

プルトニウム利用に関する海外動向の調査(00)

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2001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)
2000

2001年3月

プルトニウム利用に関する海外動向の調査（00）*

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2000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、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

MARCH 2001

PLUTONIUM USE IN FOREIGN COUNTRIES (00)

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 2000 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 inventries of foreign countries were collected.

Work performed by IEA OF JAPAN CO.,LTD under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute
JNC Liaison: Management Section, International Cooperation and Nuclear Material Control 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 | 25 |
| 1. 1. 3 MOX燃料加工の現状 | 31 |
| 1. 2 ドイツ | 36 |
| 1. 2. 1 バックエンド政策 | 36 |
| 1. 2. 2 MOX燃料利用の現状 | 54 |
| 1. 2. 3 MOX燃料加工の現状 | 59 |
| 1. 3 英国 | 65 |
| 1. 3. 1 プルトニウム利用政策 | 65 |
| 1. 3. 2 MOX燃料加工の現状 | 73 |
| 1. 4 ベルギー | 87 |
| 1. 4. 1 プルトニウム利用政策 | 87 |
| 1. 4. 2 プルトニウム・リサイクルの現状 | 90 |
| 1. 4. 3 MOX燃料加工の現状 | 93 |
| 1. 5 スイス | 101 |
| 1. 5. 1 プルトニウム利用政策 | 101 |
| 1. 5. 2 プルトニウム・リサイクルの現状 | 104 |
| 1. 6 スウェーデン | 110 |
| 1. 6. 1 バックエンド政策 | 110 |
| 1. 6. 2 産業界からプルトニウム・リサイクル戦略が浮上 | 110 |
| 2. MOX燃料加工、再処理に関する計画および実績 | 115 |
| MOX燃料加工の実績および計画 | 117 |
| MOX燃料利用の実績および計画 | 143 |
| 再処理関連情報 | 167 |
| その他 | 177 |
| 3. プルトニウム在庫 | 191 |

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）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ったことによって、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、パタイユ議員が、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。パ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）のマディー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 ラアーク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、OPECST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（EP R）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、OPECS Tは、カダラッシュに建設が予定されているジュール・ホロヴィッツ試験炉（R J H）の設計を変更することをフランス原子力庁（CEA）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、OPECS 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。

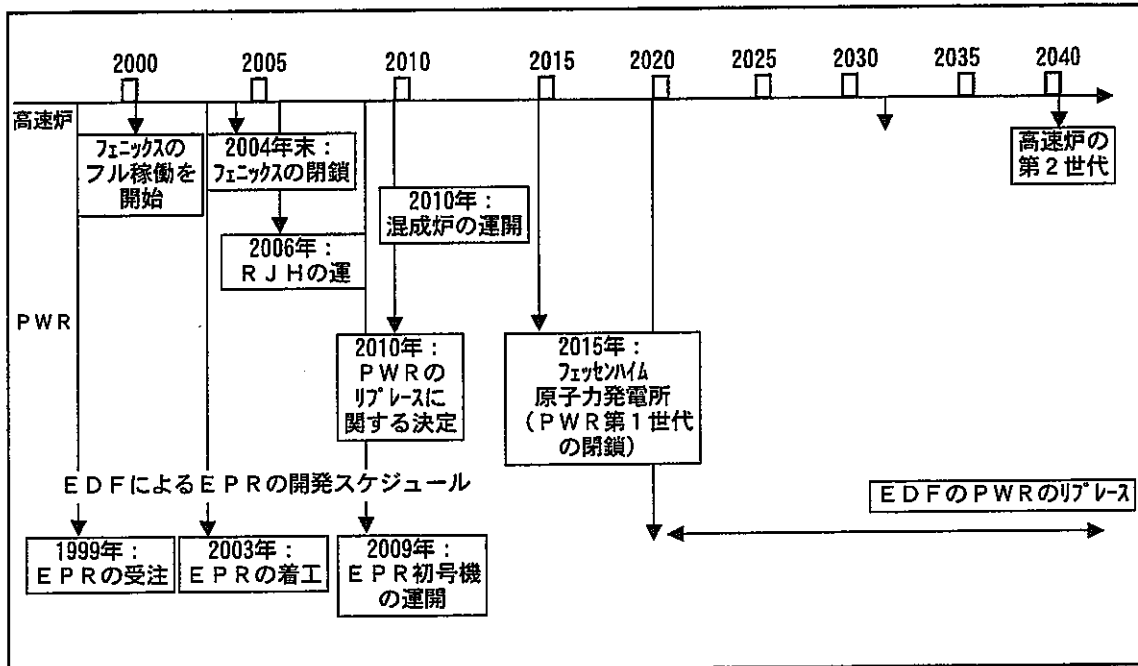
③ スケジュールとコストに関する評価

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・アーク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。

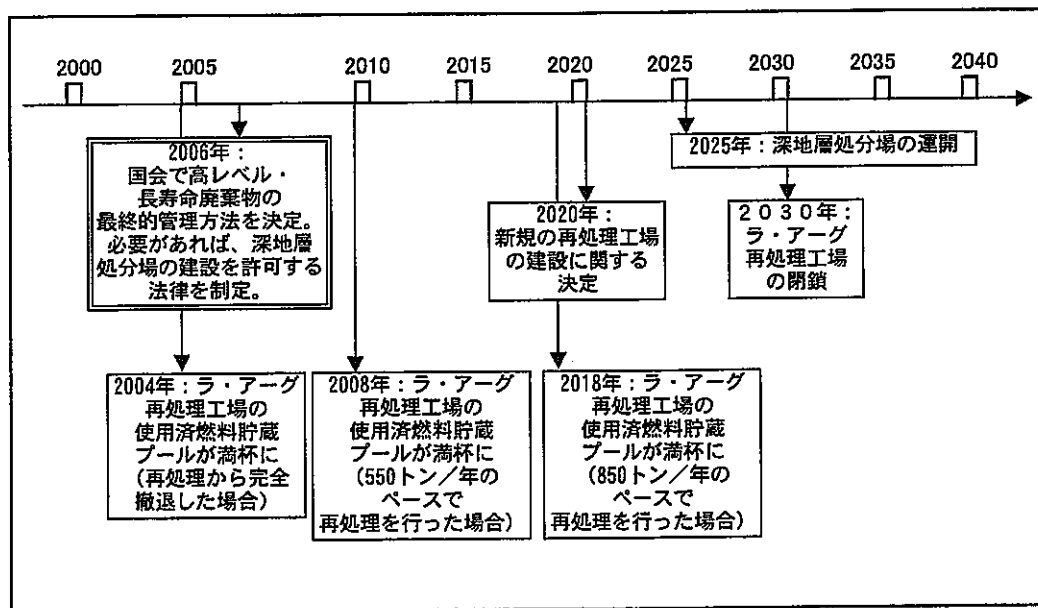
上記の2つのスケジュールからも明らかな通り、最終的な決定を行うまでに、まだ若干の時間的余裕がある。しかしながら、地下研究所とEPRの発注に関する決定は急を要する。

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、OPECS T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・和ガイツ試験炉 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

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）と仏産業省ガス・電気・石炭局（DIGEC）のデータに基づいている。バックエンド・コストに関するOECD／NEAの見積では、使用済燃料の輸送が0.1センチム（c：0.015円）／kWh、再処理と高レベル廃棄物のガラス固化が1.2c（0.18円）／kWh、廃棄物処分が0.11c（0.017円）／kWhである。また、DIGECの見積では、再処理（輸送を含む）が1～1.2c（0.15～0.18円）／kWh、廃棄物処分が0.3c（0.045円）／kWhである。この見積は、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。

OPECS Tは、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指摘している。その論拠は、30～40年後には天然ガスや石油資源が稀少になり、混合酸化物（MOX）燃料の需要が高まるというものである。両議員は、プルサーマルだけでなく、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。

OPECS Tの見積では、原子力プログラムの総額は約4,550億フラン（6兆8,250億円）と莫大であるが、仮に原子力発電を全く行わなかった場合、1974年から1997年の化石資源の輸入額は実際よりも約6,000億フラン（9兆円）増大し、CO₂の排出量は約43億トン増えたという。また、原子力産業は1976年から1997年にかけて3,600億フラン（5兆4,000億円）の差益を国にもたらしている。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 |

現在、フランスでは原子炉の供用期間を30年と設定しているが、OPECSTは、供用期間を10年延長することによって原子炉全基で1,000億～1,500億フラン（1兆5,000億～2兆2,500億円）のキャッシュ・フローを引き出せると指摘している。また、仏電力公社（EDF）の自己資本金融は現在483億フラン（7,245億円）と見積もられており、資金調達能力は原子炉の寿命延長によってさらに高まるものと予測される。したがって、“欧州加圧水型原子炉（EPR）”の原型炉を建設すべきである、というのがOPECSTの見解である。

OPECSTは、化石燃料（特に天然ガス火力）と原子力の発電コストを比較する場合、5%の割引率を採用するのが適正であると示唆している。5%の割引率であれば、原子力は僅差ではあるが化石燃料に対する優位性を保持することができる。OPECSTは発電事業関連の投資の公共的性格を強調しており、電源別発電コストの比較を行う場合は5%の割引率を適用するのが理想的であると主張している。

OPECSTは、一般に原子力発電コストの見積りに多くの外部費用が含まれているのに対して、石炭火力やガス火力の場合は除外されているので、原子力に不利な結果が出ているという。代表的な外部費用は廃止措置であるが、石炭火力についてはSO_xやCO₂、天然ガスについてはNO_xやCO₂の排出量削減対策が含まれる。原子力の外部費用の内訳は、廃止措置、使用済燃料

の再処理、R&D、地下研究所および深地層処分場の建設である。

また、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。OPECS 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。欧州委員会は、原子力事故、高レベル放射性廃棄物の処分、核拡散およびテロの対策に要するコストを見積もることが困難なので、原子力発電の外部費用は信頼性に乏しいと認めている。OPECS Tも、CO₂の影響や深刻な原子力事故等、幾つかの外的要素を見積もることが困難であり、往々にして不確実性を伴うことを認めている。とはいえ、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 |

(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（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・長寿命放射性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。

CNEが勧告しているMOX使用済燃料の管理の問題点の要点は以下のようにまとめられる。

「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。」

廃棄物法では、高レベル廃棄物の貯蔵期間に関する明確な規定は為されていない。CNEの第6回報告書では、数10年から数世紀までいくつかのオプションがあるが、深地層処分に関する研究との一貫性を重視して貯蔵期間を速やかに検討すべきであるとしている。

特に、地下（sub-surface）での長期貯蔵に関する研究と回収可能性に関する研究を調整する必要があり、これらの研究の一環として、貯蔵と処分に兼用できるコンテナの開発を行い、従事者の被曝リスクを増大させる廃棄物の再コンディショニングを回避するべきであるとしている。

CEAが行っている長期貯蔵研究の対象は、原則としてカテゴリーC廃棄物とウラン酸化物(UO_2)使用済燃料である。仮に UO_2 以外の使用済燃料、特にMOX使用済燃料についても長期貯蔵オプションを適用する場合には、新たに特別な研究を実施しなければならない。また、カテゴリーB廃棄物については、核種分離・変換の対象にならず、長期貯蔵にも不適なので、可及的速やかに処分することが望ましいとしている。

廃棄物パッケージとコンテナの定義が非常に曖昧であるため、回収可能性や再コンディショニングの定義も不明瞭になる恐れがある。したがって、廃棄物パッケージとコンテナの定義は、早急に解決を要する問題であるとしている。

長期貯蔵施設とコンテナに関するCEAのR&Dのスケジュールは、[第1.1表]に示す通りである。

[第1.1表] 長期貯蔵施設とコンテナに関するCEAのR&Dスケジュール

| | |
|------------|----------------------------------|
| ～1999年半ば | 4つの貯蔵概念と2つのコンテナ概念の提示 |
| 1999～2000年 | 貯蔵施設の候補サイトの絞り込み |
| 2000年末 | 貯蔵概念とコンテナ概念の選択 |
| 2001～2002年 | 安全性と経済性の観点から選択された概念の産業規模での信頼性を評価 |
| 2003～2005年 | 詳細設計の検討を通じて概念に研究成果を反映 |

CEAは、貯蔵施設について次の3つの概念を検討している。

- ① 使用済燃料専用の局地的な貯蔵施設。モジュール式の地上施設である。
- ② コンクリート・バンカーを有する中央集中貯蔵施設。施設の一部を地下に建設することも可能。自然対流による冷却法を採用。このタイプの施設については既に豊富な知見が得られており、廃棄物パッケージの特性や種類に拘束されない柔軟性が利点。
- ③ バンカーを有する中央集中貯蔵施設。施設の一部を地下に建設することも可能。高度な耐熱性を有する。この革新的な貯蔵概念では、廃棄物は鞘状の容器に収納されて貯蔵区域のバスケットに貯蔵される。1つのバスケットに鞘状容器を30体まで収容することが可能。発熱性の廃棄物を貯蔵するので、少なくとも一定期間は人工対流による冷却を要する。また、バスケットが大きすぎて処分場に収まらないことから、処分に先立って廃棄物を取り出し、再コンディショニングしなければならない。

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・アーグ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。高熱を発生するMOX使用済燃料については、深地層処分に先だっ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、今後の課題になると考えられる。

(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、原子力庁（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、原子力発電における再処理オプションと直接処分オプションのコストの比較分析を行うことも決定し、ジョスパン首相の要請の下、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・ドゥシュ研究部長の三賢人と称される）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。

a. 報告書の論点

研究の趣旨は、電力需要、技術の選択、環境政策および化石燃料の価格変動に関する複数のシナリオを検証することであった。エネルギー備蓄の観点からは2050年まで化石燃料にも核燃料にもまったく問題がないことを確認した上で、三賢人は、政府は放射性廃棄物か温室効果ガスかという困難な選択を迫られることになることを指摘している。三賢人が報告書で意図したことは、「行政当局の選択を一定の方向に導いたり世論に影響を与えるのではなく、正確な情報と技術、経済、環境に関する明確な論理に基づく民主的な議論を喚起すること」であった。

報告書は288ページに及び、主に2つの論点を巡って議論が展開されている。第一の論点は、「原子力発電に大きく依存し過去に莫大な投資がなされてきたフランスにおいて、行政当局や運転者が手を加える余地は残されているか？」という問題である。第二の論点は、今後50年間の電力需要を賄うために必要な新たな投資に関するものである。すなわち、有用な原子力技術あるいは非原子力技術は何か？フランスの選択に影響を与えると思われる諸外国の現状はどうなっているか？幾つかの決定が2050年の時点で経済および環境に与える影響はどのようなものか？といった問題である。

b. 報告書の構成

三賢人の報告書は、以下の5つの章で構成されている。

第1章 過去の遺産：

第1章で検討されているのは、原子炉の寿命の問題と使用済燃料の再処理を継続した場

合と中止した場合の影響である。三賢人は、既存の原子炉が“比較的若い”ことを強調している。原子炉の寿命については41年と45年のケースが検討され、寿命を45年に延長すれば発電コストを6%節約できることが示された。また、三賢人は「(寿命延長によって)原子力、火力、再生可能エネルギーの分野でより有効な技術が開発される可能性が広がる」と指摘している。

第2章 世界の趨勢：

第2章では「電力市場の自由化に門戸を開いていく世界的な趨勢にあって、フランスだけが独立独歩を堅持することは困難である」と強調されている。しかし、原子力発電に関する三賢人の認識は、世界の国々が既に行った選択と対照をなしている。

三賢人は「韓国、日本およびチェコ共和国を除いて、経済協力開発機構（OECD）に加盟している国の大半が原子力発電所の新規建設を中止した」と認めている。米国のように原子炉の寿命を延長した国もあれば、ドイツやスウェーデンのように原子力発電からの撤退を計画している国もある。しかし、これらの決定は再処理や放射性廃棄物の処分に対する懸念を緩和するためになされたものであり、今のところ原子力発電を真に代替し得る方策は存在しないとしている。どの国の政府も、放射性廃棄物の発生量の抑制と引き替えに温室効果ガスの排出量を増大させるような選択をおいそれとするわけにはいかない、というのが三賢人の主張である。

第3章 技術開発の見通し：

第3章では、電力消費と発電に関する技術開発の見通しが示されている。三賢人は、2015年以降、とりわけ2040年以降に、プルトニウムを燃焼し、放射性廃棄物の量を抜本的に低減することができる原子炉を複数基導入すべきであると主張している。また、その他の発電方式としては、新型のガス火力、あらゆる種類の燃料を利用できるコージェネレーション、風力等が注目されている。

第4章 フランスの選択：

原子力発電からの撤退は、最も極端な次の2つのケース以外には考えられないとしている。

- ① 極端な自由社会が到来し、電力需要の増大が制御されず、発電方式が天然ガスに依存した場合。
- ② 放射性廃棄物の問題に極端に神経質な社会が到来し、再生可能エネルギーの開発に注力しつつ、天然ガスに依存した場合。

より現実的なシナリオでは、多かれ少なかれ原子力発電に頼らざるを得ない。その場合、電源構成に占める原子力の比率は40～70%と予測されている。いずれにしても、原子力が現在占めている比率の多くを代替し、原子力と競合し得る電源になる可能性があるのは天然ガスのみである。なお、水力を除く再生可能エネルギーが電源構成に占める比率は4～10%に過ぎず、その大半は風力と予測されている。

第5章 経済性の分析：

三賢人は「化石燃料の価格が高騰した場合、既存の原子炉の大部分を新たな原子炉でリプレースするシナリオが最も経済的である」と指摘している。これに対して、化石燃料の価格が将来にわたって安定していると仮定した場合は、低コストで原子炉を段階的に閉鎖することが可能になるという。

c. 報告書の概要

報告書は2050年までのフランスの電源公正シナリオとして、電力需要の成長と電力供給のタイプを組み合わせ、以下の7種類を挙げている。

高成長

シナリオH1（自由競争型、脱原子力）：市場原理に忠実なケース。発電方式が国際市場における競争力に応じて選択され、電力消費量が増大。原子力の新設はなく、高成長下での緩やかな脱原子力を想定。

シナリオH2（生産第一主義型）：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。

シナリオH3（独自路線型）：電力需要のあらゆる調整機能を制限することになっても、あえて国策として、電源構成に占める原子力の比率を最大限に高めたケース。

低成長

シナリオB2（生産第一主義型）：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。

シナリオB3（独自路線型）：温室効果ガスの削減等、環境保護上の拘束が極めて厳しくなった結果、原子力以外の電源によって国内で電力需要を賄うことが不可能になった場合。当局は、電力需要の調整機能を刺激し、産業構造の抜本的再編により省エネと再生可能エネルギーの開発を促進するとともに、電源構成に占める原子力の比率を最大限に高める。

シナリオB4-45/B4-30（環境優先型、緩急の脱原子力）：原子力リスクと地球環境に配慮。電力需要の調整機能が促進され、かつ、産業構造の抜本的再編により省エネと再生可能エネルギーの開発が促進される。原子炉の新設は行わず、既存の原子炉の運転期間を基本的に45年に設定しているが（シナリオB4-45）、30年に制限するシナリオB4-30も検討されている。B4-45は低成長下での緩やかな脱原子力を、B4-30は低成長下での早期の脱原子力政策を想定している。

これら7つのシナリオに対応する電力供給体制は、次の通り：

シナリオH1：複合サイクル・ガス火力の急成長（2050年の時点で電源構成に占める比率は73%）。2050年までに原子炉はなくなる。

シナリオH2：原子力発電電力量はほぼ1995年の水準で推移するが、電力需要が高成長なので、総発電電力量に占める比率は2050年の時点で44%に落ち込む。電力供給の不足分を補填するのは、複合サイクル・ガス火力とコージェネレーション。

シナリオH3：原子力は2050年の時点で総発電電力量の約70%の水準を維持される。この場合、原子力発電設備容量を8,500万kWに高める必要がある。

シナリオB2：2030年から2035年にかけて原子炉がリプレイスされるが、原子力発電設備容量は2050年の時点で現在の約40%（3,300万kW）。この時点で、複合サイクル・ガス火力の発電設備容量は1,700万kW。

シナリオB3：2030年から2035年にかけて原子炉がリプレイスされる。2050年の時点で原子力発電設備容量は4,700万kW、総発電電力量に占める比率は60%。

シナリオB4-45/B4-30：B4-45は2050年までに原子力発電がなくなり、B4-30では2035年までに原子力発電がなくなる。どちらのケースも原子力の大体電源は複合サイクル・ガス火力であり、不足分を再生可能エネルギーで補填する。

このように、H1、B4-45およびB4-30の3つのシナリオでは既存の原子炉がリプレイスされない。これに対して、H2、H3、B2、B3の4つのシナリオでは、既存の原子炉の一部あるいは全体がリプレイスされる。2000年現在のフランスの原子力発電設備容量は6,300万kWであるが、これら4シナリオでは、2050年の時点で必要な設備容量の幅が3,300万～8,500万kWと設定されている。

次に、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AP A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AP A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

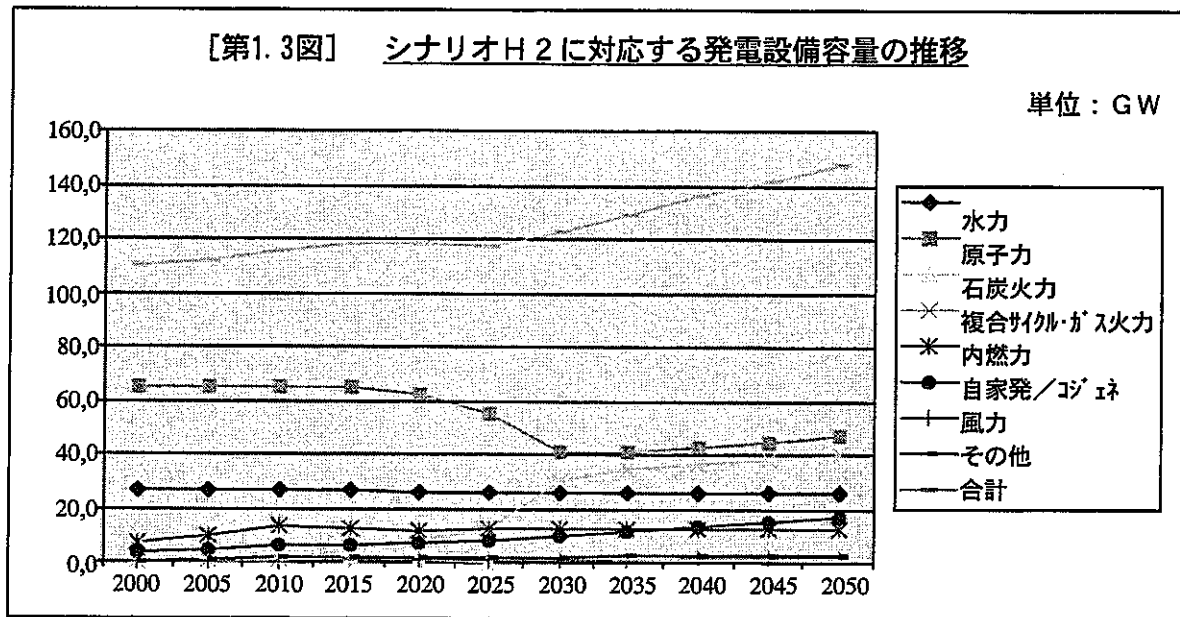
シナリオF6：PWRとEPRが共存、UO₂燃料とMOX燃料が併用される。2010年以降、再処理から撤退し、MOX燃料の利用を放棄する。

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。

以上、F1、F2、F3、F4、F5およびF8では2010年以降も使用済燃料の再処理-リサイクルが継続され、F6およびF7では継続されない。

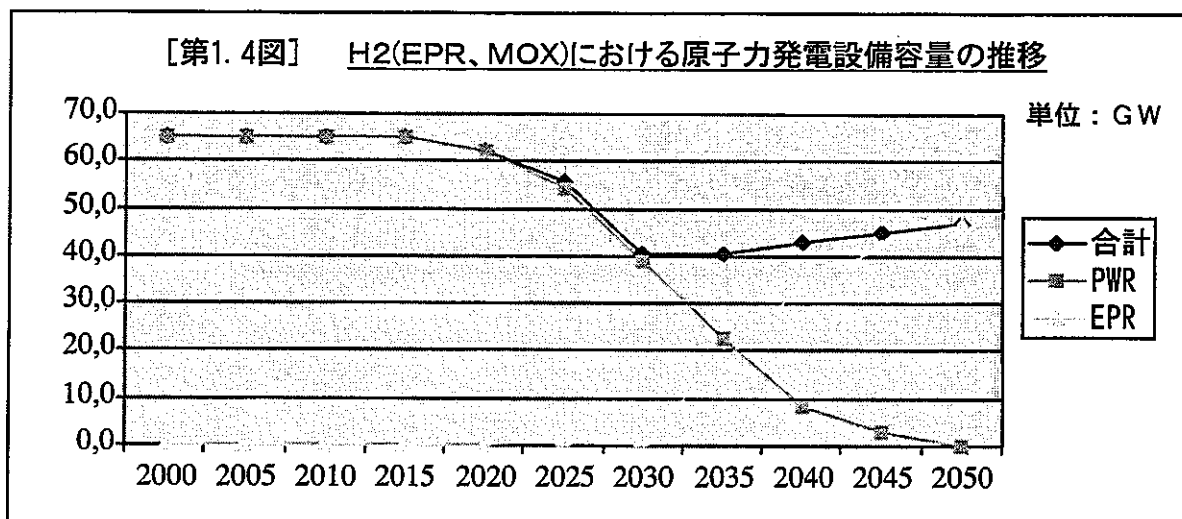
高成長のシナリオのH2では、原子炉のリプレースを前提とし、2050年の時点で原子力発電設備容量は4,700万kWとなる。シナリオH2に対応する発電設備容量の推移は、[第1.3図]に示す通りである。

[第1.3図] シナリオH2に対応する発電設備容量の推移

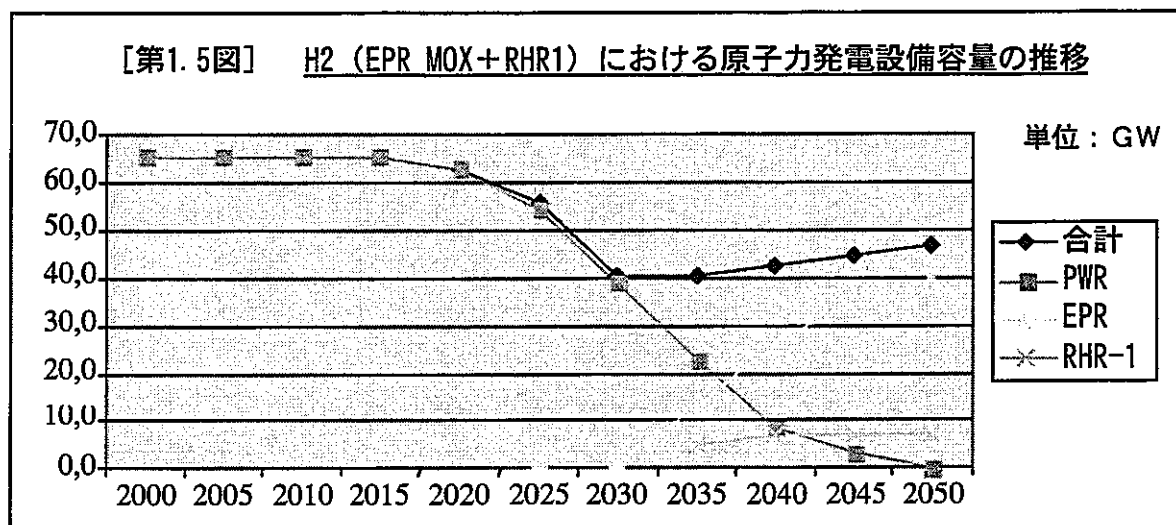


シナリオH2に原子力発電オプションのシナリオ（F1、F2、F3、F6）を掛け合わせた場合〔H2（EPR、MOX）〕の原子力発電設備容量の推移は、〔第1.4図〕に示す通りである。

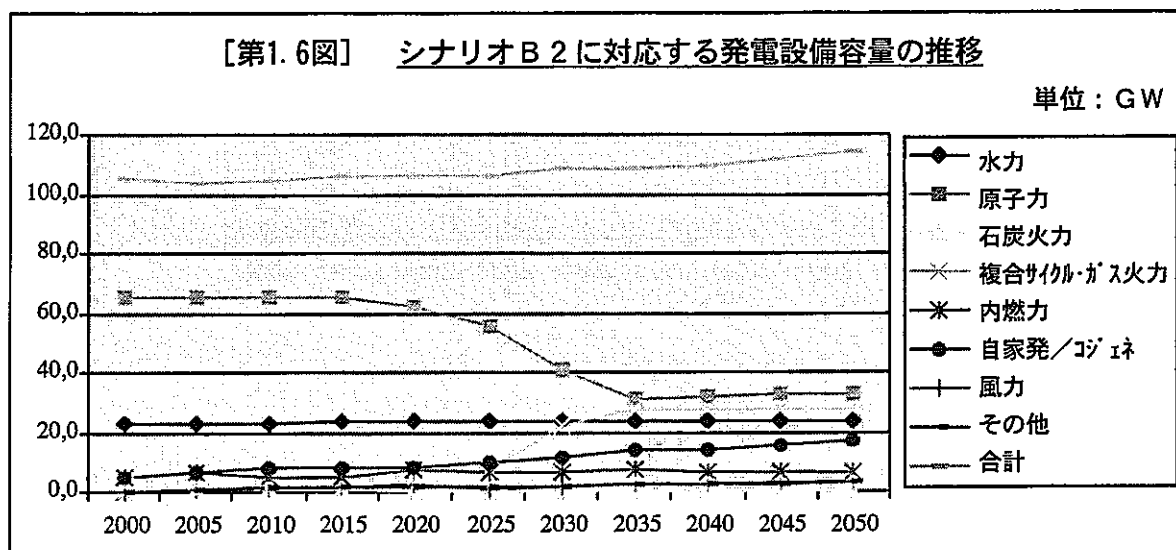
[第1.4図] H2(EPR、MOX)における原子力発電設備容量の推移



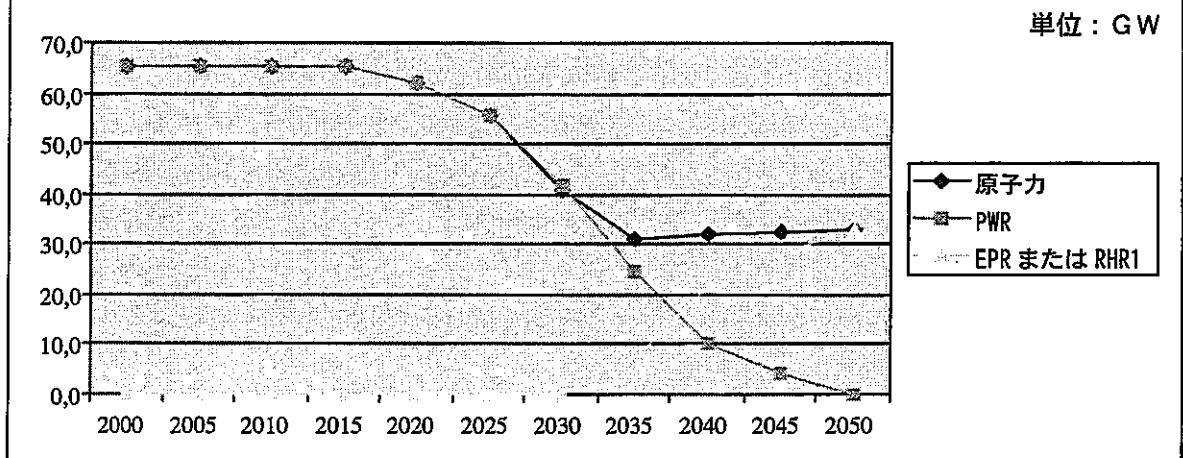
シナリオH2に原子力発電オプションのシナリオF4を掛け合わせた場合 [H2 (EPR MOX + RHR1)] の原子力発電設備容量の推移は、 [第1.5図] に示す通りである。



低成長シナリオのB2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でリプレイスされる。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。



【第1.7図】 シナリオ B 2 に対応する原子力発電設備容量の推移



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1.2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 | 安 定 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、B 4-30はB 4-45よりもコストが高む（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H 1、低成長ではB 4-45）。
- ・ 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H 3、低成長ではB 3）。

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装荷炉となる。

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、緑の党のヴォワネ環境相は現在に至るまで許可を発給していない。[第1.1表]に2000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1.3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（2000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。なお、EDFの今後3年間の年間目標装荷体数は12.5装荷分、すなわち200体/年であるという。

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。

1999年の装荷体数が192体であるとする、1987年～1999年のEDFの商業的MOXリサイクル実績は累積で1,184体となる。

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。

(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。

EDFはUO₂燃料の高燃焼度化にともない、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年に提出していたが、規制当局の仏原子力施設安全局は同許可を発給した。

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では2003～2004年頃には高燃焼度化の許可が得られると見ており、その時には炉心燃料管理はUO₂燃料と同様の4分の1炉心管理となり、年間装荷体数は12体/年・炉となる。したがって、MOX燃料集合体の必要量も約20%減少することになる。

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、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ず。

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であり、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

(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MIMAS (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MELOX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KTA1401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、1998年以降、約35トン/年の生産を上げている。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。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。

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、1999年

秋からQC監査を実施COGEMAに対して過去のMOX燃料加工記録をレビューするように要請した。

COGEMAは1999年末に、1999年12月にバイエルンベルク社のイーザル2号機に納入されたMOX燃料、32体のQCデータに問題があることを発見した。シーメンス社は2000年3月24日、本件に関するステートメントを発表し、安全技術上の深刻な問題はないものの、イーザル2号機用のMOX燃料集合体を製造中、1バッチ（合計7,000ペレット）内の40ペレットの直径の自動任意抽出測定データに欠陥があったことを明らかにした。シーメンス社によると、その原因はソフトウェアの問題であり、品質管理規則の上では100ペレットの直径が測定されなければならなかったのに、60ペレットの直径しか記録されていなかったという。ソフトウェアの問題は解決され、60ペレットのデータの記録は仕様通りであったという。

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、ドミニク・ヴォワネ環境相は、カダラッシュ・プラントの耐震安全性の不備をめぐるCOGEMAと原子力施設安全局（OSIN）の間の議論が膠着状態に陥っていることを指摘し、この問題に対する当局の態度を明確にするよう圧力をかけていたが、COGEMAは2000年8月1日のプレスリリースで、将来の同プラントの閉鎖を含む一連の提案を秋に提出することで環境相／産業相と合意したことを明らかにした。しかし、12月現在、そのような提案文書は公表されていない。仮に同プラントが即時閉鎖されれば、生産能力の不足から契約が縮減される可能性があり、ラ・アージュ再処理工場の再処理量も制限される可能性がある。COGEMAは1997年12月にDSINのラコスト局長に宛てた書簡で、「商業的見地から、MELOX・MOX燃料加工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」と指摘した。しかし、現連立政権はMELOXプラントの設備容量の増加許可の発給を先送りし続けている。

ジョスパン首相は1999年8月に、MELOXプラントに30トン／年の生産ラインを増設する許可政令への署名をヴォワネ環境大臣から取り付けたが、プラント全体の生産量は現行の100トン／年を超えないことが署名の条件であった。

(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、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。

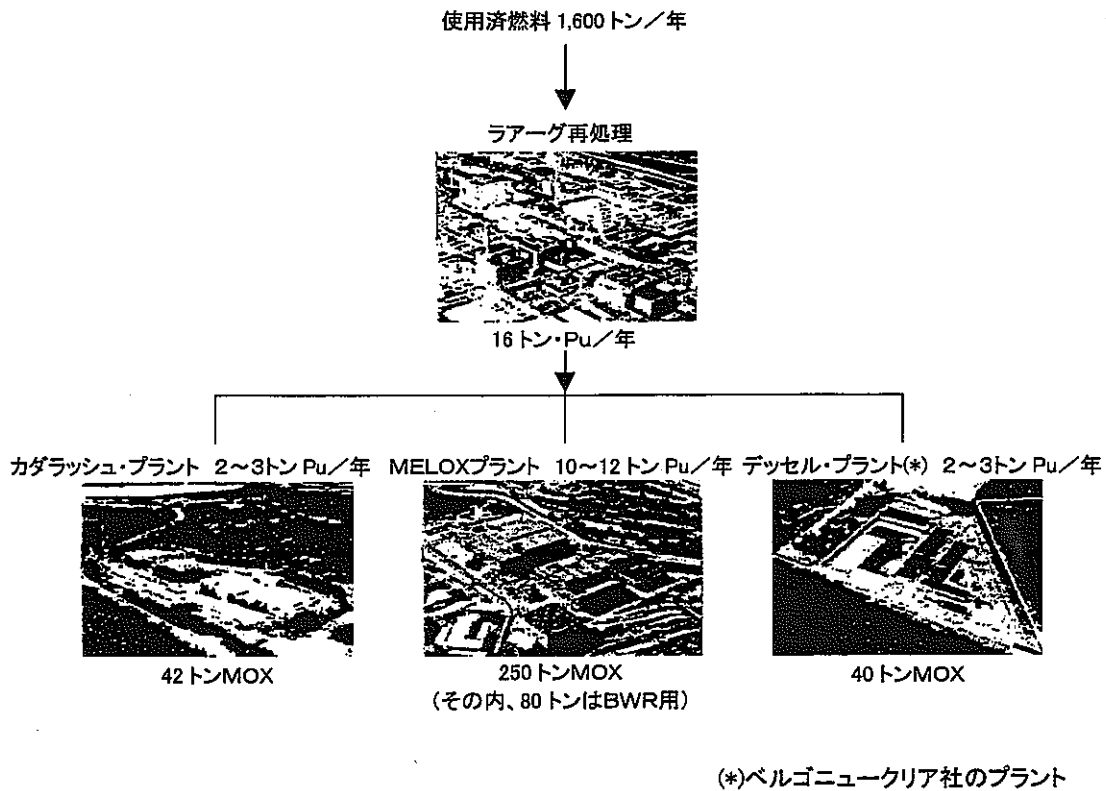
1999年7月30日、MELOX・MOX燃料加工プラントの増設（約30トン／年）を許可する政令（デクレ）が官報に発表された。しかし、MELOXプラント全体の生産量は今後も100トン／年に留められる。というのも、この政令はMELOXプラントの生産量の増大を許可するものではなく、BWR用MOX燃料を加工するためのプロセスの導入を許可するものだからである。MELOXプラントのルイ・フルニエ所長は8月2日に「まず、日本市場にMOX燃料を供給することが先決である」と強調した。

MELOXプラントは1999年にEDF用のMOX燃料集合体、233体を加工した。2000年には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。2000年の第1四半期における生産は25トン（25,000本以上）と報告されている。BNF

^(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。

LのQC問題以降、多重チェックが実施されているため、生産は抑えられているという。

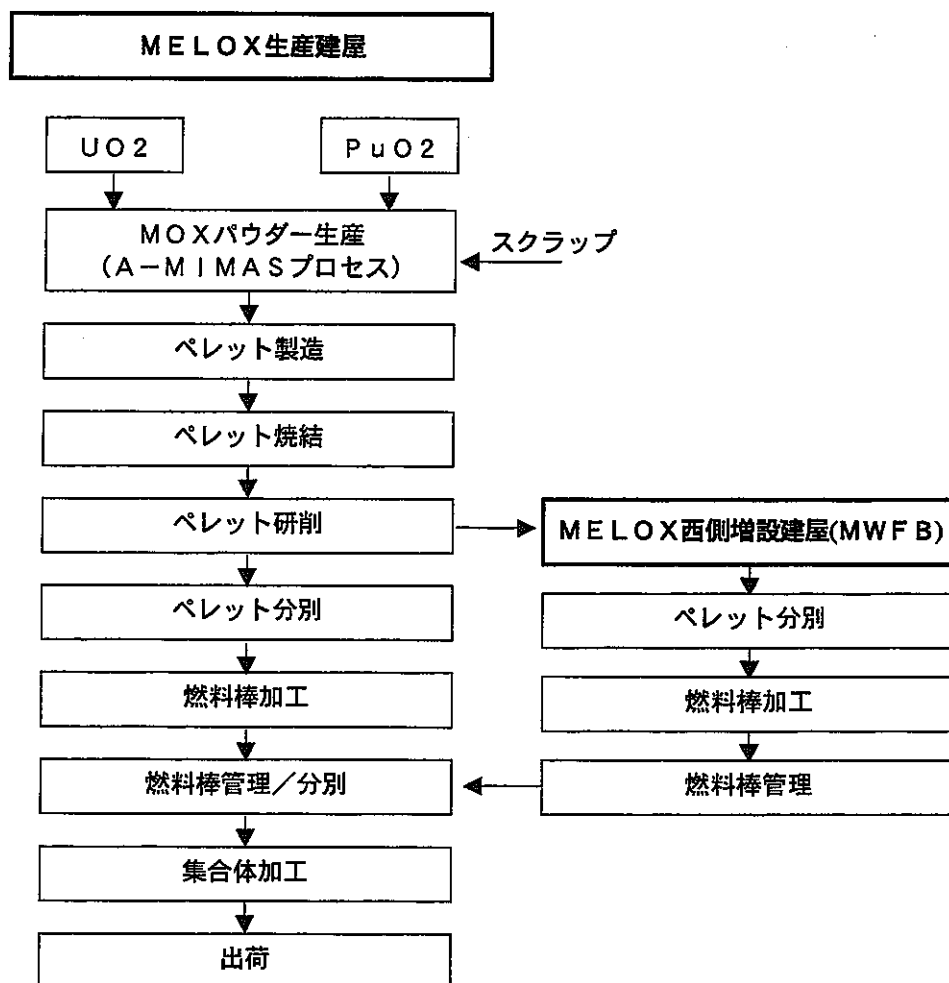
フランス国内におけるMOX燃料の消費に供給が追いつかない可能性が生じてくる。同国では現在、90万kW級PWR20基についてMOX燃料の装荷が許可されており、そのうち17基で既にプルサーマルが行われている。COGEMAはさらに、2010年には全58基のPWRのうち28基でMOX燃料を利用する方針である。この需要を満たすためには、MELOXプラントの生産能力を250トン/年に増大し、カダラッシュ・プラントを現行の40トン/年のまま維持し、ベルギーのデッセル・プラントを40トン/年に高める必要があるという。[第1.8図]に2000年代におけるCOGEMAグループのMOX燃料加工計画を示す。



【第1.8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1.9図】に、MWF B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1.9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（K f K）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（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) SPD/緑の党連立政権発足---新たな原子力政策へ

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---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年を経た現在、具体的な原子力政策を打ち出せずにいる。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11月末現在、延期された状態

となっている。しかし、仮に再開されたとしても、最大の争点である原子力発電所の総運転期間の制限問題を議論する前提として、これまで主張してきたように、バックエンド引当金への課税問題の解決を連邦政府に迫り、原子力発電所の総運転期間の制限問題に関する議論を遅らせる戦術に出ることも十分に考えられる。

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、シュレーダー政権は、脱原子力政策を打ち出そうと試みてはいるものの、進展はみられていない。その最大の原因は、脱原子力政策をめぐる政府内部のコンセンサスが得られていないことにある。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、また最近の世論調査では、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となっている。

シュレーダー首相は1999年7月初旬、脱原子力政策に関する法的問題を調査するため、政府内部に経済省、環境省、法務省、内務省の次官クラスの代表からなる作業グループを発足させることを決定した。検討されるのは、特に原子力発電所の運転期間の制限が憲法上可能かどうかであり、その検討結果は9月30日までに提出される予定である。シュレーダー政権が今後どのような原子力政策を展開するかは、この作業グループの検討結果が重要な意味を持つと考えられるが、それと同等以上に緑の党が今後どのような姿勢をとるかが重要になってくるだろう。

(6) 争点となっている原子力政策

1998年10月のシュレーダー政権発足後、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。

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きている。しかし、現在の社会民主党（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ていない。

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年を提案しているが、緑の党は35年は長すぎるとして30年以下を要求している。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ている。

わずか5年程度の差であるが、各陣営がこの期間に固執する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る。このため緑の党は、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る。

一方、電力会社から見れば、現政権の在任期間中に原子炉を閉鎖する理由は無い。連立与党は1999年2月のヘッセン州議会選挙や6月の欧州議会選挙で敗北し、世論調査では支持率

を大幅に落としており、次回の総選挙での再選は難しいとの見方も広がっている。仮に次回の総選挙で原子力推進政権が復活すれば、原子力からの撤退も白紙に戻され、原子炉を廃止せずに済む可能性も十分にある。

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パ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ている。

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ている。しかし、具体的な輸送再開の計画は立てられていない。このため、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、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。11月中旬までに、36体の使用済燃料集合体が貯蔵されている。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は、原子炉サイトにおいて2番目の中間貯蔵施設の許可手続きが進行中である。オブリッヒハイム発電所と異なり、使用済燃料集合体は水中には貯蔵されないが、カストールキャスクで貯蔵される予定である。ヴェストファーレン合同電力会社（VEW）は、130の貯蔵区域を有する長さ約110m、幅30mのホールを計画している。リンゲン市は1999年9月末、貯蔵施設に賛成した。反対意見提出の最終期限は10月1日で、公聴会は12月15日に予定されていたが、その結果はまだ報告されていない。

ネッカル共同原子力発電会社（GKN）は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。貯蔵施設は工場敷地の地下の岩層に建設される2つの坑道（全長140m、高さ16m）である。使用済燃料は、カストールキャスク（それぞれ200万マルク：1億2,000万円）の中に入れられ、この坑道で40年間貯蔵された後に、国内の最終処分場で処分することが可能になる。GKNによれば、この中間貯蔵施設は4～5年で完成し、そのコストは1億6,500万マルク（99億円）になるという。

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ており、今だ合意には達していない。

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ている。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の脱原子力協定

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。

RWE社のD・クアント会長は野党に対し、脱原子力協定を受け入れ、放射性廃棄物処分の問題の解決に向けて協力するよう要求した。同会長のこの意思表示は、明らかに原子炉サイト内の中間貯蔵施設の建設を拒んでいる州政府の政権を握る野党キリスト教民主・社会同盟（CDU／CSU）へ向けたものだった。

また、RWE社を含む大手電力4社は共同で発表したプレスリリース（6月15日付）の中で今回の協定について以下のコメントを発表した。

「電力会社は、原子力発電所の運転寿命に関する（今回の）協定を包括的なエネルギー・コンセンサスに置き換えることはできないとの見解を持っている。コンセンサスを再び作り上げることは政治の課題である。電力会社は、経済的理由や環境保護の観点から今後も原子力エネルギーをエネルギーミックスの一部に留めるべきと確信している。更に、ドイツの放射性廃棄物処分計画の調整を巡り、政治的な合意形成が必要である。それゆえ電力会社は連邦政府に対し、この問題に関して州政府と対話を開始するよう要求した。」

今回の脱原子力協定について、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ているが、世論調査では国民の支持が多いことが示されている。

シュレーダー首相は6月29日の連邦議会で、今回の脱原子力協定が公正なものであることを強調し、野党にこの協定を受け入れるよう要求した。しかし、コール前政権時代に連邦環境大臣を務めた野党キリスト教民主同盟（CDU）のメルケル党首は、連邦政府が電力会社に協定を受け入れるよう圧力をかけたと非難、CDUが2002年の連邦議会選挙で勝利して政権を奪回した場合は、今回の協定を白紙撤回させると述べた。

一方、ドイツ国民は今回の脱原子力協定に好意的である。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。

同協定に基づき、実際にドイツが原子力発電所の段階的廃止を進めた場合の代替電源の候補として考えられているのは、再生可能エネルギー、石炭、天然ガスである。しかし、いずれもドイ

ツの1/3の電力を賄う原子力発電の代わりとしては不十分であり、最終的には国外からの輸入電力が増大するとの見方が支配的である。

同協定の内容は、脱原子力協議に参加しなかった電力会社および関係する全ての電力会社の株主の承認を得た後、改正原子力法に反映され、立法化される予定である。2000年9月頃に改正案の作成が完了したことが報じられ、連邦議会の通過は2001年中頃と見通されている。しかし、ドイツでは現在、連邦参議院で原子力推進派の野党CDUが多数の議席を占めており、これが立法化にあたっての障害になる。しかし、この改正案に詳しいBMUの関係者によれば、原子力発電が主に連邦政府と中央規制当局であるBMUの問題であるとの連邦政府の主張には確固たる根拠があることを法律専門家がシュレーダー首相に示しており、改正原子力法を成立させる上で連邦参議院の3分の2の承認を得る必要は無いという。

しかしBMUは、連邦参議院が2000年秋に原子力法の改正案について異議申立てを行うと見ている。BMU関係者によれば、法律の変更点について問題あるいは異議を提起し、法律の規定を議論して妥協可能な表現を提案するための「調停委員会」を複数の州政府が連邦参議院に発足させる可能性があるという。政府関係者によると、連邦参議院での議論の結果、調停委員会の設置が要求された場合でも、調停委員会には連邦政府に対して改正案の原文を変えさせる強制力は無く、政権を担う緑の党と社会民主党（SPD）は連邦議会で多数決で改正原子力法を成立させることができるという。BMU関係者の一人は「連邦参議院は改正原子力法の成立を引延ばすことはできるが、同法を廃案にすることはできない」と述べている。

いずれにせよ法案が成立した場合でも、現政権の任期が切れる2002年秋までには原子炉は1基も廃止されない見通しである。電力会社が脱原子力協定を受け入れたとはいえ、依然として原子力発電所の維持を望んでいることから、もしCDUが次の連邦議会選挙で政権をとれば、今回の協定は白紙撤回される可能性が高い。

一方、電力会社側からは、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。シュターデはオプ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年運転）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）を回避する予定である。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）。

シュターデ発電所の労働者340人を代表する公共事業&輸送労働組合（OeTV）は、E.ON社が10月初めにロシアの系統運用者と150万kWh/日の電力購入契約を結んだことを指摘し、シュターデの電力を輸入電力で代替する決定を下したと同社を非難した。

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

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、ブルンスビュッテル、ネッカル、フィリップスブルクそしてビプリスの各発電所は1999年12月に、グラーフエンラインフェルト、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に申請している。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・アーグ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・アーグに貯蔵されているHLWのゴルレーベンの輸送を許可したと発表したことで、この問題は解決される見通しである。

(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

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が厳しい状況に追い込まれている。BMUの関係者と産業界消息筋によれば、BMUは現在、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という。例えば、ピプリス、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という。

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、20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年に新たにMOX燃料装荷が実施された原子炉はイーザル2号機とネッカル2号機である。[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。

[第2.1表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷状況
(1999年中頃現在)

| 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) |
| ビブリスB (KWB B) | 1977 | 1,240 | 申請中 | |
| ウンターベーンザー (KKU) | 1979 | 1,285 | ○ | ○ |
| グラーフェンラインフェルト (KKG) | 1982 | 1,275 | ○ | ○ |
| フリッパースブルク 2 (KKP 2) | 1985 | 1,358 | ○ | ○ |
| グロント (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 | ○ | ○ |
| ネッカル 2 (GKN 2) | 1989 | 1,269 | ○ | ○ |
| BWR | | | | |
| ブルスビュッテル (KKB) | 1976 | 771 | 申請中 | |
| フリッパースブルク 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) 1982年にMOX装荷されたが、現在では装荷は行われていない。

また、1999年4月の国会答弁において政府から、ドイツの原子炉における1999年2月現在の炉内のMOX装荷の状況が〔第2.2表〕のように明示された^(注3)

〔第2.2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 | | | |
| オブリッヒハイム | ○ | ○ | 8 |
| フィリップスブルク 1 | × | — | |
| フィリップスブルク 2 | ○ | ○ | 40 |
| ネッカー1 | ○ | × | 0 |
| ネッカー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・ケールリッヒ | × | — | |
| シュレスヴィツヒ・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

(注3) Deutscher Bundestag, Drucksache, 14/747, 1999.4.12.

(2) MOX燃料調達

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。欧州の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。グンドレミンゲン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) 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、1999年春現在の炉内のMOX燃料集合体数は124体、累積体数は128体となっている。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。

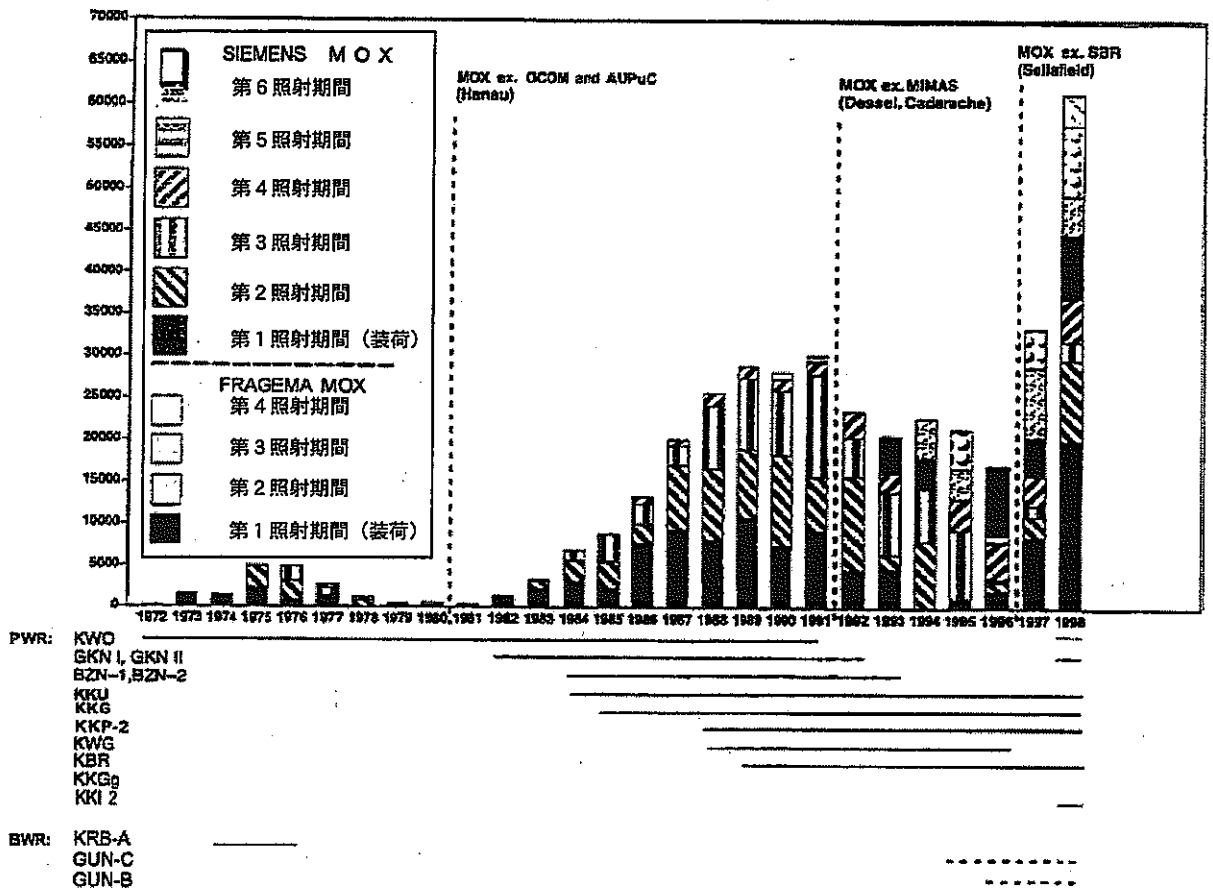
すべてのMOX燃料集合体は、ウォーターロッド1本、ウラン/カドリニウム燃料棒12本、MOX燃料棒68本で構成され、MOX燃料棒は6つの異なるプルトニウム富化度が用いられている。最初に製造された16体のMOX燃料集合体の平均プルトニウム富化度は2.2%Pu fiss.で、集合体の核分裂性プルトニウムの量は約4kg Pu fiss./集合体である。その後に製造されたMOX燃料集合体の平均プルトニウム富化度は全て、3.0%Pu fiss.（約5kg Pu fiss./集合体）となっている。また、混合ウランは劣化ウランに変えられた。集合体中のMOX燃料棒のプルトニウム富化度は1～6%の幅にあり、使用さ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。

グンドレミンゲン発電所では、これまでのMOX装荷運転の良好な成績を受け、2000年から10×10型MOX燃料集合体の装荷が予定されている。

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。

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) 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(F A)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。

ウォーターベージャー、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・F A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。

(2) 濃縮度4.0%までのUO₂燃料に相当するMOX・F A

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・F A 8体が装荷された。この14×14型MOX・F A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・F A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・F A(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・F A(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。

(3) 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。

(4) 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 (E P R) 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。

その他のシーメンス社の燃料加工事業で興味深いのは、再処理から生じる回収ウラン（REPU）とロシアの余剰高濃縮ウラン（HEU）を混合した燃料の供給である。シーメンス社はハナウ燃料加工工場が閉鎖された1994年から、ロシアとの協力の下、REPUをロシアで余剰となっている軍事用のHEUの希釈材として利用し、西側向けの軽水炉燃料を加工する事業計画の検討を開始した。そして1999年8月になって、シーメンス社とロシアのOAO MSZ社は、同燃料をスウェーデン、ドイツおよびスイスの電力会社に5年間にわたって、年間30～50トン供給する契約を取り交わしたことを発表した。HEUの希釈材となるREPUはドイツ所有のもので英国とフランスからロシアへ送られるという。

ドイツ情報筋によると、燃料1トン当たり30～40kgのHEUが使用され、HEUはロシア原子力省（MINATOM）の在庫からロシアが供給し、電力会社に直接売却されるという。シーメンス社の供給する燃料構造部材を用いて、MSZ社は5年間で合計約150トンの軽水炉用低濃縮ウラン（LEU）燃料を欧州に供給する。同燃料が供給される予定のドイツの原子炉はブロックドルフ、オブリッヒハイム、ネッカルおよびウンターペーザーで、全てPWRである。スイスではゲスゲン（PWR）とライブシュタット（BWR）、スウェーデンでは1基の原子炉に供給される予定である。REPUは、仏核燃料公社（COGEMA）のラ・アーク再処理工場でドイツの使用済燃料から分離されたものがMSZ社に輸送され、HEUと混合される。

1996年に、ドイツのオブリッヒハイム発電所向けの4体のPWR集合体（14×14型）が初めて加工された。そして、1997～1998年に、合計28体の集合体がオブリッヒハイムへ送られ、燃料交換され、1999年には28体が同発電所用に加工された。

1998年に15×15型PWR集合体の品質認定が行われ、スイスのゲスゲン発電所向け燃料集合体として、4体が加工された。2000年春には、32体の同集合体がゲスゲンに納入され、その内4体が2000年7～8月の運転停止期間中に装荷された。なお、この時の交換集合体は合計44体で、残りはMOX燃料集合体20体、UO₂燃料集合体20体であった。

1999年から新たに16×16型PWR集合体の品質認定が行われ、18×18型PWR集合体とアトリウム-10型BWR集合体の加工のための準備も開始された。2000年中には、これらの集合体の品質認定が完了し、ドイツとスウェーデンの4カ所の発電所に燃料集合体が送られる。

シーメンス社によれば、同燃料の価格は UO_2 燃料と同等で、5年間に約6トンのHEUが希釈され、濃縮度4.5～5.0%のLEU燃料として欧州の原子炉に装荷されるという。また、MSZ社は、燃料加工能力を100～150トンに増加することが可能であると述べている。

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^(註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^(註4)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つては、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

^(註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ると考えられる。

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。

政府関係者からの情報によると、政府内でのプルトニウムの取扱いに関する見解の違いが、特別委員会の報告書への回答を政府が遅らせる最大の原因だという。環境保護に重点を置く立場の人達は、プルトニウムは廃棄物であり、そのプルトニウムを生み出す使用済燃料の再処理は中止すべきと考えている。逆に、原子力産業の保護や将来のエネルギーに重点を置く人には、プルトニウムは容易に捨て去れるものではない。この他、プルトニウム在庫の管理政策が明確にされるまで、プルトニウム処分について公言すべきでないと考えている人もいるという。

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、2000年12月初め現在に至ってもそのような動きは見られない。英国筋からの情報では、環境省が2000年末までに協議用文書を発行する可能性も残されているという。しかし、その後の公衆からのコメント期間（6か月）、政策報告書の発表から再度のコメント収集、そして最終的な白書の発行までを考えると2年以上を要する。

一方、政権を担っている労働党にとって、この時期に新政策を発表することは政権運営という点でタイミングが悪くなってきている。次回の総選挙は2002年に開催される予定であるが、労働党の支持率の推移を踏まえて実施を2001年に前倒しすべきとの意見があるという。労働党は1997年の政権発足以来、ブレア首相の人気もあり常に50%以上の支持率を維持してきたが、2000年9月の世論調査における労働党の支持率は34%に落ち込み、保守党の支持率を初めて下回った。

支持率の低下は石油製品の高率課税に対する大規模な抗議デモが行われたことを引き金に、労働党政権に対する国民の不満を示していると見られている。ブレア首相個人に対する国民の満足度も低下傾向である。2000年11月の世論調査では、再び労働党の支持率が保守党の支持率を上回ったが、以前ほどの圧倒的な支持はない。このような状況で議論の多い放射性廃棄物の問題について決定を下すことは選挙戦略上好ましくないと考えられる。結局、この問題は選挙後

まで先送りされる可能性も高く、そうであれば、英国の原子力政策は当面停滞しそうである。

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。

(2) 運転許可申請とEAの承認

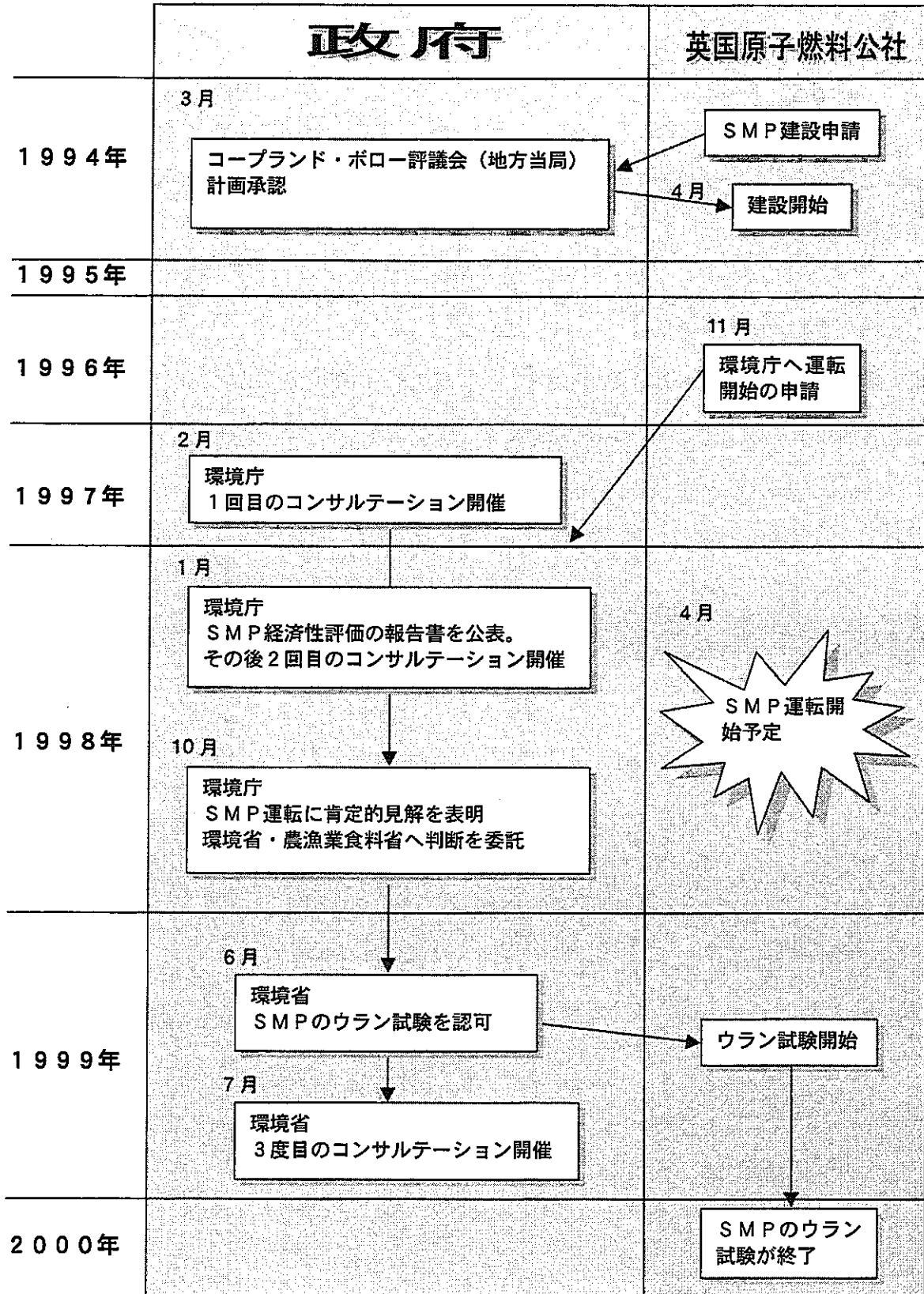
BNFLは商業運転に関する認可を得るため1996年11月、EAに申請を行った。計画ではウラン酸化物を用いたホット試験を皮切りに、プルトニウムの使用へと段階的に試運転を進め、1998年4月に本格操業を開始することが予定されていた。当時、BNFLはウラン試験が順調に行われても自動的に次の段階に進まず、別の認可を取得するものとし、仮にウラン試験を行った後でSMPの運転を認めないという決定が下された場合は、プラントを除染して試験前の状態に戻すことが可能であるとしていた。

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。SMP運転に関するこれまでの経緯を〔第3.1図〕にまとめた。

[第3.1図] SMP運転に関するこれまでの経緯



(3) 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。

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。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。

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

SMPのウラン試験は約9か月を要すると見積もられており、2000年に終了する予定である。

(4) パブリック・コンサルテーションの開催

SMPの運転に関する3度目のパブリック・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を下すつもりである。

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

^(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.

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」と述べている。

(5) 地球の友 (FOE) によるSMPの経済性評価

SMPの運開に関するパブリック・コンサルテーションはこれまで1997年と1998年に1回ずつ開催され、今回の3度目のコンサルテーションでは2回目と同様、経済性が争点とされ、関係各位からの意見が7月23日まで募集された。

政府は現在、寄せられた意見を検討しているが見られているが、1999年11月末現在、まだ公表されていない。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。

(注10) ANALYSIS OF THE ECONOMIC CASE FOR THE SELLAFIELD MOX PLANT⁷, Fred Barker, Mike Sadnicki and Gordon MacKerron, July 1999.

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

【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、報告書は以下のように結論付けている。

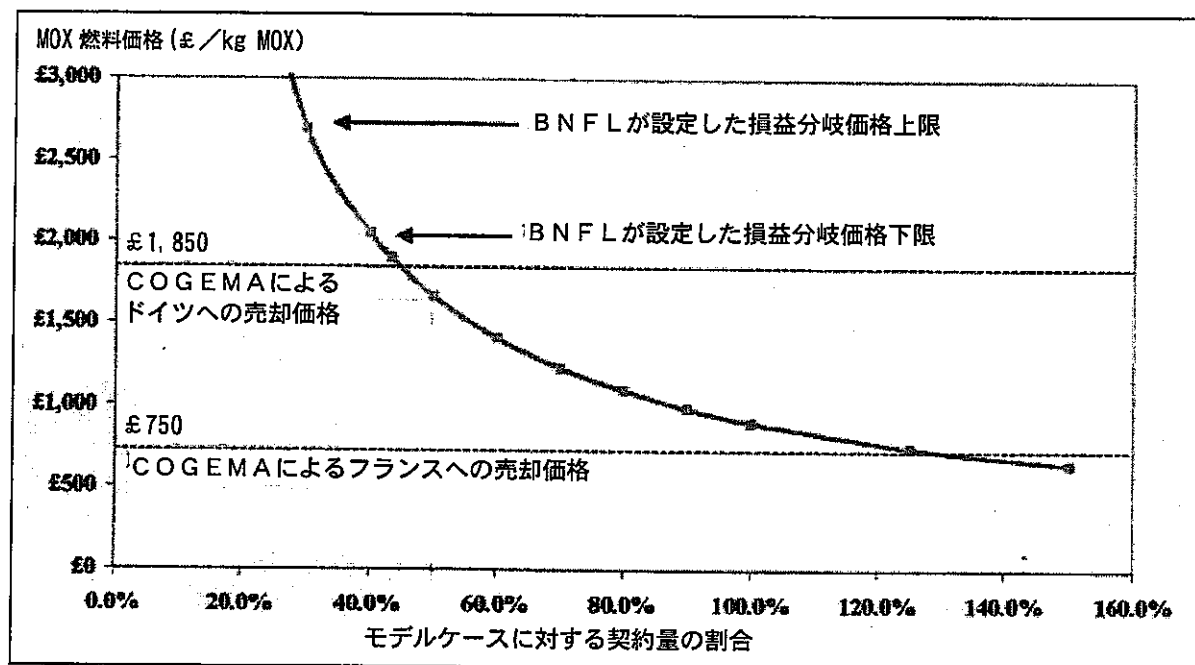
- ① BNFLが約2,000ポンド/kg MOX（36万円/kg MOX）という比較的高い値段でMOX燃料を売却できれば、モデルケースの50%～60%の契約量で1億ポンド（180億円）

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3.2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 3.2 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。

(6) SMP運開の見通し

SMPのプルトニウム試験および本格的な運開に関する政府のコメントは2000年12月現在出されていない。仮に政府がFOEの意見を聞き入れプルトニウム試験を認可しない場合、BNFLが何らかのアクションに出る可能性が高い。BNFLは1999年9月に公表した1998年度の年報の中で、現在までに至るSMP運開の遅れにより2,100万ポンド(37億8,000万円)の損失を被っていることを明らかにした。さらにスケジュールが遅れば、経済的損失が増えるのは明白である。BNFLには、被った損害を補償してもらうために政府を提訴するという選択肢もある。

BNFLが政府を訴えた場合、争点になるのはSMP運開の経済的正当性になる。すでに施設が建設されているのだから、その運転に関する経済的リスクを負うのはBNFLであり、つまり、決定権はBNFLにあるというのが彼らの言い分である。

一方、政府がSMPのプルトニウム試験を認可すれば、今度は環境保護団体が黙ってはいない。FOE関係者によると、FOEはSMPの運転中止を求める訴訟を起こす準備をしているという。BNFLが訴訟を起こそうが、FOEが起そうが、計画されているBNFLの部分的民営化に悪影響を与えることは明らかである。

(7) MOX実施施設(MDF)におけるデータ偽造問題

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」と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たが、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。

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。MOX実証プラント（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。

^(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.

N I I 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N I I 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。

N I I 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、N I I 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。N I I 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。

燃料の安全性に関して、N I I 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

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

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、1999年9月以降に発覚した混合酸化物(MOX)燃料に関する一連の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。

^(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.

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運開にとっては肯定的な要素となるであろう。BNFLのN. アスキュー社長は9月に、日本とのMOX燃料契約が締結されなければ、SMPは運開できないであろうと述べていた。

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ェジビリティ・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。

このように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年で廃止するものである。新政府が提示したシナリオによれば、原子力発電所の運転期間を40年まで認めることによって、“再生可能でクリーンかつ大規模”な代替電源の開発に必要な時間を確保できるという。

しかし、ベルギーの発電電力量の55%以上を賅っている原子力を全て再生可能エネルギーで代替することは不可能であり、天然ガス火力の大規模な導入が必要になると予想されている。そうすれば当然、地球温暖化の原因となる二酸化炭素（CO₂）の排出が増大するという問題が発生する。ベルギーは京都議定書に基づき、CO₂の排出を2012年までに1990年比で7.5%削減することを目標としているが、現状のままでは目標達成は不可能との見方もある。このような状況のもとで、2015年に原子力発電所の廃止を開始すれば、ベルギーのCO₂削減計画の実現はさらに困難になるといえる。

ベルギーの原子力産業界は、新政府が打ち出した脱原子力政策を地球温暖化防止の目標と相反するものとして厳しく批判している。また、原子力発電所の運転期間を40年に制限する技術的理由は何ら存在せず、原子力発電所は経済的で競争力のある電源であると主張している。一方、原子力からの早期撤退を求める環境保護団体は、原子力発電所の長期運転を認める政策の不徹底ぶりを問題視している。このように、各方面から批判を浴びている新政府の脱原子力政策であるが、現時点では原子力発電からの撤退を法制化する動きもなく、撤退は現実性に欠けている。

さらに、ベルギー政府は、デハーネ前政権によって設置された専門家委員会（アンペール委員会）の成果報告書の内容次第で、脱原子力政策の再考を余儀なくされる可能性が十分にある。16

名の電力の専門家から構成されるアンペール委員会の任務は、21世紀の社会と経済、環境の要請に基づき、ベルギーにおける将来の発電オプションに関する勧告と提案を報告書にまとめ、2000年10月までに経済省エネルギー庁に提出することであったが、報告書の提出は遅れており、2000年12月初め現在、発表されていない。しかし、同報告書がベルギーの政策決定者にとって重要な参考材料となることは確実である。

アンペール委員会は原子力オプションの評価にあたって、特に放射性廃棄物問題を重視することを任務としている。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。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。19

98年には両機に各々8体が装荷された。1999年と2000年におけるMOX装荷実績は以下の通りである。

・ドール3号機

1999年5月---MOX8体装荷

2000年5月---MOX8体装荷

なお、2001年には5月にMOX8体を装荷の予定である。

・チアンジュ2号機

1999年---未装荷

2000年3月---MOX8体

なお、2001年には8月にMOX12体を装荷の予定である。

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・レンジ等）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、 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UO₂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。

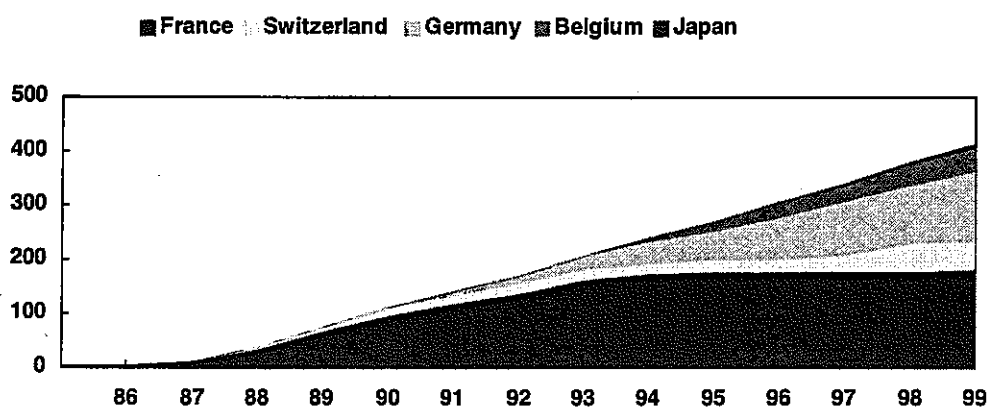
- ① 停止裕度の低下を避けるために、制御棒に近いところにMOX燃料集合体は配置しない。
- ② MOX燃料の出力を測定するために、各サイクルにおいては、少なくとも1体のMOX燃料集合体を計測可能な位置に置く。
- ③ 出力分布異常を是正するための十分な裕度を保つために、第1サイクルのMOX燃料集合体は、余りホットな位置に置かない。

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、1999年末現在で422.4トンのMIMAS・MOX燃料（このうち、PWR集合体は796体、BWR集合体は184体）を生産した。消費されたプルトニウムは23トン以上に上る。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。

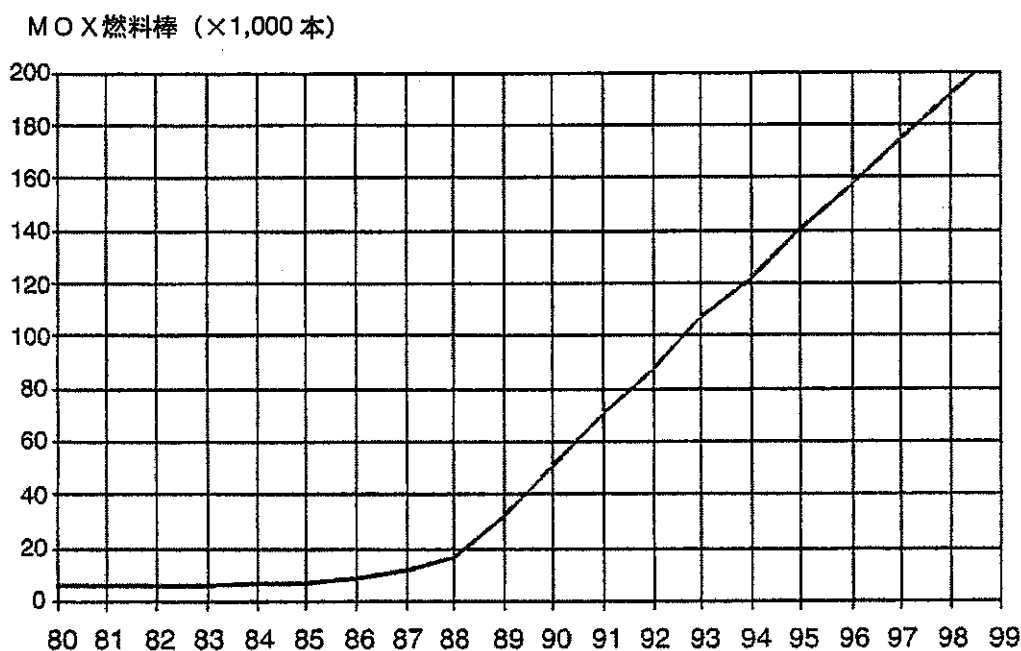
- ① フランス（EDF向け17×17型PWR燃料）
- ② ドイツ（16×16型PWR用 [ブロックドルフ、ウンターペーザー、グラーフェンライ
ンフェルト、フィリップスブルク]、9×9型BWR用 [グンドレミンゲン]）
- ③ スイス（14×14型PWR用 [ベツナウ1]、15×15型PWR用 [ゲスゲン]）
- ④ ベルギー（17×17型PWR用 [ドール3、チアンジュ2]）
- ⑤ 日本（東京電力向け8×8型BWR燃料）

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



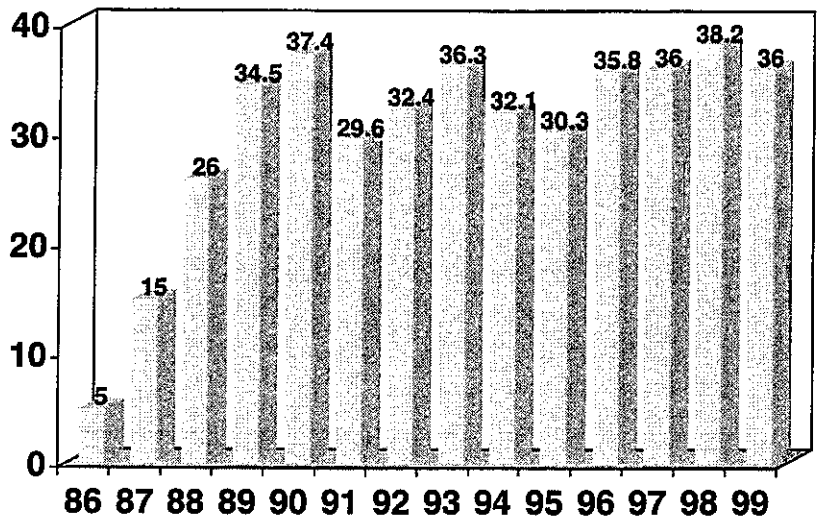
[第4.1図] ベルゴニュークリア社の供給国毎の
MIMASプロセスによるMOX燃料加工実績
(1986～2000年)

出典：ベルゴニュークリア社資料、2000.05



| | | |
|-------|----------|-----------------------|
| 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)



[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
(1986~1999年)

出典：ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

[第4.1表] ベルゴニュークリア社製MOX燃料の納入先一覧
(1987～2000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 |
| 合計 | | | 62 回 |

出典：ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

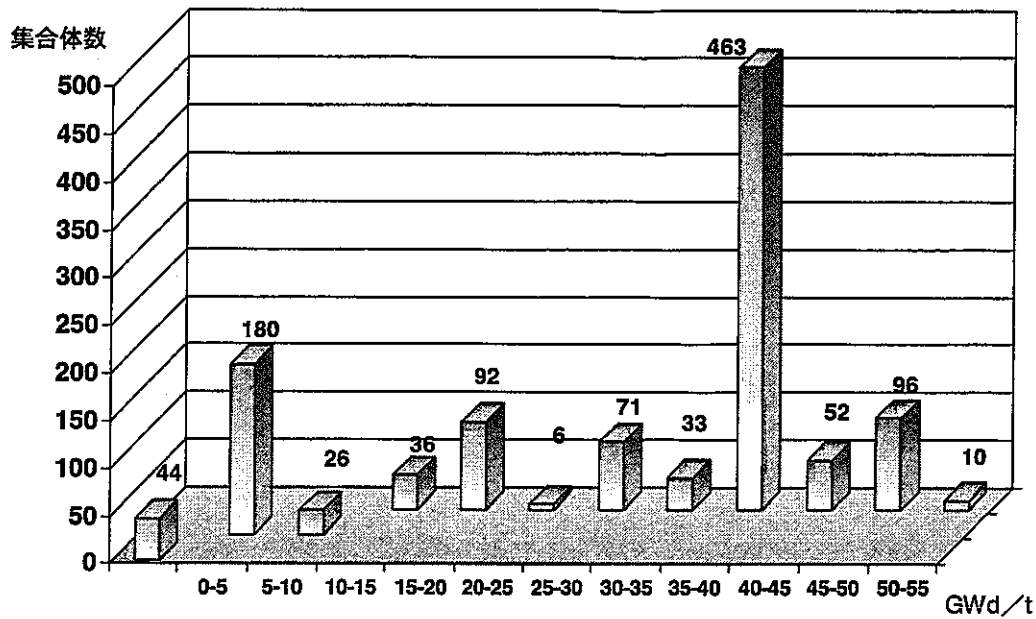
1999年末現在、BN社のデッセル・プラントで加工可能なMOX燃料の仕様は以下の通りである

[第4.2表] MIMASプロセスによるMOX燃料加工（試験済）の仕様

| 項 目 | 仕 様 |
|---------------------|---|
| 累積MOX燃料加工量 | 422.4tHM |
| ・PWR燃料（体数） | 796 集合体 |
| （型式） | 14×14、15×15、16×16、17×17 |
| ・BWR燃料（体数） | 184 集合体 |
| （型式） | 8×8、9×9、10×10 |
| MOX燃料設計（認定企業） | BN社、フラジエマ社、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8.7% |
| 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 |
| 被履管材料 | SS304、Zr4、Zr4duplex、Zr2、Zr2/Zr liner、Zr2/Fe doped liner |

出典：ベルゴニュークリア社資料，2000.05.

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、1999年4月にベルギーのPWRから取出されたMOX燃料の燃焼度は46,000MWd/t以上であった。ドイツにおいても、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4.3表] に、2000年10月1日時点で予想される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1日現在の予想)

出典：ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

[第4.3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 (2000年10月現在の予想)

| サイクル数 during 1 cycle | 集合体数 | | | | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 6 | | | | 1 (51 GWd/t) | |
| 5 | | 1 (51 GWd/t) | | 17 | 12 (50GWd/t) | |
| 4 | | 3 (44 GWd/t) | 8 (46 GWd/t) | 80 (48 GWd/t) | 42 | 8 (41GWd/t) |
| 3 | 8 (27.5 GWd/t) | 376 | 36 (48 GWd/t) | 36 | 8 (52GWd/t) | 40 |
| 2 | 8 | | 20 | 20 | 20 (36 GWd/t) | 40 |
| 1 | | | 16 | 16 | 32 | 24 |
| ↑ ↓ | | | 16 | 28 | 32 | 104 |
| | フランス PWR SS clad | フランス PWR Zr4 clad | ベルギー PWR Zr4 clad | ドイツ PWR Zr4 clad | スイス PWR Zr4 clad | ドイツ BWR Zr2 clad |

出典：ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

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。

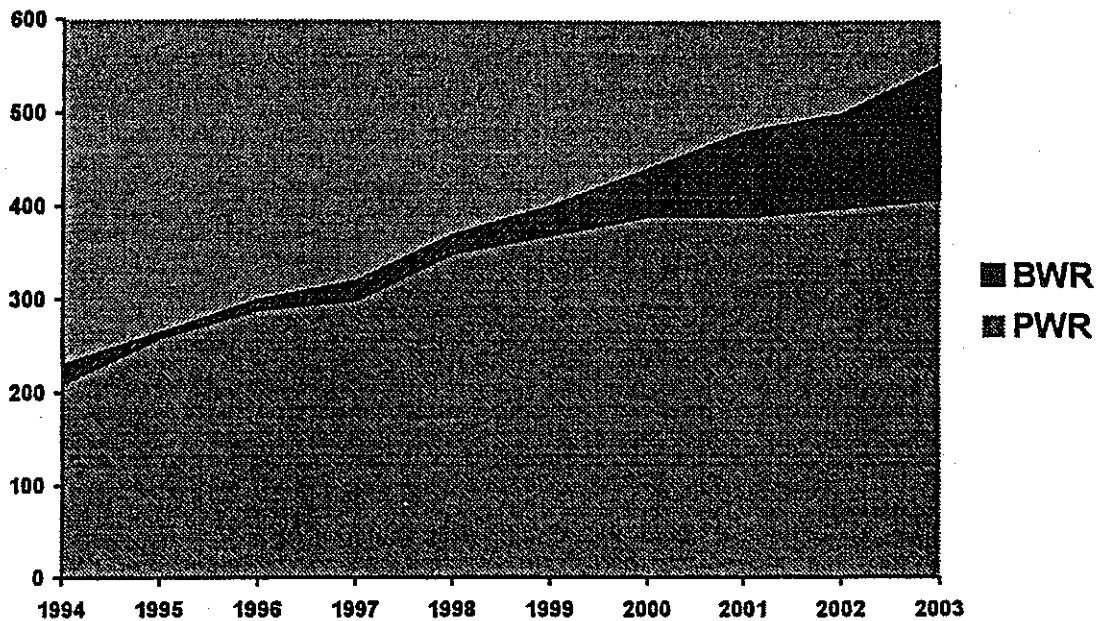
このような展開の中で新たに課せられる制限を満足するために、MOX燃料加工プラントを以下のように改善していかなければならないとBN社では考えている。

- 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立ち立てられ、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。

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 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,BN) | |
| 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esting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esting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。1998年9月時点での両機のMOX燃料装荷実績は152体と報告されている^(注18)。他、ベツナウ2号機では1998年にBNFL社製MOX燃料4体、1999年7月にベルゴニュークリア社製MOX燃料8体が装荷されたことも報告されている^(注19)。2000年におけるMOX装荷実績は以下の通り。

^(注18) A.Stanculescu(Paul Scherrer Institute), "Some Experience from Introducing MOX Loadings in Swiss Nuclear Power Plants", OECD/NEA Workshop, Paris, 1998.9.28-30; 1998 スイス原子力施設安全本部(HSK)年報

^(注19) Nucleonics Week, 1999.10.28.

・ベツナウ2号機

2000年7月――MOX4体（ベルゴニュークリア社製）装荷

（7月1～16日の停止期間中に、UO₂燃料集合体16体と共に合計で20体装荷）

・ベツナウ1号機

2000年――未装荷

（7月21日～9月末までの停止期間中に、4分の1炉心分のUO₂燃料が交換された）

（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。続いて1998年に20体が装荷され^(注14)、1999年も20体が装荷された。2000年における装荷実績は以下の通り。

・ゲスゲン発電所

2000年7/8月――MOX20体装荷

（7月8日～8月6日の停止期間中に、UO₂燃料集合体20体、回収ウラン燃料4体と共に、合計44体の燃料集合体が装荷された）

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 |

ベツナウ発電所では2000年初めに、英国原子燃料公社（BNFL）製MOX燃料の品質保証について疑惑が生じ、北東スイス発電会社（NOK）とHSKはこの問題を調査するため、2000年2月末と3月初めに専門家を英国に派遣した。また、HSKはNOKに対して、BNFLが英国の原子力施設検査局（NII）の課した所定の要件を満たすまではMOX燃料を発注しないよう要求した。

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。

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ゲ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、ゲスゲン発電所）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。

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くとした。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SV AFO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。

R-1用使用済燃料は性質上、現状ではスウェーデンの使用済燃料管理システムに馴染まない。また、燃料中に含まれるPuの組成は、核分裂性のPu-239が97.4%、非分裂性のPu-240がと、国際的に“超兵器級”と称されるPuの基準比率を上回っている。SKIは、R-1用使用済燃料の今後の処遇に関して中間貯蔵と再処理の2つの代替案を検討した結果、再処理計画を実施すれば兵器級Puを原子炉級Puに変換できる上、最終的な生成物はスウェーデンで管理が可能であるとの見解を示した。

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。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ている。

まず、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）に提示するよう命じるべきであると提言している。一方、SVAFOに関しては、SKIに以下の4点を証明することを発給の条件とするよう求めている。

- ・ OKG社とSVAFOの間で、R-1用使用済燃料で回収されたプルトニウムをOKG社が引き取り、MOX燃料としてスウェーデンに再輸入してオスカーシャム発電所に装荷するという拘束力のある協約が結ばれていること
- ・ 計画の各段階における安全対策、放射線防護対策が示され、それが英国、スウェーデン両国の規制当局によって認可されていること
- ・ 回収ウランに関しても、放射線防護上、適切な管理がなされていること
- ・ 返還廃棄物が、質・量の両面からスウェーデンの最終処分コンセプトに合致するものであること

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、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。

SKIのノールビー廃棄物・使用済燃料部長によると、R1研究炉の使用済燃料は兵器級プルトニウムを含有する上、貯蔵状態が劣悪で漏洩の危険性があるという。BNFLへの再処理委託が不可能になった場合、電力会社の子会社で同炉の使用済燃料を管理するSVAFOは代替案を提示しなければならない。しかし、同社はBNFLへの再処理委託が最善策であると主張しており、ノールビー部長も適当な代案が無いことを認めている。

環境省で核燃料と放射性廃棄物問題を担当するウンガー氏は、MOX加工へのBNFLの問題の影響は避けられないとの認識を示し、オスカーシャム発電所の使用済燃料から回収されたプルトニウムの処遇に関し、ベルギーのデッセルにあるベルゴニュークリア社のMOX燃料製造プラントに輸送し、MOX燃料に加工するという案が浮上していると述べた。

OKG社とSVAFOの許可申請は当初、政府決定が1999年中に下される予定であったが、2000年12月初め現在、進展は見られない。スウェーデン筋によると、環境省には政府決定案があり、2000年12月中には政府から何らかの決定が下される模様である。

2. MOX燃料加工、再処理に関する 計画および実績

今回の報告書は2000年度の第3回四半期報告であるので、1999年度年次報告書（2000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**
(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

| 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 (ウラン試験中) |
|--------------------|---|---|--|--|--|---|---|
| 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 島県 マカール | ドイツ - モンテッセル | 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 | 1999年~2000年 (予定) |
| 設備能力 (ト・重金属/年) | 40 | 100(115ト・酸化物) | 35 (許認可上は 40) | 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トンが加工されたが、40 トンの生産も可能。 | 1995年3月に最初のMO Xパウダーを生産し、1996 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 100トン以上が生産された。 1998年は10月未現在、約89 トンが生産された。 MELOX西側増設建屋 (MWF B : 約30トン/年) が1999年7月に許可され、 BWR用燃料の加工が可能に なったが、許容量は100ト ン/年のまま。 | 1999年末までの生産量は 432ト、そのうち、MIMAS プロセスによるものは422 トン。集合体の組立は、FB FC社が実施。 | 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 画の策定開始。 | 1992年1月に締結された 北東スイス発電会社 (NO K) との契約に基づいて、運 開後数年間、ベツナウ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ト以上のMO X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、2000年に 同試験を終了。プルトニウ ム試験の許可待ちの状態 である。 |
| 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。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。 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>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</p> </div> | |

【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 | チェリャピンスク | R T-1 (施設内) | | | 10 | 10 |
| | チェリャピンスク | 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 | <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7.5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)

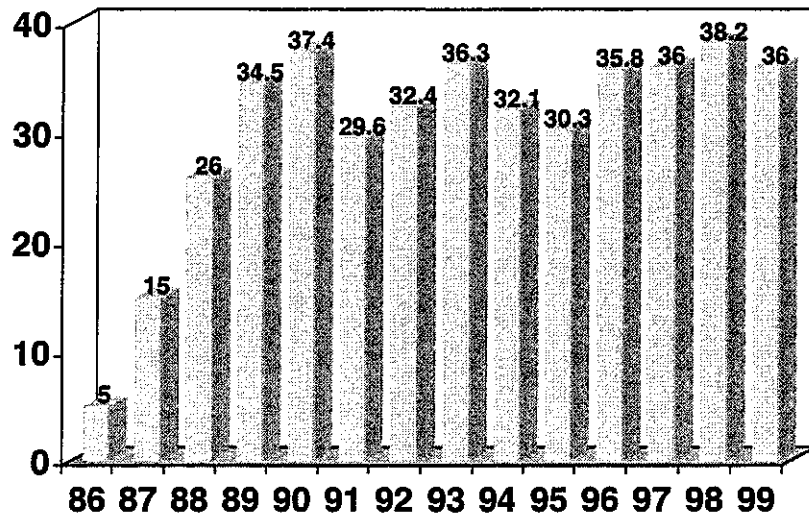
| | 1991年 | 1992年 | 1993年 | 1994年 | 1995年 | 1996年 | 1997年 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 設備容量 (tM) | (生産開始) | 15 | 15 | 20 | 30 | 30 | 35 |
| 生産量 (tM) | 2.3 | 8.7 | 15.3 | 21.2 | 31.6 | 約25 | 32 |

【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

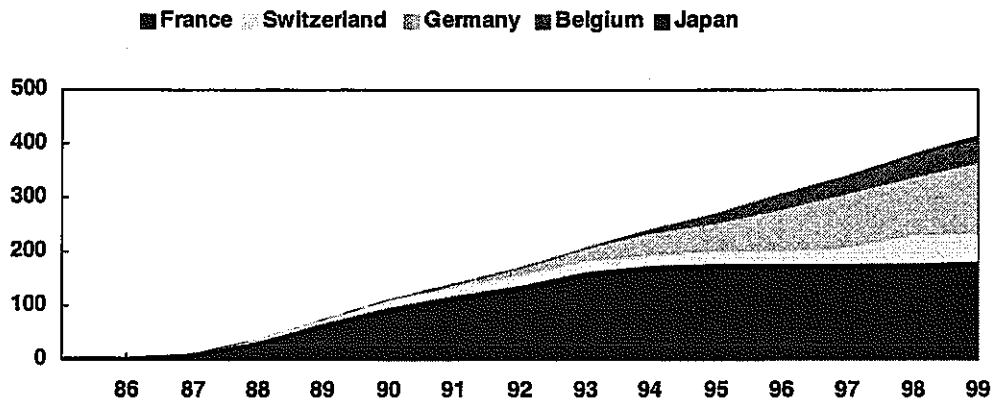
| 項 目 | 仕 様 |
|---------------------|---|
| 累積MOX燃料加工量 | 422.4tHM |
| ・ PWR燃料 (体数) | 796 集合体 |
| (型式) | 14×14、15×15、16×16、17×17 |
| ・ BWR燃料 (体数) | 184 集合体 |
| (型式) | 8×8、9×9、10×10 |
| MOX燃料設計 (認定企業) | BN社、フラジェマ社、シーメンス社、東芝/日立、JNF社 |
| MOX燃料加工キャンペーン規模 | 4～29tHM/キャンペーン |
| キャンペーン毎のPu富化度の種類 | 3～6種類/キャンペーン |
| ペレット中のPu total 富化度 | 最大 8.7% |
| 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 |
| 被履管材料 | SS304、Zr4、Zr4duplex、Zr2、Zr2/Zr liner、Zr2/Fe doped liner |

【出典】 ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.



[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
(1986～1999年)

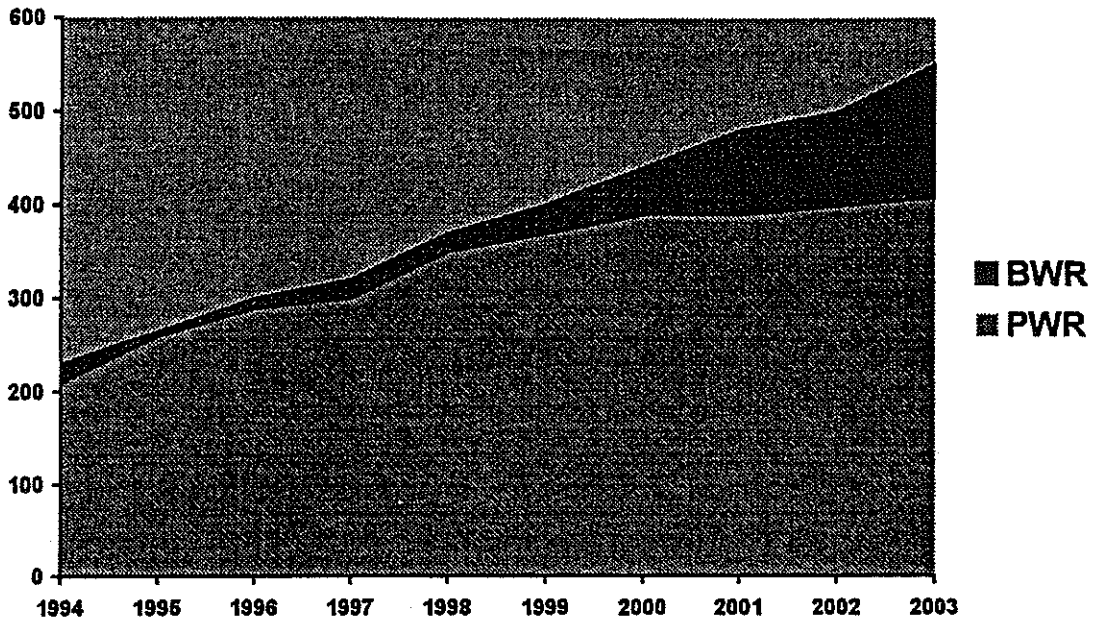
【出典】ベルゴニュークリア社資料、2000.05.



[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燃料加工実績
(1986～2000年)

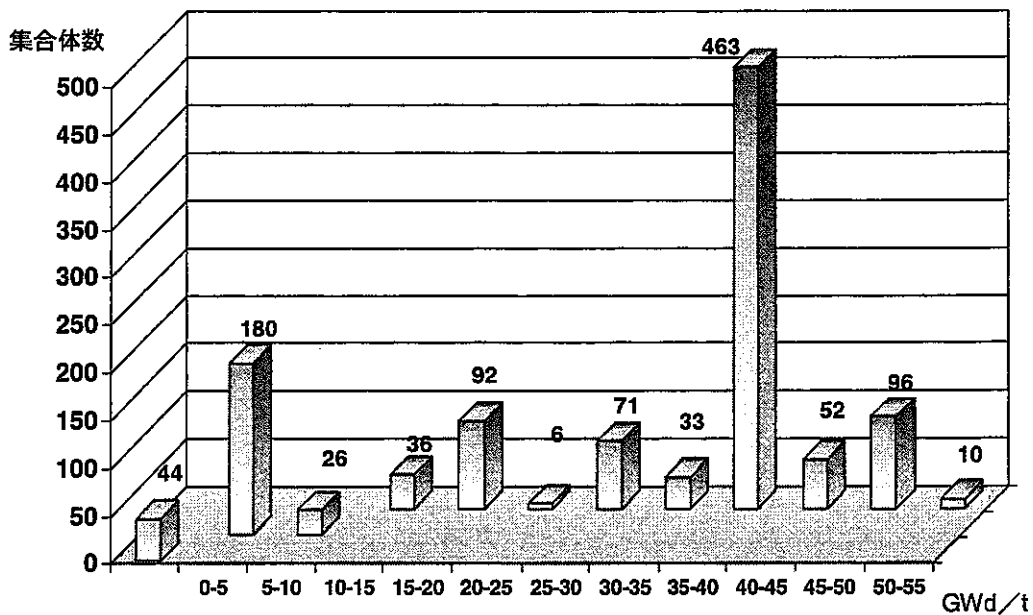
【出典】ベルゴニュークリア社資料、2000.05

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1日現在の予想)

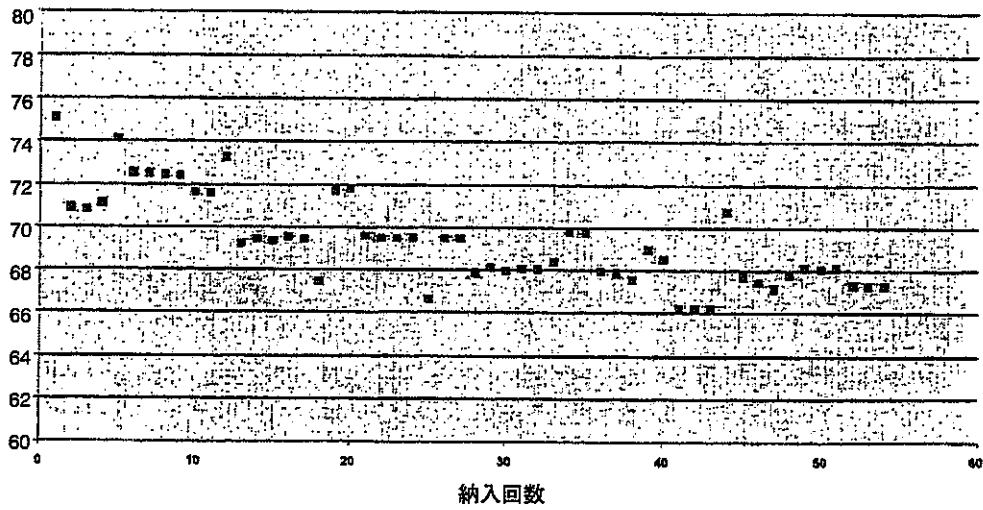
【出典】ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

[第7.7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（2000年10月現在の予想）

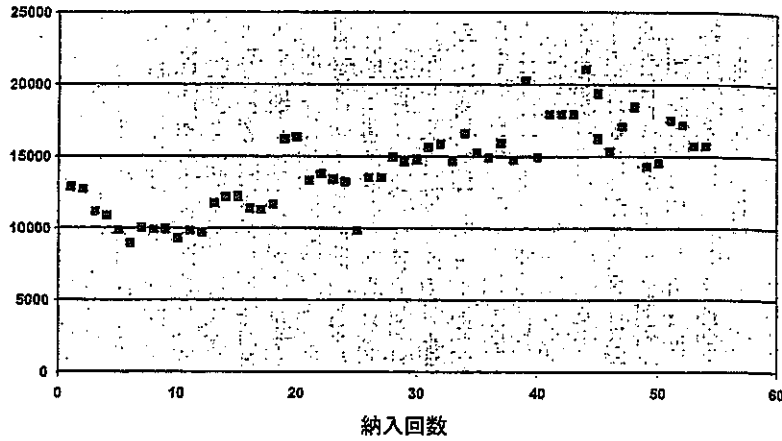
| サイクル数 | 集合体数 | | | | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 6 | | | | | 1 (51 GWd/t) | |
| 5 | | 1 (51 GWd/t) | | | 17 | 12 (50GWd/t) |
| 4 | | 3 (44 GWd/t) | 8 (46 GWd/t) | 80 (48 GWd/t) | 42 | 8 (41GWd/t) |
| 3 | 8 (27.5 GWd/t) | 376 | 36 (48 GWd/t) | 36 | 8 (52GWd/t) | 40 |
| 2 | 8 | | 20 | 20 | 20 (36 GWd/t) | 40 |
| 1 | | | 16 | 16 | 32 | 24 |
| during 1 cycle | | | 16 | 28 | 32 | 104 |
| | フランス PWR SS clad | フランス PWR Zr4 clad | ベルギー PWR Zr4 clad | ドイツ PWR Zr4 clad | スイス PWR Zr4 clad | ドイツ BWR Zr2 clad |

【出典】ベルゴニュークリア社資料, 2000.05.

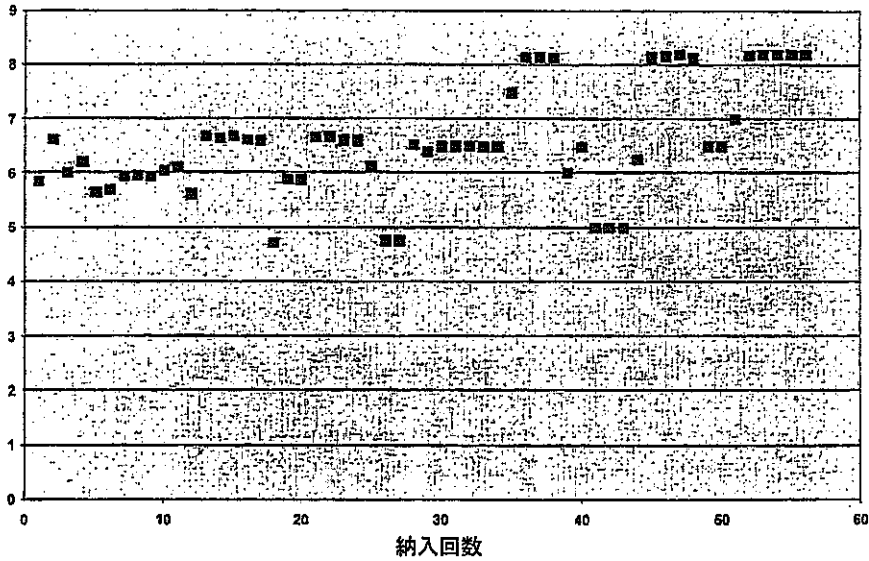
核分裂性プルトニウム (Pu fiss.) の含有率 (%)



アメリシウム (Am) の含有率 (ppm : Am / Pu)

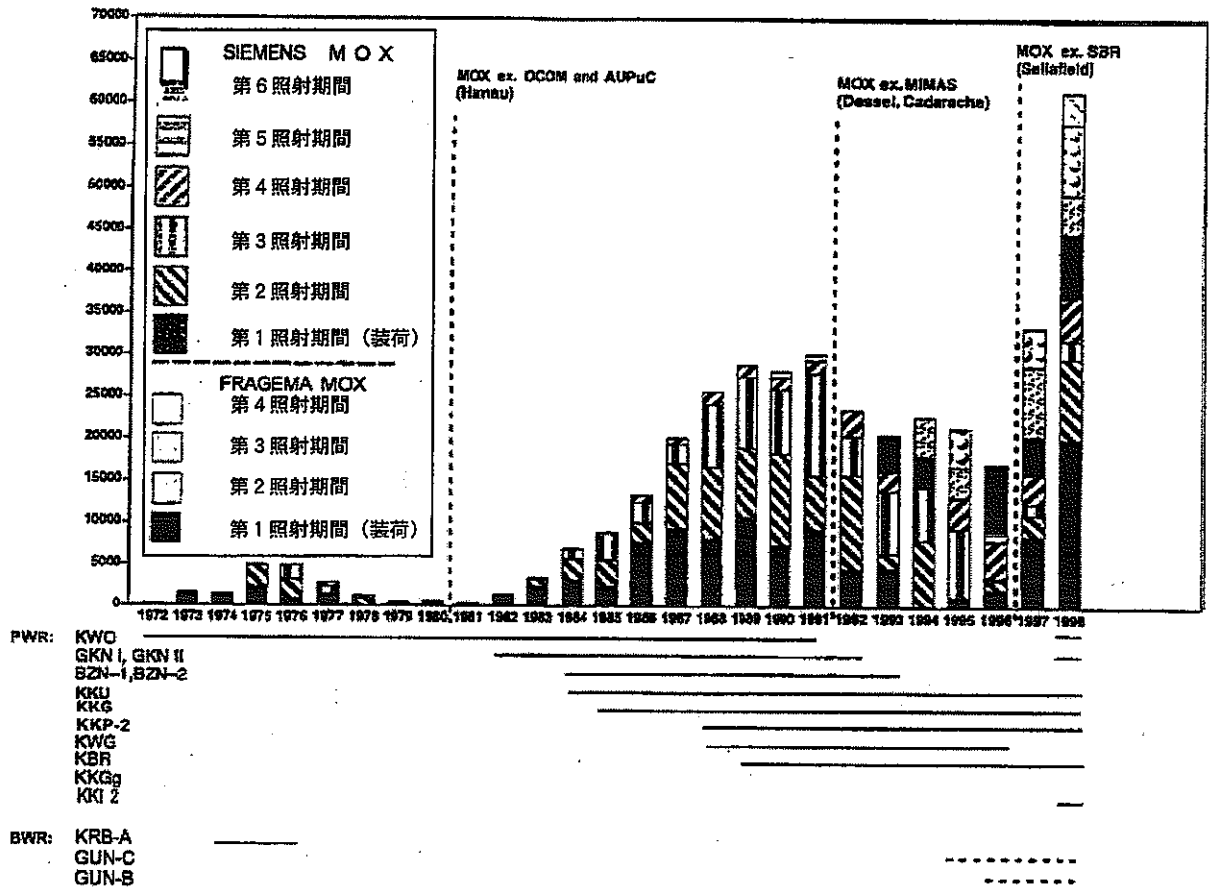


最大プルトニウム富化度 (%)



[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)

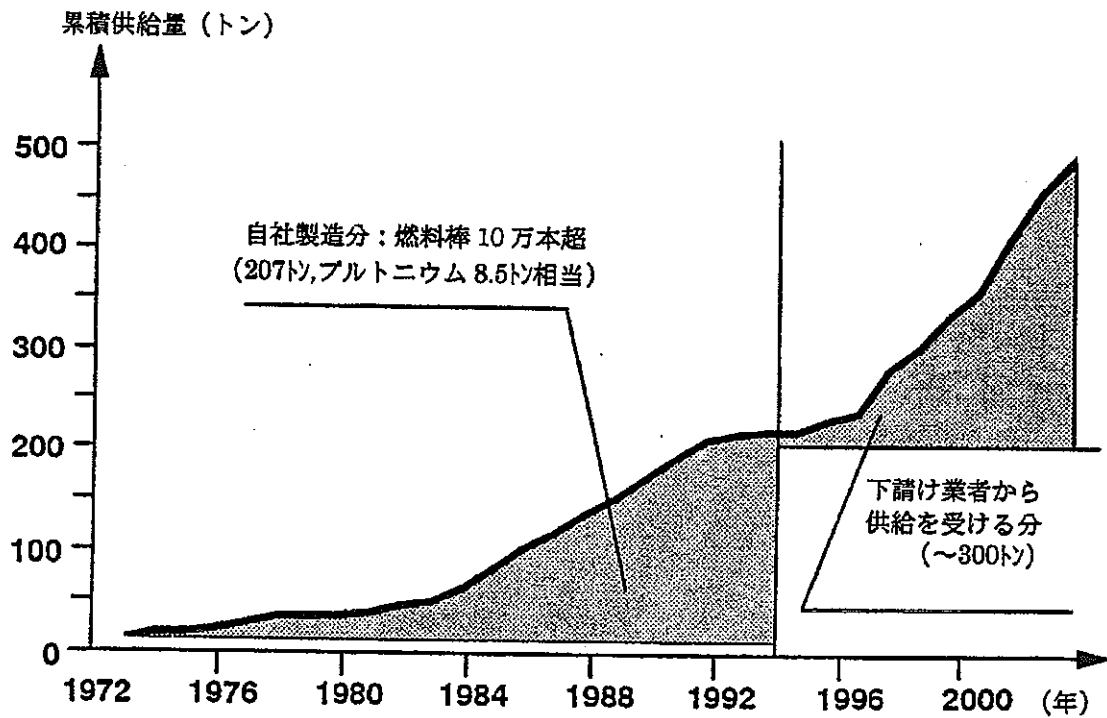
MOX燃料棒の本数



- | | |
|--------------|--------------|
| 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 | ベツノウ1, 2号機 |
| KKK | ウンターペーザー |
| KKG | グラフェンラインフェルト |
| KKP-2 | フィリップブルク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)

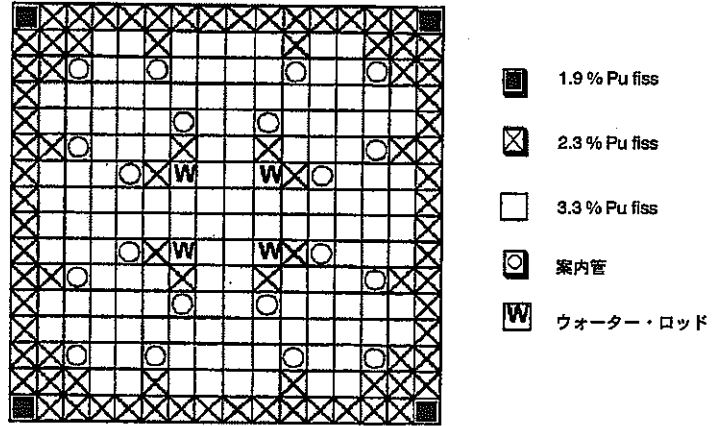
【出典】 P.Urban, et al.(KWU), "Siemens - Competency in Design and Delivery of MOX Fuel Assemblies", International Seminar on MOX FUEL: Electricity Generation from Pu Recycling, Low Wood Hotel, Windermere, England, 1996.06.04.

[第7.8表] シーメンス社の1998年4月までの
MOX燃料加工・設計実績

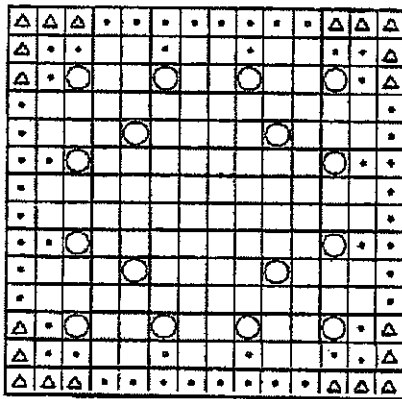
| 原子炉 | | 型式 | 初装荷年 | 累積体数/燃料棒数 [集合体数][燃料棒数] | | 最高燃焼度 [MWd/kgHM] |
|---------------|---------|-----------|------|---------------------------|--------|---------------------|
| カール | (VAK) | 6-0 | 1966 | 113*) | 1,134 | 34**) |
| リンゲン | (KWL) | 6-0 | 1970 | 1*) | 15 | 26**) |
| グンドレミンゲン 1 | (KRB-1) | 6-0 | 1974 | 64 | 2,240 | 20**) |
| 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.

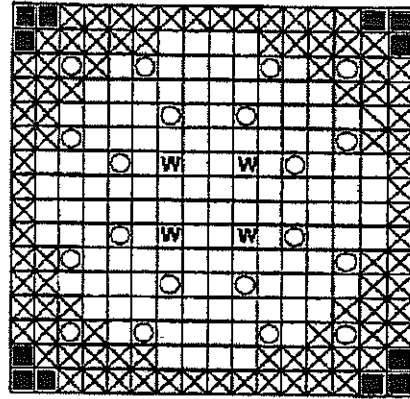


標準MOX・FA設計
(平均 2.91% Pu fiss、天然ウラン)



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

14×14 型MOX・FA設計
(平均 3.8% Pu fiss、天然ウラン)

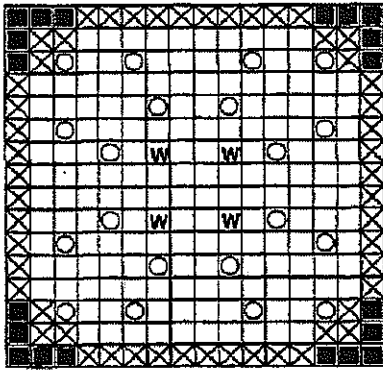


- 2.0% Pu fiss
- ⊗ 2.8% Pu fiss
- 4.1% Pu fiss
- 案内管
- W ウォーター・ロッド

16×16 型MOX・FA設計
(平均 3.48% Pu fiss、劣化ウラン)

【第 7.8 図】 シーメンス社の PWR 用 MOX 燃料設計 (1 / 2)

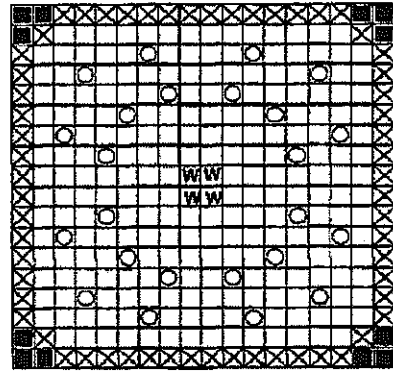
【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU- Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.



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

16×16型MOX・FA設計

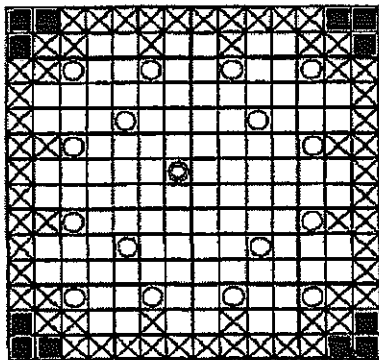
(平均 4.2% Pu fiss、劣化ウラン)



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

18×18型MOX・FA設計

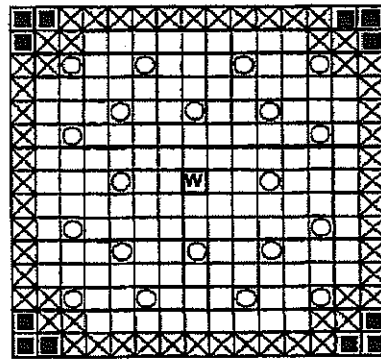
(平均 4.6% Pu fiss、天然ウラン)



- 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)



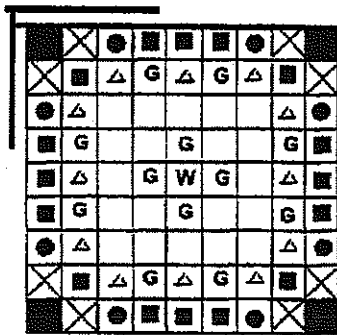
- 2.6% Pu fiss ○ 案内管
- ⊗ 3.5% Pu fiss W ウォーター・ロッド
- 5.5% Pu fiss

15×15型MOX・FA設計

(平均 4.8% Pu fiss、劣化ウラン)

【第 7.8 図】 シーメンス社のPWR用MOX燃料設計 (2/2)

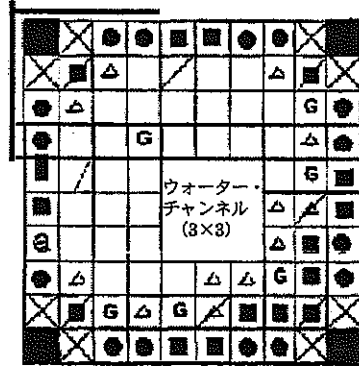
【出典】 D.Bender et al. (KWU-Siemens), "Design and Manufacturing of Siemens MOX- and ERU- Fuel Assemblies", ENC'98, Nice, 1998.10.25~28.



- | | |
|-----------------|--|
| ■ 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 |

9x9-1 型MOX・FA設計

(平均 3.0% Pu fiss、劣化ウラン)



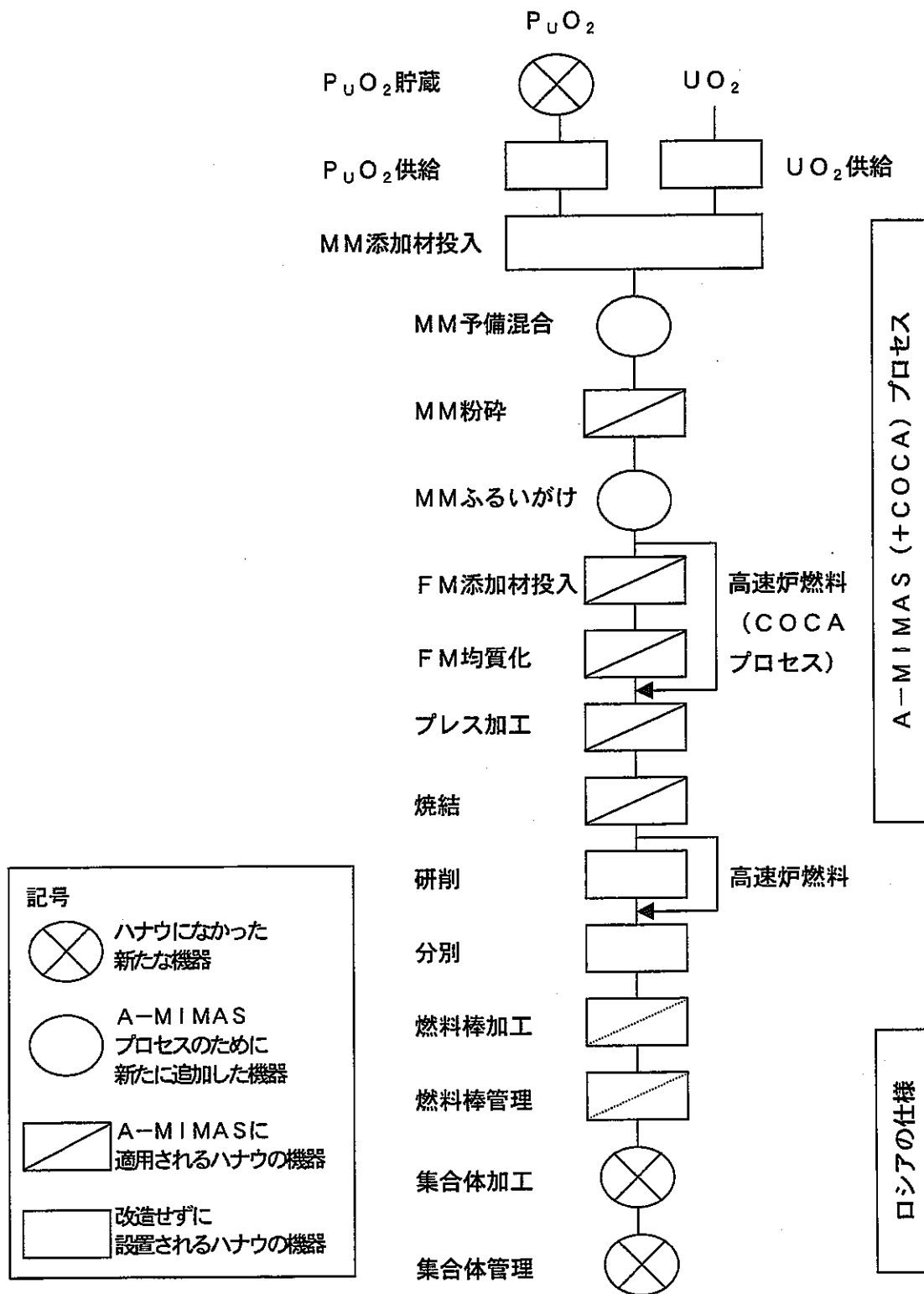
- | | |
|----------------------------|--|
| ■ 2.5% Pu fiss | △ 4.70% Pu fiss |
| ⊗ 1.85% Pu fiss | ⊗ 4.70% Pu fiss (短い燃料棒) |
| ● 2.55% Pu fiss | □ 5.52% Pu fiss |
| ■ 3.40% Pu fiss | ⊗ 5.52% Pu fiss (短い燃料棒) |
| ■ 3.40% Pu fiss (短い燃料棒) | G 3.95% U-235 +1.25% Gd ₂ O ₃ |

ATRIUM 10™ 型MOX・FA設計

(平均 3.7% Pu fiss、劣化ウラン)

[第 7.9 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 7.10 図】 ロシアに建設が予定されているW-Pu-MOX燃料加工施設 (DEMEX) のプロセス・フロー

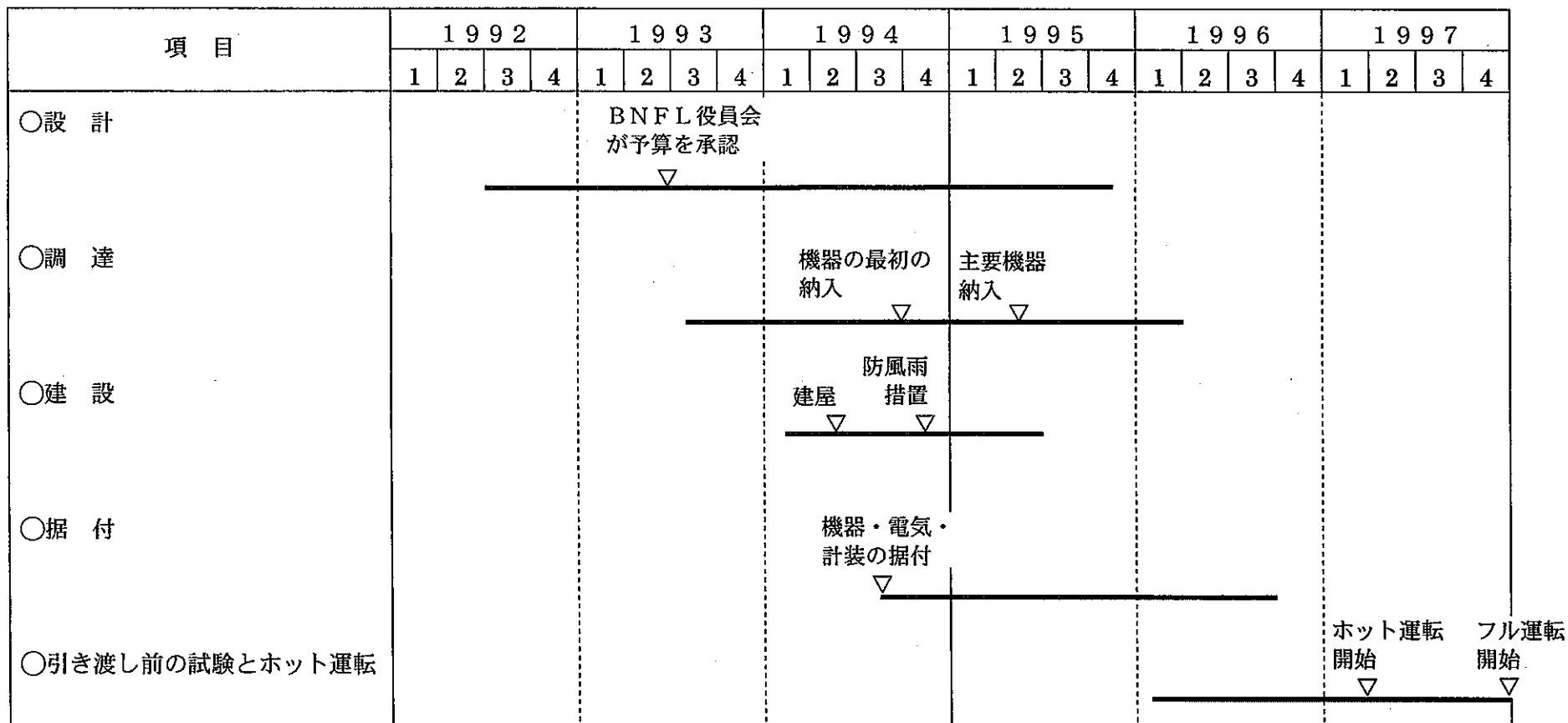
【出典】 Y.Kolotilov (Russia), H.Meffin (Siemens), L.Gaitte(COGEA), L.Cret(SGN), "DEMEX - Recycling of Russian W-Pu in MOX Fuel", RECOD '98,1998.10.25~28.

[第7.9表] 英国のMOX実証施設(MDF)の運転までの経緯
(1994年現在)

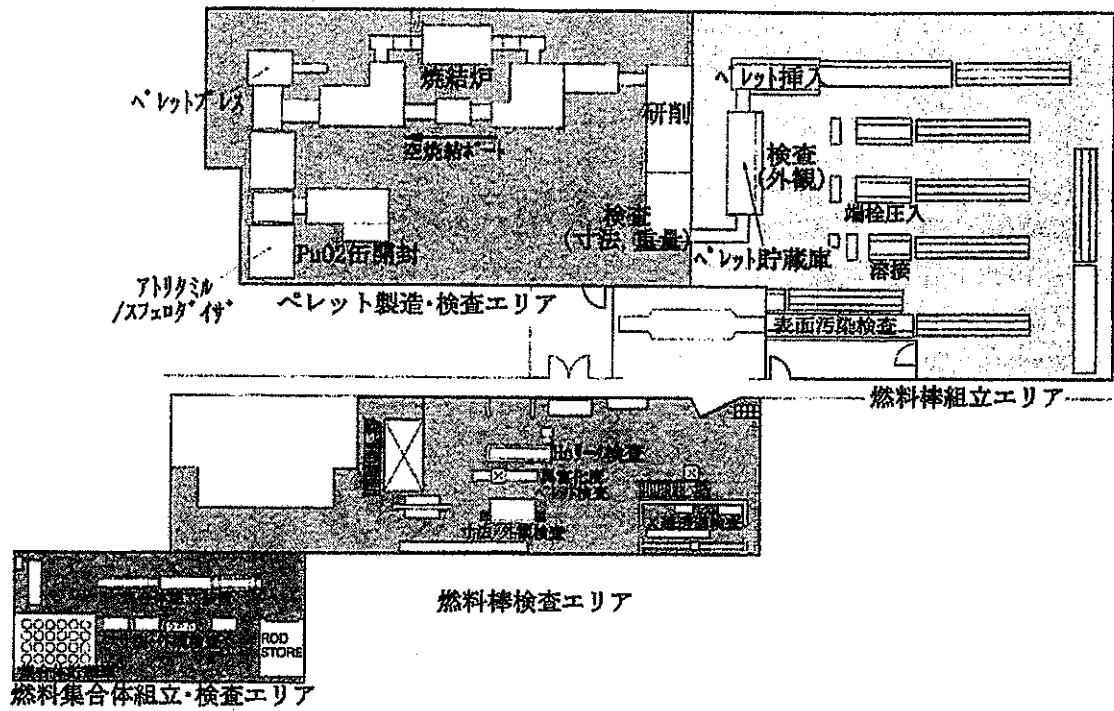
| 年 月 | 事 項 |
|----------------------------|--|
| 1990年3月 8月 11月 | 全体プログラム計画立案 最終プログラム承認 計画許可取得 |
| 1991年7月 9月 | プラントおよび機器の据付許可取得 建屋完成 |
| 1992年5月 6月 7月 12月 | 建屋内部の改造完了 機器調達完了 運転許可取得 機器据付完了 |
| 1993年1月 5月 10月 | 施設がAEAテクノロジー燃料サービス部へ移管 ウラン試験開始 プルトニウムをプラントへ導入 MOX燃料の試験加工を実施 |
| 1994年2月 | 性能検定プログラム終了 |
| 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7.11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）

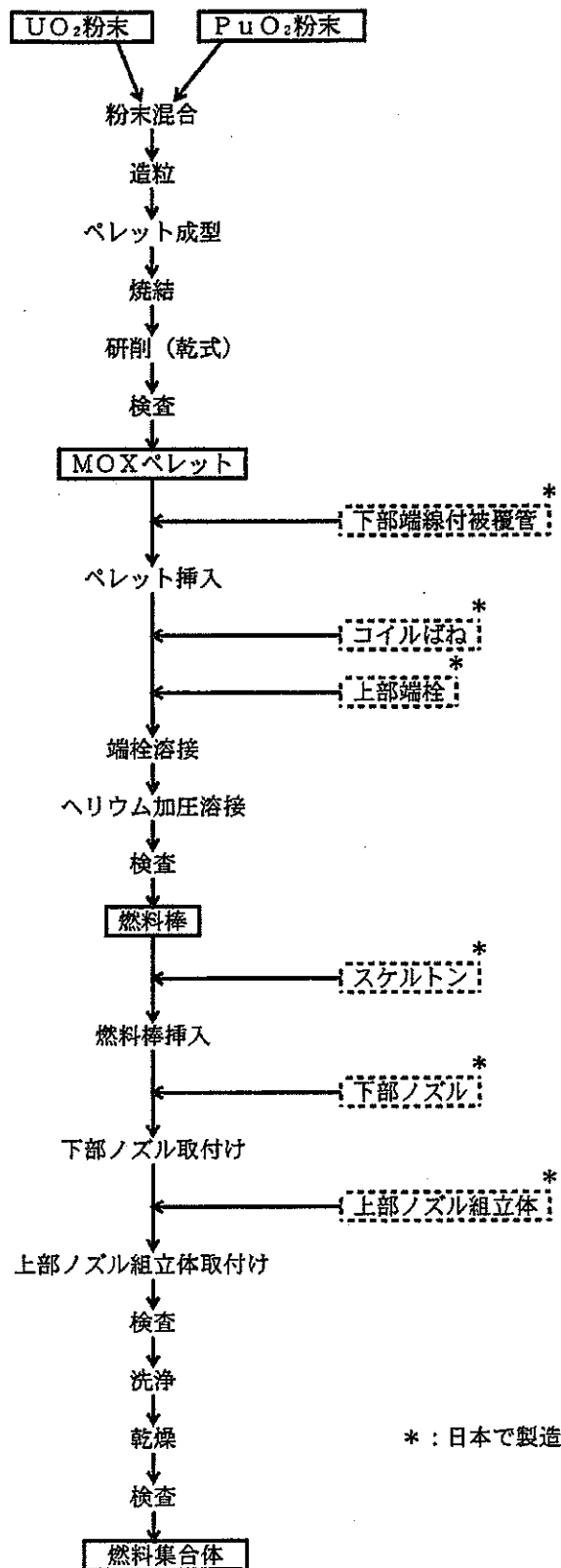


【出典】 BNL/AEA MOX Fuel Capabilities : Presentation, 1993.12



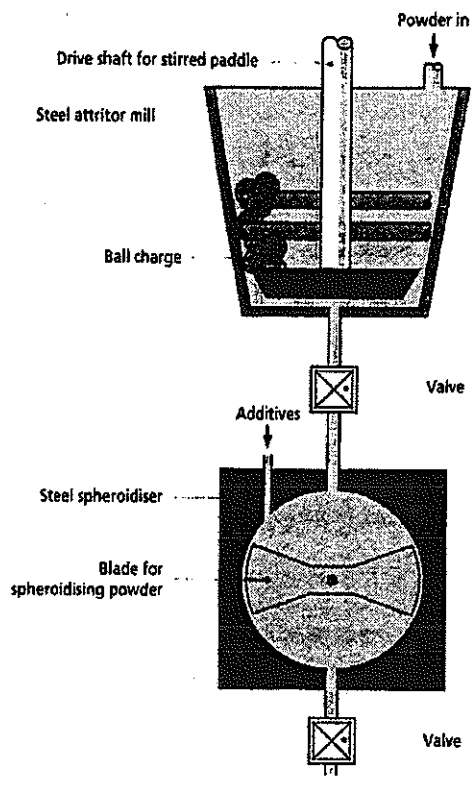
[第 7.12 図] MDFのレイアウト

【出典】三菱重工業（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.12.



[第 7.13 図] MOX 燃料の製造プロセス

【出典】関西電力（株）、核燃料、日本原子力学会、1999.6.



[第 7.14 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 | | ■ | | | | | |
| MOX燃料製造データ評価 | | ■ | | | | | |
| ペレットロータビリティテスト | | ■ | | | | | |
| MDF書類、システム審査 | | | ■ | ■ | | | |
| 燃料集合体組立装置製作 | | | | ■ | | | |
| 燃料集合体組立実証 | | | | ■ | ■ | | |
| 燃料部材製造、輸送 | | | | ■ | ■ | | |
| 燃料ホルダー製作、輸送 | | | | | ■ | ■ | |
| MOX燃料加工 最初の8体 | | | | | | ■ | |
| 2回目の8体 | | | | | | | ■ |

[第 7.15 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7.10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 7.11 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 | ステンス鋼 | 66 | 12 (20) |
| WAGR | 1 | 1.6 | ステンス鋼 | 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 7.12 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 | GE | 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 7.13 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 (チェリャピンスクの 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 (デイミトロフグレード) | 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 (チェリャピンスク) | 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7.14表】 OECD/NEAによるOECD各国の燃料加工需給（1999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 | 1998 (実績) | 1999 (実績) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|--------|-------|-----------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| ベルギー | LWR | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | |
| | MOX | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | |
| カナダ | HWR | 2,750 | 2,750 | 2,750 | 2,950 | 3,450 | 3,450 |
| フランス | LWR | 1,200 | 1,200 | 750 | 750 | 750 | 750 |
| | MOX | 140 | 140 | 140 | 160 | 240 | 240 |
| | FBR | 20 | 20 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| ドイツ | LWR | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| | MOX | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | |
| 日本 | LWR | 1,674 | 1,674 | 1,674 | 1,800 | 1,800 | 1,900 |
| | MOX | 10 | 10 | 10 | 100 | 100 | 100 |
| | FBR | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 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 | |
| スペイン | LWR | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| スウェーデン | LWR | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | |
| 英国 | LWR | 150 | 150 | 330 | 330 | 330 | |
| | GCR | 1,460 | 1,460 | 1,590 | 290 | 290 | |
| | MOX | 8 | 8 | 120 | 120 | 120 | |
| 米国 | LWR | 3,900 | 3,900 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 合計 | | 14,052 | 14,052 | 10,124 | 9,240 | 9,820 | |

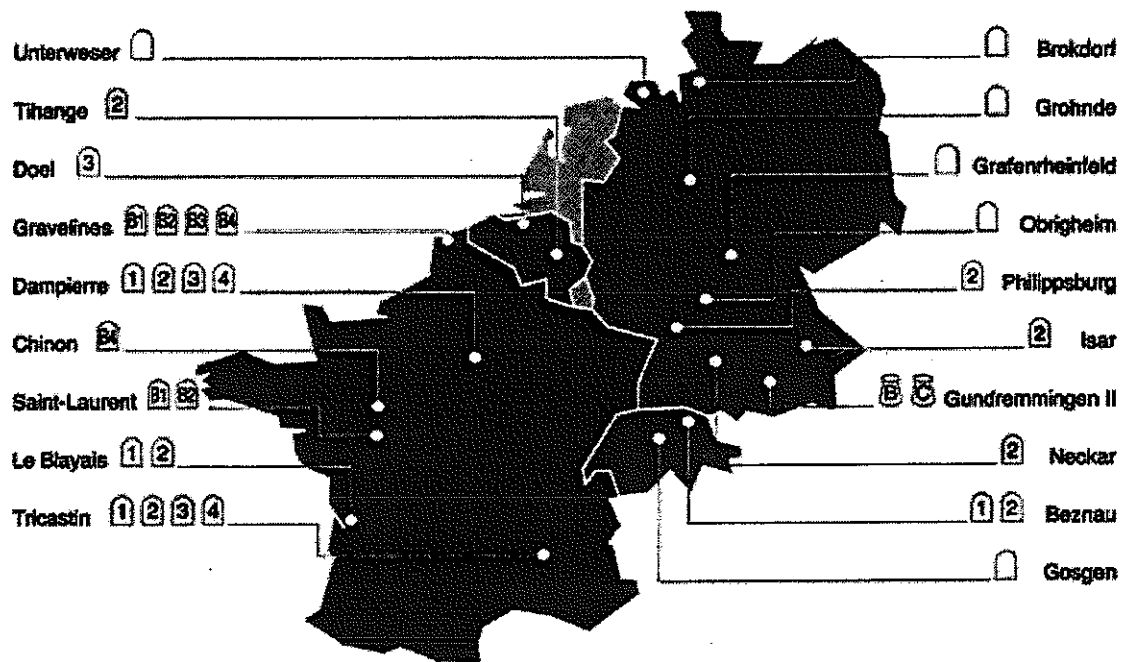
2. 各国の燃料加工需要

単位：トン・重金属/年

| 国 | 1998 (実績) | 1999 (実績) | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| ベルギー | 168 | 94 | 114 | 113 | 141 | |
| カナダ | 1,400 | 1,400 | 1,400 | 2,300 | 2,300 | 2,300 |
| チェコ | 43 | 41 | 41 | 84 | 84 | 84 |
| フィンランド | 71 | 71 | 46 | 70 | 70 | 70 |
| フランス | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 | 1,165 |
| ドイツ | 450 | 430 | 400 | 400 | 375 | 380 |
| ハンガリー | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 |
| 日本 | 945 | 965 | 950 | 1,400 | 1,500 | 1,600 |
| 韓国 | 610 | 570 | 620 | 720 | 920 | 720 |
| メキシコ | 22 | 22 | 22 | 41 | 21 | 21 |
| オランダ | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| スペイン | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| スウェーデン | 230 | 230 | 215 | 200 | 210 | |
| スイス | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| トルコ | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 60 |
| 英国 | 1,080 | 1,118 | 940 | 247 | 174 | 90 |
| 米国 | 1,900 | 2,300 | 2,100 | 2,100 | 1,700 | 1,600 |
| 合計 | 8,385 | 8,707 | 8,314 | 9,131 | 8,981 | |

【出典】 Nuclear Energy Data, 2000, OECD/NEA

MOX燃料利用の実績および計画



 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

(2000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 |
| グラーフエンラインフェルト | PWR | 1,345 | 1985 | 16 |
| グラーフエンラインフェルト | PWR | 1,345 | 1987~ | 28 |
| フィリップスブルク 2 | PWR | 1,402 | 1988~ | 32 |
| 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 | |
| グラーフエンラインフェルト | PWR | 1,345 | 1993 | 16 |
| フィリップスブルク 2 | PWR | 1,402 | 1993 | 20 |
| グラーフエンラインフェルト | 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 |

| 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 |
| グラブリーヌ 3 | PWR | 951 | 1994 | 16 |
| グラブリーヌ 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 |
| (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 |

*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 |
| (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 タラプール2 タラプール2 | BWR BWR BWR | 160 160 160 | 1994 1996 1998 | 2 4 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 | 運転中の原子炉 | | MOX装荷許可炉 | | MOX装荷炉 | | |
|------|---------|-----|----------|-----|--------|-----|-----|
| | 炉型 | 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 | 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 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 |

【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 | 1 9 9 5 | 3 6 体 (3.25%) ~35,400MWd/t | 1 6 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 | | 2 0 0 0 ~ 0 4 | 2 8 体 (3.7%) ~45,000MWd/t |
| 4 サイクル | 2 0 0 5 ? | | 2 8 体 (3.7%) 45,000MWd/t |
| 4 サイクル | | 2 8 体 (4.0%) 50,000MWd/t | 1 2 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. Desmoulin (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.

【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 (2000 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】 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; Nuclear Fuel 2000.5.1.

[第8.8表] ドイツの原子炉におけるMOX燃料装荷状況
(1999年中頃現在)

| 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) |
| 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 | ○ | ○ |
| グラ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 | ○ | ○ |
| グロント (KWG) | 1985 | 1,360 | ○ | ○ |
| ブロックトルフ (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 | ○ | ○ |
| ネッカル2 (GKN 2) | 1989 | 1,269 | ○ | ○ |
| 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) 1982年にMOX装荷されたが、現在では装荷は行われていない。

【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 | | | |
| オブリッヒハイム | ○ | ○ | 8 |
| フィリップスブルク 1 | × | — | |
| フィリップスブルク 2 | ○ | ○ | 40 |
| ネッカー1 | ○ | × | 0 |
| ネッカー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・ケールリッヒ | × | — | |
| シュレスヴィッヒ・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 [%] |
|---------------|-------|--------------|---|------------------------------|---------------------|
| オブリッヒム | KWO | 装荷中 | 3.8 | 8/28 | 26 |
| ネッカル 1 | GKN 1 | 装荷中 | 3.04 | -/16 | 9 |
| ネッカル 2 | GKN 2 | 許可済 | 3.8 (*1) | -/72 | 37 |
| ウンターベーク | KKU | 装荷中 | 3.28 (*4) | 16/48 | 25 |
| グラーフェンラインフェルト | KKG | 装荷中 | 3.07 (*1) | 16/64 | 33 |
| イーザル 2 | KKI 2 | 装荷中 | U濃縮度4.0%相当 | 24/96 | 50 |
| グロント | KWG | 装荷中 | 3.2 | 16/64 | 33 |
| ブロットルフ | KBR | 装荷中 | U濃縮度4.0%相当 | -/- (*3) | - (*3) |
| フィリップスブルク2 | KKP 2 | 装荷中 | 3.5 (*4) | -/72 (*2) | 37 (*2) |
| エムラント | KKE | 許可済 | U濃縮度4.0%相当 | 16/48 | 25 |
| ビブリス A | KWB A | 手続中 | U濃縮度3.5%相当 | 24/80 | 42 |
| ビブリス B | KWB B | 手続中 | U濃縮度3.5%相当 | 24/80 | 42 |
| ミュルハイム・ケルリッヒ | 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8.11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 | |
|------------------------|------------------|------------------------------|-------------|---------------|------------------|--|
| | 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

[第 8.12 表] ベツナウ 1 号機における 1994 年以降の MOX リサイクル状況

| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|------|-----------------------------------|
| 停止期間 | 6月17日 ～ 8月3日 (48日 間) | 6月30日 ～ 7月30日 (30日 間) | 6月28日 ～ 8月9日 (43日 間) | 9月19日 ～ 10月31 日 (43日 間) | — | 3月19日 ～ 4月16日 (28日 間) |
| 炉内 集合体数 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 |
| 交換 集合体数 | 29 | 36 | 36 | 44 | 0 | 28 |
| MOX 装荷体数 | 4 | 8 | 12 | 4 | 0 | (12)* |
| MOX 取出し体数 | -4 | -11 | -17 | -28 | — | -4 |
| 炉内 MOX体数 | 40 | 37 | 32 | 8 | 8 | 16 |
| MOX 装荷率 | 33% | 30% | 26% | 6% | 6% | 6% |

*1997年に取り出された12体を修理後、1999年に再装荷。欠陥のあった3体には鋼製ダミー・ロッド(各1本)が装着された。

[第 8.13 表] ベツナウ 2 号機における 1994 年以降の MOX リサイクル状況

| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|--------------|------|-----------------------------------|--|------|----------------------------------|----------------------------------|
| 停止期間 | — | 3月31日 ～ 5月31日 (61日 間) | 9月20日 ～ 10月25 日 (37日 間) | — | 4月6日 ～ 5月17日 (41日 間) | 7月22日 ～ 9月3日 (44日 間) |
| 炉内 集合体数 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 | 121 |
| 交換 集合体数 | 0 | 45 | 48 | 0 | 32 | 0 |
| MOX 装荷体数 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 |
| MOX 取出し体数 | — | -8 | — | — | — | — |
| 炉内 MOX体数 | 8 | 0 | 0 | 0 | 4 | 12 |
| MOX 装荷率 | 6% | 0% | 0% | 0% | 3% | 10% |

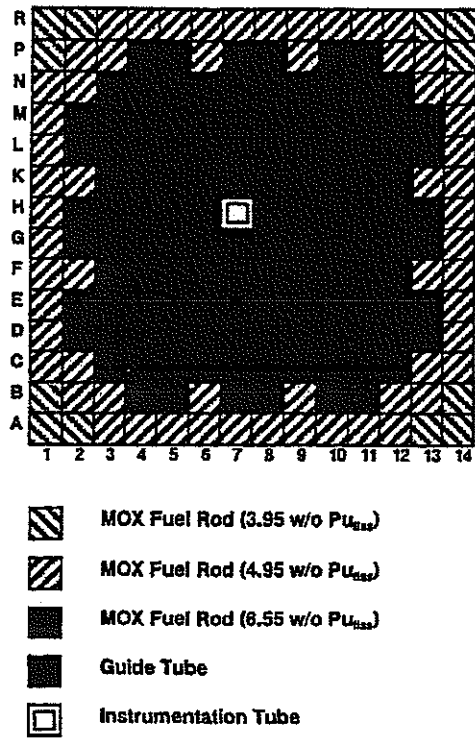
[第 8.14 表] ガスゲン発電所における 1994 年以降の MOX リサイクル状況

| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|--------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 停止期間 | 6月4日 ～ 7月1日 (27日 間) | 6月10日 ～ 7月7日 (27日 間) | 6月8日 ～ 7月2日 (24日 間) | 6月7日 ～ 6月30日 (23日 間) | 6月13日 ～ 7月7日 (24日 間) | 6月26日 ～ 7月28日 (32日 間) |
| 炉内 集合体数 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 |
| 交換 集合体数 | 52 | 40 | 92 | 40 | 44 | 44 |
| MOX 装荷体数 | 0 | 0 | 0 | 8 | 20 | 20 |
| MOX 取出し体数 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 炉内 MOX体数 | 0 | 0 | 0 | 8 | 28 | 48 |
| MOX 装荷率 | 0% | 0% | 0% | 4.5% | 16% | 27% |

[第 8.15 表] スイスの各原子力発電所の Pu 予想回収量

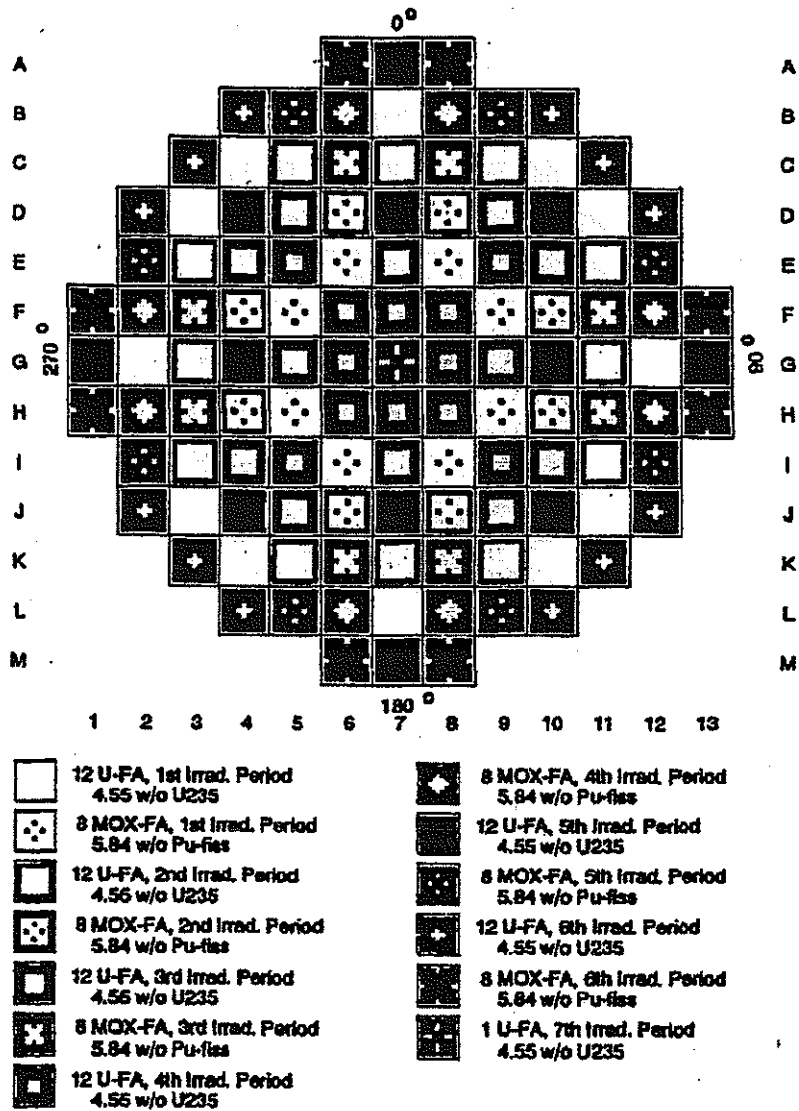
| 電力会社 ⁽¹⁾ | 発電所名 | 炉型 | 運開年 | 出力 [万 kWe] | SF 予想 発生量 ⁽³⁾ [トン] | 再処理 契約量 [トン] | Pu 予想 回収量 ⁽⁴⁾ [kg Pu-fiss] |
|---------------------|----------|-----|------|---------------|-------------------------------------|--------------------|---|
| NOK | ベツナウ1 | PWR | 1969 | 35 | 880 | 433 | 2,377 |
| | ベツナウ2 | PWR | 1971 | 35 | | | |
| BKW | ミューレベルク | BWR | 1972 | 35.5 | 400 | 228 | 1,170 |
| KKG | ガスゲン | 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 : ガスゲン原子力発電会社
 KKL : ライブ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] UO₂-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8.16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) | | |
|------------------------------|-------------|---------|------|-----------|---------|------|
| | 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 |

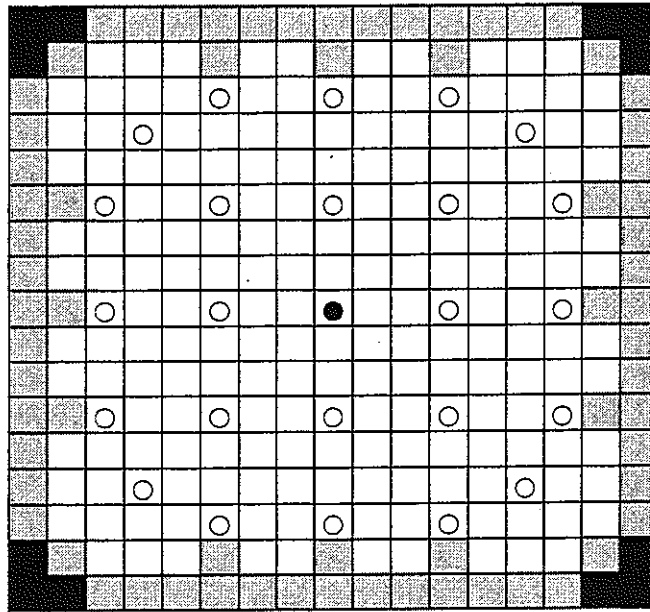
(*1) 燃料交換サイクル期間とMOX燃料/UO₂燃料の炉心管理は以下の通り。

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

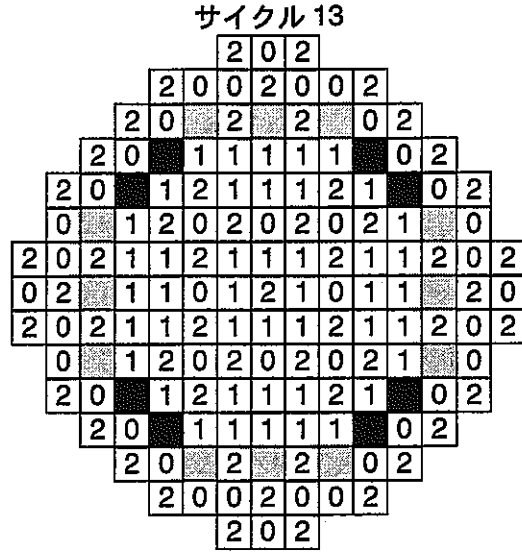
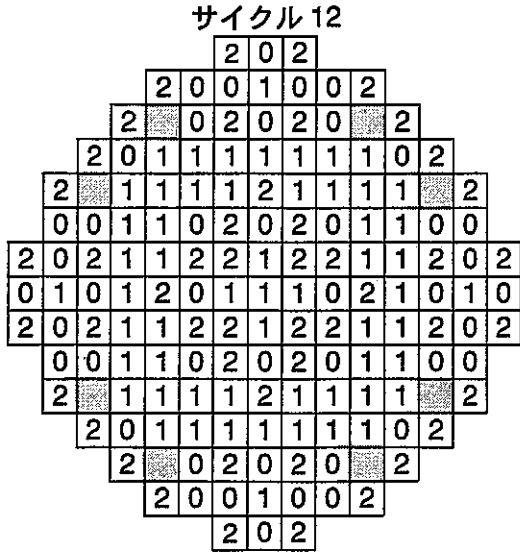
平均Pu富化度 6.7%Pu tot.

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

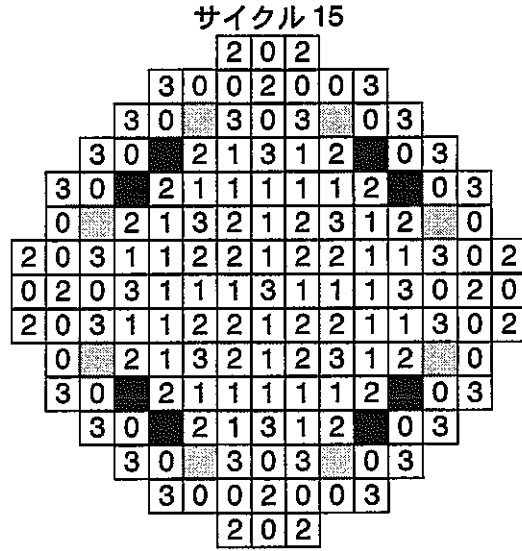
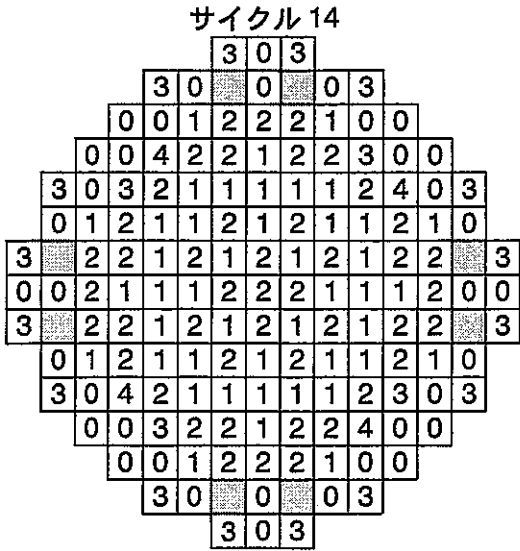
(%) : (1.3/61.9/24.2/7.9/4.7/1.5)

[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8.17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 ^(*) | ハッソウ1 | ハッソウ2 | ゲスゲン |
| 集合体型式 | 17×17 | | | | 16×16 | | | 18×18 | 14×14 | | 15×15 |
| サイクル・レングス | 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8.18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. 19表] OECD域内のプルトニウム需要 (1999年現在)

単位：ト・total Pu/年

| 国 | 燃料の種類 | 1999 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|------|-------|------|------|------|------|------|
| ベルギー | LWR | 0.3 | 0.5 | N/A | N/A | N/A |
| フランス | FBR | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | LWR | 7.0 | 8.1 | 9.3 | 10.0 | 10.0 |
| ドイツ | LWR | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 日本 | FBR | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.6 | |
| | LWR | | | 3.7 | 3.7 | |
| | ATR | 0.1 | 0.1 | | | |
| スイス | LWR | 0.5 | 0.7 | | | |
| 英国 | LWR | | 0.0 | 0.3 | 0.3 | |
| 合計 | | 8.0 | 9.5 | 13.9 | 14.6 | |

【出典】 Nuclear Energy Data, 2000, OECD/NEA

[第 8.20 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たが、1年遅れて2001年実施が予定されている。

○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

(1999年現在)

単位：トン・重金属/年

| 国 | 燃料の種類 | 1998 (実績) | 1999 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 |
|------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| フランス | LWR | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 | 1,600 |
| | Magnox | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 日本 | LWR | 90 | 90 | 90 | 400 | 840 | 840 |
| 英国 | LWR+AGR | 800 | 800 | 850 | 850 | 850 | |
| | Magnox | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | |
| | FBR | 5 | 5 | 5 | N/A | N/A | |
| 合計 | | 3,995 | 3,995 | 4,045 | 4,350 | 4,790 | |

【出典】 Nuclear Energy Data, 2000, OECD/NEA

[第9.2表] ラ・アーク再処理工場の1976～99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* | 806.8 | 821.9 | 4.9 | — | 1,633.6 |
| 1999* ² | 713 | 849 | 不明 | 不明 | 1,562 |
| 2000* ³ | 805 | 387 | 不明 | 不明 | 1,192 |
| 合計 (概数) | 9,457 | 6,822 | 9.4 | 10.0 | 16,299 |

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

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

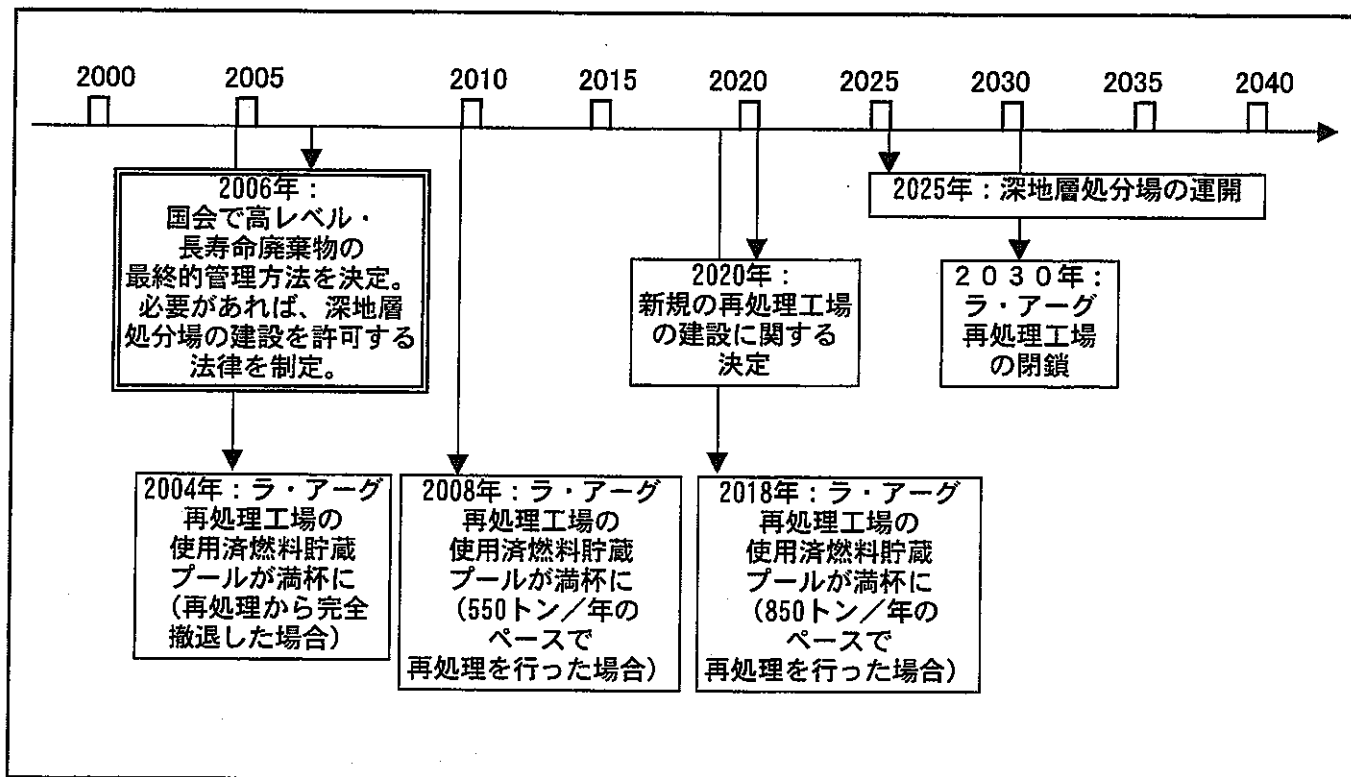
(2000年実績*³) Enerpresse 2001.1.3.

【第 9.3 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

【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9.4表】 フランスおよびドイツの使用済MOX燃料再処理実績
(1987～1998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9.5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 |
| 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 9.6 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9.7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 |

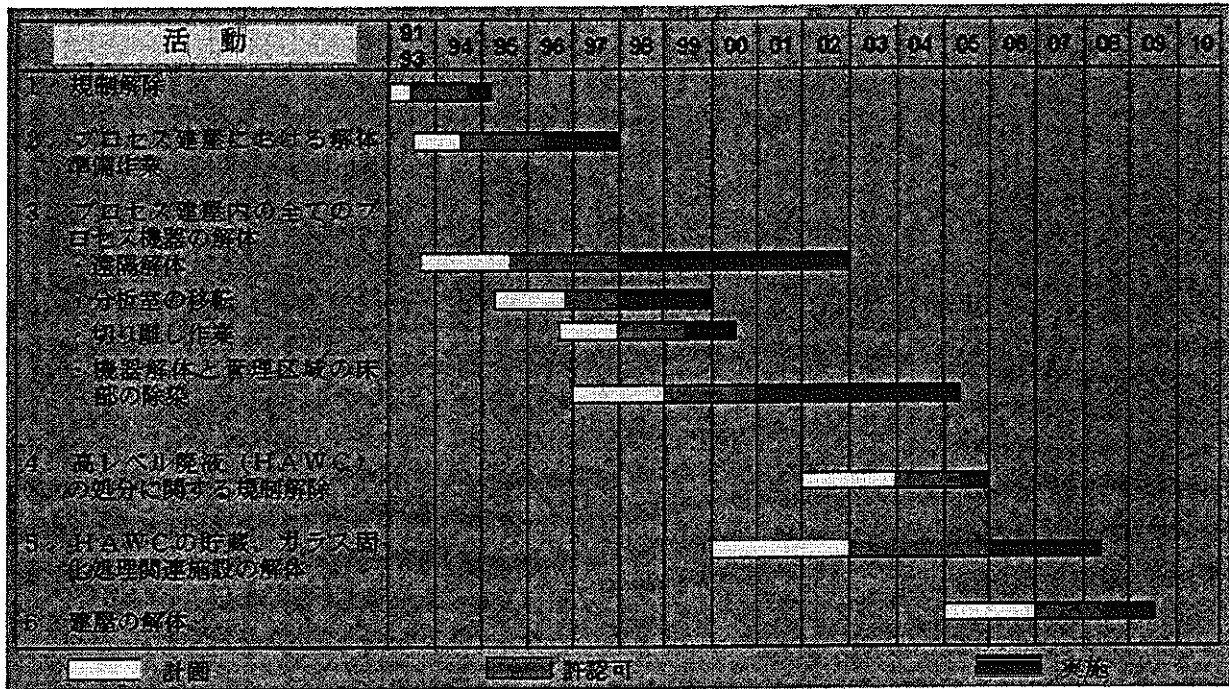
注) 数字は概数

【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



**[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

[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 (1kg) | MOX燃料 (1kg) |
|----------|---------------------------|--------------------------------|
| 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

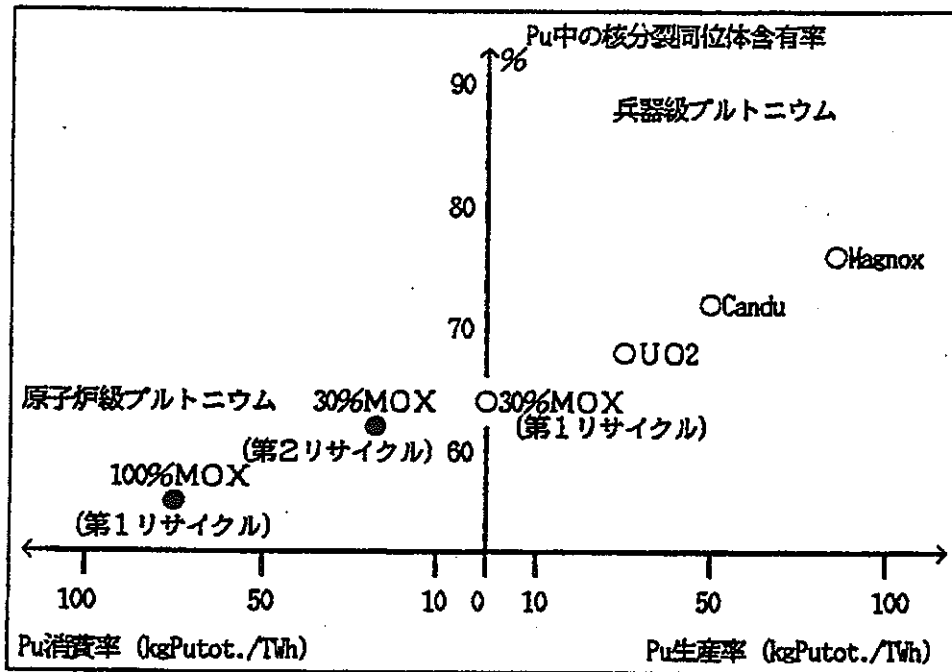
[第 10.4 表] プルトニウム同位体の特性

| 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

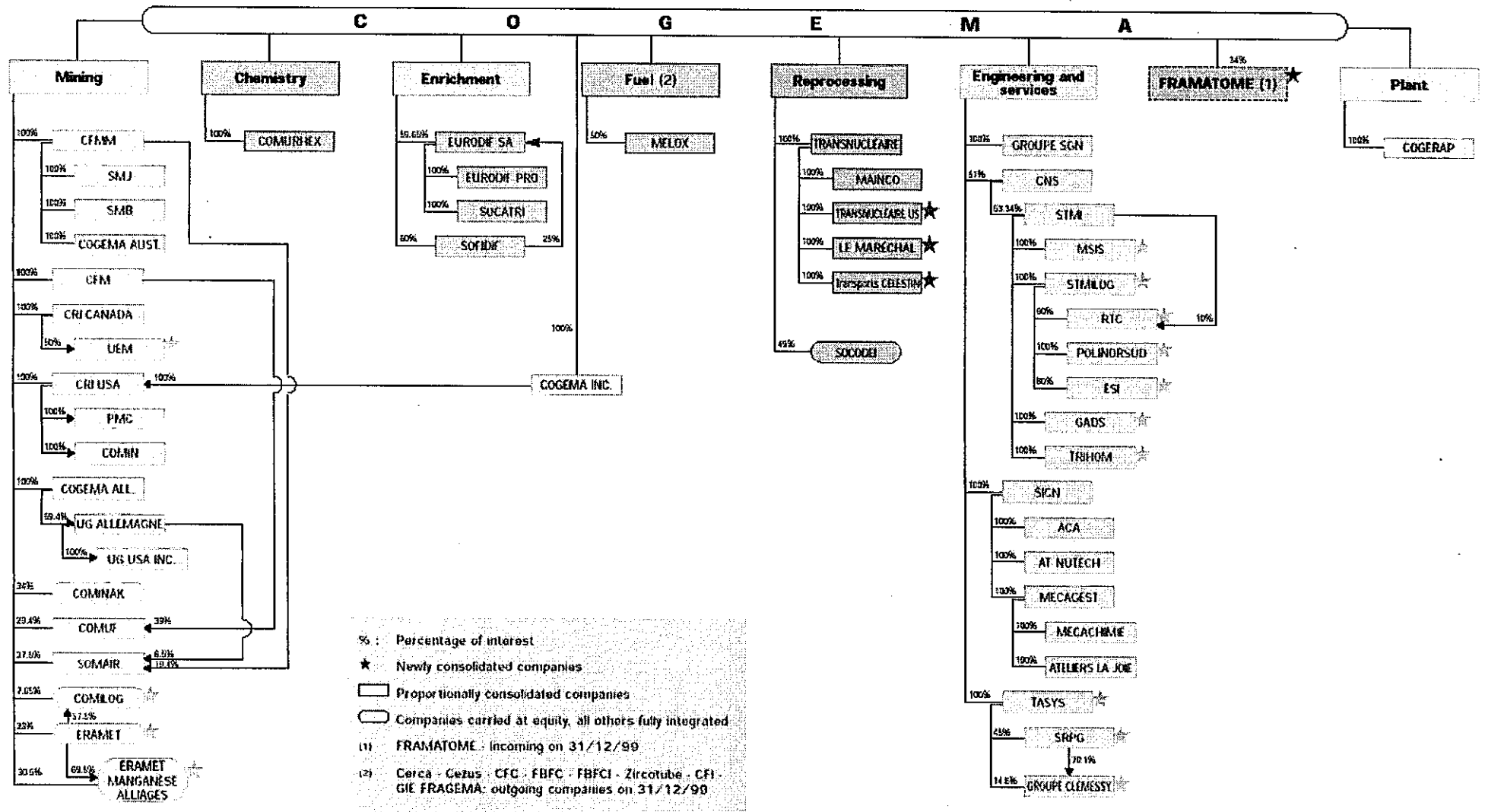
【出典】 Plutonium Fuel: An Assessment, 1989, OECD/NEA



[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 GOGEMA 組織図 (1999 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

| 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 | 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

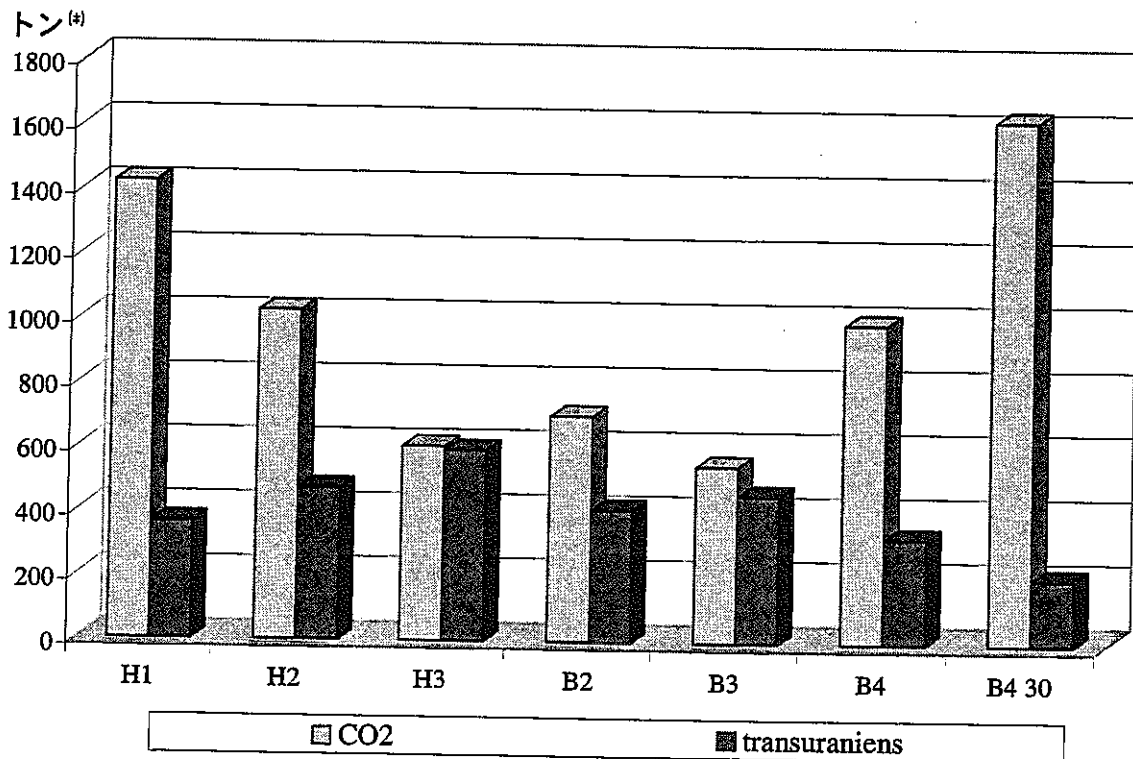
[第10.10表] フランス三賢人による原子力発電の経済性評価における
 電力需給シナリオ別のCO₂放出量、超ウラン元素蓄積量、
 燃料使用量、発電電力量（2000～2050年）

| 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 Ministar, 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.

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ただけであったが、[資料 11.1] に示すように、2000年11月現在、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2001年2月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 11.1～11.5 図] にまとめた。

[資料 11. 1] IAEAのWebサイトで公開されている
民生プルトニウム管理の INFCIR/549 シリーズ文書
(2001年2月現在)

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.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.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.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.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.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

[第11.1表] 1999年末現在の民生分離プルトニウム情報

単位：トン

| 国 | 1) 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) 未照射のMOX燃料中のプルトニウム | | | | | 4) その他 | | | | | 備考 | | | | | | |
|------|-------------------|------|------|-------|------|------------------------|-------|-------|---------|------|----------------------|------|-----|--------|-----|--------|-------|------|-------|-----|--------------------|-------|-------|-------|------|------|--|
| | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | |
| ベルギー | 0 | 0 | 0 | 0 | | 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 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.1 | | 1.2 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | | 他国にあるもの | 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 | | 0.6 | 0 | 0.6 | 0.1 | | <0.05 | <0.05 | 0.1 | <0.05 | | 他国所有のもの | <0.05 | <0.05 | <0.05 | 0.1 | | |
| 中国 | | 0 | | 0 | | | 0 | | 0 | | | 0 | | 0 | | | 0 | | 0 | | | | | | | | |
| フランス | | 52.0 | 48.4 | 43.6 | 36.1 | | 11.8 | 12.2 | 11.3 | 10.1 | | 6.8 | 6.3 | 5.0 | 3.6 | | 5.3 | 5.4 | 5.5 | 5.5 | 他国所有のもの 他国にあるもの | | 35.6 | 33.6 | 30 | 25.7 | |
| 英国 | 69.5 | 66.1 | 57.4 | 52.1 | | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 他国所有のもの 他国にあるもの | 11.8 | 10.2 | 6.1 | 3.8 | | |
| 米国 | | 0 | 0 | 0 | | | <0.05 | <0.05 | <0.05 | | | 4.6 | 4.6 | 4.6 | | | 40.4 | 40.4 | 40.4 | | 3) 4) は元々軍専用 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | | |
| ロシア | 30.9 | 29.2 | | 27.2* | | - | | | 1) に含む* | | 0.2 | 0.2 | | 0.064* | | 0.9 | 0.9 | | 0.87* | | | | | | | | |

*: 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/infcircs/infnumber.html>

[第11.2表] 1999年末現在の民生の使用済燃料中のプルトニウム情報

単位：トン

| 国 | 1) 原子炉内のプルトニウム | | | | | 2) 再処理工場内のプルトニウム | | | | | 3) その他の場所のプルトニウム | | | | | 備考 | | | | | | |
|------|----------------|------|------|-------|----|------------------|------|------|-------|----|------------------|------|------|---------|----|---------|----|----|----|----|----|--|
| | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | |
| ベルギー | 17 | 16 | 14 | 12 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 日本 | 72 | 63 | 55 | 48 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | <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 | 7 | 6 | 6 | 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 他国にあるもの | 5 | 5 | 5 | 6 | | |
| 中国 | | | | 未提出 | | | | | 未提出 | | | | | 未提出 | | | | | | | | |
| フランス | | 74.9 | 66.7 | 65 | 64 | | 83.4 | 88.8 | 88 | 87 | | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 英国 | 7 | 5.6 | 5 | 4.3 | | 39 | 40.2 | 42.1 | 43.0 | | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | |
| 米国 | | 312 | 287 | 270 | | | 0 | 0 | 0 | | | 15 | 15 | 13 | | | | | | | | |
| ロシア | 47 | 42 | | 40以下* | | 4 | 9 | | 30以下* | | 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/infcircs/infnumber.html>

[第11.3表] I S I S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)

| | 合計在庫 (中央見積値) | 余剰と声明され た量 | 余剰在庫見積 | 単位：トン 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. Albricht 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 | WPu | GCR | AGR | PWR | PWR | BWR |
|--------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| GWd/tU | - | 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

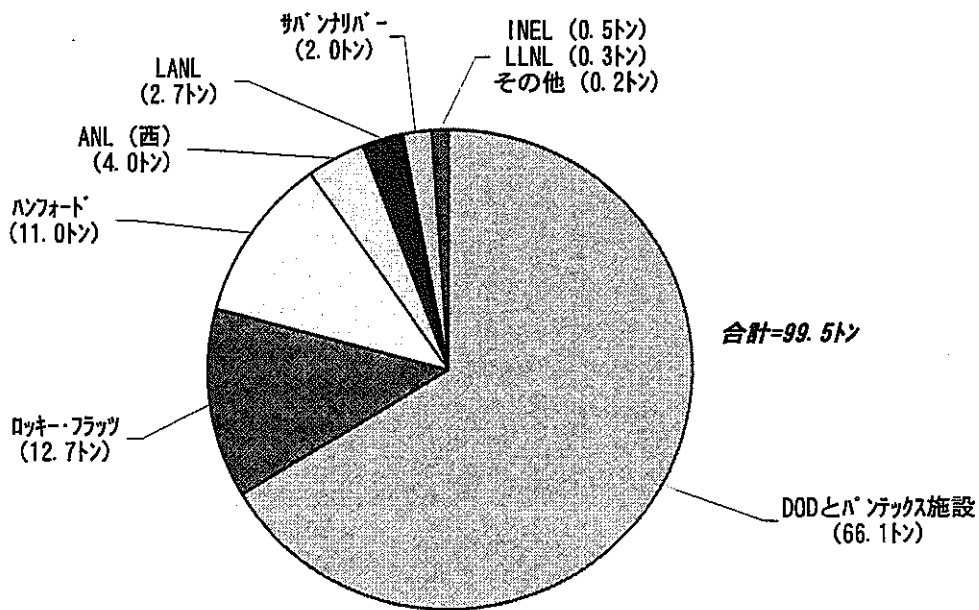
[第 11.10 表] 各種軽水炉におけるMOX燃料利用の可能性

| 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 |

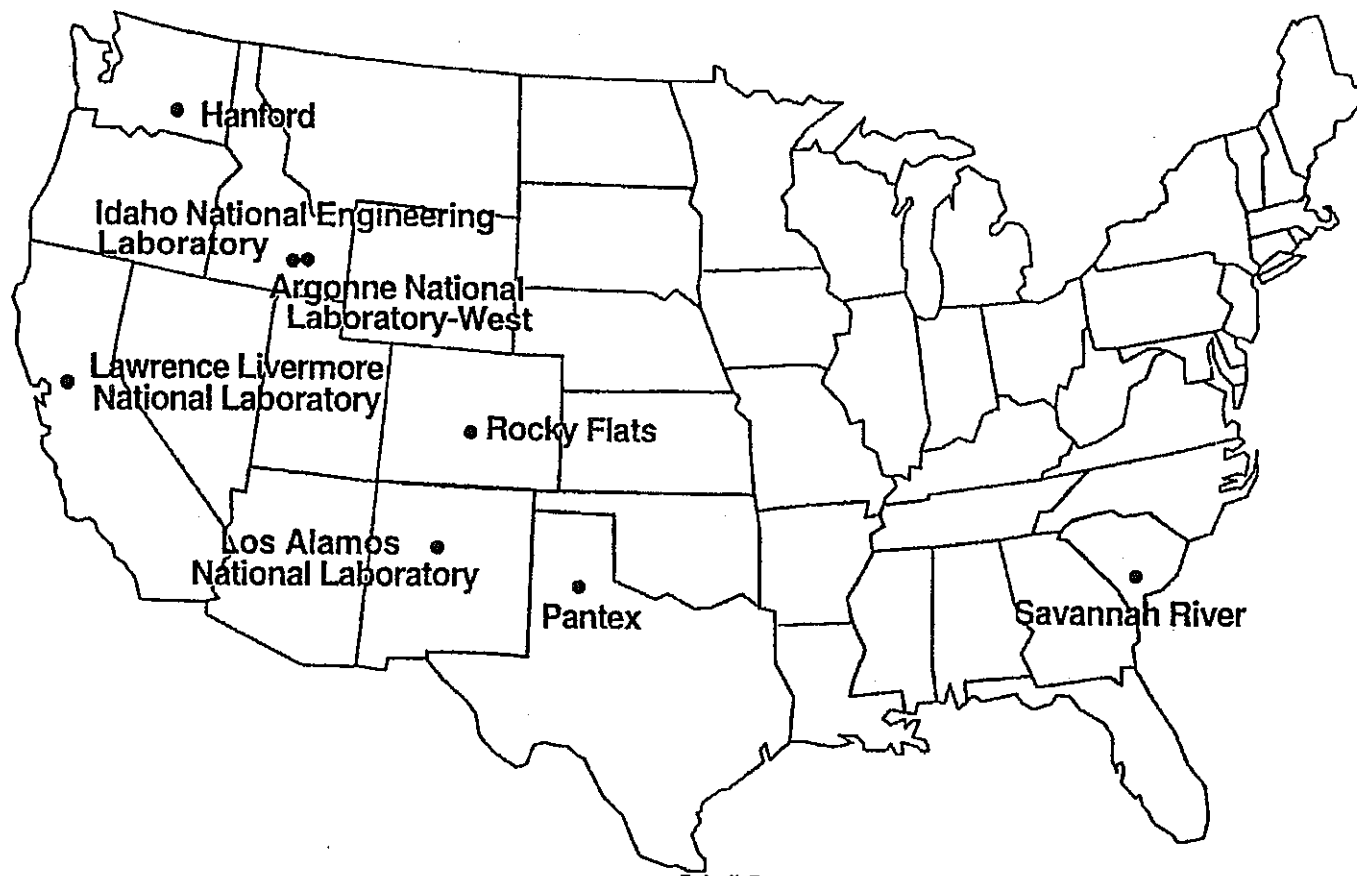
【出典】 R.J.Neuhold, E.A. Condon (DOE), "Capability of U.S. LWR Using Full-MOX Cores, ANS Transaction, 1995.6.25~29.



(注記) LANL : ロスアラモス国立研究所
 ANL : アルゴン国立研究所
 INEL : アイダホ国立工学研究所
 LLNL : ローレンス・リバモア国立研究所

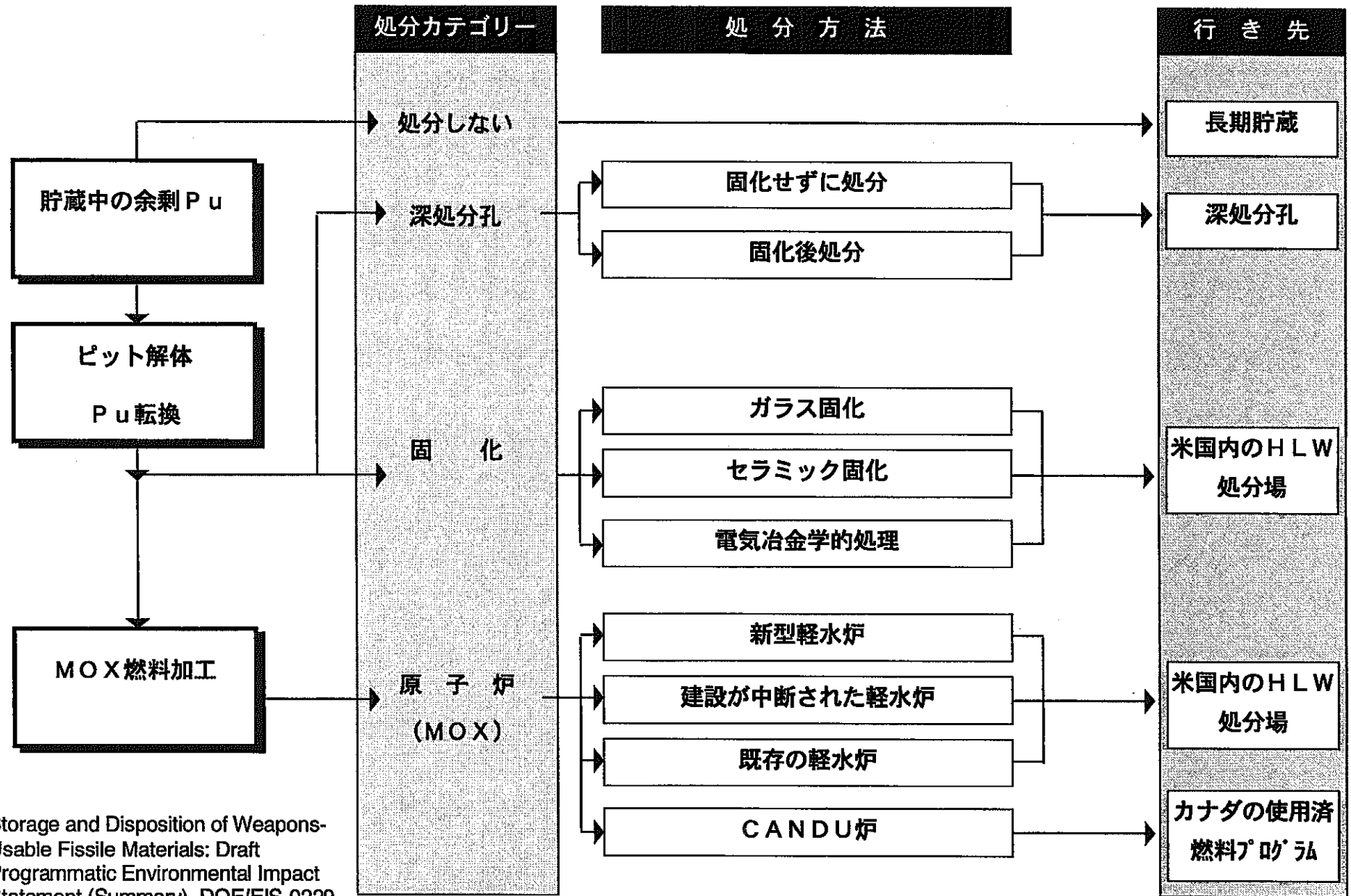
【出典】 Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials: Draft Programmatic Environmental Impact Statement (summary), DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

[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）

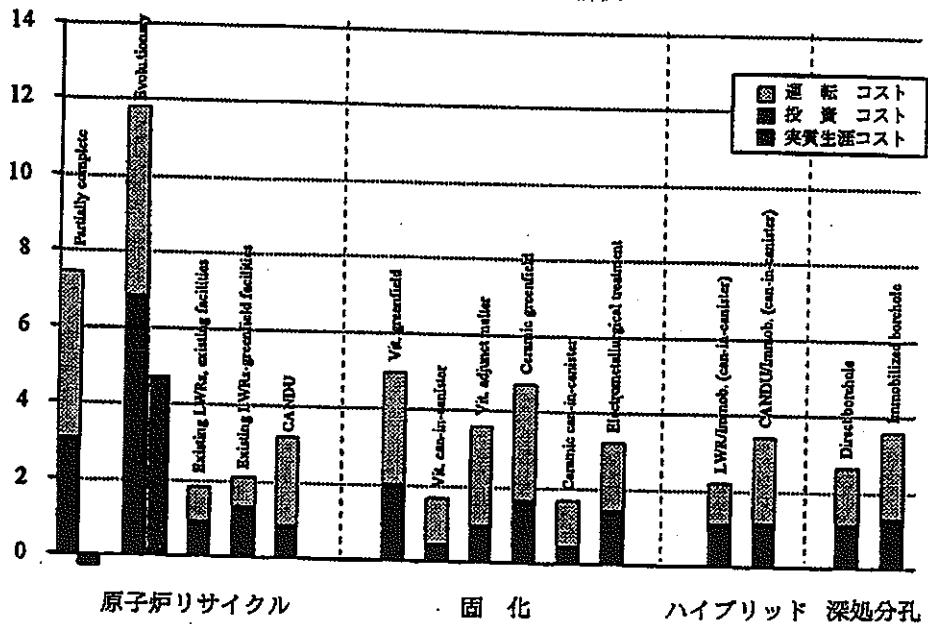


【出典】 Storage and Disposition of Weapons-Usable Fissile Materials: Draft Programmatic Environmental Impact Statement (Summary); DOE/EIS-0229-D, 1996.2.

【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

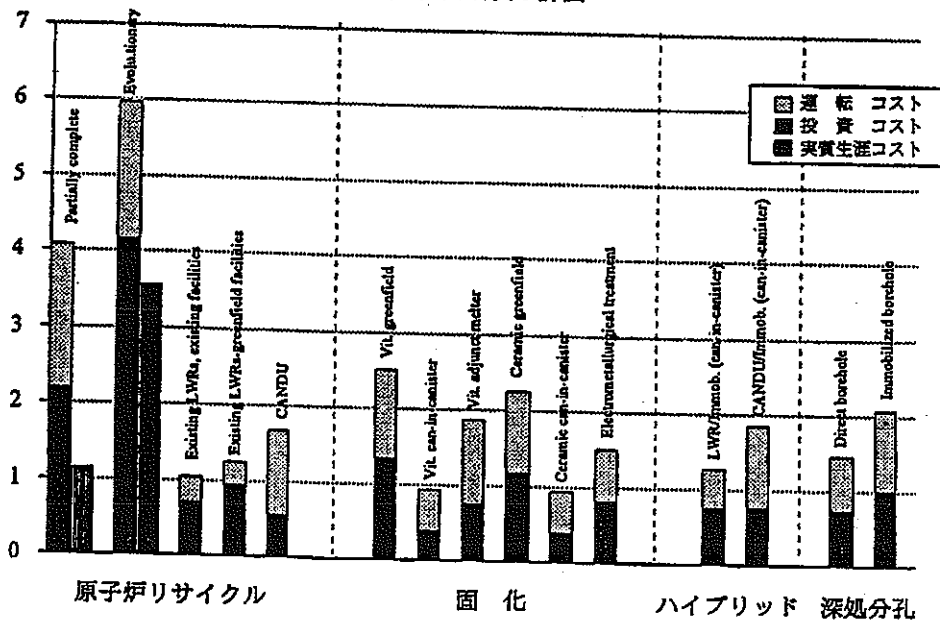
10億ドル

(1) 固定ドルでの評価



10億ドル

(2) 割引後の評価



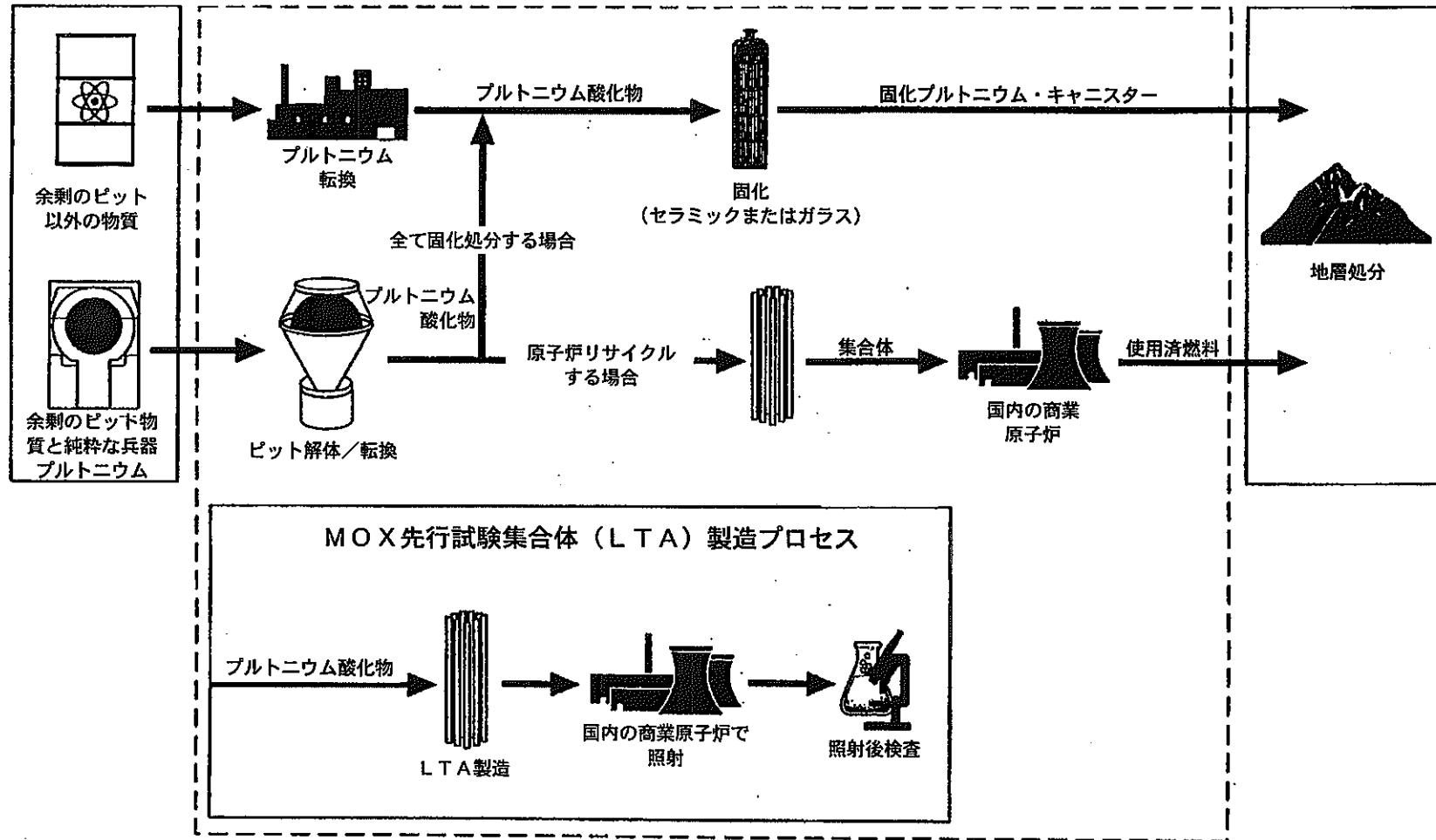
【第 11.4 図】 DOE による余剰兵器プルトニウム処分オプションの投資/運転コスト評価

【出典】 "Technical Summary Report For Surplus Weapons-Usable Plutonium Disposition", DOE, 1996.07.17

兵器プルトニウム貯蔵

提案されている処理

処分



【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.