

プルトニウム利用に関する海外動向の調査(98)

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

1999年3月

株式会社 アイ・イー・エー・ジャパン

本資料は核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために、限られた関係者だけに配布するものです。したがって、その取扱いには十分注意を払ってください。

本資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別な許可を必要としますので下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4-49

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,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49, Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 〒319-1184 Japan

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

1998

1999年3月

プルトニウム利用に関する海外動向の調査（98）*

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1998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

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、その中のプルトニウム・リサイクルの位置付けおよび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

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、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

JNC TJ1420 99-002

MARCH 1999

PLUTONIUM USE IN FOREIGN COUNTRIES (98)

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 1998 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

Backend policy and the status of spent fuel management were studied, then integrated analysis and evaluation of the position of plutonium recycling and the status of 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: Control Section, Nuclear Material Control Div.

* Energy & Environment Department

一目 次一

	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. 1 バックエンド政策.....	1
1. 1. 2 MOX燃料利用の現状.....	8
1. 1. 3 MOX燃料加工の現状.....	12
1. 2 ドイツ.....	19
1. 2. 1 バックエンド政策.....	19
1. 2. 2 MOX燃料利用の現状.....	27
1. 2. 3 MOX燃料加工の現状.....	30
1. 3 英 国.....	41
1. 3. 1 プルトニウム利用政策.....	41
1. 3. 2 MOX燃料加工の現状.....	44
1. 4 ベルギー.....	47
1. 4. 1 プルトニウム利用政策.....	47
1. 4. 2 プルトニウム・リサイクルの現状.....	49
1. 4. 3 MOX燃料加工の現状.....	52
1. 5 スイス.....	63
1. 5. 1 プルトニウム利用政策.....	63
1. 5. 2 プルトニウム・リサイクルの現状.....	63
1. 6 スエーデン.....	69
1. 6. 1 バックエンド政策.....	69
1. 6. 2 産業界からプルトニウム・リサイクル戦略が浮上.....	69
2. MOX燃料加工、再処理に関する計画および実績.....	73
3. プルトニウム在庫.....	125

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み燃料は適切な貯蔵（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（H L W）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指示し、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）1989年以降の動向…プルトニウム・リサイクルの商業化と拡張

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一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、政府諮問期間である「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つたことによって、フランスの再処理／プルサ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、共和国連合のジュペ首相下の政府は、産業省エネルギー・資源総局（DGEMP）のマンディ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 ラアーグ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。

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、議会が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

エスロン局長は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（O P E C S T）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 [22円換算で2,200億円] ）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。

その後、議会からはO P E C S T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。経済性を評価する経済性を評価する第2巻は1999年初めに発表される予定であるという。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（E D F）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、O P E C S 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、E D F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。

O P E C S 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C P 1とC P 2に属する28基は全て技術的に混合酸化物（M O X）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（E P R）ではM O X燃料を最大限利用すべきであると示唆している。

O P E C S 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、M O X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（C A P R A）”プログラムを完遂することができない。C A P R A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、O P E C S Tは、カダラッシュに建設が予定されているジュール・ホロヴィツ試験炉（R J H）の設計を変更することをフランス原子力庁（C E A）に提言している。また、R J H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、O P E C S T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勧告している。

（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、R J H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。

上述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（〔第1. 1図〕と〔第1. 2図〕参照）。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。

使用済燃料と高レベル・長寿命放射性廃棄物の管理に要するコストは、原子力発電コストの20%と見積もられているが、実際にバックエンドに振り当てられている予算は原子力発電コストの5~10%に過ぎない。OPECSTは、1999年初めに発表する報告書の第2巻で、経済性の問題を中心に論じる予定である。

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の方針に合致しており、原子力産業界の支持を集めると予想される。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。

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月現在、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。

(1) シノンB1~B4号機のMOX許可

シノンの許可手続きは1998年5月当時、ストロース・カン経済相とピエレ産業担当

閣外相の署名を得て、あとはヴォワネ環境相とジョスパン首相の署名待ちの状態であったが、1998年7月26日、政府はようやく、シノンB1、B2号機に関する一括許可政令とシノンB3、B4号機に関する一括許可政令の2つを発給した。従来の16基のMOX許可炉に4基が加わり、シノンB4号機へは1998年末にも装荷が行われる計画であるという。

EDFでは更に、グラブリーヌC5、C6号機、ブレイエ3、4号機、クリュアス1～4号機の8基をMOX許可炉として追加したいのだが、現在のところ、同許可申請は見合わされている。【第1. 1表】に、90万kW級PWRにおける許認可取得状況を示す。

(2) MOX運転経験

1998年11月現在、15基の90万kW級PWRでプルトニウムがリサイクルされており、1998年末までには17基に増加する見込みであるという。【第1. 2表】に1987～1998年の各炉のMOX運転を一覧し、各年毎のMOX装荷実績の推移を示した。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。EDFでは年24回のMOX燃料装荷を行いたいと考えており、そのためには、28基のMOX燃料装荷許可炉が必要であるとしている。

また、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。EDFでは、2002年までにMOX燃料の燃焼度を上げたいと希望している。

(3) EDFのプルトニウム・リサイクルに関する長期的シナリオ

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、

CP 1シリーズとCP 2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、UO₂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UO₂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UO₂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、UO₂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、UO₂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

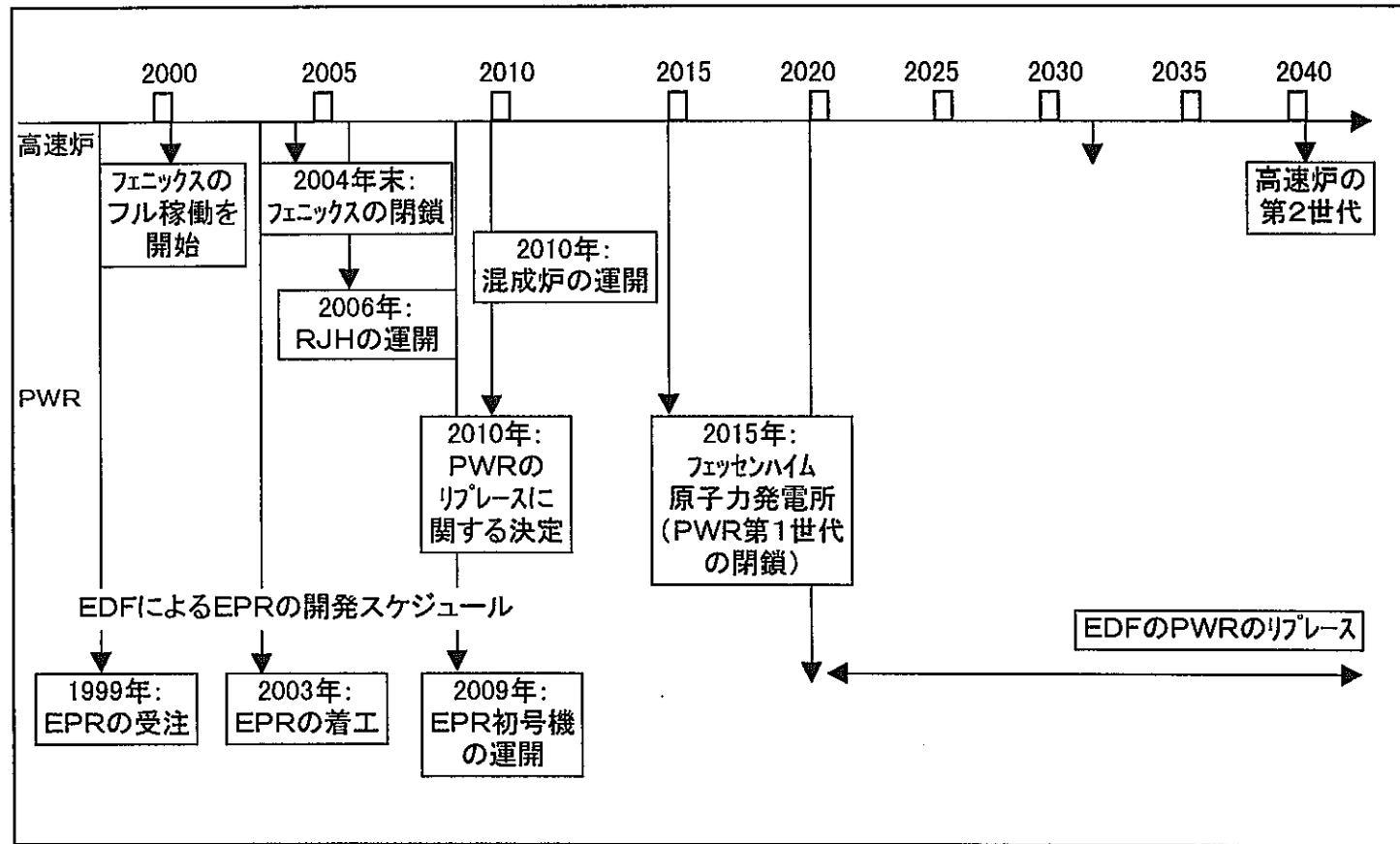
現政権のM E L O X プラントの容量に関する方針は、PWR用を現行認可のままの100トン／年（115トン（酸化物）／年）とし、BWR用だけを40トン／年に拡張することを容認するというものであるが、1998年10月に開かれた再処理リサイクルに関するR E C O D'98国際会議において、COGEMAは、容量拡張の許認可は得られていないが、いつでも拡張が可能なように設備投資を行っており、現在建設中のM E L O X 西側増設建屋（MWF B ; MELOX West Fitting Building）が全能力で運転できるようになれば、250トン／年（最大80トン／年のBWR用MOX燃料生産を含む）の生産をあげることも可能であると、強気の発言を行っている。

1995年に運開されたM E L O X プラントはわずか2年で計画通り許認可容量の100トン／年に達し、1998年においては10月末までに約89トン／年のMOX燃料を生産したという。また、カダラッシュMOX燃料加工プラントの1997年の生産量は、ドイツの電力会社向けに32トンであった。容量については、公称35トン／年であるが、40トン／年の生産も可能であるという。

米国の兵器プルトニウムのMOX燃料加工と商業炉での燃焼プロジェクトへの応札に、COGEMAはデューク・エンジニアリング・サービス（DES）社等のコンソーシャムに参画しているが、シーメンス社のコンソーシャムや英国原子燃料公社（PNFL）のコンソーシャムに比べ、1998年12月現在、最も受注の可能性が高いとされている。

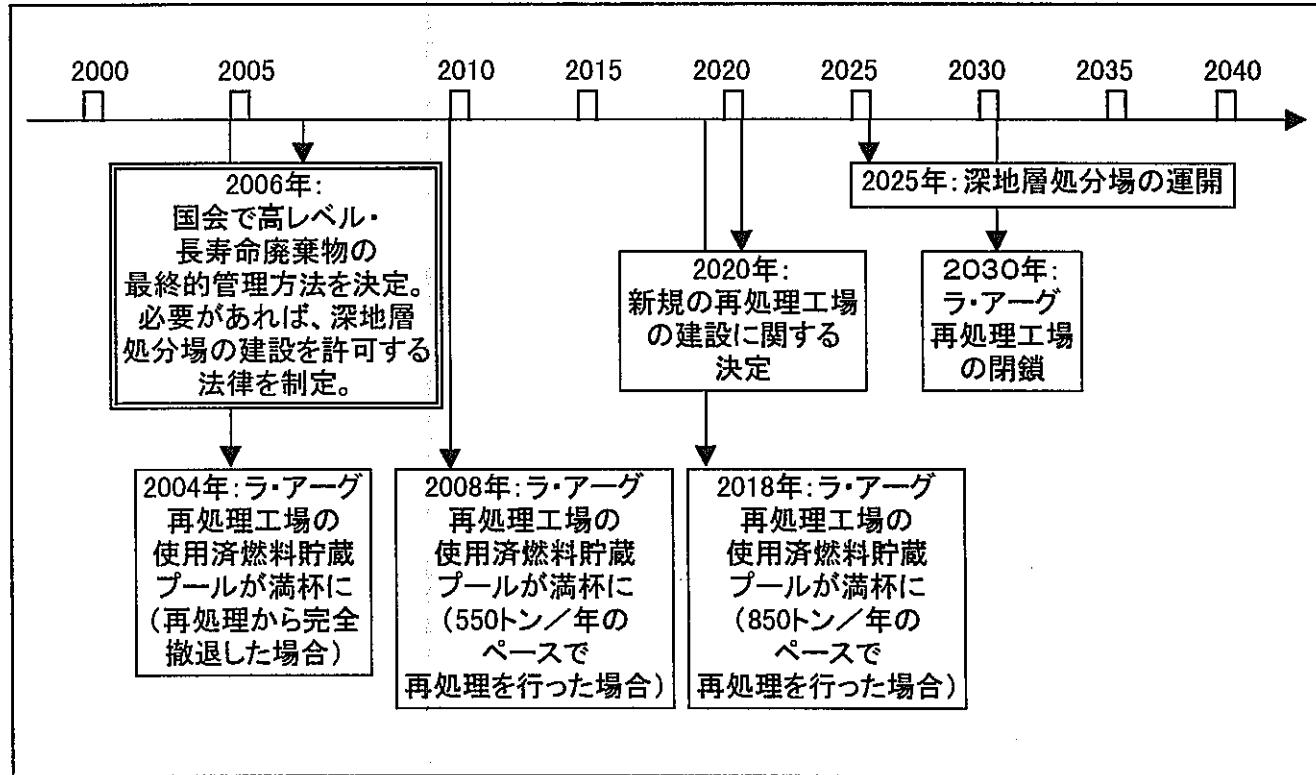
DES社が率いるコンソーシャムにはCOGEMAの他に、ストーン&ウェブスター（S & B）社が参加し、MOX燃料照射に使用する原子炉としてデューク・エナジー社がカトーバ発電所とマクガイア発電所、バージニア・パワー社がノースアナ発電所を提供する。同コンソーシャムは、MOX燃料製造施設の設計、建設および許認可の取得、MOX燃料

の製造、商業炉でのM O X燃料の照射を含む計画全体にわたる役務を提供するとしている。D E S社が率いるコンソーシアムはまた、燃料に不適切な兵器プルトニウムを処分するためのガラス固化プラントを設計、建設する業務についても入札している。



RJH: ジュール・ホロヴィツ試験炉
 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

[第1. 1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

① 既に装荷されている原子炉：17基（1998年末現在）

サン・ローラン B1 (1987年～)

B2 (1988年～)

グラブリース 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 B4 (1998年～)

② 許認可を取得している原子炉：上記17基の他、3基（1998年7月現在）

シノン B1～B3

③ 許認可取得に先立って公聴会を必要とする原子炉：8基

グラブリース C5およびC6

ブレイエ 3および4

クリュアス 1～4

【出典】M E L O X社パンフレット,1993 ; Nucleonics Week 1994.03.28;
 E D F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.

[第1. 2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 (*)	サイクル合計	MOX 装荷体数合計	
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運転サイクル合計	1	2	3	4	4	5	6	7	5	9	13	17	76		
MOX装荷体数合計	16	32	48	56	48	80	56	88	56	88	168	256		992	

(*) 1998年11月に発表されたものなので、見込み分も含まれていると考えられる。

【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.

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)によつ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転させる。
- 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。フレジビリティ評価は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る。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カースドルフに決定した。

しかしながら、バッカ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（C D U / C S U）と自由民主党（F D P）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年内に)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、それらのリプ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るって、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、現在稼動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。

今回の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) S P D / 緑の党連立政権下での原子力政策

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（S P D）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的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S P D、同盟90・緑の党、民主社会党（P D S）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（C D U / C S U）、自由民主党（F D P）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。

こうしたことから、ドイツの新政権が新たな原子力政策を打ち出すのは確実な情勢となっている。今回の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いが、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である。しかし、1年経っても合意が得られない場合は、発電所の運転許可について法律で期限を設定することになるという。但し、S P Dと緑の党は原子力政策の詳細部分についてはまだ、大きな意見の相違がある。例えば原子力発電所の廃止時期をめぐっては、S P D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ている。R W E社のファルヌング会長は1998年10月15日、S P D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（72円換算で約2兆円）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ている。さらに、ドイツ最大の電力会社であるR W E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、運転から20年を経た原子力発電所を閉鎖するという緑の党的提案を拒否する

姿勢を示している。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ている。

連邦環境相には緑の党のトリッティン氏が選任され、より厳しい原子力政策がとられる予想されている一方、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。現時点では、連邦環境省（BMU）の原子力政策部門はBMUから連邦経済省（BMW i）へ移される可能性も残っており、原子力規制部門がどちらの手に渡るかは不明である。

新政権の原子力政策がSPD寄りのものになるのか、緑の党寄りになるのか予断を許さない状況にあるが、いずれにせよ新政権は原子力の廃止で合意しており、新政権が新たな原子力政策を打ち出すのは確実である。しかし、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ことから、実際にはかなり難しいと考えられる。

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る。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。また、シュレーダー新首相は、産業界との対話路線を重視しており、緑の党が主張するような原子力発電所の即時廃止を実施するとは考えにくい。また緑の党がガソリン税の値上げをめぐつてSPDに大幅に譲歩したように、最終的には電力業界の要求も組み入れて、より柔軟で現実的な原子力改革政策を打ち出すものと考えられる。その場合には、段階的廃止のシナリオとして、次のようなものが考えられる。

- ・最も古い原子力発電所を2基程度（オブリッヒハイム発電所、およびシュターデ発電

所あるいはビブリスA発電所) 廃止する。

- ・他の原子力発電所を今後 10~15 年以内に段階的に廃止する。
- ・ゴルレーベン処分場の開発作業を凍結し、使用済燃料の発電所サイト内乾式中間貯蔵を促進する。

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に着手するものと見られる。

10月20日に調印されたSPDと緑の党との間の連立協定においては第1段階（政権樹立後100日間）として、原子力法改正案を提出することが合意されており、その中には、プルトニウム・リサイクルに直接影響を与える、バックエンドを直接処分に限定するという条項も含まれている。【資料2.1】に、原子力発電について記されている同協定の第IV章3.2節の全訳文を添付する。

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1998年の原子力データでは、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燃料装荷許可の取得状況、MOX燃料調達状況についてまとめる。また、1988年からMOX燃料リサイクルを行い、同国の原子炉の中ではプルトニウム・リサイクル量の実績が2番目に多いフィリップスブルク2号機の1997年までの実績について報告する。

(1) MOX燃料装荷許可の取得状況

ドイツにおいては現在、20基の軽水炉の内、7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。【第2.1表】にその状況を一覧した。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、PWR2基とBWR3基が許認可申請中である。ミュールハイム・ケールリッヒは申請を取り下げている。

MOX燃料装荷を実施する原子炉数は1998年に2基増加する予定であり、イーザル2号機とネッカル2号機においてMOX燃料の初装荷が計画されている。

PWRのMOX燃料装荷許可条件は【第2.2表】に示す通りである。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。

(2) MOX燃料調達

1996年末までに合計680体のMOX燃料がドイツの軽水炉用に加工され、これによって6.5トンのプルトニウムがリサイクルされた。【第2.3表】にその内訳を一覧した。なお、これらの加工実績の中には、MOX燃料棒を部分的に含んだMOX燃料集合体も含まれている。

シーメンス社がハナウMOX燃料加工プラントを1994年に廃止したことによって、ドイツの原子炉向けのMOX燃料は、ベルゴニュークリア社のデッセル・プラントおよびフランスのカダラッシュ・プラントで加工されている。欧洲のMOX燃料加工業者の契約締結の状況は以下の通りである。

① ベルゴニュークリア社 (デッセル・プラント [35トン／年])

2003年までプラント容量の半分を予約。グンドレミングンB&C (BWR)、フィリップスブルク (PWR)、ブロックドルフ (PWR)、イーザル (PWR)に供給される予定。

② 仏核燃料公社 (COGEMA) (カダラッシュ・プラント [35トン／年])

2006年まで全容量を予約

③ 英国原子燃料公社

2003年まで合計40トンを契約

これらの契約量は、新たに再処理から回収されるプルトニウムをリサイクルし、過去に回収されたプルトニウムの在庫を削減するのに十分な量である。更に、ベースロード以降の再処理新契約においては、MOX燃料加工のオプションが付加されているので、ドイツの電力会社は加工業者を新たに見つける必要がない。

(3) フィリップスブルク 2号機におけるMOX燃料リサイクル

フィリップスブルク 2号機へのMOX燃料装荷は1988年から開始され、1988～1996年までに同炉向けの76体のMOX燃料集合体が加工され、1.2トンの核分裂性プルトニウムが使われた。この量は、[第2. 3表]で示したように、ドイツの原子炉の中では、ブロックドルフの約1.4トンに次いで2番目に多い。1996年までには、合計72体のMOX燃料集合体が同炉に装荷された。

[第2. 1図]に、同炉の炉心でのMOX燃料集合体の量の推移を示した。同炉における

るMOX燃料装荷実績の詳細は明らかにされていないが、同図から、同炉には1988年に4体、1989年に8体、1991年に20体、1993年に20体、1995年に8体、1996年に12体、そして1997年には16体の合計88体が装荷されたものと見積られる。1回の装荷で最大20体のMOX燃料集合体が装荷され、最大で40体のMOX燃料集合体が炉内に存在していたことになる。同炉の炉心には合計193体の集合体があるので、40体のMOX燃料が炉内にあった時の装荷率は約20%である。許認可上は37%の装荷率、即ち最大72体のMOX燃料を装荷することが認められている。

これまでのMOX燃料装荷経験からは、特に問題は生じておらず、標準のUO₂燃料と比べて燃料性能に遜色はないという。また、達成された燃焼度も約40,000MWd/tuと、UO₂燃料とほぼ同等である。

初期のMOX燃料集合体は天然ウランを混合ウランとして用いていたが、この場合には、プルトニウム富化度は4% Pu fiss.に、また炉内装荷率は約1/3に抑えられてしまう。従つて、新型のMOX燃料集合体では、劣化ウラン（濃縮度0.2～0.3%）を混合ウランとして用い、プルトニウム富化度は4.65% Pu fiss.に上げられている。

現在の同炉の許認可条件においては、1体のMOX燃料集合体に約15kg Pu fiss.が含まれている。将来のMOX燃料では、約22kg Pu fiss.が含まれ、炉心の装荷率も50%に引き上げられる予定であるという。

このように、フィリップスブルク2号機では、MOX燃料の富化度と炉心装荷率を上げることによって、MOX燃料リサイクル・コストの低減化が計られている。

1. 2. 3 MOX燃料加工の現状

シーメンス社は、ハナウのMOX燃料加工プラントを1994年に閉鎖し、以後、同社は実際のMOX燃料製造をフランスや英国に委託している。〔第2. 2図〕に、1997

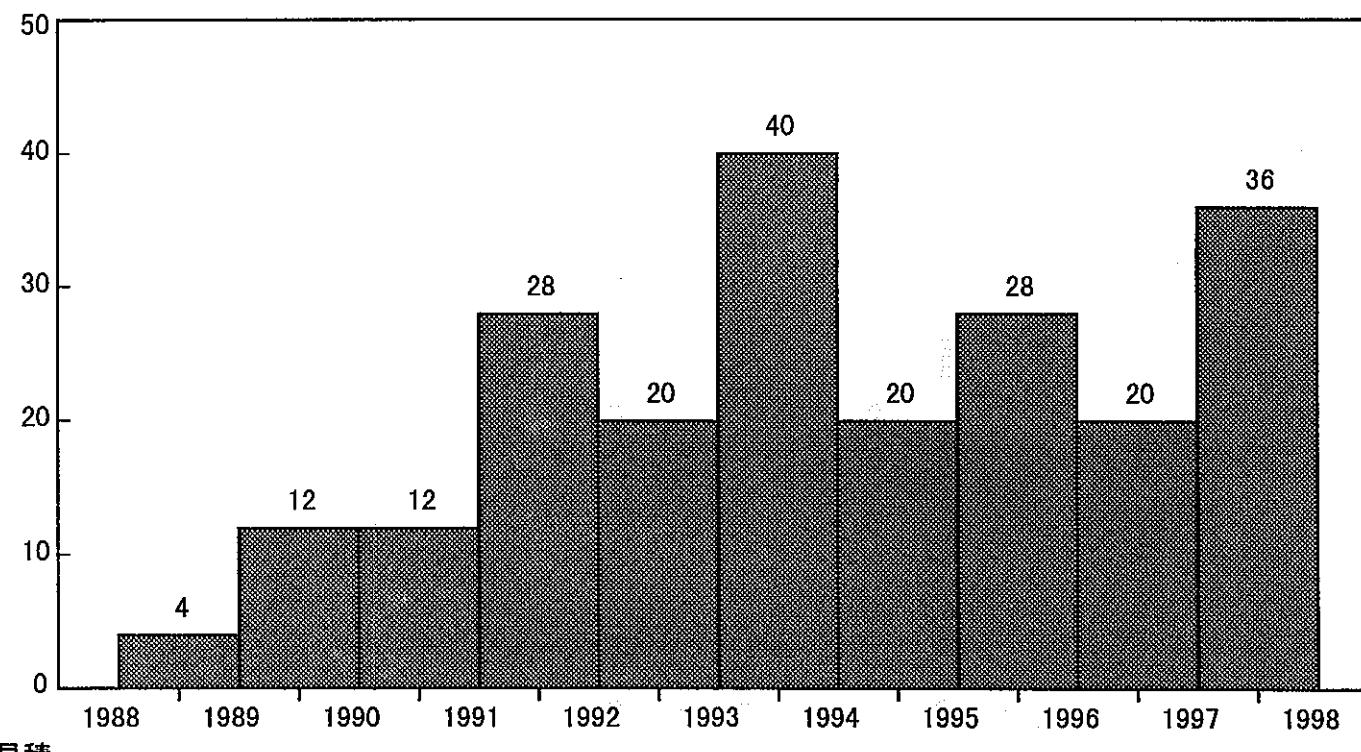
年末までの同社のMOX燃料加工実績を示すが、1994年以降はシーメンス社設計MOX燃料の国外での製造実績となる。シーメンス社は、国外製造も含め1997年末までにPWR用（10基）MOX燃料 382体、BWR用（6基）と重水炉用（1基）のMOX燃料 294体の実績を有する。

また、シーメンス社の1998年4月現在までのMOX燃料の加工と設計の実績は〔第2.4表〕に示す通りである。

シーメンス社の最近のMOX燃料加工関連の活動の主なものは、米国とロシアの余剰兵器プルトニウム（WPu）のMOX燃料処分のために、両国に各々MOX燃料加工プラントを建設するプロジェクトへの参加に向けた動きである。

ロシアのWPuのMOX燃料加工については、シーメンス社は仏核燃料公社（COGEMA）と協力して、MOX燃料加工プラントを建設しようとしている。米国のWPuのMOX燃料加工と原子炉での燃焼プロジェクトについては、レイシオン社、バッテル社、ワシントン公共電力供給局（WPPSS）、およびPECOエナジー社と共にコンソーシアムを結成している。米国エネルギー省（DOE）が5月19日に発行した最終提案要請（RFP）に対し、同コンソーシアムを含む3つのコンソーシアムが9月4日に有意回答を行った。しかし、9月15日にDOEから、PECOエナジー社のリメリック発電所をMOX燃焼炉とする確定契約は結ばれていないとして、シーメンス社率いるコンソーシアムは却下された。

炉内MOX燃料集合体数

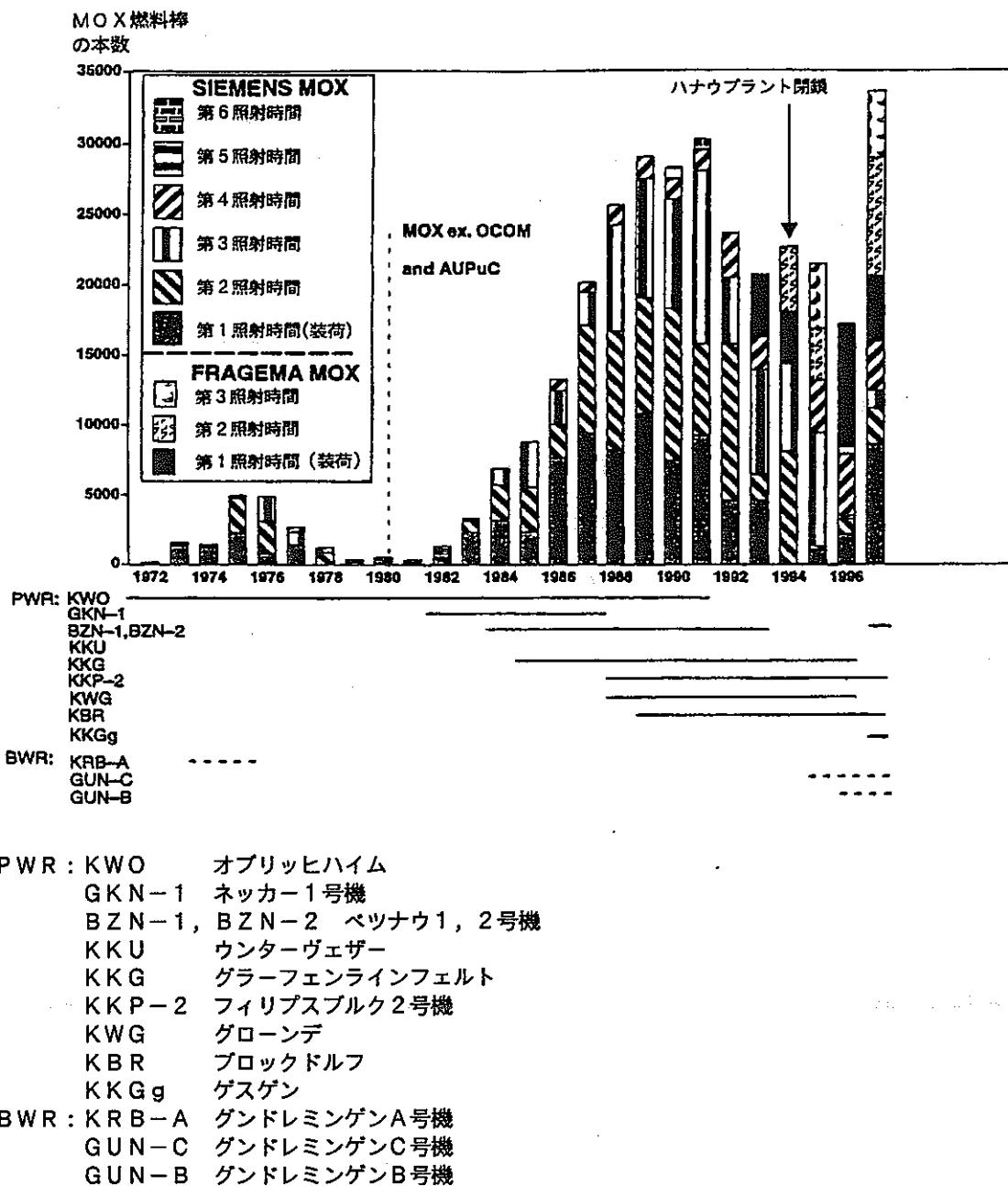


MOX装荷／取出見積

MOX装荷(体)	4	8	0	20	0	20	0	8	12	16
MOX取出(体)				4	8	0	20	0	20	0
炉内体数	4	12	12	28	20	40	20	28	20	36
累積装荷体数	4	12	12	32	32	52	52	60	72	88

[第2.1図] フィリップスブルク2号機における炉内MOX燃料集合体数の推移

(1988~1997年)



[第2. 2図] シーメンス社供給のMOX燃料装荷実績

【出典】F. Burtak, G. J. Schlosser (KWU) "Use of Weapons-grade Plutonium in Existing PWRs-Supported by German MOX Recycling Experience", Nuclear Technology, Vol.123, 1998.9.

[第2.1表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷状況

原子炉	運開年	MWe [ネット]	MOX装荷 許可	MOX装荷 (予定)
<u>PWR</u>				
オーフリッヒハイム (KWO)	1968	340	○	○
シュターテ (KKS)	1972	640		
ビーフリス A (KWB A)	1975	1,167	申請中	
ネッカル 1 (GKN 1)	1976	785	○	○
ビーフリス B (KWB B)	1977	1,240	申請中	
ウンターヴェーザー (KKU)	1979	1,285	○	○
ケーラーフェンラインフェルト (KKG)	1982	1,275	○	○
フィリップスブルク 2 (KKP 2)	1985	1,358	○	○
ケーロンテ (KWG)	1985	1,360	○	○
ブロックトールフ (KBR)	1986	1,326	○	○
ミュールハイム・ケーレンツヒ (KMK)	1987	1,260	取り下げ	
エムスラント (KKE)	1988	1,290	○	
イーザル 2 (KKI 2)	1988	1,340	○	(1998~)
ネッカル 2 (GKN 2)	1989	1,269	○	(1998~)
<u>BWR</u>				
フルンスピュッテル (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	
ケントレミングエン B (KRB B)	1984	1,284	○	○
ケントレミングエン C (KRB C)	1985	1,288	○	○

[第2. 2表] ドイツのPWRのMOX燃料装荷許可条件

PWR	許認可／装荷状況	天然ウラン混合における最大平均Pu fiss. 富化度(*1) [%]	MOX燃料取替体数／炉内のMOX燃料体数	MOX燃料装荷率[%]
オーバーリッヒハイム	KWO	装荷中	3.8	8/28
ネッカル 1	GKN 1	装荷中	3.04	-/16
ネッカル 2	GKN 2	許可済	3.8(*1)	-/72
ウンターヘーフィン	KKU	装荷中	3.28(*4)	16/48
グローラーフェンラインフェルト	KKG	装荷中	3.07(*1)	16/64
イーザル 2	KKI 2	装荷中	U濃縮度4.0%相当	24/96
クローネンブルク	KWG	装荷中	3.2	16/64
フュルダ	KBR	装荷中	U濃縮度4.0%相当	-/-(*3)
フィリップスブルク2	KKP 2	装荷中	3.5(*4)	-/72(*2)
エムスラント	KKE	許可済	U濃縮度4.0%相当	16/48
ビーブリス A	KWB A	手続中	U濃縮度3.5%相当	24/80
ビーブリス B	KWB B	手續中	U濃縮度3.5%相当	42
ミュールハイム・ケーレリッヒ	KMK	取り下げ	-	24/84
				39

(注記)

(*1) 混合するウランの変更とプルトニウム品質は補償することができる。

(*2) 暫定的な制限。

(*3) プラントで生産されるプルトニウムの量に依存。

(*4) 燃料棒中の最大プルトニウム富化度。

[第2.3表] ドイツ向けMOX燃料加工実績（1996年末現在）

原子炉		型式	MOX燃料 初装荷年	加工されたMOX 燃料集合体の合計 (*)	Pu fiss.合計 [kg]
カール	VAK	BWR	1966	113	32
リンクン	KWL	BWR	1970	1	1
カールスルーエ	MZFR	PHWR	1972	8	2
オーバーリッヒハイム	KWO	PWR	1972	62	519
ケント・レミングン A	KRB A	BWR	1974	80	188
ネッカル 1	GKN 1	PWR	1982	32	337
ウンターヘーフェ-	KKU	PWR	1984	64	964
ケーラーフェンラインフェルト	KKG	PWR	1985	60	970
フィリップスブルク 2	KKP 2	PWR	1988	76	1,209
グローンテ	KWG	PWR	1988	32	491
フロットブルフ	KBR	PWR	1989	72	1,368
ケント・レミングン B/C	KRB B/C	BWR	1995	80	396
合 計				680	6,477

(*) Pu燃料棒を部分的に含んだ集合体も含めた体数

[第2. 4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]		最大燃焼度 [MWd/kgHM]
カール	(VAK)	6-0	1966	113*)	1,134	34**)
リングен	(KWL)	6-0	1970	1*)	15	25**)
グンドレミンゲン 1	(KRB-1)	6-0	1974	64	2,240	20**)
ビ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**)
オブリッヒハイム	(KWO)	14-15	1972	29	5,220	35
オブリッヒハイム	(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	15
ウンターベーザー	(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
プロックドルフ	(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MOX燃料加工プロセスでの製造

【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.

[資料2. 1] 社会民主党（ＳＰＤ）／緑の党の連立協定の 原子力発電に関する部分

◎原子力（第Ⅳ章3. 2節 原子力発電からの撤退）

原子力発電からの撤退は、この議会任期内に包括的かつ不可逆的に法律で規定する。連立両党は、そのために以下の段階的な方法で合意している。

第一段階では、100日プログラムの一部として、以下の内容の最初の原子力法改正法案を提出する。

- ・（原子力平和利用の）促進目的の削除
- ・安全審査義務の導入、1年以内に提出する予定
- ・根拠のある危険の疑いにおける立証責任規定の明確化
- ・バックエンドを直接処分に限定
- ・1998年原子力法改正の破棄（EU法の実施の部分を除く）
- ・賠償準備額の引き上げ

第二段階では、新政府は、新たなエネルギー政策、原子力発電終結の手順およびバックエンド問題について可能な限り合意によって取り決めるための協議に電力会社を招請する。新政府は、このための期間として就任後1年を設定する。

第三段階として、連立政権は上記期限が過ぎた後、原子力発電からの撤退を補償の必要なく規定する法案を提出する。運転認可はこのために時間的に制限される。バックエンド証明（に関する規定）は、それに合わせて修正される。

バックエンドについては、連立両党は以下の点で合意している。

- ・連立両党は、放射性廃棄物のこれまでの処理処分コンセプトは内容的に失敗しており、もはや実質的な基盤ではないことで一致している。放射性廃棄物という負の遺産の国家的な処理処分計画を作成する。
- ・あらゆる種類の放射性廃棄物に対して、ただ一つの深地層最終処分場で十分である。
- ・あらゆる種類の放射性廃棄物の最終処分について時間的な目標を導くのは、2030年頃に行われる高レベル廃棄物の除去である。
- ・ゴルレーベン岩塩鉱の適性には疑惑がある。したがって探査は中止し、様々な母岩の新たなサイトの適性を調査する。それに続くサイト比較に基づいて、予定サイトの選択を行う。
- ・モルスレーベン処分場への放射性廃棄物の搬入は終結させる。計画確定手続きは処分場の閉鎖に限定する。
- ・原則として、原子力発電所のどの運転者も、発電所サイトまたは近辺に中間貯蔵施設を設置しなければならない。使用済燃料は、認可された中間貯蔵施設が発電所に存在せず、これが発電所運転者の責任であるとはされない場合に限り、輸送することが認められる。中間貯蔵施設は、最終処分の目的には利用しない。

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（1990年現在で約40トン）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、PFR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路（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、英國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は重要であり、今後の英國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。

まず英國のプルトニウム管理の現状であるが、同協会は「英國の現在の民生プルトニウム在庫量は約 54 トンである。英國政府は元々、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」という管理办法は「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、英國に 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」するという手法は「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、H L W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を大々的に取り上げ、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。

今回の報告書は、前述の王立協会の報告書に共鳴するものである。

1. 3. 2 MOX燃料加工の現状

(1) セラフィールドMOXプラント (SMP) 許認可状況

英國原子燃料公社 (BNFL) が5億ポンド (200 円換算で 1,000 億円) を投じたセラフィールドMOXプラント (SMP) は、年間 120 トンの商業MOX燃料加工プラントである。BNFLは1996年11月にSMPの運開承認申請を行い、環境庁 (EA) はこれを受けて、SMPの運開に伴って新たに排出される放射性物質が環境に与える影響を検討するため、1997年2～4月に第1回のパブリック・コンサルテーション（公開審議）を開催した。そして 100 件以上の意見書を受け取り、この中でSMPが経済的に成り立つことをBNFLが証明していないとの指摘が複数見られたことから、EAは同年9月、第三者であるPAコンサルティング社にSMPの経済性評価を委託した。

そして、EAは1998年1月14日、SMPの運開に関する2回目のパブリック・コンサルテーションを1月19日から開催し、3月16日まで公衆から意見を受け付けることを発表した。PAコンサルティング社の報告書は解説文と共に1998年1月19日に公表され、2回目の公開審議の基礎資料とされた。

BNFLは1月14日、SMPが経済的に成り立つことを証明する強力な資料をEAに既に提出したとし、今回のPAコンサルティング社の報告書はBNFLの主張を裏付けるものとなっているとの見解を表明した。

PAコンサルティング社がまとめた報告書では、SMPの経済性は運開を認めるのに十分なほど高いという結果が示されている。PAコンサルティング社はこの報告書で、「SMPの運転期間全体を通じて得られる経済的利息が1億ポンド (200 億円) を割る可能性は非常に少なく、幾つかのシナリオの下では 3 億ポンド (600 億円) を超え、平均でも 2

億 3,000 万ポンド（460 億円）の利益を上げると見積もられる」との結論を示した。さらに同社は、BNFLが見積を行う際に用いた保守的な前提を超えて、より広い範囲で獲得できる可能性の高いビジネス・チャンスを考慮し、運転寿命も長く設定して、SMPの利益が最大になる場合を見積もっている。

BNFLは、PAコンサルティング社の調査結果がBNFLにとって良好であったことを受け、SMPは1999年に運開する目標であるとしている。

そして、1998年10月23日、EAはSMPを運開することを政府に勧告した。しかし、EAは運開を承認したものの、不満足な条件下で判断が求められたとし、関係大臣にその見直しを求めており、環境相らが運転許可の発給を拒否すれば、BNFLはSMPを解体しなければならない。EAの主席科学担当官は、法を改正して施設の計画段階から規制当局が介入し、経済性に問題がある場合は建設前に計画を阻止できるようにすべきとしており、EAの上層部もこれを全面的に支持している。今回、BNFLはSMPを先ず建設して、その後に運開許可を申請したため、EAは建設を阻止できなかった。

また、EAは同日、最も楽観的な予測でもSMPが投資を回収できるのは2億 3,000 万ポンド（460 億円）程度になるとしめた。つまり建設費を考えるとSMPは 20 年の運転期間で 7,500 万ポンド（150 億円）もの損失をもたらすことになる。また EAは、BNFLがSMPに関して獲得したとしている契約は大半が趣意書を交わした段階で、締結に至っているものは少ないと、そして契約内容も 10 年分を下回っていることを認めた。

環境保護団体は、EAの今回の判断に批判的で、もし環境相らが運開を阻止しないなら司法審査を求めるとしている。

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定性が、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)、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年内に再処理と同程度の知識を蓄える

^(注) 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。

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。

- 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、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きいと考えられる。

ベルギーにおいて、2002年以後もMOX燃料あるいはERU燃料が装荷されるかどうかは、「燃料サイクルバックエンドに関する決定」次第であることは明らかであるが、同決定に関する審議は1999年以降に延期されることが1998年12月に政府によって声明された。

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。1996年6月には両炉に2回目の装荷が行われ、チアンジュ2号機に12体、ドール3号機に8体のMOX燃料集合体が装荷された。3回目の装荷は、1997年7月にチアンジュ2号機に12体、1997年4月にドール3号機に8体のMOX燃料集合体が装荷された。

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、現在ブルトニウム・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（UO₂燃料の濃縮度、サイクル・レンジス等）が違っていたとしても、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、UO₂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燃料集合体のブルトニウム富化度は、濃縮度3.8%のUO₂燃料と同じサイクル・レンジスと反応度の下、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、全ブルトニウム富化度は6.7%・Pu tot.、核分裂性ブ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BR 3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。

燃料集合体は、異なったブ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UO₂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ブルトニウム富化度は低く設定されている。

[第4. 1図] に両原子炉で用いられるMOX燃料集合体の設計を示す。MOX燃料棒と集合体は、ラジエマ社/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。

[第4. 1表] に、チアンジュ 2 号機とドール 3 号機におけるMOX燃料の仕様と炉心

管理を示す。ドール3号機のサイクル・レンゲ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・レンゲスは約15カ月であるため、1サイクル当たりの燃焼度はチアンジュ2号機の方が高くなっている。

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

ドール3号機

- ・サイクルレンゲス=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

- ・サイクルレンゲス=15カ月
- ・1/3炉心燃料交換
- ・低中性子漏洩交換パターン
- ・ UO_2 新燃料集合体は中性子毒（ Gd_2O_3 ）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。

[第4、2図]に、ドール3号機とチアンジュ2号機の第1サイクルと第2サイクルにおける炉心装荷パターンを示す。

1. 4. 3 MOX燃料加工の現状

1986年から1998年初めまでにベルゴニュークリア社(BN)社は、MIMASプロセスで350トン以上に上るMOX燃料を加工した実績を持つ。1980年代中頃から開始されたP0プラントの近代化の後の最近5年間の年間生産量は【第4.3図】に示すように30~37トン/年であった。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。

1997年までの各国毎の累積供給量を【第4.4図】に示す。

- 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、ウンターベーザー、グラーフェンラインフェルト、フィリップスブルク]、9×9型BWR用 [グンドレミングン])
- 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)

BN社のP0プラントのMIMASプロセスにおけるMOX燃料加工性能は【第4.2表】に示す通りである。同表から、BN社のプラントが顧客からの様々な要求に応じてMOX燃料を加工できることが分かる。

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。

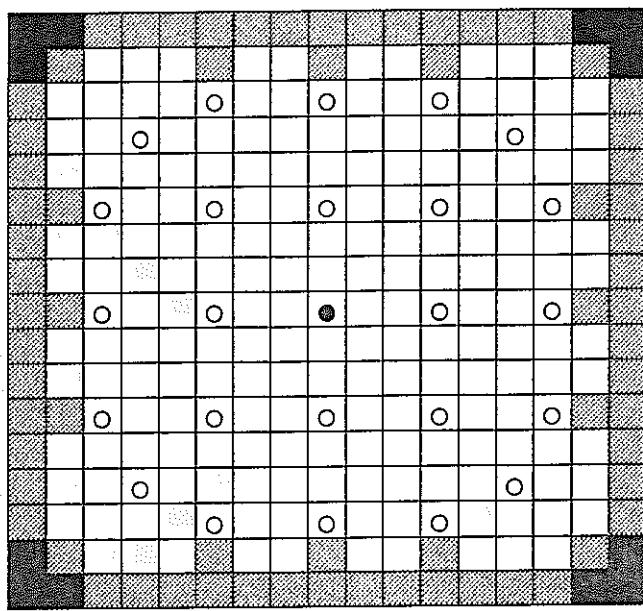
- ③ 混合されるUO₂パウダーの種類が多くなる。
- ④ 以下のような理由から、高プルトニウム富化度の傾向が強まる。
 - 高燃焼度化（60,000MWd/tレベル）が要求される。
 - 再処理で回収されるプルトニウム中の核分裂プルトニウムの割合が下がる傾向にある。
- ⑤ 供給されるプルトニウムの放射能が高くなる傾向となる。従って、放射線とパウダーの発熱が高くなり、生産効率が下がる。
- ⑥ アメリシウムを最大20,000ppm含むプルトニウムを取り扱うようになる。
- ⑦ ICRP-60勧告が適用される。
- ⑧ 燃料性能向上のための研究開発が、特に核分裂ガス放出を焦点に当てて実施される。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。

- 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、欧洲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くる。欧洲内の最大顧客であったドイツにおいては、社会民主党（SPD）と緑の党／90年連合の連立政権が再処理禁止の政策を執ろうとしており、英仏の再処理産業にとって大きな影響を及ぼすことになり、それは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、欧洲MOX燃料産業が生き残るために必要である。



- 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.

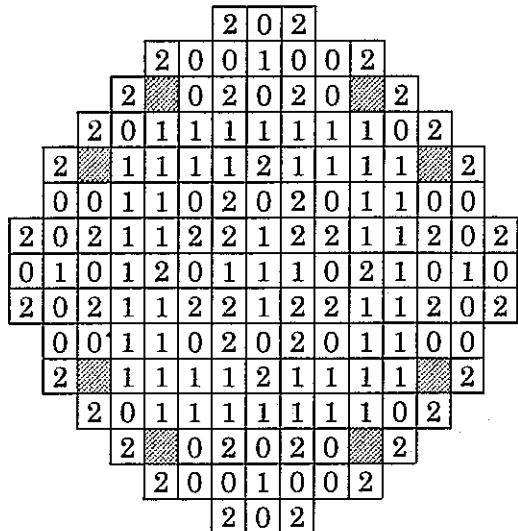
Pu組成 : Pu-238/Pu-239/Pu-240/Pu-241/Pu-242/Am-241

(%) : (1.3/61.9/24.2/7.9/4.7/1.5)

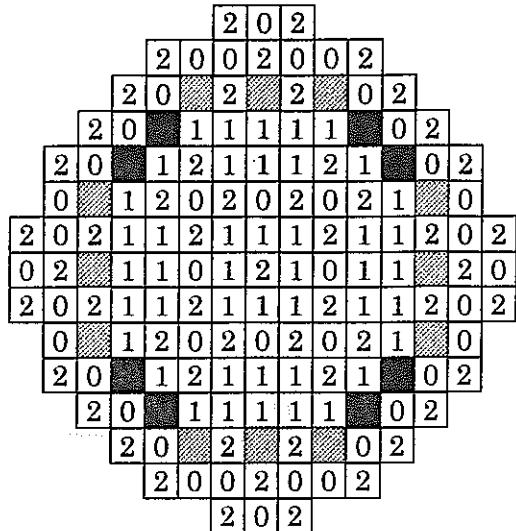
[第4. 1図] チアンジュ2号機/ドール3号機用MOX燃料集合体

チアンジュ 2号機

サイクル 12

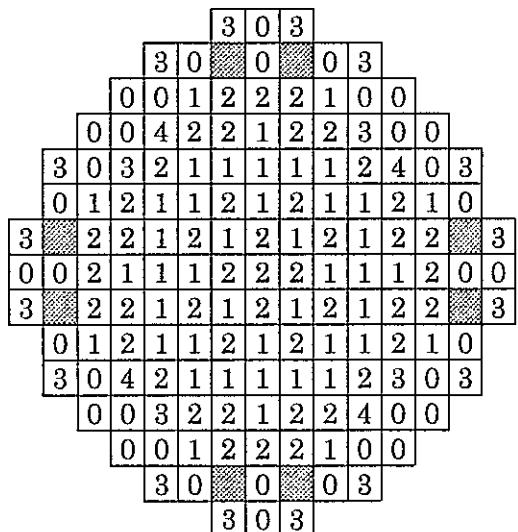


サイクル 13

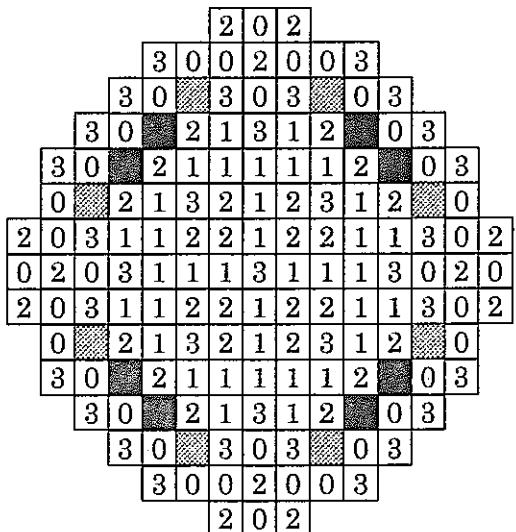


ドール 3号機

サイクル 14



サイクル 15



X X-サイクル燃焼済の
TIO_x 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

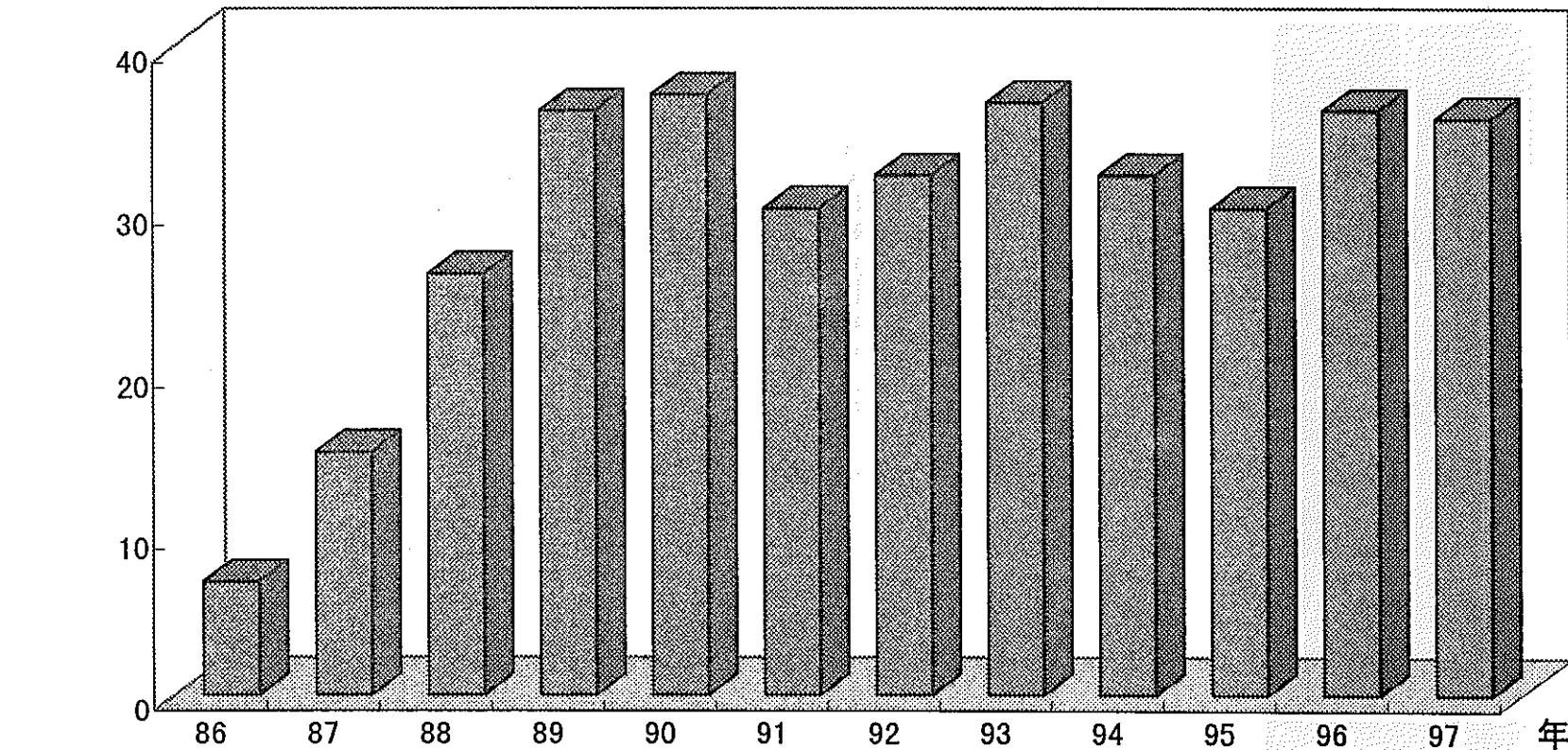
MOX燃料集合体

[第4. 2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

MIMAS Fuel Deliveries

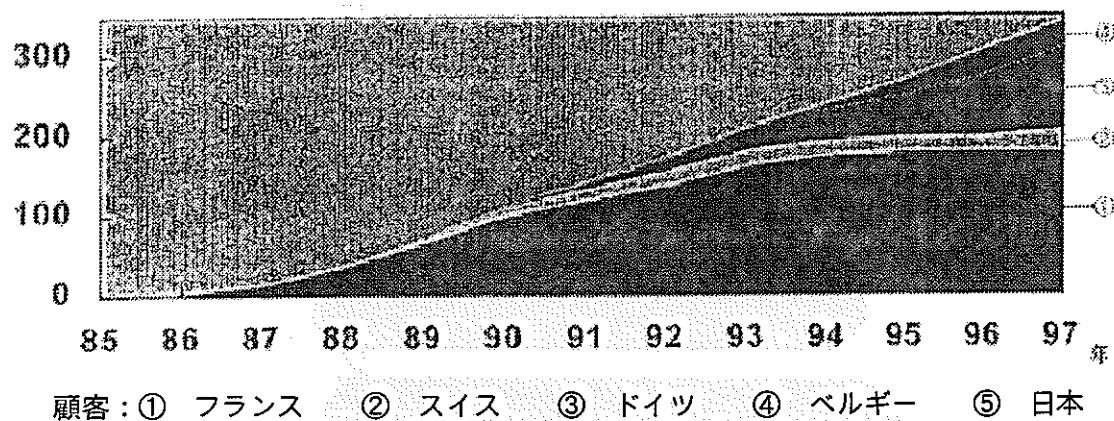
年間生産量 tHM／年



[第4.3図] デッセルP0プラントのMIMASプロセスによる
MOX燃料の年間生産実績（1986～1997年）

出典: Jean Van Vyve (TRACTEBEL), D.Haas (BN), "The Belgium Experience: Development, Licensing and Use of MOX Fuel", NEI FUEL CYCLE 98, 1998.3.29-4.1.

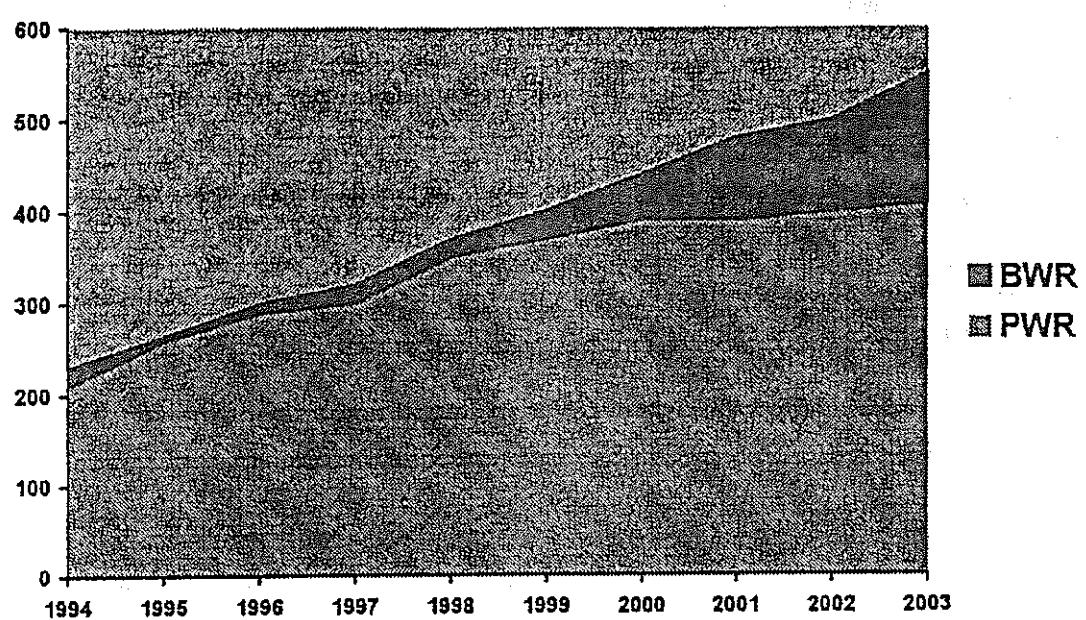
累積生産量 tHM



【出典】 Jean Van Vyve (TRACTEBEL), D.Haas (BN), "The Belgium Experience: Development, Licensing and Use of MOX Fuel", NEI FUEL CYCLE 98, 1998.3.29-4.1.

[第4.4図] ベルゴニュークリア社の各国毎累積生産（供給）量
(~1997年)

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

[第4. 1表] チアンジュ2号機／ドール3号機のMOX燃料炉心管理

原子炉	チアンジュ2(*1)			ドール3(*1)		
	サイクル番号	12	13	14	14	15
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。

[第4. 2表] ベルゴニュークリア (BN) 社のMOX燃料加工能力

項目	実績／能力
累積生産量	350トン以上
集合体型式	PWR : 14×14、16×16、17×17 BWR : 8×8、9×9
燃料設計者	フライエマ社、シーメンス社、BN社、東芝、日立
キャンペーン当たりの生産量	4～29トン／キャンペーン
キャンペーン当たりのPu富化度の種類	3～6
ペレット中の最大Pu tot. 富化度	2～8%Pu tot.
Pu tot. 中のAm含有率	最大17,000ppm
Pu tot. 中のPu fiss. 含有率	66～75%
主混合におけるPu tot. 富化度	20～40%Pu tot.
Pu tot. 中のPu-238含有率	最大1.7%
混合されるUO ₂	AUC、TU ₂ (*)

(*) TU₂はADUプロセスをCOGEMAが改良したもの。

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、2000年まで新規原子力発電所の建設が凍結されており、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立ち上げられ、新たに建設される予定の大型廃棄物貯蔵施設も使用済燃料を含めて計画されている。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、同国が再処理ープルトニウム・リサイクルをバックエンドのベースとしていることに変わりはない。

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燃料装荷を開始した。

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。

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。

現在のベツナウ両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、英國原子燃料公社（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。

[第5.1表]に示すように、1994～1996年に行われたベツナウ1号機用の商業規模でのMOX燃料リサイクルにおける燃料供給者はWH社で、加工はBNFLのMOX実証施設（8トン／年）で行われた。1997～2005年には、ベツナウ2号機で商業規模のリサイクルが計画されており、そのMOX燃料供給者はシーメンス社で、加工はMDFおよび1998年に運転が予定されているセラフィールドMOXプラント（SMP）で行われる。[第5.1図]にベツナウ2号機用のMOX燃料集合体設計を示す。

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。

(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

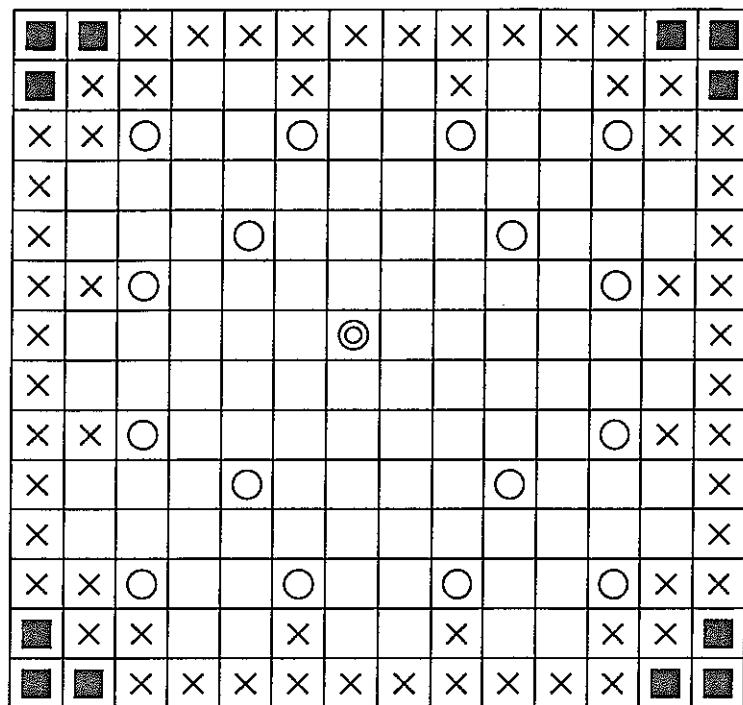
燃料集合体、8体が1997年に初めて同発電所に納入され、1997年夏の運転停止期間中に8体が炉心に装荷された。

同炉のMOX燃料集合体の設計は、ベッナウと同様、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4.8%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

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。スイスのプルトニウム・リサイクルの特徴は、再処理からの回収に先行してプルトニウムを第三者機関から調達し、プルトニウムが余剰となることを回避していることである。しかし、中期的な（2002～2005年以降）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、このままリ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。



プルトニウム富化度 2. 0 %

プルトニウム富化度 3. 5 %

プルトニウム富化度 4. 7 %

案内管

[第 5. 1 図] ベツナウ 2号機用のMOX燃料集合体設計

[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	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 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	1988～1992	1984～1995	1994～1996	1997～2005
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
M O X燃料 加工業者(1)	WH社 (BN, FBFC)	COMMOX社 (WH, ABB, FBFC)	シーメンス社	WH社 (MDF)	シーメンス社 (MDF, SMP)
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%	3.25%	4.00～4.25%

(1) 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

MDF : 英国原子燃料公社 (BNFL) のM O X実証施設

SMP : BNFLのセラフィールドM O Xプラント

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、英國原子力公社（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、米国のか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、英國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國原子燃料会社（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した。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

1998年末頃、OKG社は、規制当局であるスウェーデン発電査察委員会(SKI)にMOX燃料の使用許可申請を提出した。申請内容は80~100体のMOX燃料集合体を発注するというもの。SKIでは、MOX燃料輸送、保安、燃料構造と使用の技術的側面、MOX使用済燃料の貯蔵と処分といった広範な問題について、2~3ヶ月をかけて審査する意向である。

2. MOX燃料加工、再処理に関する 計画及び実績

今回の報告書は1998年度の第3回報告であるので、前年度第2回報告書（1998年2月）以降の調査をもとに、以下の項目についてデータを最新化した。

- ・MOX燃料加工の実績および計画
- ・MOX燃料利用の実績および計画
- ・再処理関連情報
- ・その他

MOX燃料加工の実績及び計画

[第7. 1表] 欧州のMOX燃料加工プラントの総括表

プラント名	カダラッシュ	MELOX	デッセル PO	ルクセンブルグ (閉鎖)	ルクセンブルグ (建設中止)	MDF	SMP (建設中)
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 イゼル県 マルクル	ヘーリング-ル/ゲーベル	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
運転年	1970年 1989年から軽水炉用が運転	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	1998年(予定)
設備能力 (トン・重金属/年)	35	100(115トン・酸化物)	35	25	120	8	120(予定)
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
	COCA→MIMAS	A-MIMAS	MIMAS	AUPuC+OCOM	OCOM	SBR	
プロセス		MOX中のウラン: 劣化ウラン		MOX中のウラン: 天然ウラン、劣化ウラン(1993年~)		MOX中のウラン: 天然ウラン	
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燃料加工に振り向かれている。 1996年には25トン、1997年には30トンのプルトニウムが加工された。	1995年3月に最初のMOXパウダーを生産し、1996年4月にEDFから性能認定を得。1995年末で78体の集合体を生産。1996年は50トンが生産された。1997年は100トン以上が生産された。1998年は10月末現在、約89トンが生産された。	1997年末までの生産量は344トン。集合体の組立は、FBFC社が実施。	1993年末時点で、6,542KgのPu fiss.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年運転予定であったが、訴訟のために運転の見通しが立たず、電力会社は1995年6月ま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開始。	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、運転後数年間、ベッナル1号機(PWR)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。1996年春現在、10トン以上のMOX燃料を生産。	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年初めにプロセスの主要機器の引き合いを行い、計画許可取得後、1994年4月から建設開始。1995年12月に焼却炉搬入。 1998年1月に2回目の公開審議を実施し、同年11月に環境庁の運転承認は得られたが、関係各省の合意が得られるかは未確定。
拡張計画	1997年末までに40トン/年(最大10トンの高速炉用を含む)に増強する計画。	1997年までに100トン/年と能力を高める計画であるが、PWR用の拡張は政府から拒否されている。BWR用設備の追加(40トン/年)は容認される見通し。 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。	P Oの設備容量は2000年までに40トン/年以上に増強される予定である。P 1(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)として提案中		当初の計画では、1992年に20トン/年で運転し、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 Cadardache 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】IEAJまとめ

[第7. 2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. 3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kWPWR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・アーグから定常的に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体をブレイエ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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1998年10月末までに約89トンを生産

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

[第7. 4表] 仏力ダラッシュMOX燃料加工プラントの生産実績の推移
(1991~1997年)

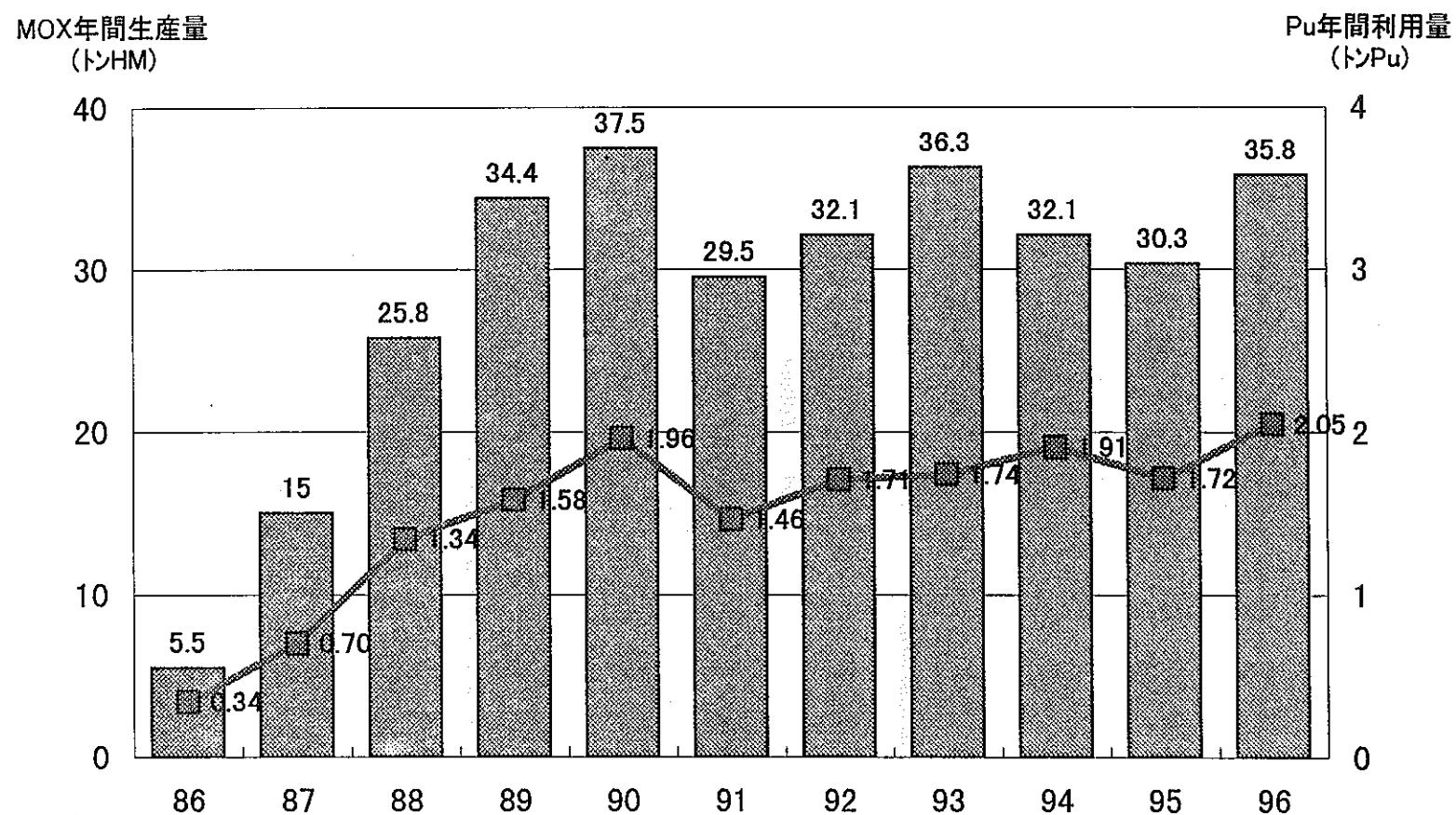
	1991年	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年
設備容量 (tM)	(生産開始)	15	15	20	30	30	35
生産量 (tM)	2.3	8.7	15.3	21.2	31.6	約 25	32

【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. 5表] ベルゴニュークリア (BN) 社のMOX燃料加工能力

項目	実績／能力
累積生産量	350トン以上
集合体型式	PWR : 14×14、16×16、17×17 BWR : 8×8、9×9
燃料設計者	フラジエマ社、シーメンス社、BN社、東芝、日立
キャンペーン当たりの生産量	4～29トン／キャンペーン
キャンペーン当たりのPu富化度の種類	3～6
ペレット中の最大Pu tot. 富化度	2～8%Pu tot.
Pu tot. 中のAm含有率	最大17,000ppm
Pu tot. 中のPu fiss. 含有率	66～75%
主混合におけるPu tot. 富化度	20～40%Pu tot.
Pu tot. 中のPu-238含有率	最大1.7%
混合されるUO ₂	AUC、TU ₂ (*)

(*) TU₂はADUプロセスをCOGEMAが改良したもの。

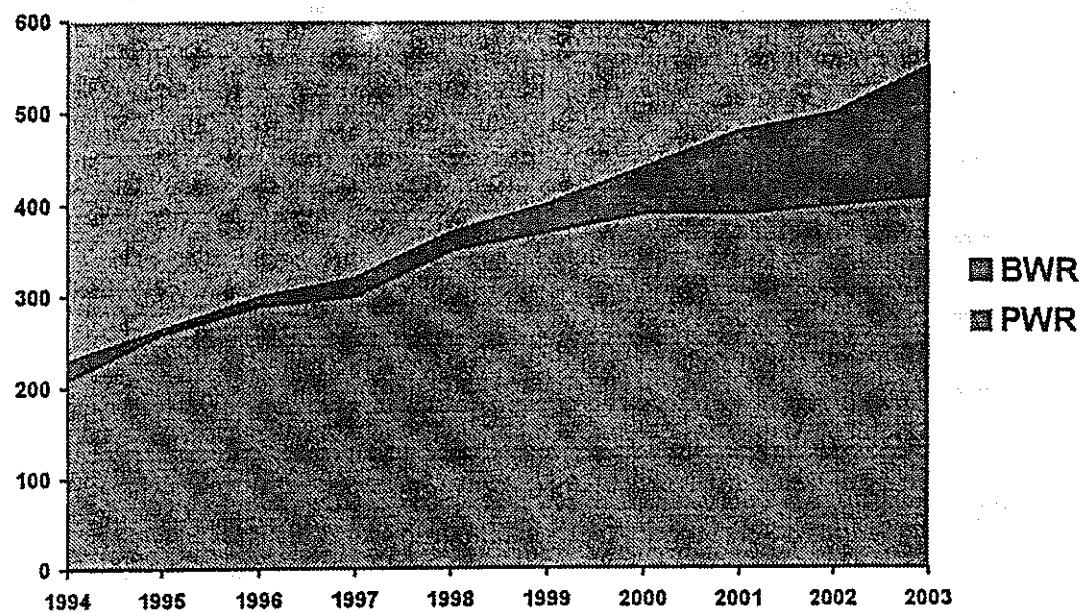


[第7.1図] ベルゴニュークリア社のデッセル・プラントのMOX燃料加工実績

【出典】: R.C.Glibert, J.Crustin (BN), C.Renald (ONDRAF / NIRAS), R.Goetsch lckx (Belgonucleaire MOX Plant), Management of Alpha-bearing Waste from the Belgonucleaire MOX Plant, WM '98, Tucson, 1998.3.1~5.

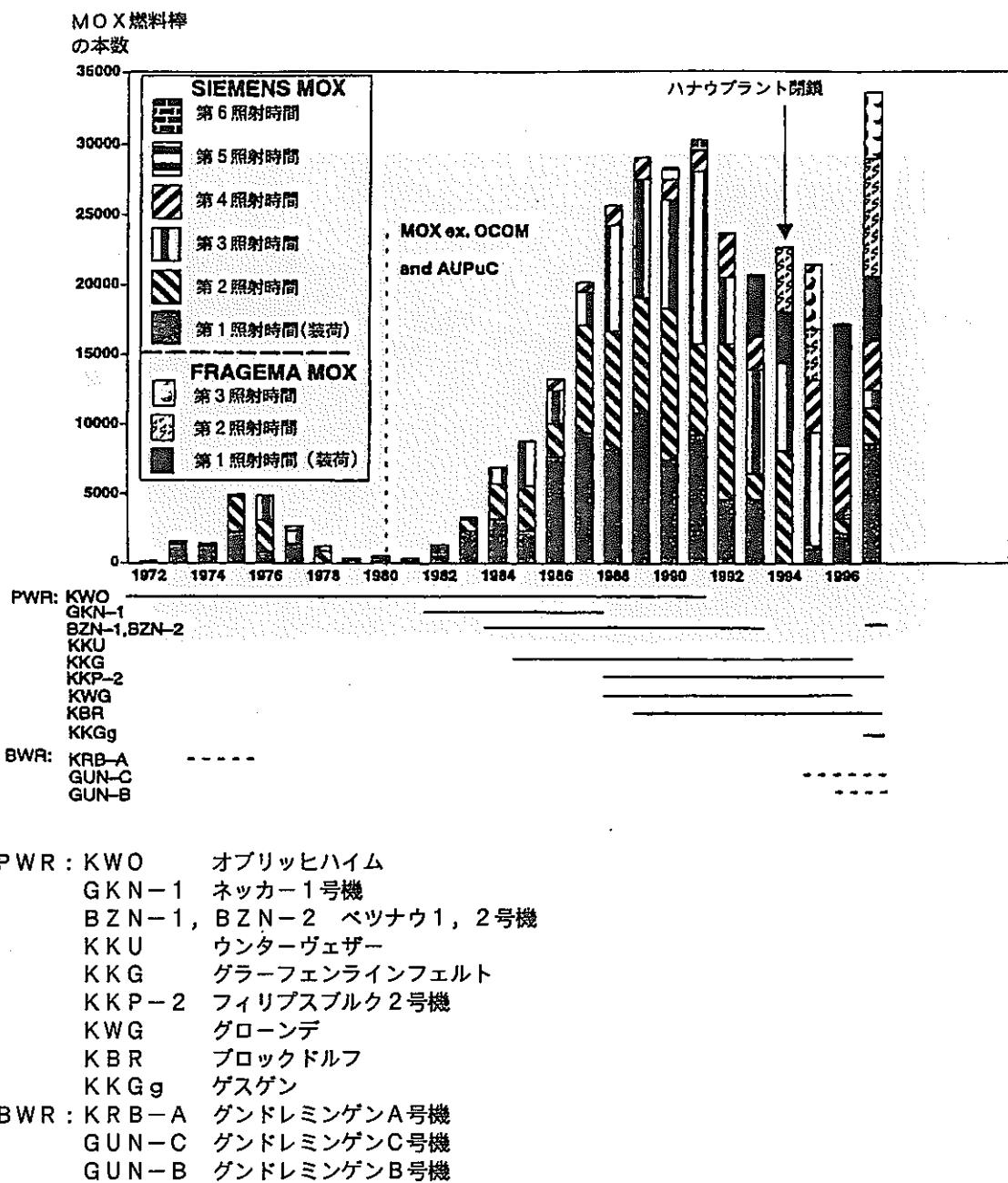
(注記) 1997年のMOX生産量は1996年とほぼ同等。

累積生産量（トン）



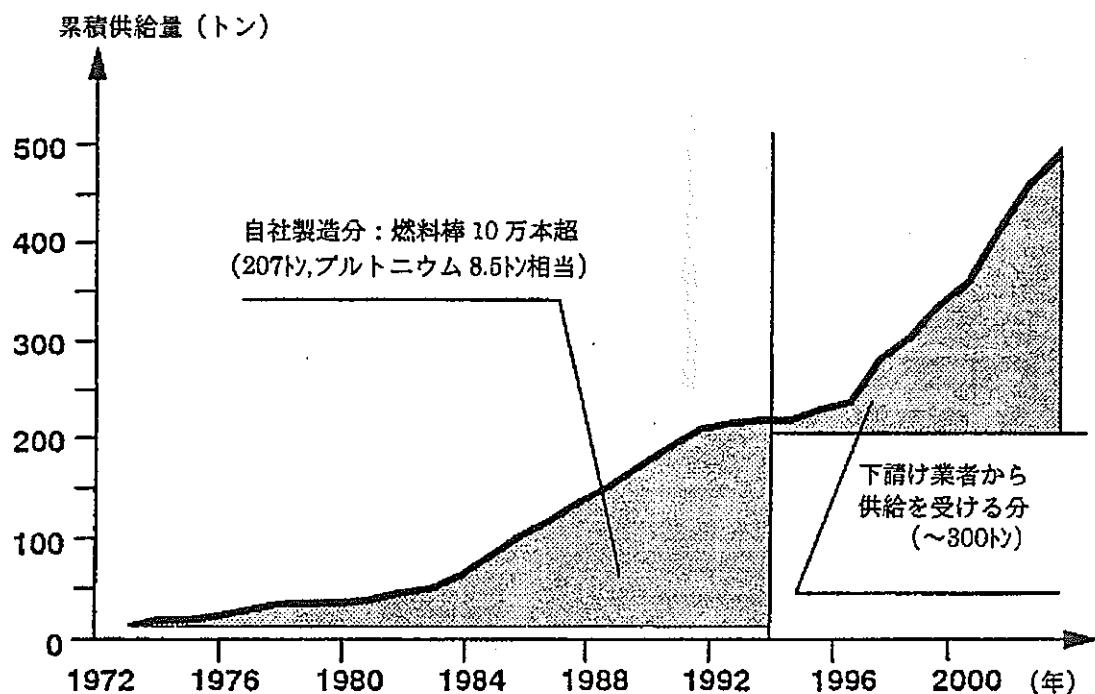
【出典】ベルゴニュークリア社資料

[第7. 2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. 3図] シーメンス社供給のMOX燃料装荷実績

【出典】F. Burtak, G. J. Schlosser (KWU) "Use of Weapons-grade Plutonium in Existing PWRs-Supported by German MOX Recycling Experience", Nuclear Technology, Vol.123, 1998.9.



[第7. 4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. 6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]		最大燃焼度 [MWd/kgHM]
カール	(VAK)	6-0	1966	113*)	1,134	34**)
リンゲン	(KWL)	6-0	1970	1*)	15	25**)
グンドレミングен 1	(KRB-1)	6-0	1974	64	2,240	20**)
ビ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**)
オブリッヒハイム	(KWO)	14-15	1972	29	5,220	35
オブリッヒハイム	(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	15
ウンターベーザー	(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
グンドレミングен B	(GUN-B)	9-1	1996	100	6,800	23
グンドレミングен 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MOX燃料加工プロセスでの製造

【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7.7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、8表] 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)

項目	1992				1993				1994				1995				1996				1997			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
○設計					BNFL役員会 が予算を承認 ▽																			
○調達									機器の最初の 納入 ▽				主要機器 納入 ▽											
○建設									防風雨 建屋 ▽ ▽															
○据付									機器・電気・ 計装の据付 ▽															
○引き渡し前の試験とホット運転																					ホット運転 開始 ▽			
																							フル運転 開始 ▽	

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

[第7. 9表] 英國原子燃料公社（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 (%)	被覆管材料	MOX (kg)	燃焼度 (GWd/t) 計画 (実際)
英国					
WAGR	4	1.39	ステンレス鋼	66	12 (20)
WAGR	1	1.6	ステンレス鋼	132.5	18 (10)
SGHWR	1	1.8	ジルコイ	216	20 (12)
ベルギー					
B R 3	1	6.0/7.0	ステンレス鋼	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7.10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	E N C - G E	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】IEAJまとめ

[第7. 11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 (チェリヤビンスクのマヤク)	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 (ディミトロフグラード)	ビブロ・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 (チェリヤビンスク)	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.

MOX燃料利用の実績および計画

[第8. 1表] 各国の軽水炉におけるMOX燃料装荷実績

(1998年末現在調査)

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
ビッグロックホールド	BWR	75	1969~1976	53
クオドシティス-1	BWR	833	1974	5
サクストン	PWR	5.5	1965~1969	16
サンオノフレー-1	PWR	456	1970	4
ギネー	PWR	490	1981	4
(ドイツ)				
カール	BWR	16	1966	113(*)
リングン	BWR	252	1970	1(*)
グンドレミングンA	BWR	250	1974~1976	64
MZFR(カールスルーエ)	BWR	58	1972	8
オブリッヒハイム	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
グラーフェンラインフェルト	PWR	1,345	1985	16
グラーフェンラインフェルト	PWR	1,345	1987~	28
フィリップスブルク 2	PWR	1,402	1988~	32
フロックドルフ	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	
グラーフェンラインフェルト	PWR	1,345	1993	16
フィリップスブルク 2	PWR	1,402	1993	20
グラーフェンラインフェルト	PWR	1,345	1994	28
フロックドルフ	PWR	1,395	1994	16
グンドレミングン C	BWR	1,344	1995	16
グンドレミングン B	BWR	1,344	1996~	100
フィリップスブルク 2	PWR	1,402	1997	
(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B 1	PWR	956	1987	16
サンローランB 2	PWR	956	1988	16
サンローランB 1	PWR	956	1988	16
グラブリース 3	PWR	951	1989	16
グラブリース 4	PWR	951	1989	16
サンローランB 2	PWR	956	1989	16

サンローランB 1	PWR	956	1990	16
グラブリース 3	PWR	951	1990	16
グラブリース 4	PWR	951	1990	8
ダンピエール 1	PWR	937	1990	16
サンローランB 1	PWR	956	1991	16
サンローランB 2	PWR	956	1991	16
グラブリース 3	PWR	951	1991	16
グラブリース 4	PWR	951	1991	16
サンローランB 1	PWR	956	1992	16
サンローランB 2	PWR	956	1992	16
グラブリース 3	PWR	951	1992	16
ダンピエール 1	PWR	937	1992	16
サンローランB 1	PWR	956	1993	16
グラブリース 3	PWR	951	1993	8
グラブリース 4	PWR	951	1993	16
ダンピエール 2	PWR	937	1993	16
プレイエ 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 B 1	PWR	956	1994	16
サンローラン B 2	PWR	956	1994	16
プレイエ 2	PWR	951	1995	8
ダンピエール 1	PWR	937	1995	16
グラブリース 3	PWR	951	1995	16
サンローラン B 1	PWR	956	1995	16
サンローラン B 2	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
グラブリース 3	PWR	951	1996	8
サンローラン B 2	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
グラブリース 4	PWR	951	1997	8
グラブリース 1	PWR	951	1997	16
プレイエ 1	PWR	951	1997	16
サンローラン B2	PWR	956	1997	16
グラブリース 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
プレイエ 1	PWR	951	1998	16
プレイエ 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

グラブリース 1	PWR	951	1998	16
グラブリース 3	PWR	951	1998	16
グラブリース 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
グラブリース 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
(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	
ベツナウ 1	PWR	364	1994～1996	
ベツナウ 2	PWR	364	1997～	
ゲスゲン	PWR	1,020	1997	8
(ベルギー)				
B R - 3	PWR	11.2	1963～1969	4
			1972	22
			1976	31
			1979	22
			1981	18
			1984	28
			1985～1987	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
(イタリア)				
ガリリアーノ	BWR	164	1968～1975	62
トリノ	PWR	270	1976	8
(オランダ)				
ドーデバルト	BWR	58	1971～1981	7
			1988	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、 2	BWR	各 160	1994	70～80kg (MOX)

【出典】IEAJまとめ

(*) Pu燃料要素を部分的に含んだ燃料を含む。

[第8. 2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 (*)	サイクル合計	MOX 装荷体数合計	
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 16MOX	C14 -	C15 -	C16 8MOX	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	C17 16MOX	2	32	
MOX運転サイクル合計	1	2	3	4	4	5	6	7	5	9	13	17	76		
MOX装荷体数合計	16	32	48	56	48	80	56	88	56	88	168	256		992	

(*) 1998年11月に発表されたものなので、見込み分も含まれていると考えられる。

【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. 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	2000	28体 (3.7%) ~45,000MWd/t	16体 37,500 MWd/t
4サイクル	2005?	28体 (3.7%) 45,000MWd/t	12体 45,000MWd/t
4サイクル		28体 (4.0%) 50,000MWd/t	12体 50,000MWd/t

(*) 平均プルトニウム富化度 5.3% (U-235 濃縮度 3.25%相当)

【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.

[第8. 4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

(1) 既に装荷されている原子炉: 17基 (1998年末現在)	
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 4 (1998年~)
(2) 許認可を取得している原子炉: 上記17基の他、3基 (1998年7月現在)	
シノン	B 1 ~ B 3
(3) 許認可取得に先立って公聴会を必要とする原子炉: 8基	
グラブリーヌ	C 5 および C 6
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.

[第8. 5表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷状況

原子炉	運開年	MWe [ネット]	MOX装荷 許可	MOX装荷 (予定)
<u>PWR</u>				
オーリッヒハイム (KWO)	1968	340	○	○
シュターテ (KKS)	1972	640		
ヒーフリス A (KWB A)	1975	1,167	申請中	
ネッカル 1 (GKN 1)	1976	785	○	○
ヒーフリス B (KWB B)	1977	1,240	申請中	
ウンターハーサー (KKU)	1979	1,285	○	○
グラーフェンラインフェルト (KKG)	1982	1,275	○	○
フィリップスブルク 2 (KKP 2)	1985	1,358	○	○
クローネン (KWG)	1985	1,360	○	○
ブロクトルフ (KBR)	1986	1,326	○	○
ミュールハイム・ケルリッヒ (KMK)	1987	1,260	取り下げ	
エムスラント (KKE)	1988	1,290	○	
イーザル 2 (KKI 2)	1988	1,340	○	(1998~)
ネッカル 2 (GKN 2)	1989	1,269	○	(1998~)
<u>BWR</u>				
フルンスピュッテル (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	
グントレミンケン B (KRB B)	1984	1,284	○	○
グントレミンケン C (KRB C)	1985	1,288	○	○

[第8. 6表] ドイツのPWRのMOX燃料装荷許可条件

PWR	許認可／装荷状況	天然ウラン混合における最大平均Pu fiss. 富化度(*1) [%]	MOX燃料取替体数／炉内のMOX燃料体数	MOX燃料装荷率[%]
オーリッヒハイム	KWO	装荷中	3.8	8/28
ネッカル 1	GKN 1	装荷中	3.04	-/16
ネッカル 2	GKN 2	許可済	3.8(*1)	-/72
ウンターヘーザー	KKU	装荷中	3.28(*4)	16/48
クーラーフェンラインフェルト	KKG	装荷中	3.07(*1)	16/64
イーザル 2	KKI 2	装荷中	U濃縮度4.0%相当	24/96
グローンテ	KWG	装荷中	3.2	16/64
フロックドルフ	KBR	装荷中	U濃縮度4.0%相当	-/-(*3)
フィリップスブルク2	KKP 2	装荷中	3.5(*4)	-/72(*2)
エムスラント	KKE	許可済	U濃縮度4.0%相当	16/48
ビーフリス A	KWB A	手続中	U濃縮度3.5%相当	24/80
ビーフリス B	KWB B	手續中	U濃縮度3.5%相当	24/80
ミュールハイム・ケーレリッヒ	KMK	取り下げ	-	24/84
				39

(注記)

(*1) 混合するウランの変更とプルトニウム品質は補償することができる。

(*2) 暫定的な制限。

(*3) プラントで生産されるプルトニウムの量に依存。

(*4) 燃料棒中の最大プルトニウム富化度。

[第8. 7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	ペツナウ1	PWR	1969	35	880	433	2,377
	ペツナウ2	PWR	1971	35			
BKW	ミューレベルク	BWR	1972	35.5	400	228	1,170
KKG	ゲスゲン	PWR	1979	96.5	874	288	1,656
KKL	ライプシュタット	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

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. 8表] チアンジュ2号機／ドール3号機のMOX燃料炉心管理

原子炉 サイクル番号	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。

[第8. 9表] フランス、ベルギー、ドイツのMOX燃料の
炉心管理／仕様の比較

集合体の種別	1	2	2	2	3	4	5	6
国	フランス	ベルギー			ドイツ			
プラント	EDF90万kW	A	B	A	B	C	KONVOI (*)	
集合体型式	17×17			16×16			18×18	
サイクル・リンクス	12カ月		15カ月	12カ月				
等価ウラン濃縮度	3.25%	3.25%	3.8%	3.8%	3%	3.5%	3.5%	4%
平均 Pu total富化度	5.3%	5.3%	7.7%	7.7%	4.2%	6.0%	5.6%	6.0%
平均 Pu fiss.富化度	3.7%	3.7%	5.4%	5.4%	2.9%	4.2%	3.9%	4.2%
最大 Pu total富化度	6.6%	6.0%	8.7%	8.7%	4.7%	6.7%	6.3%	6.6%
最大 Pu fiss.富化度	4.6%	4.2%	6.1%	6.1%	3.3%	4.7%	4.4%	4.6%
混合UO ₂	劣化ウラン			天然ウラン	劣化ウラン			
最大出力分布係数(*2)	1.15	1.07	1.07		1.10	1.16	1.09	1.10
MOX集合体取替体数	16	16	12	8	16	16	16	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
UO ₂ 集合体の実際の濃縮度	3.25%	3.7%	4.5%	3.8%	3.5%	4.0%	3.95%	4.0%
UO ₂ 集合体取替体数	36	24	40	36	36	28	36	32
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

(注記)

・核分裂性プルトニウム(Pu fiss.)の組成は70%と仮定。

・最高燃焼度は40,000～50,000MWd/t。

(*1) KONVOI炉はネッカル2号機とエムスラントの2基。

(*2) MAX. power shape factor

出所：フライマトム社

[第8. 10表] OECD域内のプルトニウム需要(1997年現在)

単位:トソ・total Pu/年

国	燃料の種類	1997	2000	2005	2010	2015
ベルギー	LWR	0.5	0.5	N/A	N/A	
フランス	FBR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	LWR	5.3	8.1	9.3	10.0	10.0
ドイツ	LWR		2.0	4.0	4.0	
日本	FBR	0.1	0.6	1.3	1.3	
	LWR			3.7	3.7	
	ATR	0.1	0.1			
スイス	LWR	0.5	0.7			
英國	LWR		0.0	0.3	0.3	
合計		6.5	12.0	18.6	19.3	

【出典】Nuclear Energy Data, 1998,OECD/NEA

[第8. 11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 [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]

○MOX燃料装荷実証(1986~1991年)

● 少数体規模実証計画
[BWR]
・ 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)
[PWR]
・ 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)
● ATRの使用実績
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

出典：原子力 eye, 1998.02.

再処理関連情報

[第9. 1表] フランス、日本および英國の再処理設備容量の実績と予測
 (1997年現在)

単位:トン・重金属/年

国	燃料の種類	1996(実績)	1997	2000	2005	2010	2015
フランス	LWR	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
	Magnox	400	0	0	0	0	0
日本	LWR	90	90	90	560	840	840
英國	LWR+AGR	163	444	850	850	850	
	Magnox	1,500	500	1,500	1,500	1,500	
	FBR	5	5	5	N/A	N/A	
合計		3,758	2,639	4,045	4,510	4,790	

【出典】 Nuclear Energy Data, 1998/OECD・NEA

[第9. 2表] 仏ラ・アーグ再処理工場における使用済燃料の再処理量

単位:トン

年	UP 2 プラン トの再処理量	UP 3 プラント の再処理量	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	80.0	—	—	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※	104.3	276.0	4.9	—	385.2
合 計	7,236.7	5,040.6	9.4	10.0	12,296.7

※四半期のみ

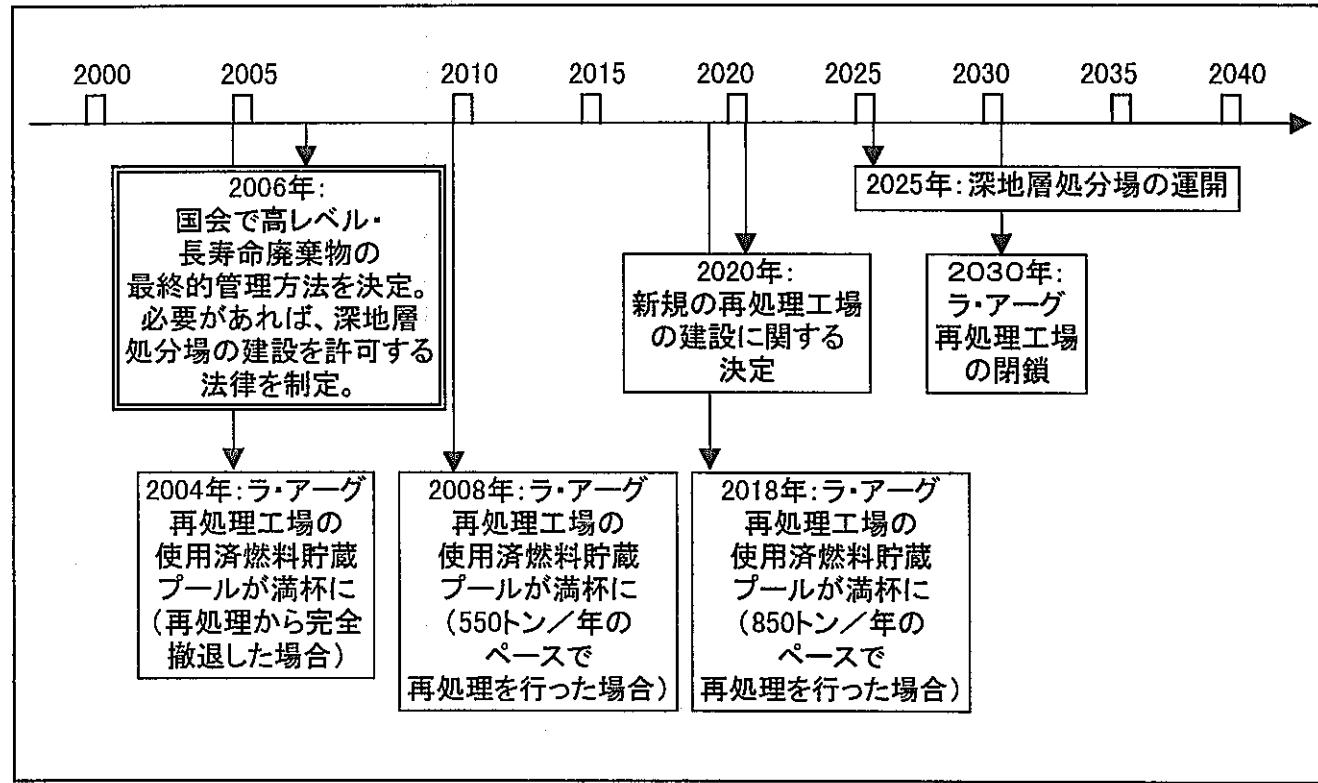
出典 : L'aval du cycle nucléaire, Tome 1:Etude générale, OPECST, 1998.6.

[第9. 3表] 仏ラ・アーグ再処理工場の各プラントの施設
およびその役割

U P 2-400 プラント	
N P H およびH A O 北側	使用済燃料の搬入・貯蔵施設
H A O 南側	使用済燃料の剪断・溶解施設
H A D E	核分裂生成物の分離施設
H A P F S P F (1~6)	核分裂生成物の貯蔵施設
M A u	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
M A P u	プルトニウム酸化物の精製および第1処理施設
B S T 1	プルトニウム酸化物の第2処理および貯蔵施設
U P 2-800 プラント	
N P H およびC プール	使用済燃料の搬入・貯蔵施設
R 1	使用済燃料の剪断・溶解・精製施設
R 2	精製された溶液からの核分裂生成物の抽出施設
R 7	核分裂生成物のガラス固化施設
U P 3 プラント	
T 1	使用済燃料の剪断・溶解・精製施設
T 2	ウラン、プルトニウムおよび核分裂生成物の抽出施設
T 3	硝酸ウラニルの精製施設
T 4	プルトニウム酸化物の精製および処理施設
T 5	硝酸ウラニルの貯蔵施設
T 7	核分裂生成物のガラス固化施設
B S 1	プルトニウム酸化物の貯蔵施設
B C	プラントの管理および試験施設

(注) M A u およびM A P u 施設は2 0 0 0 年に一体化し、R 4 施設となる。2 0 0 0 年には
M A P F S P F (5, 6) 施設のみが残され、通常は空であるM A P F S P F (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

[第9. 4表] フランスおよびドイツの使用済MOX燃料再処理実績
 (1987~1992年)

国	フランス		ドイツ
目的	試験的再処理	商業的再処理	試験的再処理
プラント	APM	UP 2-400	WAK
軽水炉	グラーフェン 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・U+Pu)	2.1	4.7	0.23
キャンペーン期間	1991年末~ 1992年初め	1992年11月	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.

[第9. 5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
ペネーの追加契約分(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(SKB/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. 6表] 英國の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9.7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9.8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

その他

[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

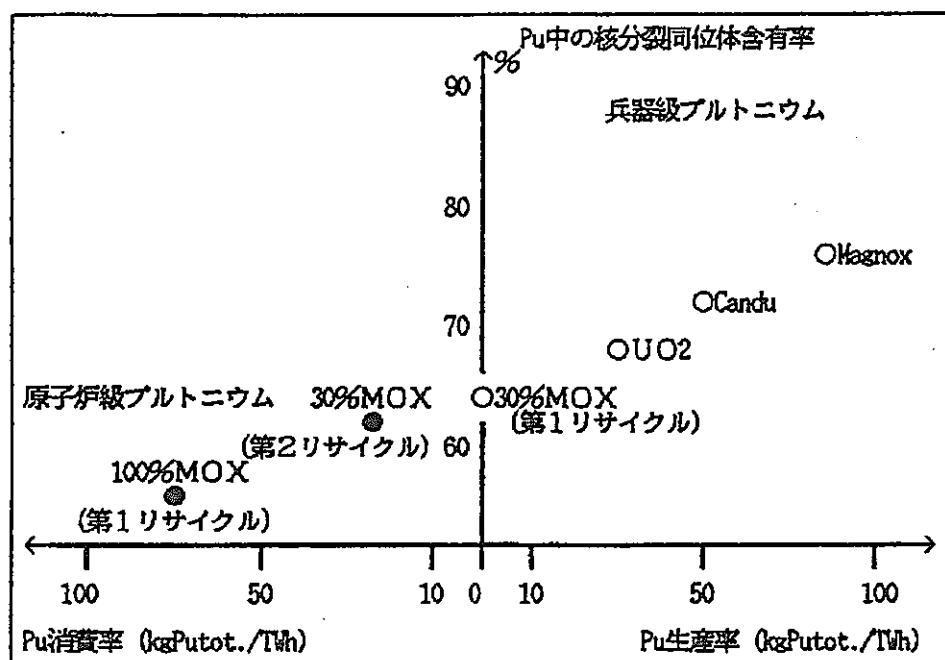
[第10. 4表] プルトニウム同位体の特性

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(1998年3月31日現在)

MANAGEMENT

Jean Syrota
Chairman and Chief Executive Officer

Christian Gobert
Executive Vice-President

Gérald Arbola
Chief Financial Officer
Chairman of the Board
and Chief Executive Officer, SGN

Yves Coupin
Senior Vice-President, Uranium Division

Jean-Pierre Courcelle
Vice-President, Human Resources

Aimé Darricau
Secretary General

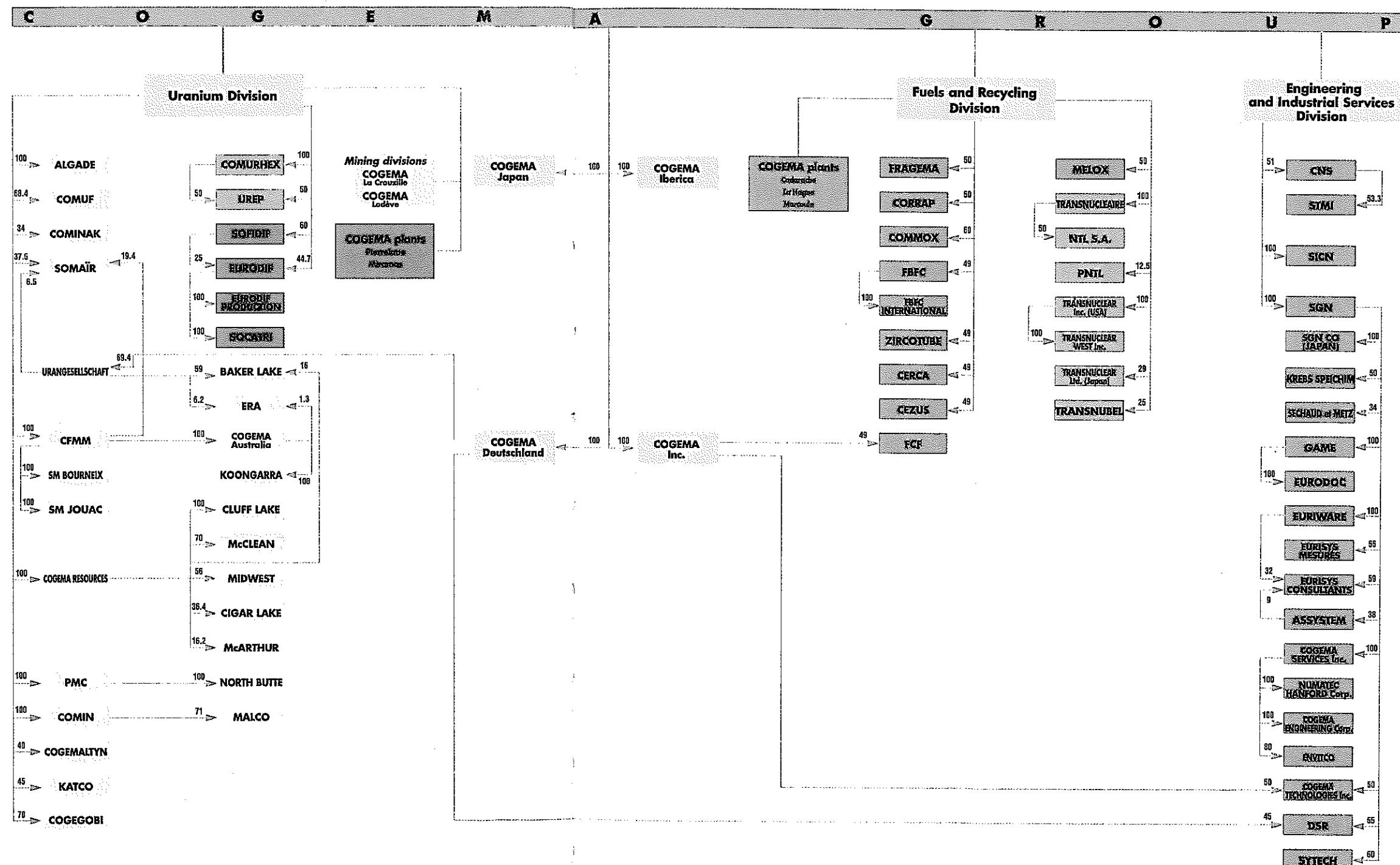
Jean-Pierre Laurent
Vice-President, Quality - Safety -
Environment

Aimery de Narbonne
Vice-President, Communication

Louis Patarin
Vice-President, Research
and Development

Robert Racine
Vice-President,
Corporate Strategy
and International Development

Jean-Louis Ricaud
Senior-Vice-President,
Fuels and Recycling Division
Senior-Vice-President,
Industry Division



Main functional
and operational Divisions : see page 85

Mining

■ Uranium
conversion

■ Uranium
enrichment

■ Fuel fabrication
and recycling

■ Reprocessing and nuclear
materials transportation

■ Engineering
and industrial services

[第10.5表] 英国原子力公社(UKAEA)と英國原子燃料公社(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 (H E U) (kg・U-235)	低濃縮ウラン (L E U) (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 . 0 1 2	Negligible	+ 0 . 0 3 6
	ハーウェル	Negligible	0	0	Negligible	+ 0 . 0 7 4
	スプリングフィールズ／リズレー	N/A	0	0	Negligible	+ 0 . 1
	ワインズケール	+ 0 . 2	Negligible	Negligible	- 0 . 0 1 3	+ 0 . 1
	ワインフリス	+ 0 . 3	Negligible	Negligible	+ 0 . 0 0 2	- 0 . 0 0 9
BNFL	カーベンハースト	N/A	+ 0 . 9	+ 0 . 9	+ 0 . 9	+ 0 . 9
	セラフィールド	- 1 6 . 9	Negligible	- 0 . 0 3 0	+ 0 . 1	- 1 4 . 6
	スプリングフィールズ	N/A	N/A	- 0 . 6 8 3	+ 1 3 . 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
スーパーフェニックス 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

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、ロシアを除く8カ国の保有量の情報も提出された。同情報および英國の貿易産業省（DTI）が1998年6月2日に発表したプルトニウム在庫情報に基づいて、IAEA区分のプルトニウム在庫を【第11.1～11.2表】に示した。

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11.1～11.4図】にまとめた。

[第11.1表] 1996年末現在の民生分離プルトニウム情報

()内は1995年末の値

< >内は1997年末の値

単位:トン

国	貯蔵中の未照射の プルトニウム (S U P u)	M O X 燃料加工 プロセス中の プルトニウム	未照射のM O X 燃料 中のプルトニウム	その他	備 考
ベルギー	0	2.6	0.1	微量	
日本	0.6	3.1	0.9	0.4	他国にあるもの 15.1 トン
ドイツ	<0> 0	<0.3> 0.4	<3.9> 2.7	<1.8> 1.8	
スイス	<0> 0	<0> 0	<0.6> 0.1	<0.1> 0.05 未満	別に、他国所有のP uを 100kg<50kg 未満>保有。
中国	0	0	0	0	
フランス	48.6 (36.1)	11.8 (10.1)	5.0 (3.6)	5.5 (5.5)	別に、他国所有のP uを 30 トン (25.7 トン) 保有。 また、他国にフランスのP uが 0.2 トン (0.2 トン) がある。
英國	<57.4> 52.1	<0.5> 0.5	<2.2> 2.2	<0> 0	別に、他国所有のP uを 3.8<6.1> トン所有。また、他国に英國のP uが 0.9<0.9>トンがある。
米国	0	0.05 未満	4.6	40.4	

出典: IAEA, 1998.04 ; DTI, 1998.06.02.

[第11.2表] 1996年末現在の民生の使用済燃料中の
プルトニウム推定量

() 内は1995年末の値

< >内は1997年末の値

単位：トン

国	原子炉内の プルトニウム	再処理工場内の プルトニウム	その他の場所の プルトニウム	備 考
ベルギー	12	0	0	
日本	48.0	1.0	0.5 未満	
ドイツ	未提出	未提出	未提出	
スイス	<6>7	0	0	他国にあるもの 6トン<5トン>
中国	未提出	未提出	未提出	
フランス	65 (64)	88 (87)	0 (0)	
英國	<5>4.3	<42.1>43.0	<0.1>0.1	
米国	272.4	0	12.8	

出典：IAEA, 1998.04 ; DTI, 1998.06.02.

[第11.3表] 世界の分離プルトニウム在庫見積

単位：トン

国	民生用	軍事用		合計
		兵器級	燃料級／原子炉級	
<u>核兵器国</u>				
米国	45(a)	85.0	13	143
ロシア	27	131	-	158
フランス	65.6(a)	5	-	70.6
英國	55.7(a)	7.6(e)		63.3
中国	0(a)	4	-	4
その他(b)	-	1	-	1
小計	193.3	246.6		439.9
<u>非核兵器国</u>				
ベルギー	2.7(a)	-	-	2.7
ドイツ	10	-	-	10
イタリア	1(c)	-	-	1
日本	20.1(a)	-	-	20.1
オランダ	1	-	-	1
スイス	1(d)	-	-	1
小計	35.8	-	-	35.8
合計	229.1	246.6		475.7

- (a) 1998年4月に国際原子力機関（IAEA）が発表したデータから。
- (b) インドとイスラエルは1994年末現在、各々0.33トン、0.46トンを保有。
- (c) アルブライト氏等によれば、0.6トン。
- (d) アルブライト氏等によれば0.2トン。(a)のIAEAでのデータには国外にあるものが示されていない。
- (e) 英国政府の1998年7月8日の声明から。

出典：DOE, December 7, 1993; David Albright et al, "plutonium and Highly Enriched

Uranium 1996", Oxford University Press, 1996; DTI Press Notice July 31, 1997;
Enerpress Sep. 9, 1997; Nuclear Fuel 1998.04.20; Plutonium: The First 50 Years,
DOE, 1996.02.; UK announcement on July 8, 1998.

[第11.4表] 米ロの軍事用HEU/Puの生産と在庫(1993年末現在)

軍事核物質	生産 [トン]	在庫 [トン]	備 考
ロシアのHEU	1,400 ^a	1,270 ^a	1988年に生産終了
米国のHEU	994 ^b	749 ^a	1992年に生産終了
ロシアのPu	145 ^a	131 ^a	13基のPu生産炉の内の10基は 1987~1992年に閉鎖。 兵器級Pu生産は3基で続き、 発電と熱供給のために運転 されている。
米国のPu	103.4 ^b	99.5 ^b	1988年に生産終了

a 見積

b 米DOE発表

出典 : Commercial Nuclear Fuel from U.S. and Russian Surplus Defense Inventories: Materials, Policies, and Market Effects, DOE/EIA-0619, 1998.05.

Russian HEU -O.Bukharin, "Analysis of the Size and Quality of Uranium Inventories in RUssia", paper presented at the Nuclear Energy Institute's *International Uranium Fuel Seminar* (Williamsburg, VA, October 8-11, 1995); U.S. HEU production -U.S. Department of Energy, Office of the Press Secretary, *Openness Press Conference Fact Sheets* (Washington, DC, June 27, 1994), p.52; U.S. HEU inventories -D.Albright, F.Berkhout, and W.Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996 World Inventories, Capabilities and Policies*, Stockholm International Peace Research Institute (Oxford, United Kingdom, 1997), Table 3.12; U.S. plutonium -U.S. Department of Energy, *Plutonium: The First 50 Years* (Washington, DC, February 1996), Table 1.

[第11. 5表] 英國政府の軍事核物質在庫に関する声明（抜粋）

(1998年7月8日)

英國所有の軍事核物質在庫

プルトニウム	7.6 トン
高濃縮ウラン	21.9 トン
他の形態のウラン	15,000 トン

これらの在庫の多くはもはや国防上必要なく、プルトニウム 4.4 トン（兵器級プルトニウム 0.3 トンを含む）および 9,000 トンのウラン（高濃縮ウラン以外）は現在ユートラムの監視下にある。

[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
<u>海外</u>	<u>5.7</u>
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
<u>海外</u>	<u>0.7</u>
合 計	12.0
生産／獲得 合計	111.4
消費／移動 合計	-12.0
<u>機密の取引／端数調整</u>	<u>0.1</u>
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	AGR	PWR	PWR	BWR
	-	5-6	18-24	33	50	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

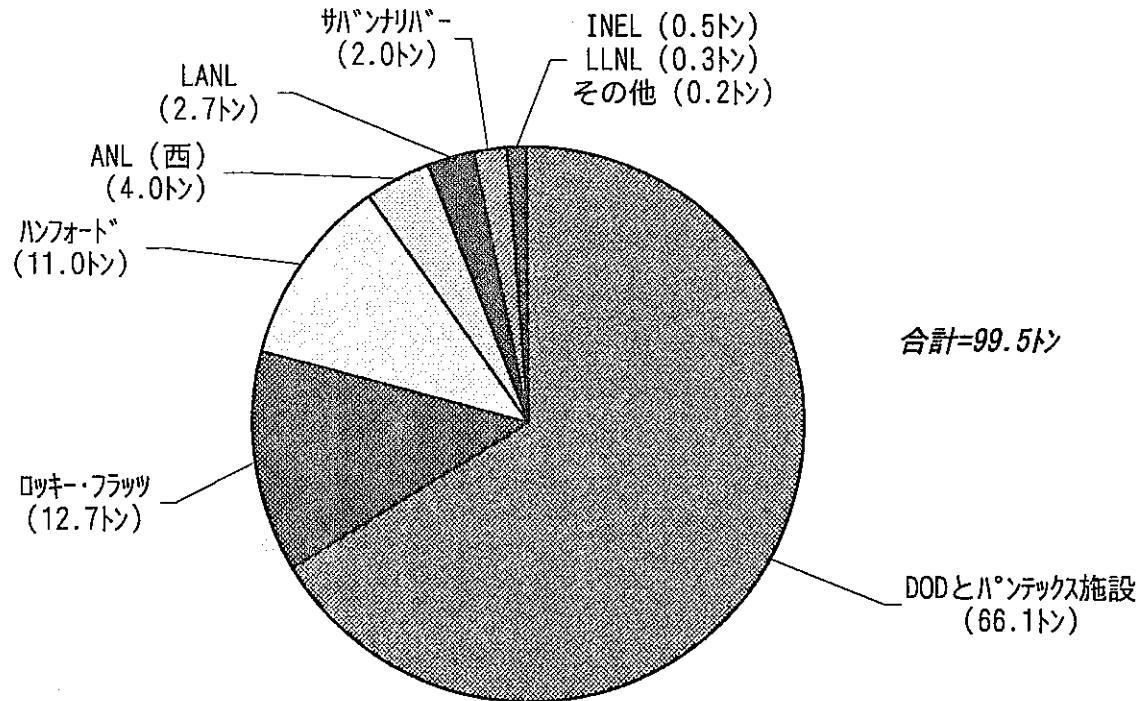
[第11.10表] 各種軽水炉におけるMOX燃料利用の可能性

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 使用清燃料	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 : ロスアラモス国立研究所
 ANL : アルゴンヌ国立研究所
 INEL : アイダホ国立工学研究所
 LLNL : ローレンス・バーリモア国立研究所

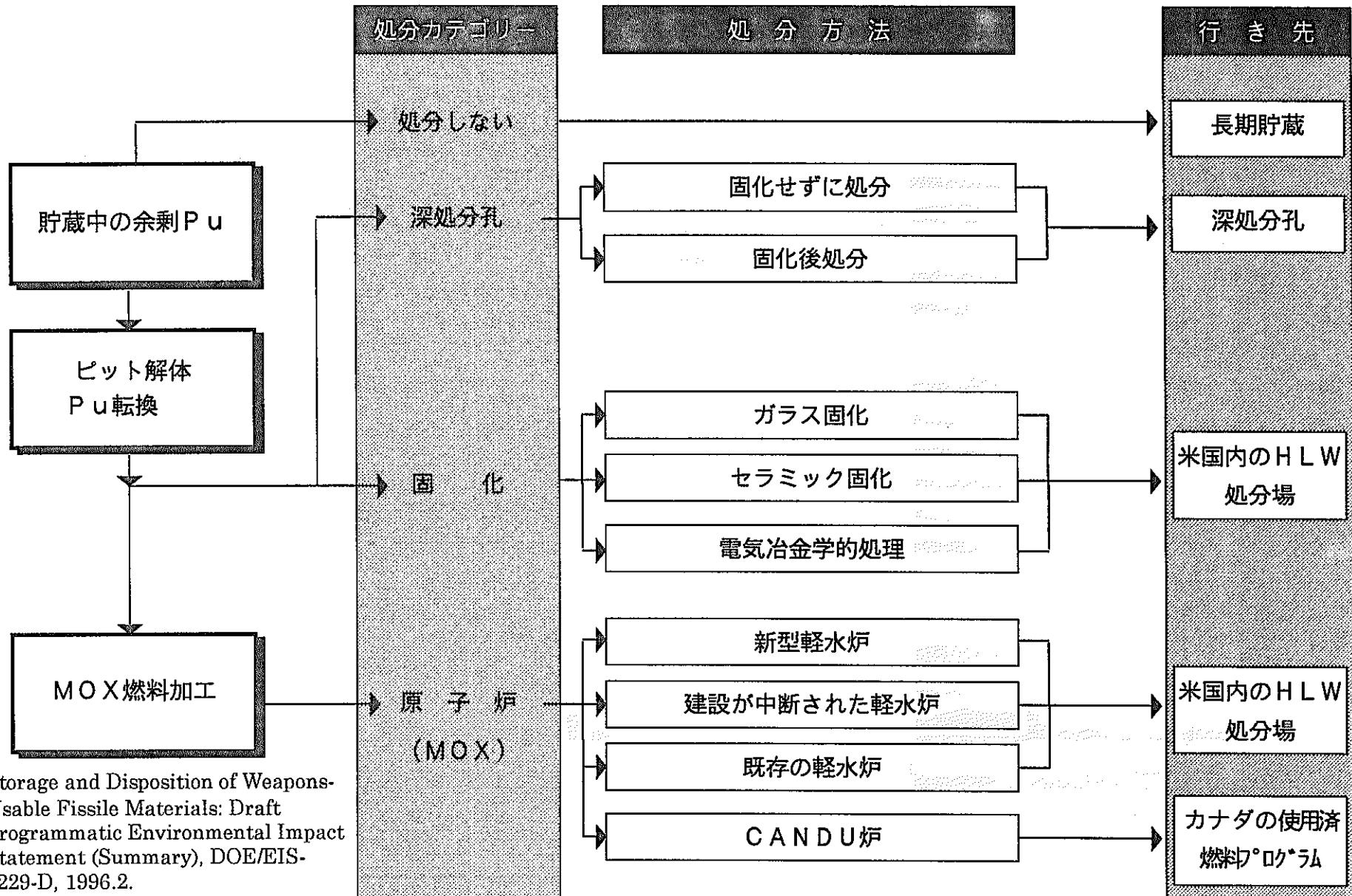
【出典】Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials:Draft Programmatic Environmental Impact Statement (summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[第11.1図] サイト毎のプルトニウムの貯蔵状況 (1994年9月現在) (その1)



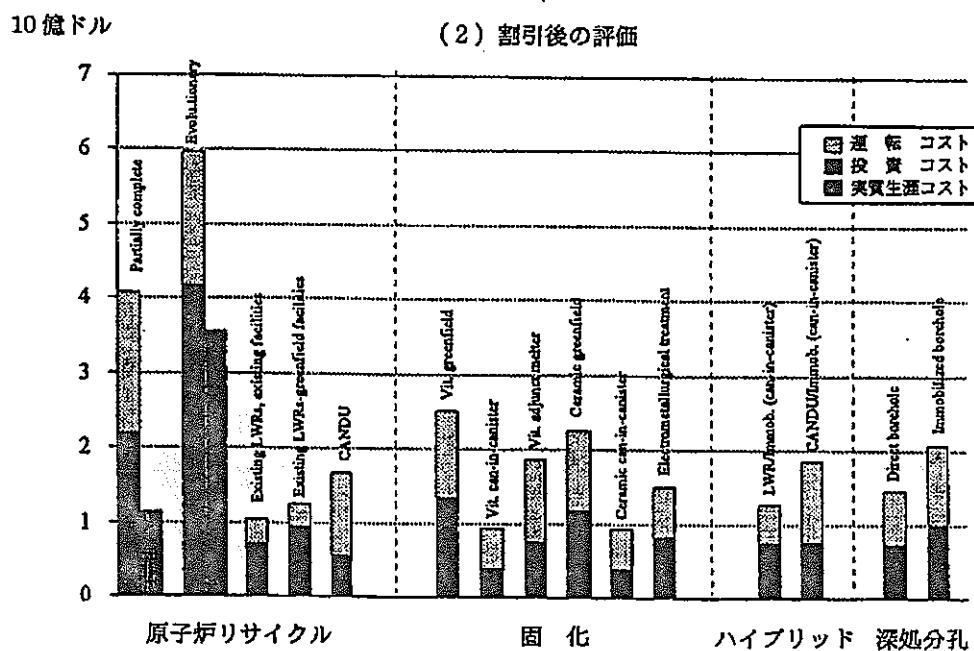
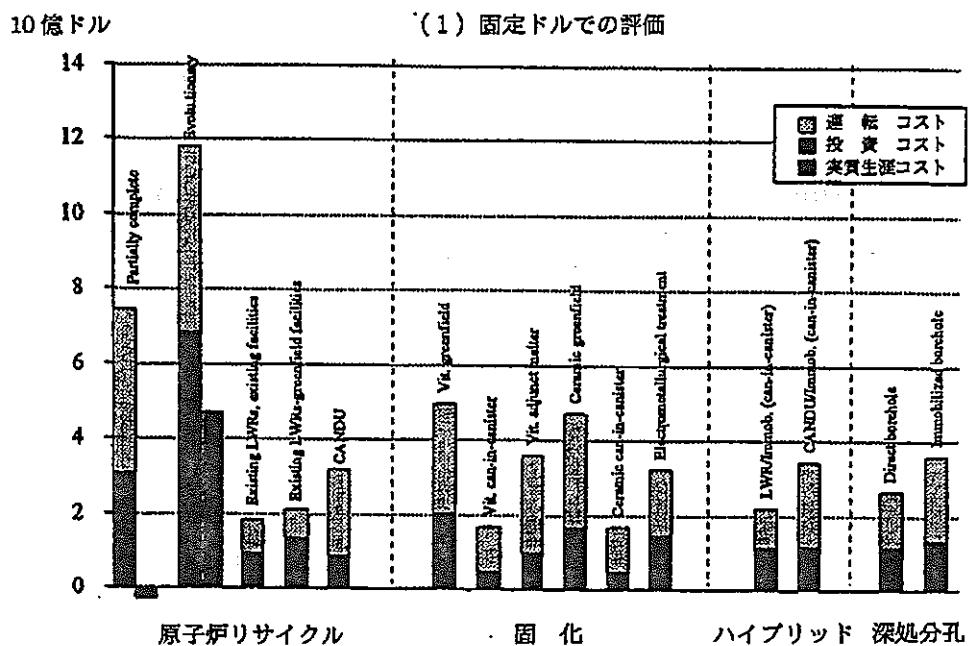
【出典】Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials:
Draft Programmatic Environmental Impact Statement
(Summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[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）（その2）



【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



[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