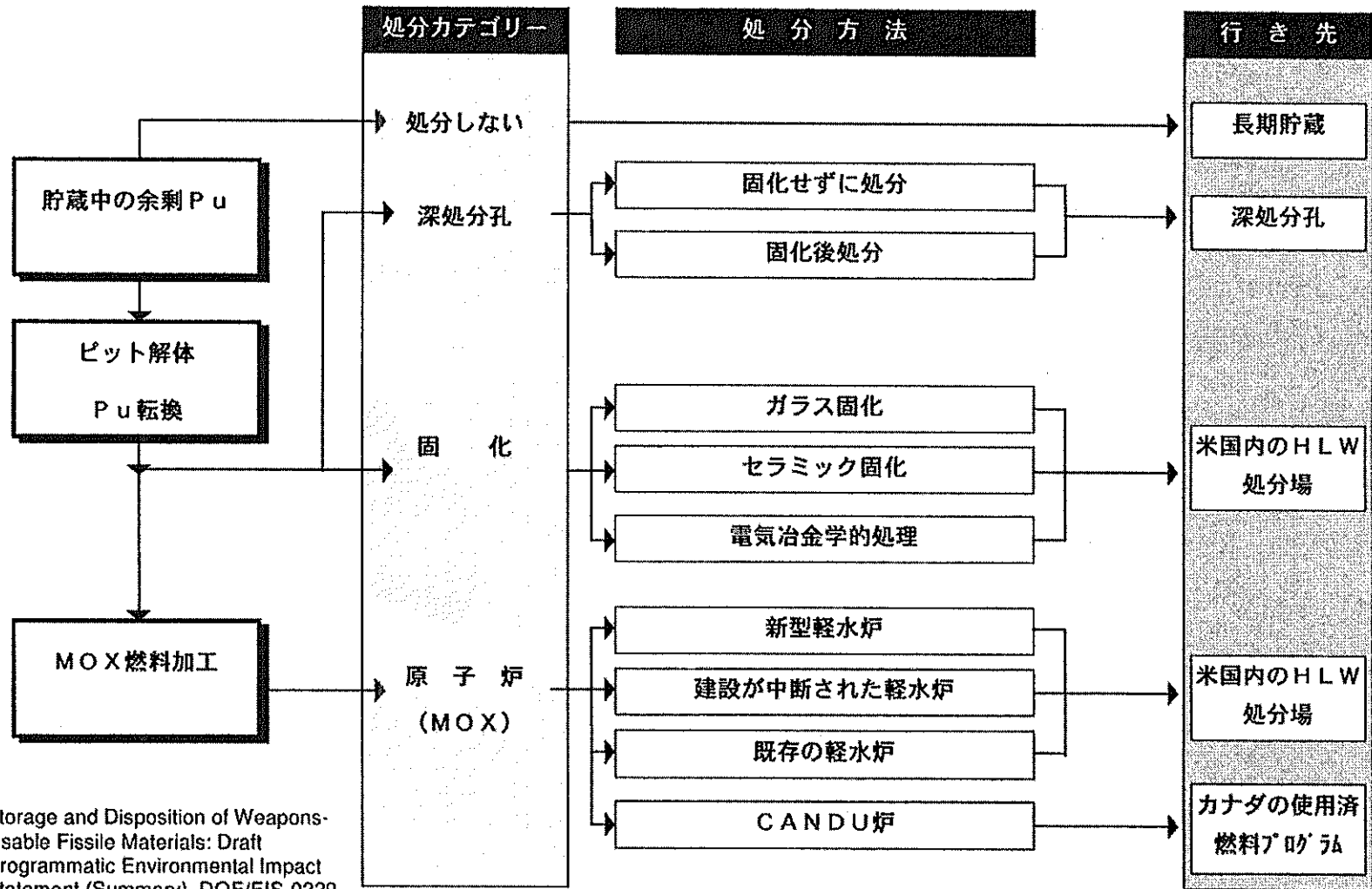
【出典】 R.J.Neuhold, E.A. Condon (DOE), "Capability of U.S. LWR Using Full-MOX Cores, ANS Transaction, 1995.6.25~29.



(注記) LANL : ロサンゼルス国立研究所
 ANL : アーゴン国立研究所
 INEL : イリノイ国立工学研究所
 LLNL : ローレンス・リバース国立研究所

【出典】 Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials: Draft Programmatic Environmental Impact Statement (summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[第11.2図] サイト毎のプルトニウムの貯蔵状況 (1994年9月現在)

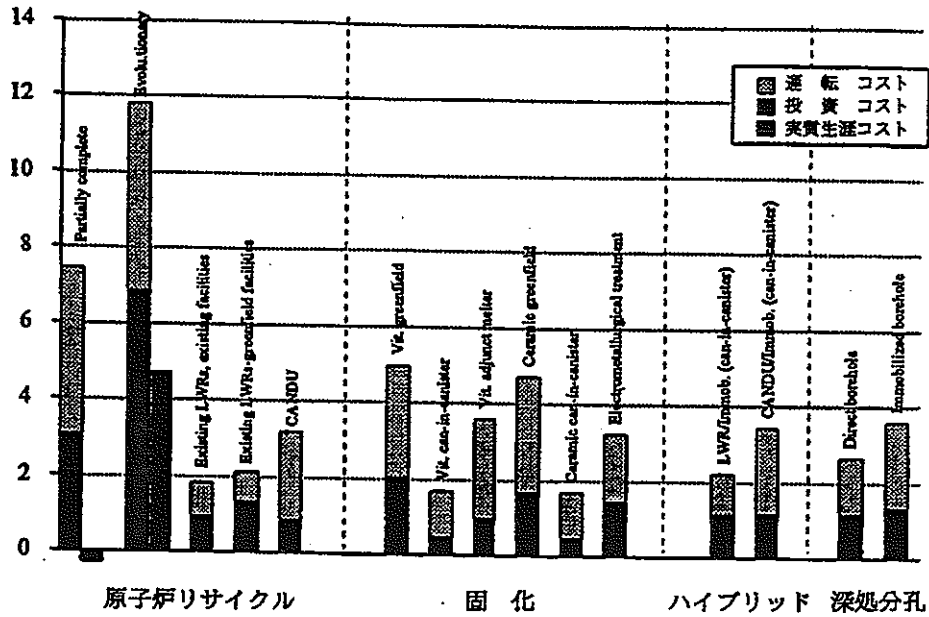


【出典】 Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials: Draft Programmatic Environmental Impact Statement (Summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[第 11.3 図] 米国の余剰兵器級プルトニウムの処分オプション

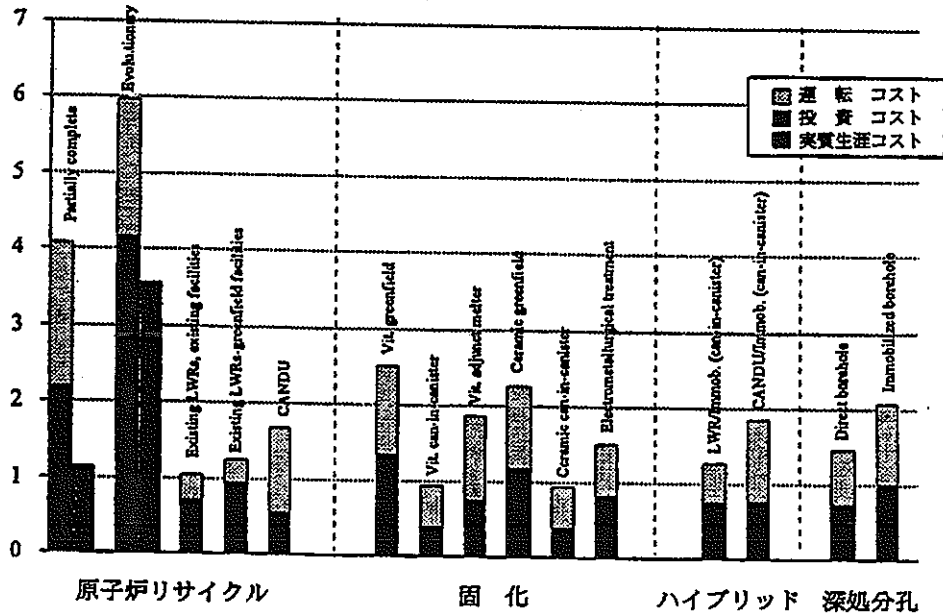
10 億ドル

(1) 固定ドルでの評価



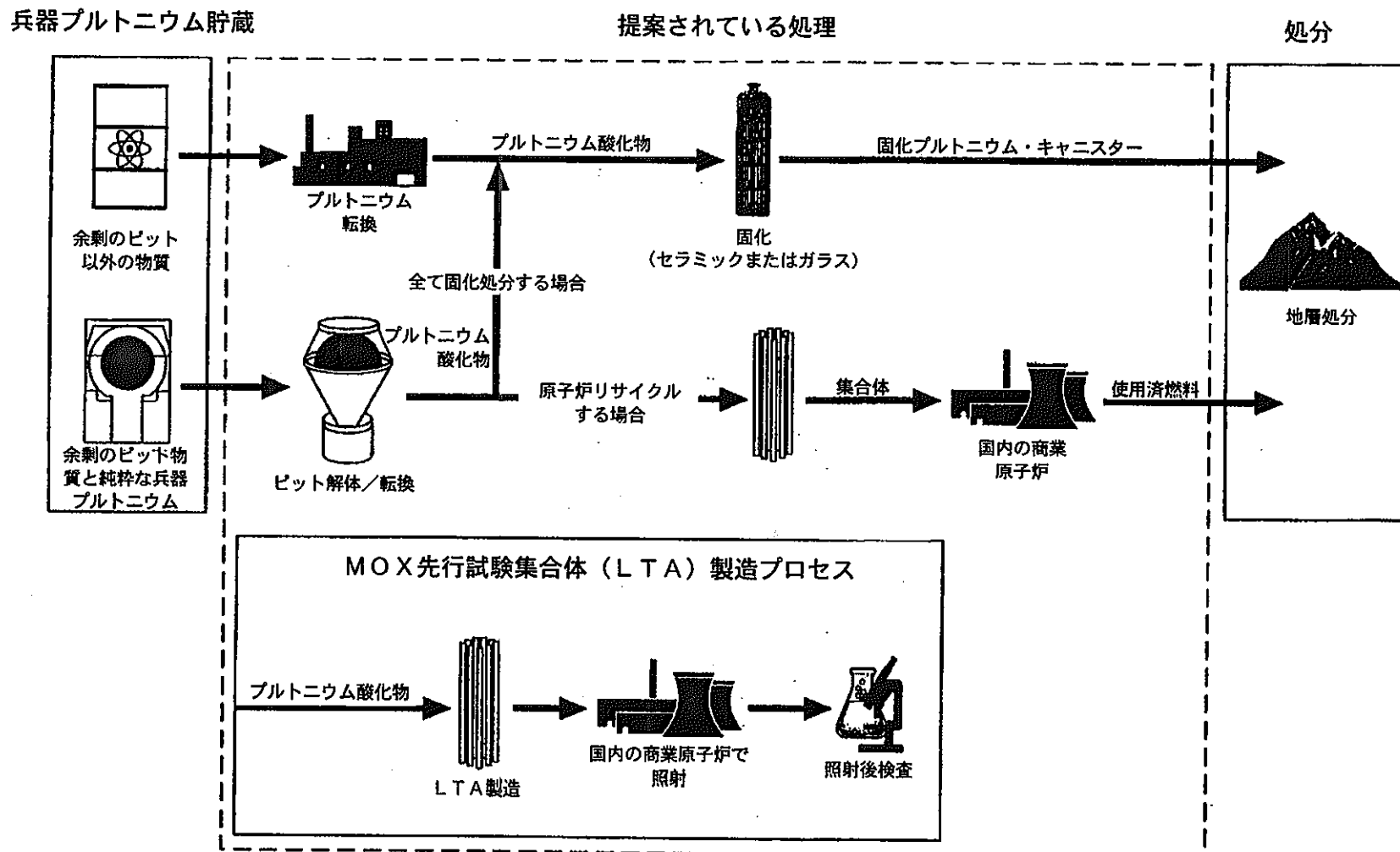
10 億ドル

(2) 割引後の評価



[第 11.4 図] DOE による余剰兵器プルトニウム処分オプションの投資/運転コスト評価

【出典】 "Technical Summary Report For Surplus Weapons-Usable Plutonium Disposition", DOE, 1996.07.17



【第 11.5 図】 米国の兵器プルトニウム処分プロセス案

【出典】 Surplus Plutonium disposition Draft
Environmental Impact Statement, 1998. 07.