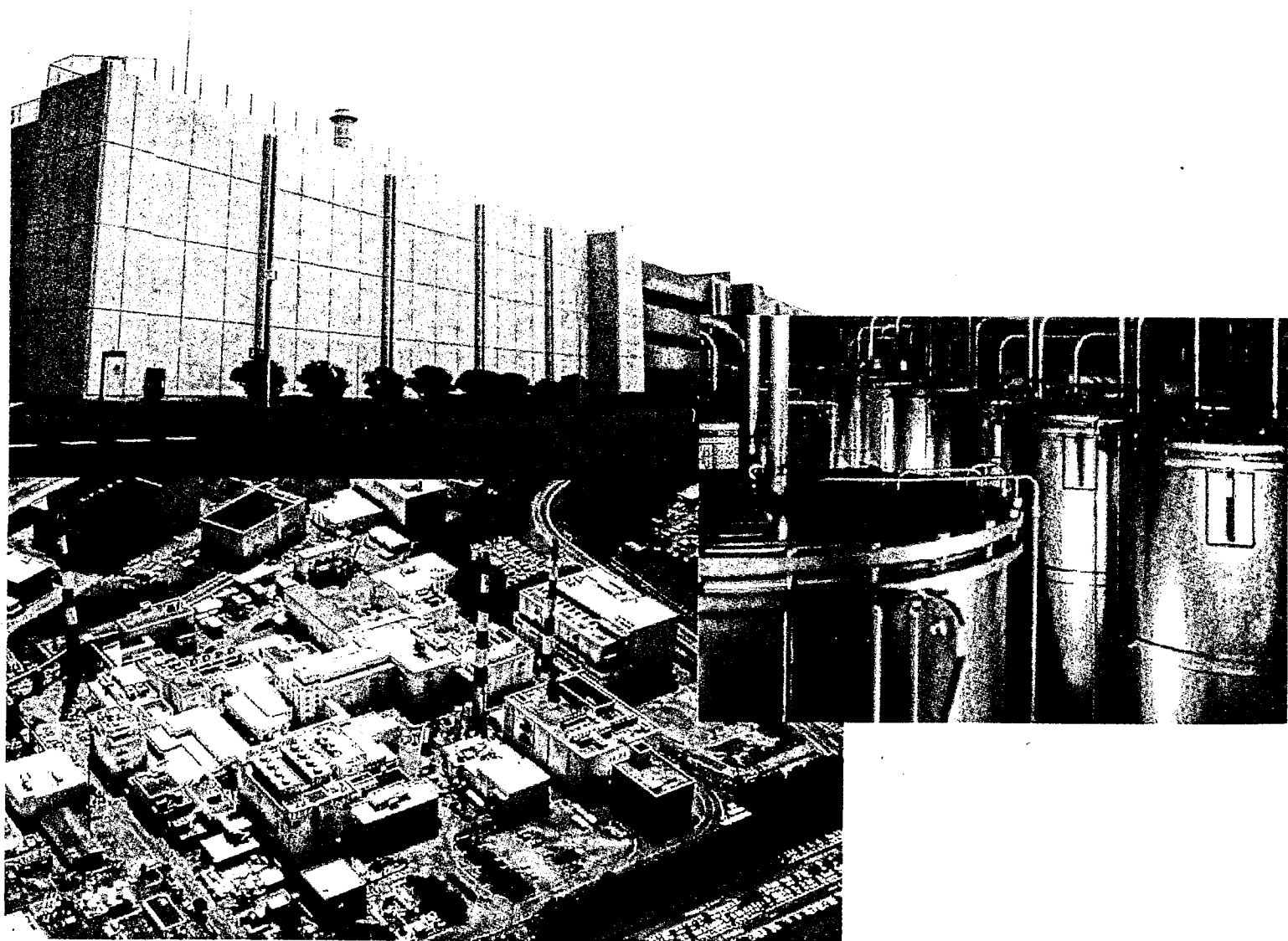


日本の核燃料サイクル技術開発の50年



2005年9月

核燃料サイクル開発機構

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。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

電話: 029-282-1122 (代表)
ファックス: 029-282-7980
電子メール: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

日本の核燃料サイクル技術開発の 50 年

核燃料サイクル開発機構 理事 河田東海夫

核燃料サイクル開発機構は、2005 年 10 月 1 日をもって日本原子力研究所と統合され、独立行政法人「日本原子力研究開発機構」として新しいスタートを切る。新機構発足後最初に迎える 2006 年の新年は、我が国の原子力委員会の発足、すなわち我が国の原子力研究開発利用のスタートからちょうど 50 年目になる。この大事な節目を迎えるにあたり、黎明期から今日に至るまでの半世紀にわたる我が国における核燃料サイクル技術開発の歴史を、再処理技術、MOX 燃料技術および濃縮技術に焦点を絞り、やや私観もまじえて振り返ってみた。この歴史は、原子燃料公社に始まり、動力炉・核燃料開発事業団を経て、核燃料サイクル開発機構にいたるまでの半世紀の歴史でもある。

(2005 年 9 月)

日本の核燃料サイクル技術開発の 50 年

— 目次 —

1. <u>アイゼンハワー演説と第 1 回ジュネーブ会議</u>	1
2. <u>再処理技術：さまざまな困難との闘い</u>	
2. 1 黎明期の再処理政策	3
2. 2 東海再処理工場の設計、建設	3
2. 3 日米再処理交渉とホット運転の開始	4
2. 4 工場運転と様々なトラブル対応	5
2. 5 日本原燃への技術移転	7
2. 6 FBR 燃料再処理技術開発	8
3. <u>MOX 燃料技術開発：260g の出発から自動化量産プラント技術への道</u>	
3. 1 JMTR 計画遅延で急遽実現したプル燃第一開発室の建設	9
3. 2 260g からの出発	10
3. 3 プル燃第一開発室における基礎技術の確立	10
3. 4 プル燃第 2 開発室で実証された破損ゼロの優れた製造実績	11
3. 5 プル燃第 3 開発室と「もんじゅ」燃料製造で遭遇した大量 生産上の課題への対応	12
3. 6 ショートプロセスの開発	13
3. 7 日本原燃の MOX 加工事業への技術協力	13
4. <u>遠心法濃縮技術開発：完全国際機密の中での純粹高度国産技術への果敢な挑戦</u>	
4. 1 大山義年先生の先見性で開始された遠心法濃縮技術開発	14
4. 2 ガス拡散法と競合した特定総合研究	14
4. 3 ナショナルプロジェクト下での開発の飛躍的發展	16
4. 4 パイロットプラントの建設と運転	17
4. 5 官民協力での原型プラントの建設と運転	17
4. 6 円高との戦い	18
4. 7 新素材胴遠心機開発	18
5. <u>全体を振り返って</u>	
5. 1 何がうまくいったか？	21
5. 2 濃縮技術移転の成功と失敗	22
5. 3 なぜ動燃は自前の再処理技術を日本原燃に移転できなかったか？	22
5. 4 核燃料サイクル技術とは	23
5. 5 高速炉サイクルの実現に向けて	24
5. 6 中村康治氏の遺言	24

補遺

金属ウラン精錬	25
海外ウラン探鉱	25

参考文献

.....	27
-------	----

参考資料:

日本原子力学会特別セミナー「Atoms for Peace in Japan 50年を振り返る」(2003.9.29 - 30) プレゼンテーション資料 「核燃料サイクル開発の50年」	28
--	-------	----

日本の核燃料サイクル技術開発の 50 年

1. アイゼンハワー演説と第 1 回ジュネーブ会議

1953 年（昭和 28 年）12 月 8 日、国連総会でアイゼンハワー米大統領は「平和のための原子力」(Atoms for Peace)と題する歴史的な演説を行い、平和利用の原子力時代の開幕を宣言した。実際に原子力技術が世界的に公開されたのは、1955 年（昭和 30 年）8 月から 9 月にかけて開催された第 1 回ジュネーブ会議であり、無尽蔵の原子力エネルギー利用の夢に世界中を駆り立てることになった。図 1-1 は米国が第 1 回ジュネーブ会議の展示物や印刷物につけた“Atoms for Peace”宣伝用のシンボル標識であり、原子を取り巻く 4 つの図柄は、原子力の科学、医療、工業および農業への利用を象徴している

ところで、当時ウラン資源は極めて貴重であり、その埋蔵量に関する情報は重要な国家機密であるとされ、この会議では公開されなかった。またウラン濃縮技術も原爆製造に直結する技術として公開されなかった。一方、原子炉の燃焼に伴いウラン燃料中に蓄積するプルトニウムを回収する技術、すなわち再処理技術は、限られたウラン資源量のもとで原子力利用を進める上で必要不可欠な要素とみなされていた。このため、当時の最新技術であるピュレックス法をはじめ、再処理に関する基本情報はこの会議で一斉に公開された。

こうした中日本では、改進黨の青年将校といわれた当時 30 歳の中曾根康弘議員は、敗戦国であり被爆国であるわが国も原子力の平和利用で遅れを取ってはならないとして、アイゼンハワー演説の 3 ヶ月後の 1954 年（昭和 29 年）3 月 2 日、2 億 3 千 5 百万円の原子力予算を盛り込む予算修正案を急遽国会に上程し、これを認めさせることに成功した。この予算額は、ウラン 235 にちなんだものであったといわれている。これが契機となり 1955 年（昭和 30 年）12 月には原子力基本法が成立し、1956 年 1 月には正力松太郎氏を初代委員長とする原子力委員会が発足した。引き続き 6 月には日本原子力研究所（原研）が設立され、ついで 8 月には原子燃料公社（原燃公社）が設立された。

本報では、黎明期から今日に至るまでの約半世紀にわたる我が国における核燃料サイクル技術開発の歴史を、再処理技術、MOX 燃料技術および濃縮技術について概観する。この歴史は、原燃公社に始まり、動力炉・核燃料開発事業団（動燃）を経て、現在の核燃料サイクル開発機構（サイクル機構）にいたるまでの半世紀の歴史でもある。なお記載内容の一部は筆者の主観によるところがあり、必ずしも組織の公式見解ではないことをお断りしておく。また、本報は、2003 年（平成 15 年）9 月 29 日、日本原子力学会主催特別セミナー「Atoms for Peace in Japan : 50 年を振り返る」で筆者が行った講演をもとに、学会の要請で執筆した原稿に一部修正を加えたものである。



写真 1-1
Atoms for Peace 演説をするアイゼン
ハワー大統領(1953年12月)

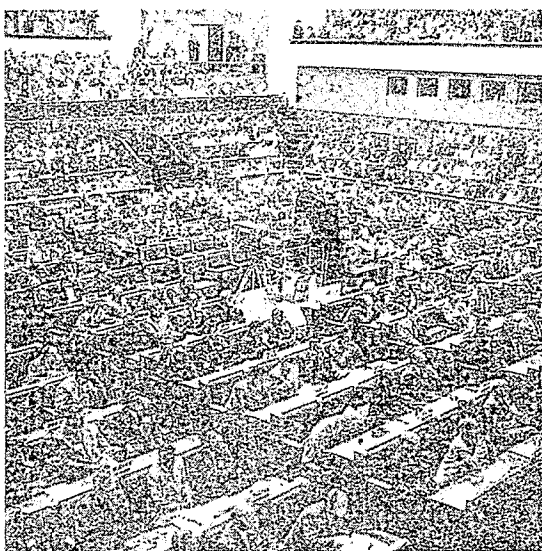


写真 1-2
第1回ジュネーブ会議(1955年8月)

図 1-1
第1回ジュネーブ会議で米国
が使用した "Atoms for
Peace" 宣伝用の標識



2. 再処理技術：さまざまな困難との闘い

2.1 黎明期の再処理政策

我が国では、原子力利用開発が始まった当初から、再処理はウラン資源を有効利用する上で必須の技術と考えられていた。1956年（昭和31年）6月に内定した最初の原子力開発利用長期計画（長計）では、再処理に関する初期の研究は原研が行い、その後は原燃公社において集中的に実施するものとされた。核燃料は国有との考えに加え、プルトニウム生産技術でもあることから、再処理事業は国の直轄組織のみで行うべきとの考えがあり、1957年（昭和32年）5月に制定された原子炉等規制法では、「原燃公社以外の者は、再処理の事業を行ってはならない」と規定された（但し原研の研究は除外）。

原研で基礎研究が開始されたが、英国からのマグノックス炉導入計画などわが国の発電炉計画の具体化が進み出すと、350kg/日程度のパイロットプラントを建設すべし（昭和35年5月原子力委再処理専門部会中間報告、及び昭和36年2月第2次長計）ということになった。さらに、1961年（昭和36年）4月～5月に原子力委員会から派遣された再処理技術調査団（大山義年団長）が、「ピュレックス再処理は完成に近く、1t/日の規模では商業的に成立する」と報告した。このため原燃公社は、原研の基礎研究を一挙に飛び越え、海外からの技術導入で1t/日規模の実用再処理工場を建設すると言う道を歩むこととなった。

2.2 東海再処理工場の設計、建設

東海再処理工場の設計は1963年（昭和38年）から開始され、予備設計は英国NCP社（Nuclear Chemical Plant）が、またその後の詳細設計はフランスSGN社（Saint Gobain Techniques Nouvelles）が行った。処理対象はガス炉（マグノックス炉）燃料と軽水炉燃料であるが、当時、英仏ともガス炉燃料の再処理経験しかなく、軽水炉の基本情報を持っていなかった。このため、軽水炉用前処理工程のせん断機概念設計は米国に個別発注した。その後1968年（昭和43年）に原電が東海1号炉の再処理を英国に委託することにしたため、マグノックス炉燃料用の前処理工程は削除された。

軽水炉用酸化物燃料の溶解工程や、ガス炉に比べ格段に高い燃焼度の燃料処理などは、フランスにとっても全く未経験の分野であり、東海再処理工場の設計・建設・試運転で遭遇した様々な課題への対応は、SGN社にとっても貴重なノウハウ取得の場となった。

1964年（昭和39年）9月に原燃公社が県及び東海村に再処理工場建設申し入れを行ったところ、地元から厳しい反対運動が起こり、茨城県議会、勝田市議会、茨城県漁連が相次いで建設反対決議をした。反対理由は、住民や水産業者の不安に加え、隣接する南側の広大な土地が当時は米軍の射爆場であり、再処理工場を并存させることは安全上容認できないというものであった。しかし、関係者の血のにじむような努力と、1969年（昭和44年）2月の放射線審議会による海洋放出の安全性答申や同年9月の射爆場返還閣議決定により、10月に県議会の反対決議は事実上白紙撤回された。

日米交渉は1977年4月から、間に東海工場の日米合同調査を入れ、三次にわたって行われた。日本側は宇野宗佑科学技術庁長官を筆頭に、外務省、通産省の協力と、動燃の実務陣の支援のもと挙国一致体制を築いてこれに対応した。米国側からは混合抽出への工程変更への期待が示されたが、共同調査の結果、工程は容易に変更出来ないことを米国側も理解し、当面プルトニウム転換施設の建設を延期すること（すなわち回収プルトニウムは溶液のまま貯槽に溜め、外に持ち出さないこと）を条件に、2年の間に99トンの処理を容認することで9月に最終合意に達した。

1977年（昭和52年）9月22日、JPDR使用済燃料のせん断が行われ、ホット試験が開始された。当日試験開始に立ち会った宇野大臣は、「再処理こそは核燃料サイクルの要である。我が国はここに核燃料サイクル元年の元日を迎えた」と祝辞を述べられた。11月7日には、発電炉からの最初の国産プルトニウム0.8kgが回収された。引き続き開始された核燃料サイクルの国際評価作業INFCEでは、日本は、英国と共に再処理やプルトニウム利用を検討する第4ワーキンググループの共同議長国を務めた。また、日・米・仏・IAEA間の再処理保障措置技術に関する国際共同研究TASTEXを提案・推進し、新しい保障措置技術を実際の再処理工場に世界で最初に適用、実証する貴重な実績をあげた。日米交渉やこれらの活動を通じ、非核兵器国ではあるが再処理国としての日本の地歩がしっかりと確保できた。

日米再処理交渉を契機に、混合抽出に代わる核不拡散性強化策として、急遽マイクロ波加熱直接脱硝法による混合転換技術の開発を進め、1979年（昭和54年）に設置した2kg/日規模の試験設備で技術を実証した。その成功は、日米交渉で合意した2年の運転期間終了後の工場の運転継続について米国の了解を得る決め手となり、その後処理能力10kg/日の混合転換施設が建設された。混合転換技術は米国から核拡散抵抗性を高める優れた技術として高く評価され、1981年（昭和56年）12月の米国原子力学会では最優秀論文賞を受賞した。

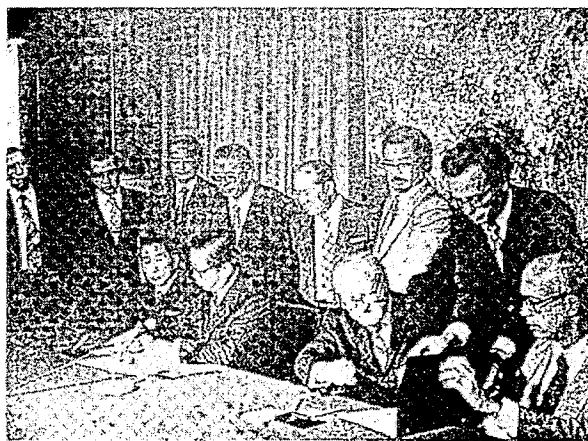


写真2-1 日米共同決定文書に署名する宇野大臣とスミス大使(昭和52年9月)

2.4 工場運転と様々なトラブル対応

東海再処理工場は、運転を開始後も大小様々なトラブルに遭遇した。酸回収蒸発缶のピンホールや2つの（すなわち全ての）溶解槽の相次ぐ腐食リークなどは、先行経

験がない中で設計建設された初代プラントとしての宿命的トラブルといえるが、遠隔保守の機能を全く欠いた狭隘なセル内に設置されたこれらの機器のホット環境下での交換や補修は困難を極め、事あるごとに長期の運転停止につながった。

燃料搬送やせん断など前処理機械工程でもトラブルが多発したが、予算の制約や工期の都合などから、設計段階で主要機器のモックアップ試験を十分行う余地がなかったことなどもその遠因となった。

東海再処理工場は、基本的に単系列できわめて限られたバッファ能力しか持たない工場であり、各工程の故障や整備の必要性が直ちにプラント全体の停止につながり、稼働率を大きく制限することとなった。また、計画時には法的要求事項ではなかった毎年の定期検査が発電炉に準じて義務付けられたことや、保障措置業務への予想以上の負担が、さらに稼働率を抑える要因となった。

こうして、建設当初に想定した年間300日の稼働（年間210トン処理：0.7トン/日×300日）は到底達成できず、借入金の返済が滞って利子が累積した。さらに、保守のための経費も予想外にかさみ、その都度借り入れを増やしたため、借入金総額が増大する一方という事態を生じた。

その後、新材料による蒸発缶への交換、溶解槽の遠隔補修技術の確立、改良材料による3基目の溶解槽設置、計画停止による予防保全の導入などで順次課題を克服し、1985年（昭和60年）からようやく安定運転を実現した。それでも、機器の点検整備、定期点検、1年2度の核物質在庫調査などのための運転停止を考慮すると、年間運転可能日数は約200日に制限され、時々的小トラブルによる短期運転停止は避けがたい

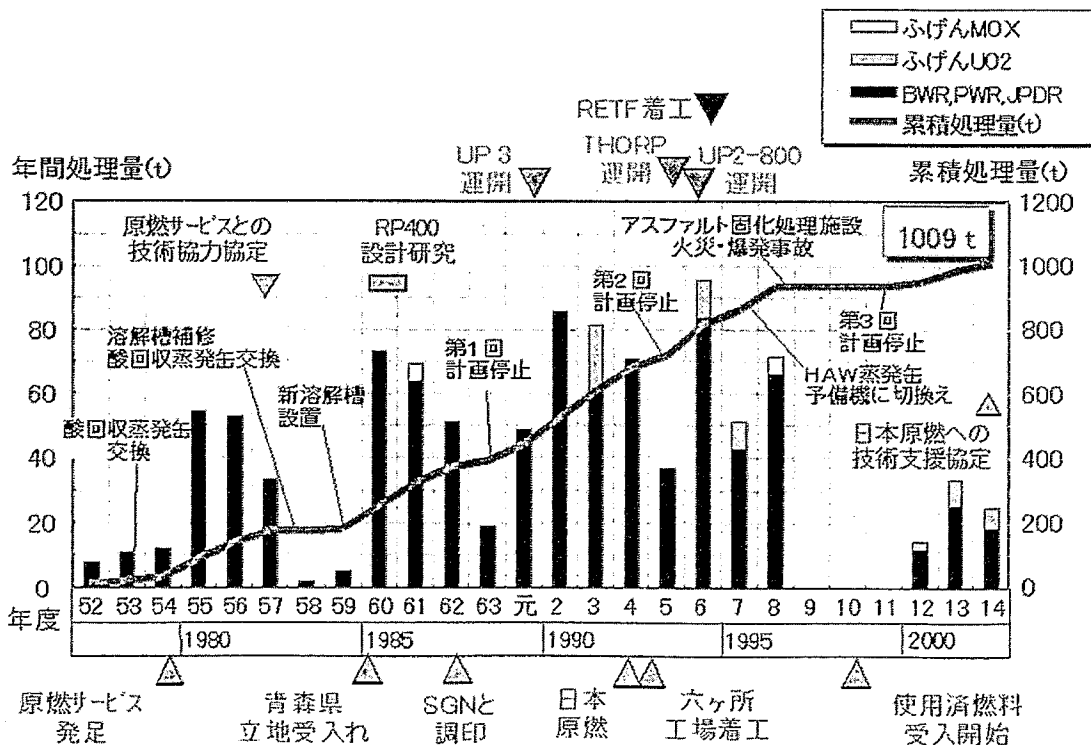


図 2-2 東海再処理工場の運転実績

ことから、年間処理量は70～100トン程度が限度であった。しかし、この過程で、再処理工場の運転、補修、安全管理、保障措置対応など様々な分野で改善努力が行われ、貴重なノウハウ・経験が蓄積された。また、ふげんのMOX使用済燃料も10.2トン再処理し、MOX燃料再処理の技術基盤作りにも貢献した（2004年末時点では約20トン）。

工場運転の安定化で累積処理1,000トン達成を目前に控えた1997年（平成9年）3月、アスファルト固化処理施設で火災爆発事故が発生した。この事故は、幸い人身事故には至らなかったが、事故後の対応のまずさから社会問題化し、動燃は解体を迫られ、核燃料サイクル開発機構へと改組された。借入金の返済が進み出し、あと何年かで返済完了の目処がついていただけに、痛恨極まる出来事であった。

東海再処理工場は、3年8ヶ月の停止後、2000年（平成12年）11月に地元の了解（1999年9月30日のJCO臨界事故の影響で1年延びた）を得て運転を再開し、2002年（平成14年）6月に累積1,000トン処理を達成した。

2.5 日本原燃への技術移転

1967年（昭和42年）4月に策定された長計で原子力委員会は、再処理事業は原燃公社に独占的に行わせるというそれまでの方針を変更し、「第二再処理工場は民間に期待する」とし、民間企業による再処理事業への道を開いた。その後54年に原子炉等規制法が同様の趣旨に沿って改正され、1980年（55年）3月に現在の日本原燃の母体、日本原燃サービスが設立された。

当時動燃は、運転を開始した東海再処理工場の様々な初期トラブルへの対応で苦闘をしている時期であり、運転安定化達成が当面の最大目標となっていたため、次の民間再処理工場設計に向けての準備を進める余力はなかった。

日本原燃サービスは、1985年（昭和60年）4月に青森県及び六ヶ所村が立地協力要請を受諾すると、年間処理量800トンのプラントを主にフランスからの技術導入で建設することを決め、1987年（昭和62年）にSGN社と協定を締結した。

当時フランスでは日本やドイツの電力会社を顧客とする最新鋭の再処理工場UP-3の建設が進んでおり、800トンプラントの先行経験がそこで得られることが確約されていた。そうした当時の状況下で、原燃サービスがフランスからの技術導入を決めたのは、当然の成り行きであったといえよう。1984年から1985年にかけて、動燃は、東海工場のそれまでの建設・運転経験をベースに年間400トン処理の再処理工場の概念設計研究（RP-400及びRP-II）を行ったが、その結果が外に出て陽の目を見ることはなかった。なお、周辺工程には国内技術を使うことになり、ウラン脱硝技術、混合転換技術、高レベルガラス固化技術等には動燃が開発した技術が採用されることになった。

1982年（昭和57年）6月に動燃・原燃間で「再処理施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定」が締結され、以後動燃及びサイクル機構は、上述の自社開発技術の移転、全工程にわたっての設計コンサルティング、東海工場OTLを利用したホッ

トプロセス確証試験の共同実施、技術者の派遣や研修生の受入れなど、様々な技術協力を進めてきた。2002年（平成14年）7月には試運転に関する技術支援協定を結び、サイクル機構からの技術移転になる施設の試運転の支援を開始している。

六ヶ所再処理工場は2004年12月にウラン試験を開始したが、サイクル機構から工場長クラスや当直長クラスを含む約130名の東海工場運転経験者が現地に派遣されており、試運転現場での指導的役割を果たしつつある。このほか、サイクル機構の関連会社員も大勢が現地で活躍しており、機構職員と関連会社員あわせ、総勢で約290名が六ヶ所の再処理事業立ち上げに協力している。

以上のほか、東海再処理工場に累積で約2万人にのぼる青森県からの見学者を受け入れ、青森関係者の再処理への理解醸成に貢献した。また、東海工場は海外のどの再処理工場よりも環境への放射能放出を低く抑えており、海外で見られるような周辺環境汚染の問題を一切生じなかったことは、六ヶ所における立地受入れを容易にした重要な要素となったことも忘れてはならない。

2.6 FBR 燃料再処理技術開発

動燃では、1975年度（昭和50年度）からFBR燃料用技術開発を本格化させ、CPFでのホット試験や第1、第2応用試験棟などでの機器開発、及びその後の米国ORNLとの協力などを通じ、技術の改良・高度化を進めてきた。その結果、ソルトフリー化したウラン・プルトニウム共抽出プロセス、連続溶解槽や遠心抽出機などの新型機器などの開発が進み、それらの技術を「常陽」や「もんじゅ」の実際の使用済燃料を用い、工学規模で試験・実証するための施設RETFを建設することにし、1995年（平成7年）1月に着工した。しかし、その年末に「もんじゅ」でナトリウム漏洩事故が起こり、さらに1997年（平成9年）3月には東海でアスファルト固化処理施設の火災爆発事故が起きた事から、建屋のみ完成したものの、内装機器の製作は行われないうまま今日に至っている。計画通り完成していれば、コジェマの技術をしのぐ最先端の再処理実験工場として世界の注目を浴びたであろう。

現在サイクル機構では、高速炉サイクル実用化戦略調査研究が進められており、乾式プロセスも含め技術開発と評価が進められつつある。RETFの利用方策については、それらの進展をふまえ今後具体化されることになる。

3. MOX 燃料技術開発：260g の出発から自動化量産プラント技術への道

3. 1 JMTR 計画遅延で急遽実現したプル燃第一開発室の建設

1957年（昭和32年）6月に策定された「発電用原子炉開発のための長期計画」に「プルトニウムリサイクル技術確立のため、燃料再処理、プルトニウム冶金の技術開発の促進が必要」と書かれているように、プルトニウムリサイクルは、わが国で原子力開発が開始された当初から重要視されていた。1961年（36年）2月策定の長計では、プルトニウム燃料開発を、昭和40年代後半に熱中性子炉への実用化（今日でいうプルサーマル）を、また昭和50年代前半までに高速増殖炉への実用化を目標とし、原研および原燃公社の共同プロジェクトとして強力に推進することとした。

1960年頃、原研でプルトニウムに関する基礎的な研究が開始され、原燃公社では、中村康治氏らを中心に、燃料検査技術開発やセラミック燃料についての研究が開始された。

1961年（昭和36年）4月に原子力委員会が派遣した再処理技術調査団（大山義年団長）に同行した原燃公社今井美材理事（当時）は、「米国が核燃料を民有化する方針に転じたことにより、プルトニウム取扱い施設の技術導入が民間ベースで可能になった」との情報を米国当局から得た。これにより原燃公社は、1962年（昭和37年）、本格的プルトニウム燃料研究施設の設計を米国 NUMEC 社に委託し、翌年に詳細設計を終えた。

当時原燃公社の総予算は20億円程度で、10億円以上の施設建設費が認められる可能性はほとんどなかった。ところが、1964年度（昭和39年度）に計画していた原研 JMTR の着工が急遽見送られ科技庁予算に穴があきそうになったことから、上述施設の建設費約12億円が39年度予算として突然認可されることとなった。こうして、当時としては世界的規模のプルトニウム燃料研究施設（現在のプル燃第一開発室）の建設が開始され、翌年1965年（昭和40年）11月に落成を迎えた。落成2ヶ月前の9月23日には、東京で開かれた IAEA 総会参加のために来日中の米国原子力委員長シーボーク博士（プルトニウム発見者）がヘリコプターで東海村に飛来し、完成直前の施設を視察した。

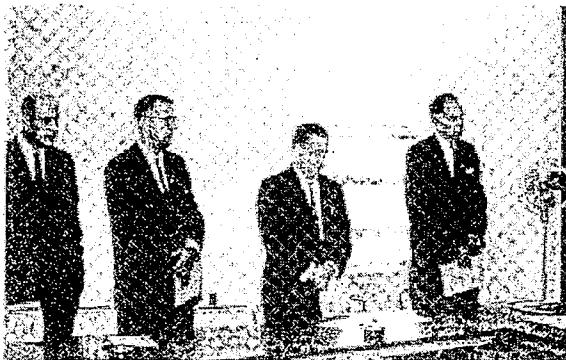


写真 3-1
落成間近のプル燃第一開発室を訪れた
シーボーク米国原子力委員長（右端）
（昭和40年9月）

3.2 260gからの出発

米国原子力委員会 (AEC) は、1960 年頃から、動力炉でのプルトニウム利用促進をめざしたプルトニウム利用計画 (PUP) を立ち上げた。ハンフォードでは 1960 年 (昭和 35 年) にプルトニウムリサイクル試験炉 PRTR が稼動を開始し、その後 4,000 本にのぼる MOX 燃料の照射試験が行われた。1965 年 (昭和 40 年) からは、アルゴンの BWR 実験炉 EBWR で MOX 炉心による試験運転が開始された。

こうした中、1961 年 (昭和 36 年) 12 月の日米原産会議出席のため来日したウィルソン AEC 委員と原産橋本清之助専務理事の会談を契機に、1963 年 (昭和 38 年) 3 月、AEC は 2 名の技術者をハンフォードに受け入れることを了承した。こうして、同年 9 月から 1 年間弱、中村康治氏がハンフォードに長期出張し、日本人としてはじめて、プルトニウム燃料の取扱いや安全管理、燃料照射および照射後試験などの技術を習得した。その後の動燃・サイクル機構におけるプルトニウムの安全管理や臨界管理の技術や体系は、このとき中村氏が習得した知見をもとに構築されたものである。なお、原研から坂田肇氏 (後に動燃大洗工学センターの高速実験炉部長や所長を務められた) もこのとき同時にハンフォードに長期出張し、PRTR に駐在して炉物理や燃料設計技術を習得した。

1966 年 (昭和 41 年) 1 月 12 日、政府が米国から購入したプルトニウム (PuO_2 粉末) 1.5kg のうち最初の 260g がプル燃第一開発室に到着し、本格的プルトニウム燃料研究開発の幕開けとなった。なお、当時のプルトニウム購入価格は 43 ドル/g であり、プルトニウムは政府の所有であるため、原燃公社は 6.5% の借料を払い、これを政府から借り受けた。

3.3 プル燃第一開発室における基礎技術の確立

プル燃第一開発室では、プルトニウムが入荷すると直ちに MOX 燃料ペレットの試作や物性評価試験などを開始するとともに、燃料設計技術や分析・品質管理技術等の確立にも努め、まもなくそれらの技術を総合実証すべく、各種の燃料照射試験を計画し、そのための燃料製造を行った。

1960 年代中頃に入ると、米国では民間主導のプルトニウムリサイクル試験が奨励され、軽水炉での MOX 燃料照射試験計画が開始されつつあった。こうした情勢を踏まえ、プル燃第一開発室では、「プルサーマル計画」と称して GETR、ハルデン炉、サクストン炉等海外の炉を用いた軽水炉用 MOX 燃料照射試験を次々と実行に移した。また、関電美浜 1 号炉で計画された MOX 燃料照射試験にも参加し、燃料棒 4 本分の MOX 燃料を製造、供給した。これらの一連の試験では、燃料要素で最高 56,000MWd/t の燃焼度を達成した。

ATR 計画や FBR 計画の具体化に伴い、これらを対象とした MOX 燃料製造技術開発が始まり、1970 年前後から ATR 向けでは SGHWR とハルデン炉で、また FBR 向けとしては DFR とラプソディ炉で燃料照射試験が開始された。FBR に関しては、「常陽」と「もんじゅ」のそれぞれを対象とした燃料開発が進められ、後に照射試験の場は Phenix、EBR-II、FFTF、および常陽 Mk-II へと広がった。これらの試験で、FBR

燃料では 100,000MWd/t をはるかに超える燃焼度が達成され、「もんじゅ」の安全審査やその後の FBR 開発にそれらの成果が利用されている。

こうして、昭和 40 年代のプル燃第一開発室における研究開発を通じ、世界に並ぶレベルの MOX 燃料技術の基礎が確立された。また、第一開発室開設後直ちに外来研究員制度を設け、メーカー各社からも優秀な技術者に開発に参加してもらった。これらの人々は、1968 年（昭和 43 年）に動燃が発足し、FBR 開発がナショナルプロジェクトとして本格化した際、メーカー各社の燃料設計陣の中核となった。

3. 4 プル燃第 2 開発室で実証された破損ゼロの優れた製造実績

ATR 開発用重水臨界実験装置 DCA と高速実験炉「常陽」用の MOX 燃料製造施設プル燃第二開発室が建設され、1972 年（昭和 47 年）1 月に運転を開始した。この施設は、プル燃第一開発室での経験をベースに独自に設計された、パイロットプラント的性格を持つ MOX 燃料製造施設で、ATR ラインと FBR ラインの二つの製造ラインを持ち、前者はその後 1974 年に DCA 用から「ふげん」用の燃料の製造ラインに改造された。この施設では、主要な工程は機械化され、次段階での工程自動化への基礎を築いた。また、1978 年（昭和 53 年）2 月から NPT 下での保障措置体制に組み込まれ、非核兵器国のプルトニウム大量取扱い施設への保障措置適用上のさまざまな技術実証の場としても貢献した。

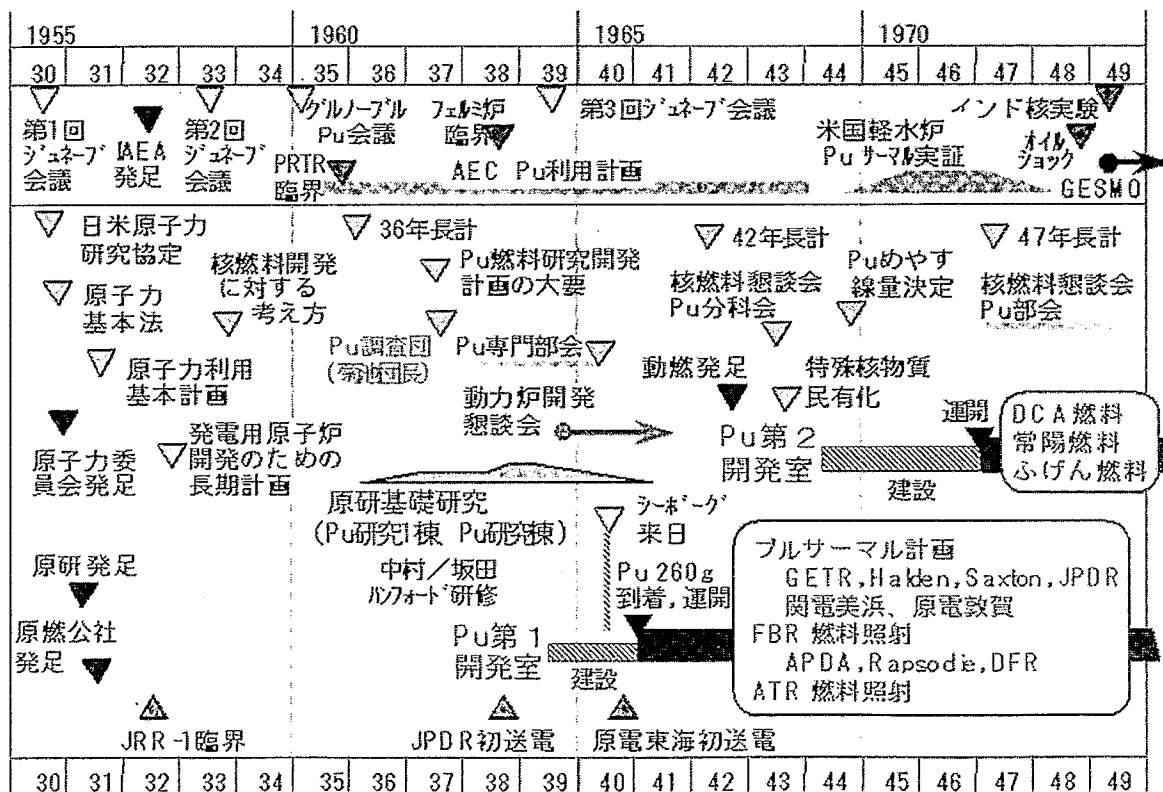


図 3-1 プルトニウム利用技術開発の歴史(昭和 50 年まで)

プル燃第2開発室で行われていた「常陽」用燃料の製造は、1988年（昭和63年）に運転を開始したプル燃第3開発室に引き継がれ、また「ふげん」用燃料の製造は2002年度末（平成14年度末）の「ふげん」運転停止を前に2001年度（平成13年度）に終了した。この間、「常陽」向けにはMk-I用及びMk-II用をあわせ合計359体の炉心燃料集合体を製造し、また「ふげん」には773体のMOX燃料集合体（140トンのMOX）を供給し、どちらも燃料破損ゼロという優秀な実績を残した。「ふげん」における773体のMOX燃料集合体燃焼は単一の発電用熱中性子炉としては世界一の実績である。なお、ATRラインでは、原電敦賀1号炉で実施されたプルサーマル先行照射試験用の集合体のMOX燃料棒も製造した。

3.5 プル燃第3開発室と「もんじゅ」燃料製造で遭遇した大量生産上の課題への対応

第1、第2開発室で培った技術を発展させ、遠隔化・自動化技術を採用した実証規模MOX燃料製造施設であるプル燃第3開発室FBRラインが1987年（昭和62年）に完成し、翌年10月から「常陽」Mk-II第5次取り替え燃料の製造が行われた。

1990年（平成2年）1月から「もんじゅ」初装荷燃料の製造を開始したところ、低密度燃料ペレット製造用に添加する密度降下剤が大量バッチの原料粉末の蓄熱で分解する結果、製品ペレットの密度のバラツキが予想外に大きくなり、製品収率が極めて低くなるという問題等が発生した。これらの問題は、密度降下剤の変更その他で、順次解消され、最終的には良好な製品収率が得られるようになったが、205体の初装荷燃料の完成は当初予定に比べ、約20ヶ月遅れた（1994年1月完成）。

1994年（平成6年）5月にはプルトニウムの工程内滞留問題が起こり、その後約2年をかけ、滞留粉末の回収を進めるとともに、粉末滞留抑制機能を持つ改良型機器の開発や、滞留プルトニウム非破壊測定装置の精度向上等の改善を進めた。

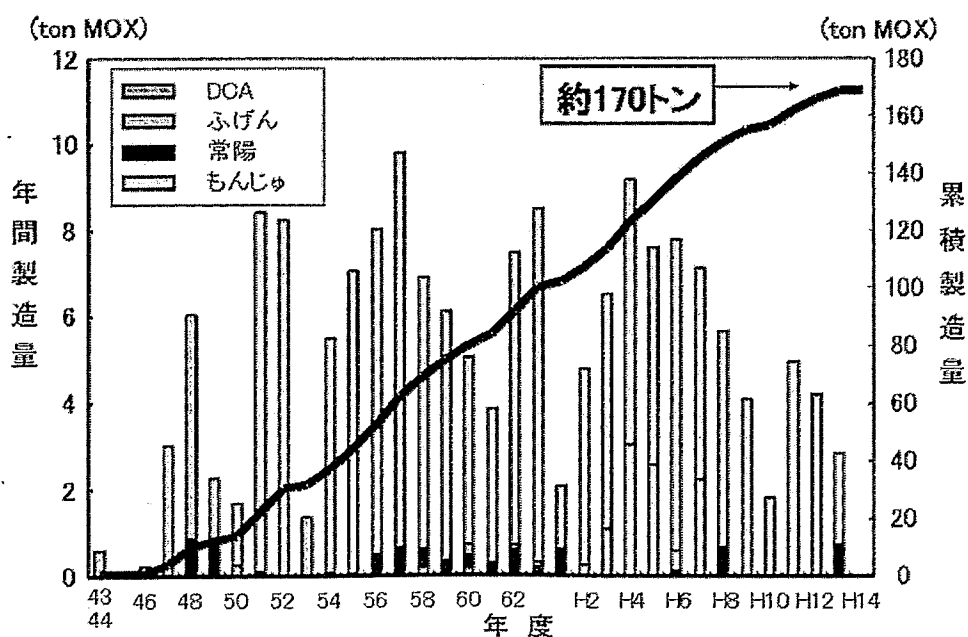


図 3-2 MOX 燃料製造実績

「もんじゅ」燃料製造で遭遇した上述のトラブルは、少量生産では顕在化しない、いわば大量生産固有の課題であり、これらへの対応は、日本原燃の MOX 燃料加工事業計画にとっても、貴重な先行経験であったといえる。

3.6 ショートプロセスの開発

サイクル機構では、溶液段階でのプルトニウム富化度調整（その後混合転換）や粉末流動特性改良等により、製造工程を大幅に短縮する「ショートプロセス」の開発に着手しており、今後小規模試験設備による一連のプロセス試験を行って、基本プロセスを確立することを計画している。新プロセスでは、経済性の大幅な向上に加え、工程内滞留や廃棄物発生的大幅な低減も期待できる。

3.7 日本原燃の MOX 加工事業への技術協力

日本原燃が計画している MOX 燃料加工事業に関して、サイクル機構は、1999 年（平成 11 年）の調査段階から協力を開始した。その後 2000 年（平成 12 年）12 月には「MOX 燃料加工施設の建設・運転等に関する技術協力協定」を締結し、技術情報の提供や技術者の派遣を行い、日本原燃が進める計画へのサイクル機構のこれまでの経験・知見の活用に努めている。

4. 遠心法濃縮技術開発：完全国際機密の中での純粋高度国産技術への果敢な挑戦

4.1 大山義年先生の先見性で開始された遠心法濃縮技術開発

わが国の遠心法濃縮技術は、1959年（昭和34年）に大山義年先生が理研で、政府の原子力平和研究委託金により第1号遠心機の試作を開始したことに始まる。理研では第2号機の試作・試験までを行ったが、これらは当時学術雑誌に公表されていた西独ボン大学のGroth教授らの図面を参考に試作され、回転胴には特殊ジュラルミンが使われた。大山先生がこの時期に遠心機の研究に着手されたのは、その後の展開を考えるとまことに先見の明があったといえる。

1961年（昭和36年）の原子力長計の方針に従い、遠心法濃縮に関する研究は、理研から原燃公社に引き継がれることになり、1、2号機は1963年（昭和38年）に東海製錬所（後の東海事業所）に移設された。翌年から2号機を中心に、回転性能と分離性能の基礎試験が開始されたが、六フッ化ウランが使用できる装置ではなく、代替のアルゴンや六フッ化イオウで試験が行われた。

ウラン濃縮技術は、きわめて初期の段階でガス遠心機に関するいくつかの情報と、カスケード理論の一部が公開されたほかは、世界的に機密のベールに包まれており、まったく手探り状態で研究が開始され、完全な国内自主技術として開発が展開されていった。

1960年代中頃から軽水炉が導入され始めると、ウラン濃縮技術国産化の重要性が改めて認識され始め、1968年（昭和43年）6月に策定された「核燃料政策の基本方針」では、遠心法とガス拡散法の研究を進め、47年ころ各方式の評価を行い、一方式に絞る方針が示された。当面の研究計画をさらに具体化するため、1969年（昭和44年）4月に「ウラン濃縮研究懇談会」が設置され、その報告に基づいて両方式の研究を国の「特定総合研究」とすることが決まった。

4.2 ガス拡散法と競合した特定総合研究

理研では1967年（昭和42年）から菊池正士先生の指導下で隔膜の研究を開始しており、アルミナ隔膜によるウラン濃縮基礎実験の成功が1969年（昭和44年）3月末の新聞一面に大々的に報道された。これに刺激された動燃は、委託試験で東工大に貸与中の小型遠心分離機を東海事業所に持ち込み、六フッ化ウランによる遠心分離試験を急遽実施した。この遠心機はウラン試験用には作られていなかったため、内面に耐食性樹脂をコーティングして試験に用いたが、思いのほか良い分離効率が得られ、理研報道の2ヵ月後の5月29日に結果が公表され、いくつかの新聞の一面を賑わした。

理研のニュースは動燃の技術開発陣を発奮させるよい刺激剤となった。特定総合研究が両方式を競合させたのは、競争原理を働かせ、動燃の遠心法濃縮技術を加速させるのに大変有効であった。



写真 4-1 最初のウラン濃縮に成功した小型試験機と当時の新聞(昭和 44 年 5 月 29 日)

この時期の研究で、初めて遠心機の本格的ウラン試験が行われ、技術課題が一斉に明らかにされた。遠心機製造体制も、それまでの一社依存から数社の競争体制になり、コンペによる新アイデア提示など、メーカー間の協調的競争機能が発揮されるようになった。また、メーカーや学界の有識者による複数の専門委員会も設置され、遠心機の構造や材料、プラント構成等のより幅広い検討が開始された。

システム信頼性試験装置ではじめて遠心機 10 台からなる試験が実施され、これが次のカスケード試験計画に向けての貴重な体験の場となった。この中で、分離性能に大きな影響を及ぼす回転胴の温度分布や内部の流れの詳細な解析や流動可視化実験などが行われ、遠心機性能の理論的解明も進んだ。さらにカスケード解析手法の開発も、動燃と遠心機メーカーのそれぞれで開始された。

1971 年(昭和 46 年)夏からは、各社設計・試作の結果を参考に、実用の見込みの高いものに仕様を統一すべく第一次標準化設計が行われ、1972 年にその試作が行われた。この試作機は構造的にも現在の遠心機にかなり近づいたものになり、次段階のカスケード試験装置のモデル機となった。

当時の海外動向としては、1971 年に米国とフランスからガス拡散法による国際共同濃縮工場の提案があり、一方遠心法については英・独・蘭 3 国がともにパイロット規模の開発段階に至り、1970 年には実用化を目的とした 3 国協定が締結され、URENCO 設立の準備が進んでいた。

国内のガス拡散法研究については、理研と原研で研究が行われていたが、分離係数が小さいため、経済的に適正なプラント規模が、我が国の必要プラント規模に対し過大になること、消費電力が莫大なことが改めて認識された。こうして、1972 年(昭和 47 年)8 月に策定された「ウラン濃縮技術開発に関する基本方針」で、遠心分離法に関し、パイロットプラント運転までの研究開発を「特別研究開発計画」(ナショナルプロジェクト)とすることが決定された。

4.4 パイロットプラントの建設と運転

1976年（昭和51年）、原子力委員会は、「核燃料サイクル問題懇談会」の下に「ウラン濃縮技術評価検討幹事会」を設け、チェックアンドレビューを行い、パイロットプラント建設推進の方針を決定した。これを受けて動燃は翌年から人形峠でパイロットプラントの建設を開始した。

パイロットプラント7,000台の遠心機からなり、開発進展の成果を逐次反映できるよう3期に分けて建設され、OP-1Aは1979年（昭和54年）9月に、OP-1Bは翌年10月に、そしてOP-2は1982年（昭和57年）3月にそれぞれ運転を開始した。この間、遠心機（金属胴）の性能は、最初のOP-1Aに比べOP-1Bは1.5倍に、またOP-2は2倍に向上した。

パイロットプラントでは、カスケードの安全な立ち上げや停電時対応、六フッ化ウランの供給や製品の回収、保障措置の適用や保守点検技術など、今日の実用プラント運転法の基本技術を確認した。1990年（平成2年）3月に運転を停止するまで、約50,000時間のホット運転を行い、プラントの長期信頼性を実証した。この間約51トンの濃縮ウランを生産し、その一部は原子炉用燃料として出荷された。さらに1986年（昭和61年）には、再処理回収ウランの再濃縮試験も実施した。

パイロットプラント建設中に国際核燃料サイクル評価INFCEが始まったが、この検討作業中に部分運転に入ることができたことで、我が国は濃縮技術保有国として国際的に認められ、ウラン濃縮の国内事業化の道を拓いた。

4.5 官民協力での原型プラントの建設と運転

1981年（昭和56年）8月、原子力委員会「ウラン濃縮国産化部会」は、動燃から技術移転し、民間により国内事業化を進めるという事業化方針と、その前段階として官民協力して原型プラントを建設するという方針をまとめた。さらに1982年（昭和57年）6月の長計で、原型プラントの規模を200トンSWU/年とすることが決められた。

これを受け、動燃・電力間で「ウラン濃縮原型プラント協力会議」を設置し、スケジュール、建設費、運転費、資金分担などを協議した。1985年（昭和60年）11月に第1期工事を開始し、63年4月にDOP-1の運転を開始した。第2期分のDOP-2も順調に建設され、1989年（平成元年）5月に全面運転に入った。遠心機（金属胴）の性能はこの間にもさらに改良され、DOP-1機、DOP-2機はOP-1Aのそれぞれ2.5倍、3倍の性能を持つ。

原型プラントはその後13年間ノートラブル運転を続け、ホット稼働率99.9%、設備稼働率94.4%を達成した。この間の濃縮は電力会社からの役務処理契約として行われ、総量で約350トンの濃縮ウランを納期内に生産した。その一部には、東海再処理工場の回収ウランの再濃縮も含まれている。またこの間に、プラント無停止増設や無停止保守点検技術の実証等も行った。

DOP-2 機は 1992 年（平成 4 年）3 月に操業を開始した原燃六ヶ所濃縮工場に実用機として採用され、また原型プラントで得られた経験・情報は同工場の設計・建設・運転に反映されている。しかしながら、原燃六ヶ所濃縮工場では遠心機が原型プラントで実証した寿命よりも短い運転で停止するという事象が生じており、技術移転のあり方に問題を投げかけている。

4.5 円高との戦い

濃縮技術開発の最大目標は、国際競争力のある技術の開発であり、したがって開発にあたっての競争相手は海外の濃縮価格である。二度のオイルショックで上昇した原油価格の影響などで、米国の濃縮価格は 1975 年頃（昭和 50 年代中頃）以降、継続的に 100 ドル/kg-SWU を超えている。一方で、50 年代後半 230 円/ドル前後であった為替レートは、1985 年（昭和 60 年）9 月のプラザ合意以後急速に円高に進み、現在では 110 円/ドル前後になっている。1984 年（昭和 59 年）の原型プラント着工前の見積もりでは、その技術を 3,000 トン SWU/年に拡張すれば、海外価格の 0.6~0.7 倍が達成可能と評価されたが、その後ほぼ倍の円高になり、現在の評価は 1.2~1.5 倍となってしまった。日本原燃の六ヶ所濃縮工場は原型プラントの技術に基づいて建設されたが、その規模は最終的に 1,500 トン SWU/年で、海外のプラントに比べスケールメリットが小さい。そうした条件下で海外と競争するためには、現在の能力の何倍かの能力を持つ最新鋭の遠心機を必要とする。

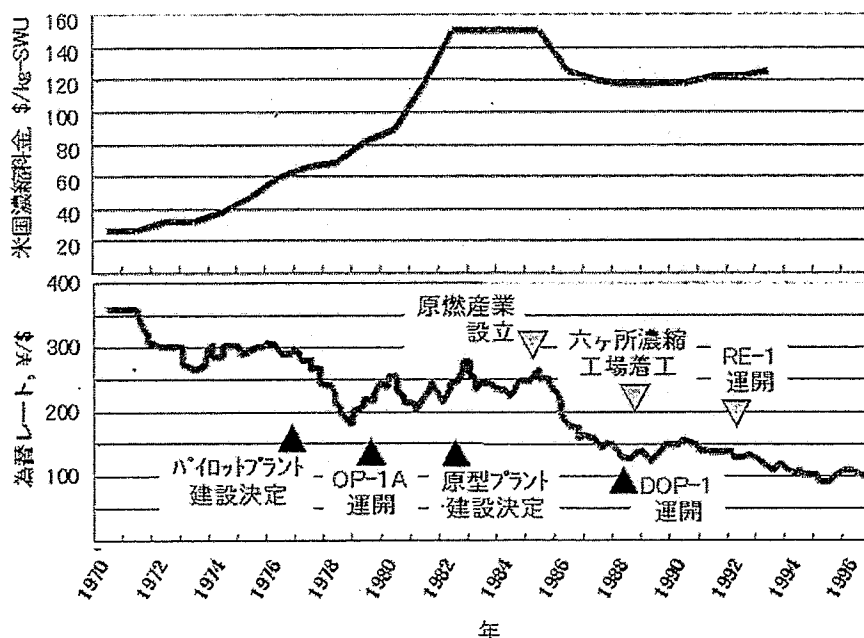


図 4-2 米国の濃縮価格の変遷と円高の進行

4.6 新素材胴遠心機開発

遠心機の性能は回転胴の長さや周速に依存し、周速をできるだけ高くするためには、極力軽くしかも強度が強くて腐食にも強い材料を必要とする。こうした観点から現在、回転胴材料として、金属材料とは異なる新素材を用いた遠心機の開発が進められてい

る。この材料は、1970年代はじめから有力な候補材料の一つと考えられ、その研究が開始され、C-1カスケードの一部に試験的に使用されたものの、実用化までには多くの課題があることが分かった。一方、高強度金属材料の極薄肉化の技術に見通しが得られたことから、その後は金属胴の遠心機開発が主軸となった。

しかしながら、新素材材料は、大幅な分離性能の向上が期待できる可能性を有していたことから、新素材胴遠心機に関する設計及び製作技術の開発が並行して進められた。この結果、1985年（昭和60年）までにDOP-2機の1.5倍の性能が得られる新素材胴遠心機の開発に目処ができ、翌年から、電力、日本原燃と新素材高性能機として実用化に向けた共同研究が開始された。1993年（平成5年）から1997年（平成9年）にかけては、1000台からなるカスケード試験も行い、この間1台の故障もなく、新素材高性能機の高い信頼性と品質管理手法の妥当性が示された。

1992年（平成4年）から日本原燃は、六ヶ所濃縮工場の取替え用遠心機として現在の2.5倍程度の性能を目指す高度化機の開発に着手し、動燃もこれに協力した。動燃ではこれと並行し、100円/ドルの厳しい円高時代を迎えても国際価格を達成できることを目指し、さらに飛躍的に性能を向上させた先導機の開発に着手し、1999年（平成11年）には単機で目標値に近い性能を達成した。

日本原燃は、先導機の技術をベースに飛躍的な性能を持つ遠心機を実用化することとし、そのための組織として2000年（平成12年）11月に六ヶ所にウラン濃縮技術開発センターを発足させた。サイクル機構はこれに協力するため、先導機開発成果を集約して日本原燃に提供するとともに、開発の中核となる技術陣を開発センターに派遣した。六ヶ所のウラン濃縮技術開発センターでは、次段階のカスケード試験に向けて新型遠心機の最終仕様を2005年度末までに決定すべく、鋭意研究開発が進められている。

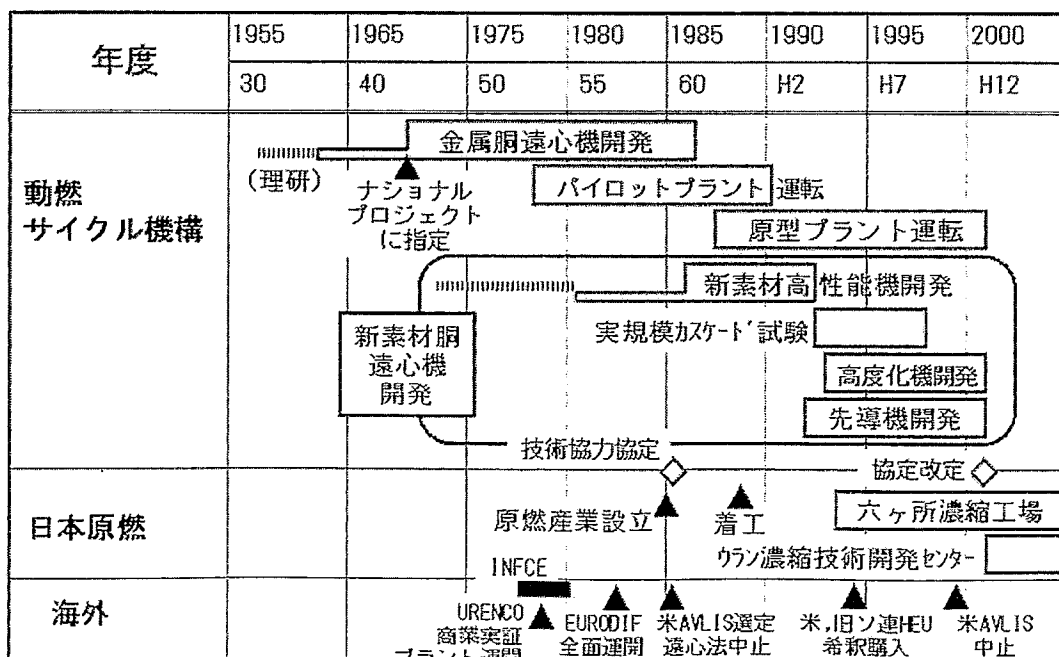
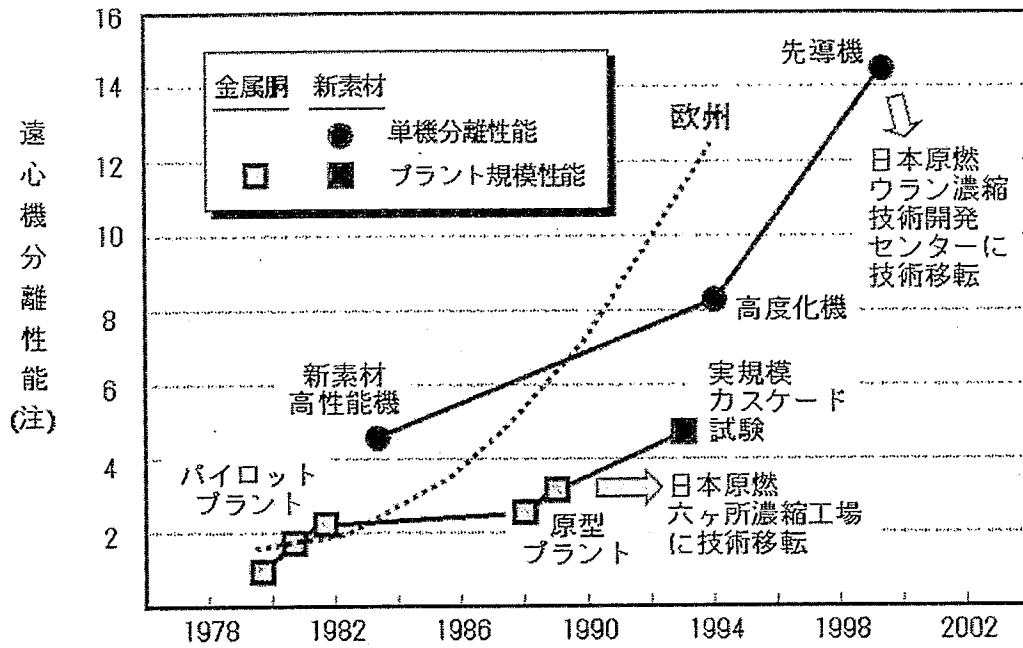


図 4-2 遠心法濃縮技術開発の全体経緯



(注) 遠心機分離性能はパイロットプラント OP-1A を1とした場合の比率で示した

図 4-4 遠心機の性能向上

5. 全体を振り返って

“Atoms for Peace”から52年、わが国の原子力開発は50年目を迎えた。この間、わが国の核燃料サイクル技術は各分野で着実な進展を遂げ、いまやバックエンド側まで民間事業として実施されつつある。特に2000年には「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が制定され、核燃料サイクルの最後段である高レベル放射性廃棄物の処分の実施に向けて制度や体制が整ったことは特筆に値する。

しかしながら、特に1990年代後半になると、わが国の高速増殖炉開発計画の停滞やプルサーマル計画の難航、電力自由化の中での再処理の経済的成立性への疑問などから、従来の核燃料サイクル政策を堅持することに対する批判の声がいろいろな方面から聞こえるようになってきた。そうした中、2002年に制定されたエネルギー政策基本法に基づき、2003年10月に「エネルギー基本計画」が閣議決定され、基幹電源としての原子力の重要性とそれを支える核燃料サイクルの重要性が確認された。さらに2004年6月からは原子力委員会で新計画策定会議が始まり、再処理・リサイクル路線の是非に関する幅広い議論が展開された。検討の結果は2004年11月に「核燃料サイクル政策についての中間取りまとめ」として公表されたが、さまざまな議論の結果、再処理政策堅持の方向性が再確認された。地球温暖化対策の重要性や、化石エネルギー資源をめぐる厳しい国際環境をふまえると、資源小国の日本にとっては、原子力を長期的に安定利用することの重要性はますます高まっている。そうした中、原子力委員会が、多少余分のコストがかかるがウラン資源の利用効率の向上と廃棄物処分への負担軽減が図れる再処理政策、すなわちリサイクル路線の堅持を決めたことは、将来の国民にとっても大変重要であり歓迎すべき結論であったといえよう。この結論を踏まえ地元との安全協定が締結されたことから、日本原燃は2004年12月21日に六ヶ所再処理工場のウラン試験を開始し、また2005年4月20日には、MOX燃料加工事業申請を行った。一方、国は2005年5月に「使用済燃料再処理準備金制度」を法制化し、再処理のみならず廃止措置や廃棄物処分など長期にわたる事業に必要な資金を確実に確保し、透明性のある形で管理する体制を整えた。こうしてわが国の核燃料サイクル事業はいよいよ本格化の段階に入りつつある。

2005年2月には1995年12月のナトリウム漏れ事故以来停止しているもんじゅの改造工事開始について福井県知事の了解が得られた。またサイクル機構が電気事業者等と共同で進めてきた高速炉サイクル実用化戦略調査研究もフェーズ2研究がほぼ終了し、今後国による評価を経て次段階の開発計画を具体化するところに至っている。サイクル機構は2005年10月に原研と統合して独立行政法人「日本原子力研究開発機構」として新しい一歩を踏み出すが、それは、高速炉サイクルの実用化、すなわち完全持続型の閉じた核燃料サイクルの実現に向けての新たな第一歩ともいえる。

以下、これまでの核燃料サイクル開発の歩みの全体を振り返って、まったく私見であるがいくつか感想を述べる。

5.1 何がうまくいったか？

過去50年近い核燃料サイクル開発の最大の成果は、非核兵器国である我が国が、1970年代後半の日米再処理交渉や国際核燃料サイクル評価（INFCE）を通じ、「再

処理国」および「濃縮国」として国際的にきちんと認知されたことであろう。これは、その当時我が国の再処理技術や濃縮技術がすでに実施段階に至っていたお陰であり、そこに至る過程では先人の時宜を得た賢明な判断と、開発関係者の多大な努力があった。「再処理国」および「濃縮国」としての国際的認知がこのとき得られていなければ、その後日本に再処理事業や濃縮事業を行うことは許されなかったであろう。

INFCE から四半世紀、北朝鮮問題やイラン問題など、核不拡散体制を揺るがす新たな問題が生じており、エルバラダイ構想やブッシュ構想など、民生用核燃料サイクルへの新たな国際規制を課そうとする動きが高まりつつある。そうした中、昨年 2004 年の IAEA 理事会の場で、追加議定書 (Additional Protocol) にもとづく調査などの結果、日本については申告された核物質の転用はなく、また未申告の核物質や原子力活動も存在しないとの結論が得られたとの報告が行われた。この結論に基づき IAEA は昨年 9 月に日本政府に対し統合保障措置 (Integrated Safeguards) 適用の開始を通知した。本格的な原子力発電国への統合保障措置適用はわが国が最初であり、しかも核拡散問題で国際的緊張が高まっている中で、燃料サイクル事業を進めるわが国がその適用を受けたことは、大変大きな意味がある。まさに産業成熟国における核燃料サイクルと核不拡散規範との両立についての模範例を示したわけで、国際的に大いに誇るべきことといえる。現在わが国は核不拡散条約 (NPT) 下の非核兵器国で民生用の再処理や濃縮を行う唯一の国家である。その特異な地位ゆえに、今後もわが国の核燃料サイクル政策に対しては国際的に核拡散リスクを高めるとの根拠のないさまざまな批判や攻撃が予見される。そうした批判や攻撃に対し、わが国が統合保障措置適用国となったという事実は大きな反論の武器となる。

以上のほか、海外からの技術導入に頼る部分があったにせよ、核燃料サイクル全般にわたり、それらの大方を国内技術で実現できる力を備えたことも大きな成果といえる。

5.2 濃縮技術移転の成功と失敗

濃縮は動燃が開発した技術の民間への本格的移転の最初のケースであった。自主開発技術が民間に採用され実用化されたという意味では成功であったが、大成功を収めた原型プラントの技術が 100% 完全に移転でききれなかった点は技術移転のあり方に問題を残した。その背景には、技術移転当時、動燃はもっとも鼻息の荒い時代であり、一方電力側も民活路線華やかなりし頃であり、官の影響をできるだけ排除しようとする気風が強い時代であった。こうした状況の下で、経営レベルで双方の間に十分な信頼関係が築けなかったという事情があったように思われる。十分な信頼のないところでは、技術の細かい襞までは伝わりきらず、技術の本当に大事な部分のいくつかは、その襞の部分に隠れているということであろうか。

5.3 なぜ動燃は自前の再処理技術を日本原燃に移転できなかったか？

東海再処理工場に次いで、六ヶ所再処理工場の主工程もフランスからの技術導入となった。そうなった動燃側の原因として、多少言い訳めくが、以下をあげることができる。

- ① 原燃サービスが発足し、青森県が立地受け入れをした当時の動燃は、先行経験のない初代プラントとしての様々なトラブル対応に追われ、次のプラント向けノウハウ集約のためのエンジニアリング機能を持つ余力がまったくなかった。
- ② 42年長計で、「第2再処理工場は民間に期待する」ことがうたわれたため、動燃自身が自らの次段階に備える必要性を失ってしまった。
- ③ 借入金で建設された工場であるため、借金返済のためのプラント操業安定化が目的化され、次の民間プラント向けエンジニアリング能力を持つというインセンティブがなくなってしまうていた。

国や原子力委員会もこうした状態を黙認しており、結果的に我が国には、自主技術で民間用再処理技術を作ろうとするキチンとした国家プログラムが存在しなかったともいえる。

もっとも、仮に動燃側で第2再処理工場に向けた多少の用意ができていたとしても、国の支援をうけ強力に核燃料サイクルビジネスを展開しつつあった当時の英、仏を凌ぐことは難しく、結局のところ電気事業者側は、より先行している海外技術を導入することになったであろう。ただし、いずれにしても、東海再処理工場の運転を通じて得られた様々な知見や経験は、六ヶ所再処理工場の円滑な立ち上げや、その後の運転やトラブルへの適切な対応を進める上で、大いに役立たせる必要がある。

5.4 核燃料サイクル技術とは

核燃料サイクル事業の後段に位置する再処理事業は、何十年に一度か国内に唯一の大型施設を建設し、それによって日本各地にある多数の原発にサービスを提供するという特異な性格を持つ。それゆえ、単にビジネスという以上に、基幹電源としての原発の安定運転を支える、いわば国のエネルギーセキュリティを担った事業という性格を併せ持つ。

再処理事業の特異性は、一方で、この技術が、プラントの設計、建設、運転に関し、関係するメーカーや、そのオーナーとしての事業者に、一般産業にみられる多数プラントの建設や運転による「習熟効果」の発揮を不可能にしている。こうした事情は、プラント建設費を押し上げるとともに、建設完了後の試運転および本格運転で様々な問題を発生させる要因になる。

試運転や本格運転でトラブルが多発すれば、それは規制当局や地元、メディアなどとの関係で、大きな重荷を背負うことに容易につながる。そうした事態を極力回避するためには、先行プラントの経験を最大限に学び、予見される限りのトラブルの可能性を洗い出し、その対応策をあらかじめ用意しておくことであり、かつ、そのことを規制当局や地元、メディア等に十分知らしめておくことが重要である。その意味で日本原燃が想定トラブル事例集を作成、公表したことは高く評価したい。

核燃料サイクル技術は、前述のように多数プラントからの習熟効果が期待できないため、プラント完成で技術が完成するというものではなく、むしろその後運転を進める中で様々な新たな課題に遭遇し、それらを一つずつ克服していく過程で本物の技術として育てて行かなければならない技術といえる。

5.5 高速炉サイクルの実現に向けて

現在、サイクル機構は、FBR サイクル実用化戦略調査研究（FS）を電力関係者等の協力を得て進めており、当面 2015 年ころまでに競争力のある FBR システム技術体系を提示することとしている。今年度（2005 年度）はフェーズ 2 研究の最終取りまとめの年であり、その成果については国が評価を行い、その結果に基づいてその後の研究開発計画を具体化することになっている。

2005 年 7 月に公表された原子力委員会の「原子力政策大綱案」では、高速増殖炉については 2050 年頃から商業ベースでの導入を目指すとされた。商業ベースでの導入を可能とするためには、その手前で実証炉をタイムリーに建設し、商業化への見通しを実績で示す必要がある。こうしたことは、その建設主体や技術移転のあり方を含め今後検討が行われることになる。過去に行われた技術移転は、技術を渡すものと引き継ぐものが別々の、いわばバトンタッチ的移転であり、そのことが、技術の真髄部分の移転を難しくしていたように思える。FS もいずれ技術移転の時期を迎えるが、それが単なるバトンタッチに終わらず、技術と人材がより一体的に引き継がれるようなかたちを、研究開発を進める過程で、関連する各界との連携を強めつつ具体化していく必要がある。

5.6 中村康治氏の遺言

原燃公社から動燃時代の核燃料サイクル関連技術開発の重要な局面では、後年理事を務めた故中村康治氏が常に関与しており、大きな指導力を発揮した。氏は、原子力工業（原子力 eye の前身）の 1990 年 5 月号に「なぜ核燃料サイクルか？」という長文の寄稿をし、その冒頭で以下のように述べている。これは氏が我々後進に残した遺言である。

- ・ 核燃料サイクルは国民がその叡智と汗でエネルギーを産み出すシステムである！
- ・ 在来化石燃料や燃料の使い捨て方式の核燃料利用では、結局天然資源の争奪の愚に至る！
- ・ 長崎の体験をもつ日本民族であるがゆえに、両刃の剣であるプルトニウムを飼ひ馴らすことができ、そうする責務がある！

(了)

補遺

本報では、約半世紀にわたる我が国における核燃料サイクル技術開発の歴史の概略を、再処理技術、MOX 燃料技術および濃縮技術について述べてきた。この歴史は、原燃公社に始まり、動燃を経て、現在のサイクル機構にいたるまでの半世紀の歴史でもある。以下、本文で記述を省略した他の2分野、すなわち金属ウラン精錬と海外ウラン探鉱について、若干の記述を加えておく。

金属ウラン精錬

わが国で原子力の自主開発を開始するにあたっては、当時世界的に貴重な資源とみなされていたウランをいかに手に入れるかが一つの喫緊の課題であった。その意味で、1955年（昭和30年）11月の工業技術院地質調査所による人形峠でのウラン鉱床発見のニュースは、当時の日本人に夢と興奮をもって迎えられた。原子燃料公社は、その人形峠でウラン鉱石の採掘を行うべく、昭和32年8月に人形峠出張所を開設し、そこで取れた鉱石の製錬については東海村で行うことにした。こうして、現在のサイクル機構東海事業所の地にウラン製錬試験工場の建設が開始された。1959年（昭和34年）1月に操業を開始し、3月18日には最初の国産ウランダービー（金属地金）の試験生産に成功した。3月28日には、東海製錬所の開所式が盛大に祝われた。その後東海製錬所は、原研のJRR-3に50トンを上回る天然ウラン金属の地金を供給し、また東京工業大学に指数実験装置用の金属ウラン燃料棒を供給するなどの実績をあげた。しかし、まもなく濃縮ウランの酸化物を燃料とする軽水炉の導入が本格化したことにより、天然ウランの金属燃料生産ニーズは消失し、製錬試験工場はその後廃止・解体される運命をたどることとなった。

海外ウラン探鉱

原燃公社およびその後の動燃が行った国内のウラン探鉱では、人形峠地域や東濃地域等の鉱床において金属ウランで総量約6,600トンのウラン埋蔵量を確認した。しかし国内ウラン資源量の限界は明らかであり、かつ昭和40年頃からの軽水炉本格導入に伴いウラン消費の急速な増大が見込まれたことから、海外での探鉱開発や長期購入契約などによるウラン安定調達に向け官民挙げての努力が開始された。これを契機に、原燃公社は75万円の予算をもって1966年（昭和41年）から海外での初期的なウラン資源調査を開始した。1970年代の初めまでU₃O₈1ポンド当たり約6ドルで安定していたウラン価格は1974年の第一次オイルショックの余波で急騰し、1970年代後半は40ドル代となった。こうした背景から動燃における海外ウラン探鉱も1975年以降予算が急増し、その後海外探鉱要員も70人をこえるところまで強化された。探査対象地域はアフリカ（主にマリ）、カナダ、オーストラリアであるが、有望地域はいち早く進出した海外企業に鉱区を押さえられており、また当時は国内民間企業も意欲的に海外探鉱を進めたことから、国の機関である動燃の探査は民間企業の未進出地域に限定された。このため、苦勞の大きさの割には実りの少ない、厳しい時代がしばらく続いた。

しかしその後の米国における原子力発電計画の後退と1979年に起きたTMI事故で、

世界的に原子力の将来に陰りが見え始め、ウラン価格は急速に下落を始めた。このためウラン探査からの民間企業の撤退が続いたことから、1983年以降は動燃も有望地域への進出が可能となった。その結果、1990年代中頃までには、カナダ、オーストラリアの第一級のウラン鉱床地帯で、カメコ社やコジエマ社といったメジャーに次ぐ鉱業権益を保有し、金属ウランで約40,000トンを超えるウラン鉱量を確保するに至った。1991年（平成3年）にはカナダ・ミッドウエスト鉱床で得た権益を海外ウラン資源開発株式会社に移転した。この間、国内に残された唯一の組織的ウラン探査陣として、潜頭鉱床の探査技術や解析技術の高度化を進め、カメコ社やコジエマ社と対等な関係で探査オペレーションを行うところまで技術を高めた。1985年からの10年間では、動燃単独およびその技術的寄与で発見されたウラン量は、この間世界で発見された全ウラン量の13%を占めるに至った。一方、TMI事故後急速に下落したウラン価格は、1990年代にはポンド当たり10ドル前後で低迷を続けた。

こうした中、1997年（平成9年）3月に東海再処理工場でアスファルト固化処理施設の火災爆発事故が起こり、動燃は解体的改組を迫られることとなった。同年8月1日に科学技術庁長官に手交された動燃改革検討委員会の報告書において、動燃は海外ウラン探鉱から撤退し、それまでに取得した権益は民間会社に移転すべしとの方向が示された。その後発足した核燃料サイクル開発機構は、この方針を受け、海外ウラン探鉱業務を廃止し、取得した権益のうちカナダの14権益（ウラン量24,400トン分）については2000年に日加ウラン株式会社のカナダ現地子会社JCU (Canada) Explorationに移転し、残りは海外売却や権益放棄などで処分した。こうして、一時は海外のメジャー企業に肩を並べるレベルに到達した動燃のウラン探査技術は、その継承先もないまま終焉を迎えた。

ところで、しばらくバレル当たり20ドル台にあった原油価格は2000年過ぎから上昇傾向を示し始めた。価格は2004年からさらに急上昇を始め、2005年8月時点では60ドルを超えている。一方、長年ポンド当たり10ドル前後で低迷していたウランのスポット価格も最近では上昇を始め、2005年7月時点ではポンド当たり30ドルに到達している。

参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団発行「原子燃料公社の歩み」(1969)
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団発行「動燃十年史」(1978)
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団発行「動燃二十年史」(1987)
- 4) 動力炉・核燃料開発事業団発行「動燃三十年史」(1998)
- 5) 中村康治著「核燃料開発側面史」電力新報社(1990)
- 6) 核燃料サイクル問題研究会編「資源小国日本の挑戦 日米原子力交渉物語」日刊工業社(1978)
- 7) 島村武久・川上幸一著「島村武久の原子力談義」電力新報社(1987)
- 8) 森一久編、日本原子力産業会議発行「原子力は、いま 日本の平和利用30年(上)、(下)」中央公論事業出版(1986)
- 9) 瀬川正男著、動力炉・核燃料開発事業団発行「動燃のあゆみとともに」(1984)
- 10) 中根良平、北本朝史、清水正巳編集、日本原子力学会同位体分離特別専門委員会発行「日本における同位体分離の歩み」(1998)
- 11) 永島礼二ほか、「動燃事業団の海外ウラン調査探鉱」動燃技報 No.106(1998)

参考資料

日本原子力学会特別セミナー「Atoms for Peace in Japan 50年を振り返る」
(2003.9.29 - 30) プレゼンテーション資料「核燃料サイクル開発の50年」

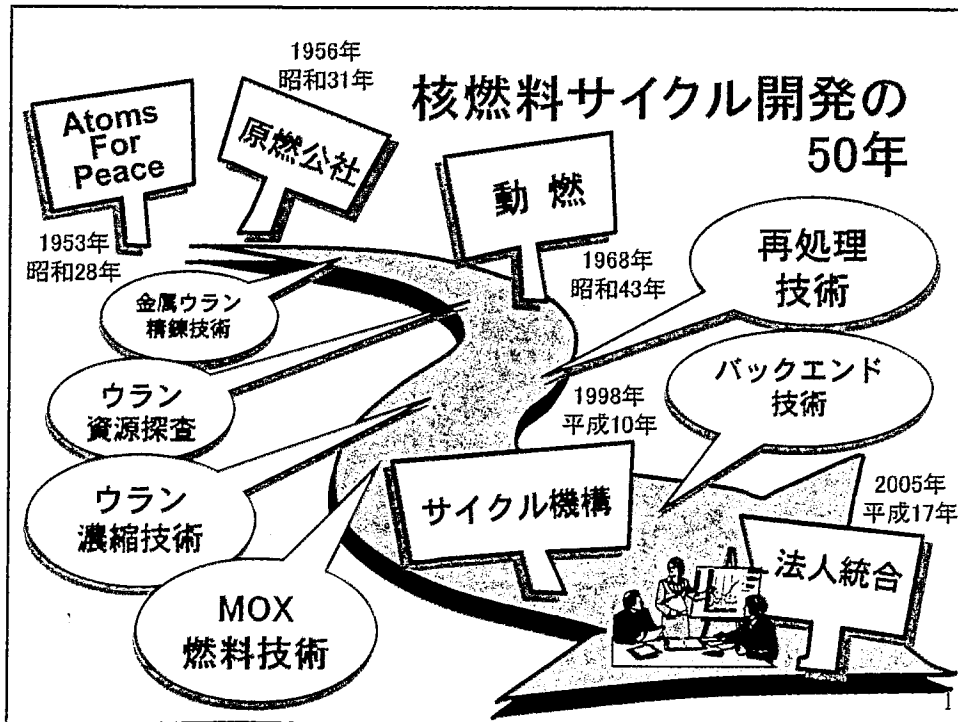
Atoms for Peace in Japan (Asia) 50年を振り返る

核燃料サイクル開発の50年



2003年9月29, 30日

核燃料サイクル
開発機構
河田 東海夫



初期の再処理政策(1)

- 原子力開発利用長期計画(31年9月)
 - 初期の研究は原研が実施
 - その後は原燃公社をして集中的に実施せしめる
- 原子炉等規制法(32年5月)
 - 原燃公社を再処理事業者に指定
- 核燃料開発に対する考え方(33年12月)
 - 当面の再処理は海外で/将来は国内で
 - 再処理事業は原燃公社が担当
 - JRR-3の燃料再処理研究設備の設置を考慮

4

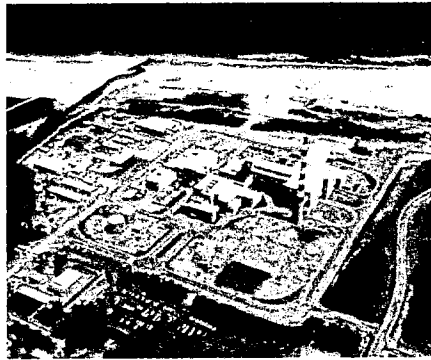
初期の再処理政策(2)

- 原子力開発利用長期計画(36年2月)
 - 長期計画の前期10年の後半にはパイロット・プラント(*)を原燃公社に建設せしむる
- (*) 350 kg/d 程度の研究開発用処理施設
- 核燃料再処理技術調査団報告(36年5月)
 - PUREX再処理は完成に近く、1t/日の規模では商業的に成立する(大山義年団長)
 - 再処理専門部会報告(37年4月)
 - 0.7~1t/日の規模の再処理工場を43年ごろから実働できるよう建設すべき
 - 原研において試験施設による研究開発を進めるべき
 - 42年長計(42年4月)
 - 第二再処理工場は民間に期待する

5

東海再処理工場の建設

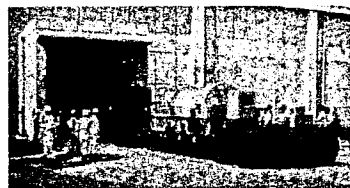
- 主工場+廃棄物処理場：SGN+日揮 共同受注
- 建設費は銀行からの借入金
- 昭和46年6月：着工
- 昭和49年10月：主工場等の竣工
- 昭和50年9月：ウラン試験開始



6

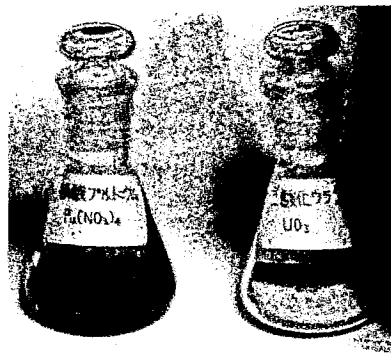
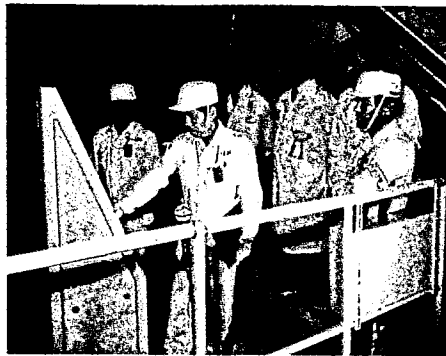
日米再処理交渉

- 昭和52年2月：ウラン試験終了
- 昭和52年3月：日米首脳会談(カーター大統領・福田首相)
- 昭和52年4月：第1回日米交渉
- 昭和52年6月：第2回日米交渉と合同調査開始
- 昭和52年7月：JPDR使用済燃料受入れ
- 昭和52年8月：第3回日米交渉
- 昭和52年9月：日米共同決定署名(スミス大使・宇野大臣)



ホット試験運転開始

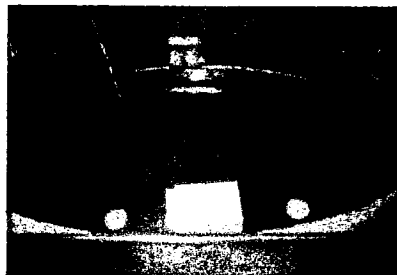
- 昭和52年9月22日：JPDR使用済燃料せん断開始
宇野長官：「再処理こそは核燃料サイクルの要である。我が国はここに核燃料サイクル元年の元旦を迎えた」
- 昭和52年11月7日：プルトニウム 0.8 kg 回収



8

INFCE, TASTEX, 混合転換技術

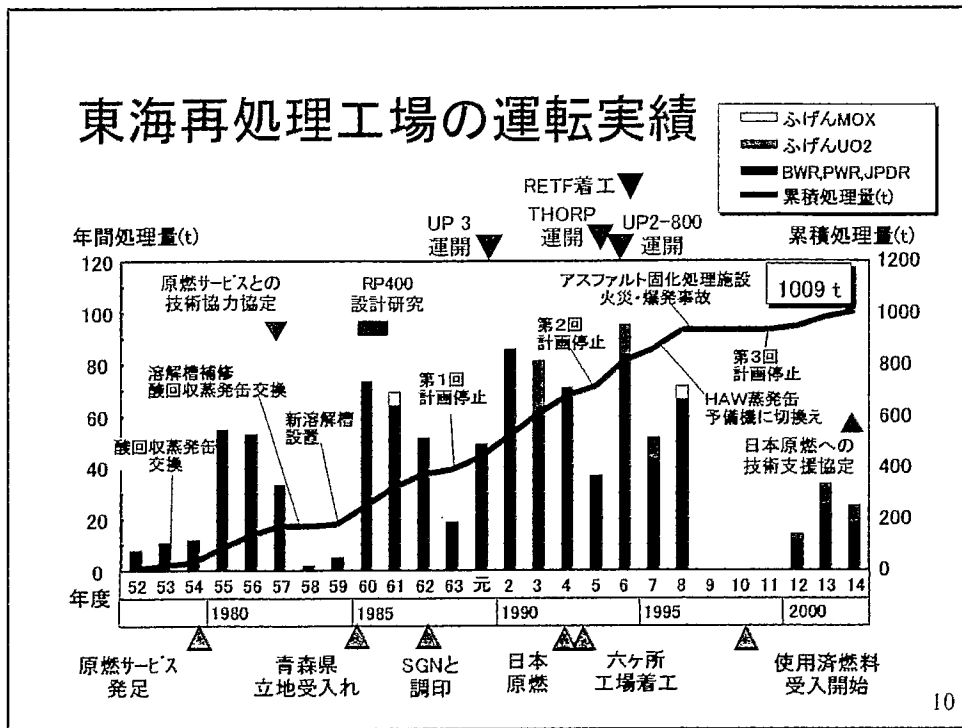
- INFCE(昭和52年10月～昭和55年2月)
 - 59カ国、6国際機関が参加
 - 日本は英国と第4WGの共同議長国(再処理、Pu 取り扱い、リサイクル)
- TASTEX(東海再処理保障措置共同研究:昭和53年3月～56年5月)
 - 日、米、仏、IAEAの共同研究
 - 監視システム、非破壊測定法など、13の課題を研究



マイクロ波脱硝混合転換法

- 日米再処理交渉を契機として開発
- 核拡散防止に有効なPu転換技術
- 昭和54年 2 kg/d 試験設備設置
- 昭和58年2月 10 kg/d 転換施設完成
- 昭和56年12月
米国原子力学会最優秀論文賞受賞


9



遭遇した多くのトラブルとそれらの克服

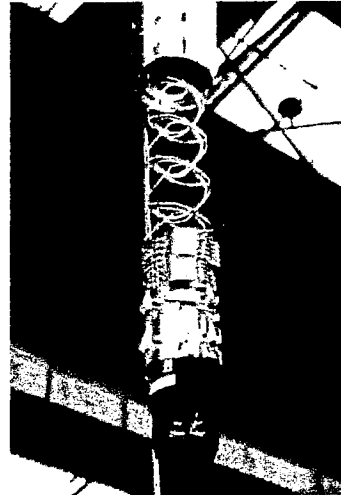
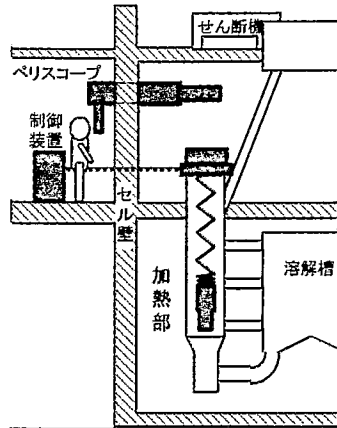
- 材料問題(溶解槽、蒸発缶類)
- スラッジ問題
- 機械的トラブル
- 直列単線プロセスの課題
- メンテナンス・フリー設計のつけ
- 汚染トラブル
-

- 技術開発としてほかに
- ガラス固化等廃液処理技術開発
- 保障措置技術開発
-



- 運転方法の改良
- 材料の耐食性改良
- 遠隔補修技術開発
- パルスフィルターの設置
- 除染技術の向上
- 計画停止による予防保全
-

溶解槽遠隔補修・点検装置の開発

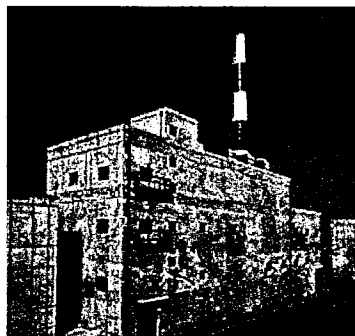


- 遠隔操作での研磨、溶接、検査

12

アスファルト固化処理施設の 火災爆発事故

- 平成9年3月11日発生
- 環境への放射能放出: 1~4 Bq (Cs137)
- 公衆の最大被ばく量推定値: 0.02 mSv



爆発後のセル内

13

1,000トン処理達成(H14年6月)



14

日本原燃への技術移転と協力

動燃

サイクル機構

協定

「再処理施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定」
(S57. 6. 7)

同左

六ヶ所再処理施設の試運転に係わる技術支援協定 (H14. 7)

技術移転及び
技術支援の内容

国内開発技術の移転
・流動床方式のウラン脱硝技術
・マイクロ波加熱法による混合転換技術
・高レベル廃液固化技術

六ヶ所再処理工場の試運転への技術支援
・運転要員の出向派遣(最大時 95名)
・技術者実務研修(合計 200名程度)
・国内設計施設の試運転技術支援

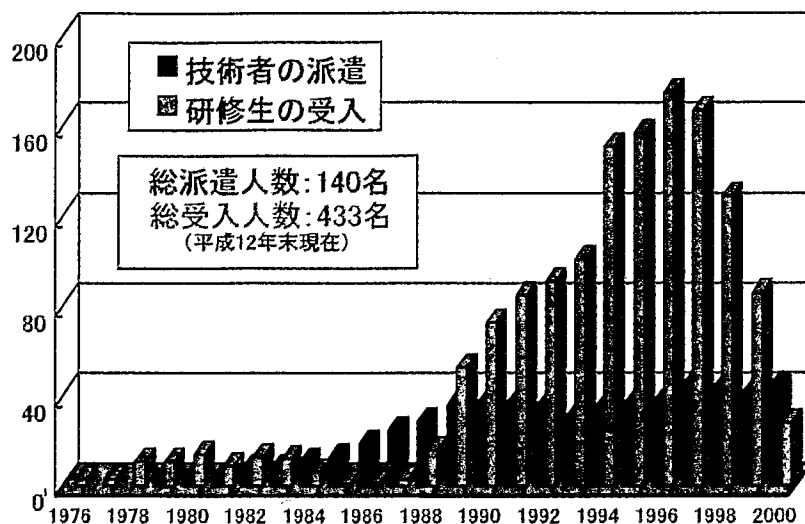
技術協力の
実績

H15.3.31現在

技術情報の提供(累計 360件)
業務受託:設計コンサルティング、技術確証調査・試験等(累計 53件)
技術者の派遣(累計 234名)
技術研修受入れ(基礎研修: S62~H12上期 累計 433名)
(短期実務研修:H12下期~累計 162名)

5

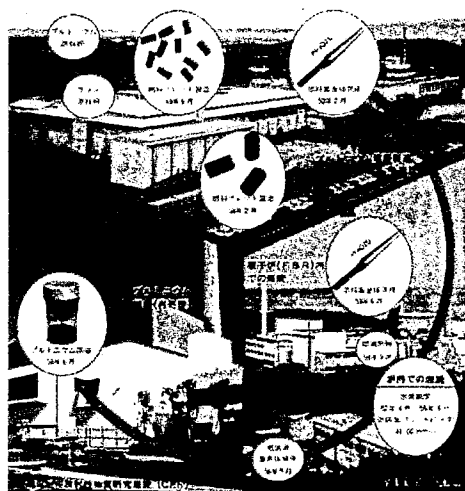
技術者派遣と研修生受入の実績



16

FBR再処理技術開発

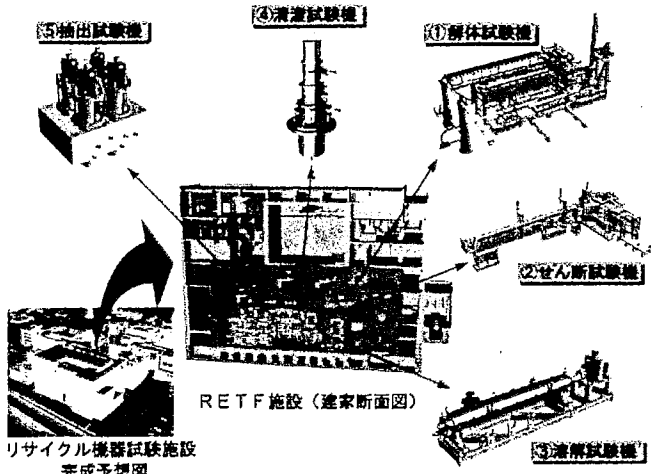
- 昭和50年度から研究本格化
 - PUREX法の改良適用 (CPFでホット試験)
 - ソルトフリー化、U/Pu共抽出、TRU分離etc.
 - 高性能機器
 - 連続溶解槽
 - 遠心抽出機
 - 遠隔技術
- 最近は
- 乾式プロセス (CPFに試験設備設置)



高速炉サイクルを一巡した Pu

17

FBR再処理技術開発



リサイクル機器試験施設
完成予想図

RET F施設（建家断面図）

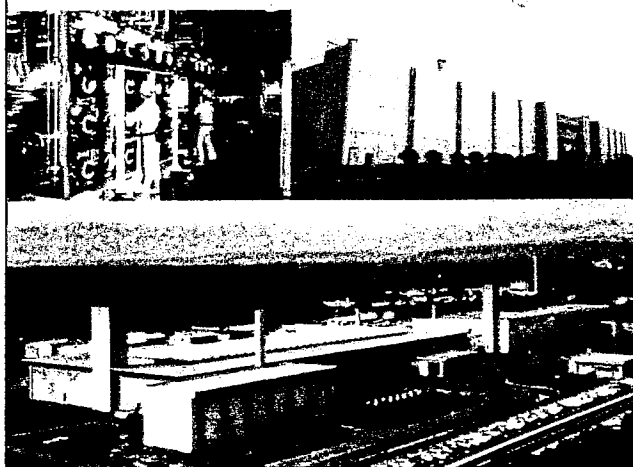
⑤抽出試験機
④溶解試験機
①解体試験機
②せん断試験機
③濃縮試験機

RET F

- FBR再処理技術のホット工学試験施設
- 平成7年1月着工
- 建屋のみ完成後建設中断
- 今後の利用方策検討中

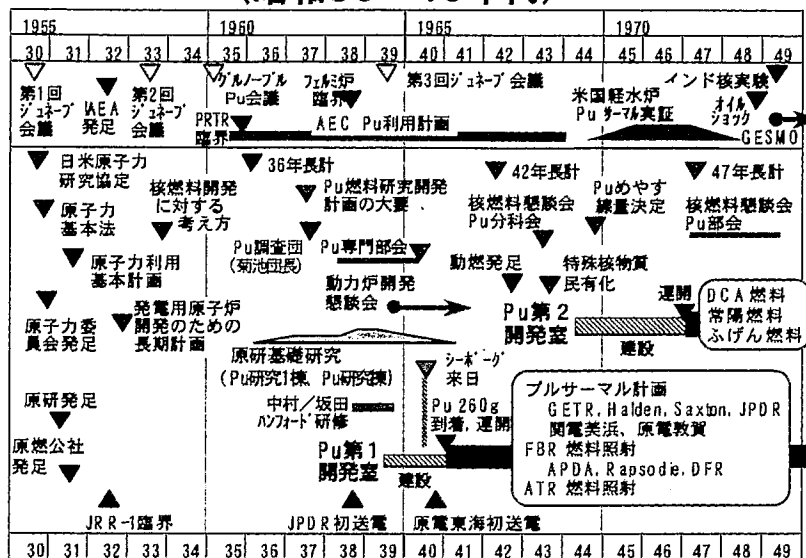
(←高速炉サイクル実用化調査研究)

MOX燃料技術開発



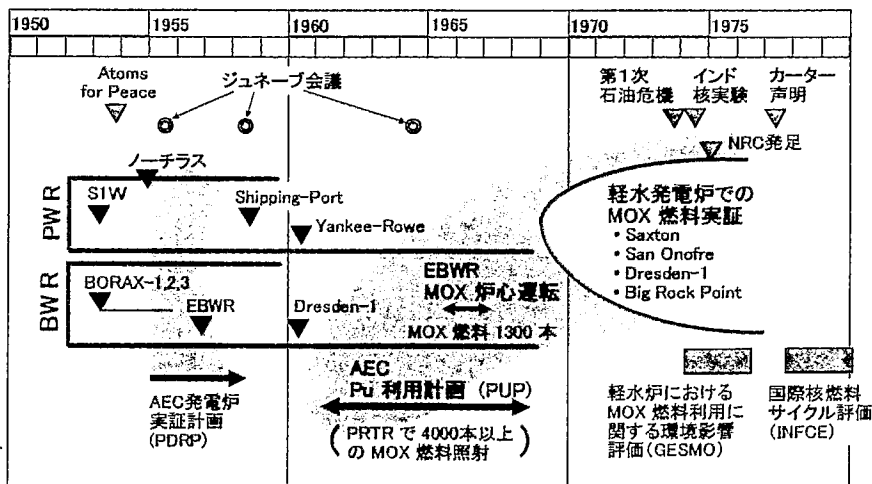
260gの
出発から
自動化量産
プラント技術
への歩み

我が国のプルトニウム利用技術開発の経緯 (昭和30～40年代)



(参考)

米国における初期の軽水炉開発と MOX 燃料利用計画



原子力委員会の Pu リサイクル に関する初期の政策(1)

- 発電用原子炉開発のための長期計画(32年12月6日)
 - 「プルトニウムリサイクル技術確立のため、燃料再処理、プルトニウム冶金の技術開発の促進必要」
- 核燃料開発に対する考え方(33年12月24日)
 - Pu 有効利用を図るため Pu 添加燃料使用の動力炉ならびに高速中性子増殖炉の開発必要。また Pu 燃料系に関する研究促進が重要
 - 原研で物理的、化学的基礎研究を促進
 - 逐次 Pu の冶金、加工等の技術開発を進め、Pu 燃料技術を可及的すみやかに確立
- 36年長計(36年2月)
 - プルトニウム燃料の開発は燃料サイクルの基礎ともなるべき事項であるので、後期10年(46～55年)の前半において熱中性子炉への実用化を、後期10年において高速中性子増殖炉への実用化を目標とし、原燃および原子力研究所の共同プロジェクトとして強力に推進する

22

原子力委員会の Pu リサイクル に関する初期の政策(2)

- プルトニウム燃料研究開発計画の大要(37年6月)
 - わが国における動力炉開発を推進するために、プルトニウム価値追及に対する自主開発が必要
 - この目的のために日米に協同体制が提唱され、これに対応する国内プルトニウム研究開発の加速が必要
 - プルトニウム研究開発は仮に日米共同の体制に進むとしても、単に技術導入による追従的開発でなく、自主的開発である点、相当の幅と深さをもって進まねばならない
- プルトニウム専門部会報告書(40年8月)
 - 長期的には高速炉での利用を指向するとしても、当面主としてプルトニウムの熱中性子炉利用を確立するための研究開発をすすめるべき
 - 熱中性子炉用酸化プルトニウム燃料の開発は高速炉用燃料の開発に多くの共通点を持っているので、その共通性をいかしつつ、研究開発を進めることによりその後の高速炉開発での研究の効率化に役立てることができる

23

原子力委員会の Pu リサイクル に関する初期の政策(3)

- 核燃料懇談会 プルトニウム分科会報告(43年6月)
 - 今後わが国のプルトニウム需給にかんがみ、プルトニウム燃料の有効利用を図るため、プルトニウムの軽水炉への利用に関する技術の開発を早急に特定総合研究としてとり上げる。この研究開発にあたっては、民間企業の施設および人材を活用することを考慮することとし、あわせて国際協力を推進する
 - ……長期的、かつ経済性も加味した総合的な核燃料サイクルに関する試算を行って、核燃料政策の具体化に資するための基礎資料を得る

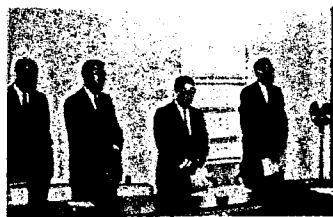
24

中村康治氏のハンフォード留学 (昭和38年9月～39年8月)

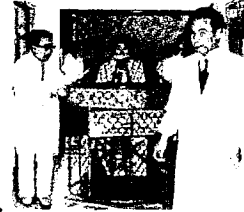


25

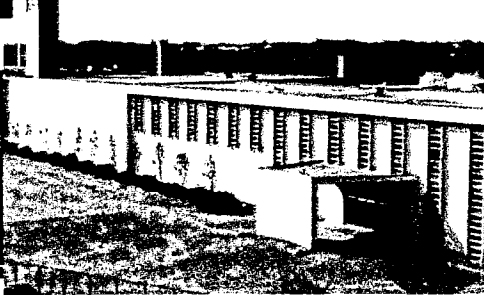
Pu燃第一開発室の建設と本格研究の開始



シーボーク来訪(40年9月)



プルトニウム
260g 到着
(41年1月12日)



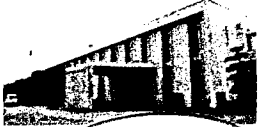
26

プルトニウム燃料研究開発のあゆみ

遠隔・自動化
↑
機械化
↑
手作業

- ・昭和41年1月 Pu初入荷
- ・昭和43年7月 日米原子力協力協定発行

- ・MOX物性測定
- ・MOX分析技術確立
- ・MOX製造基礎技術確立



第一開発室
昭和40年開設

- ・昭和53年2月 NPT下の新保措置措置体制に移行



第二開発室
昭和47年1月運開
FBR: 1トンMOX/年
ATR: 10トンMOX/年

- ・ふげん用MOX燃料生産
- ・常陽用MOX燃料生産

第三開発室
昭和63年4月運開
5トンMOX/年



- ・もんじゅ用MOX燃料生産

- ・昭和63年7月 新日米原子力協力協定発行

- ・平成元年10月 もんじゅ燃料製造開始

- ・平成5年1月 あかつき丸Pu輸送

昭和39年 二国間協定に基づく査察開始

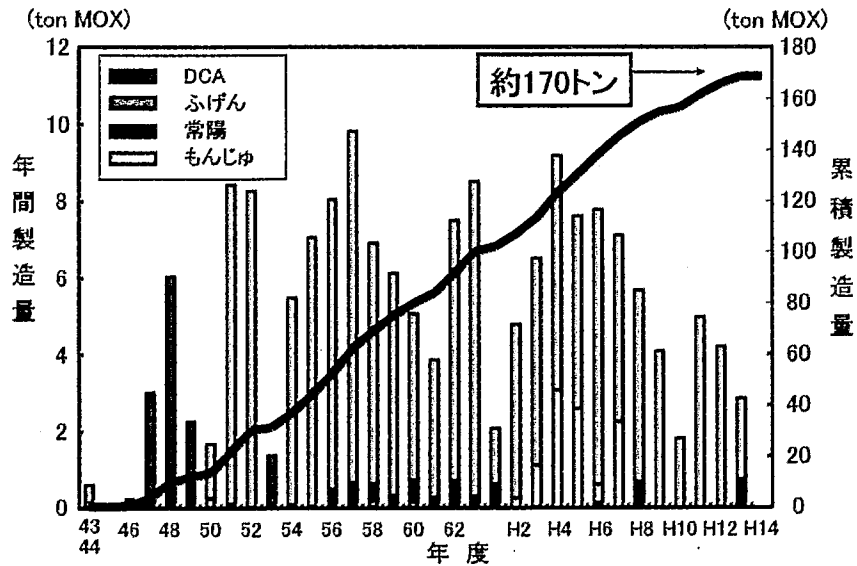
実験室規模

工学規模

実証規模

27

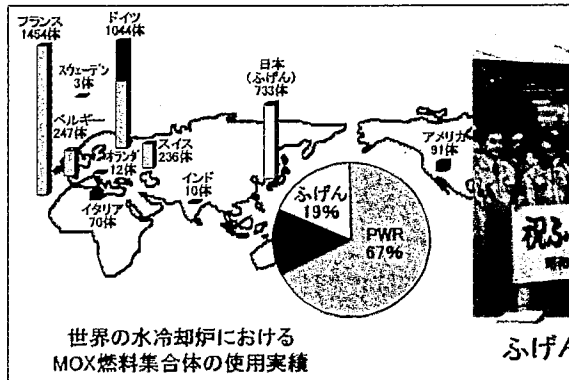
MOX燃料生産実績



28

ふげんへのMOX燃料装荷実績

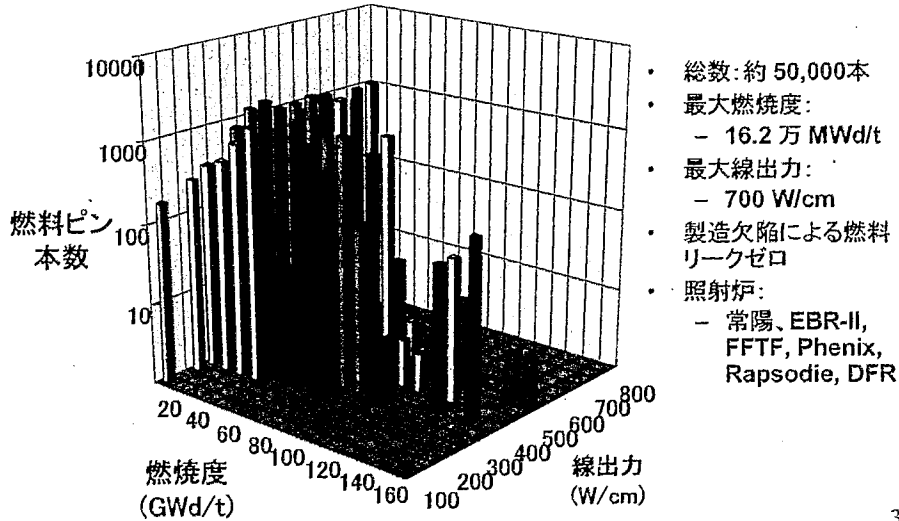
- MOX燃料集合体773体、約140トン、破損ゼロ
- 単一炉では世界一のMOX燃料装荷実績
- MOX最高到達燃焼度 39,000 MWd/t (ペレットピーク)
- ふげん回収Puのリサイクル使用の実証



ふげんのプルトニウムが一回り

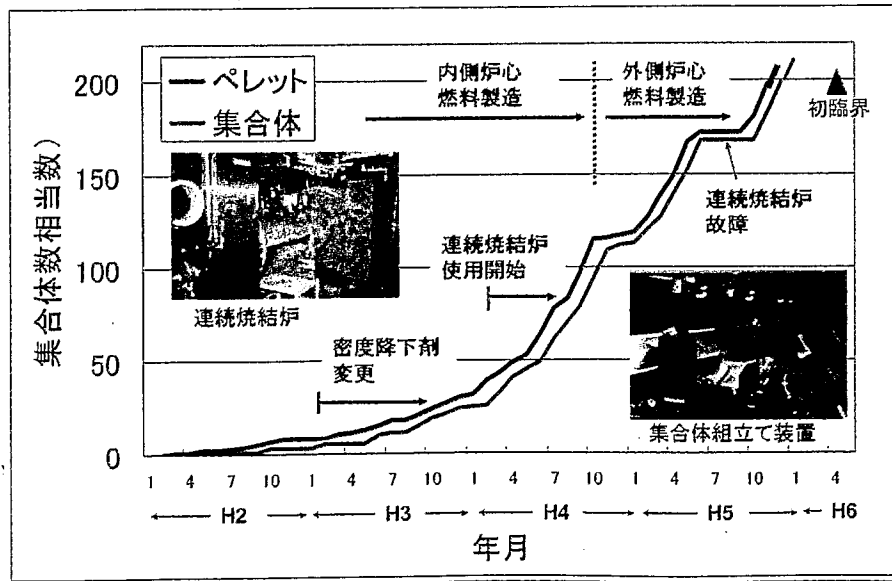
29

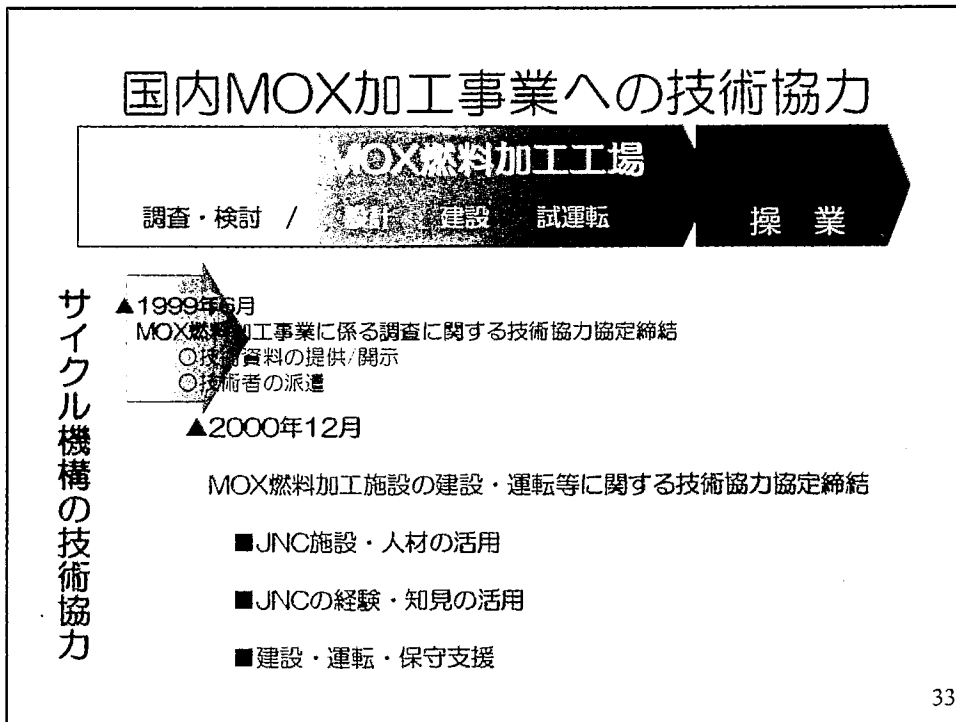
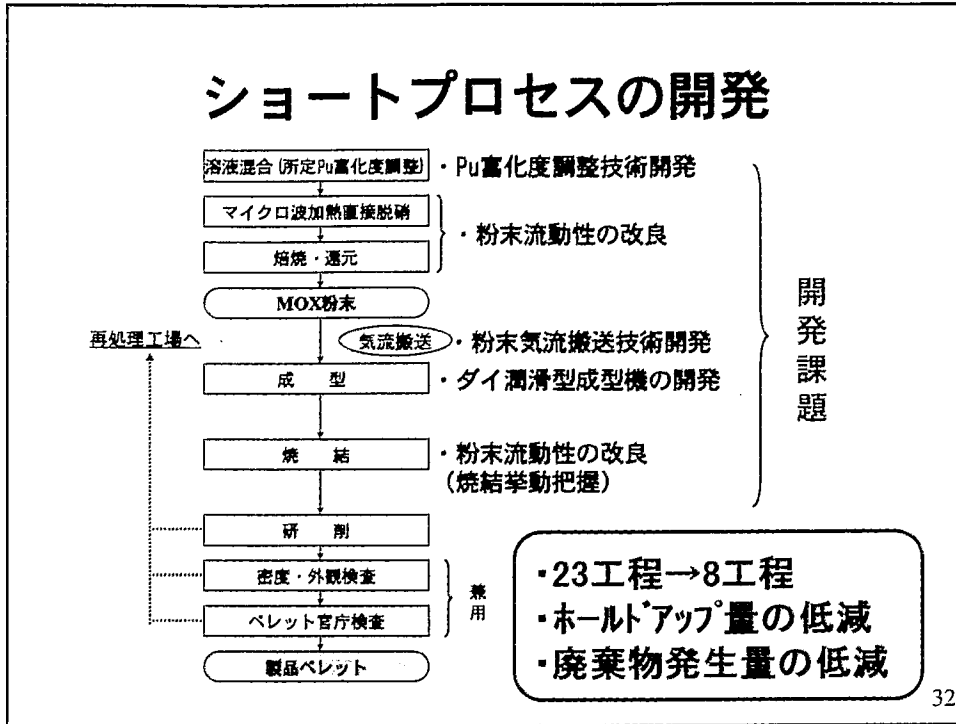
高速炉用MOX燃料ピンの照射実績



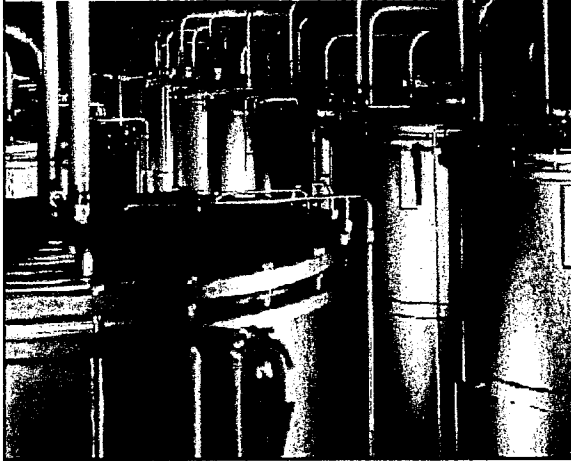
30

もんじゅ初装荷炉心燃料製造



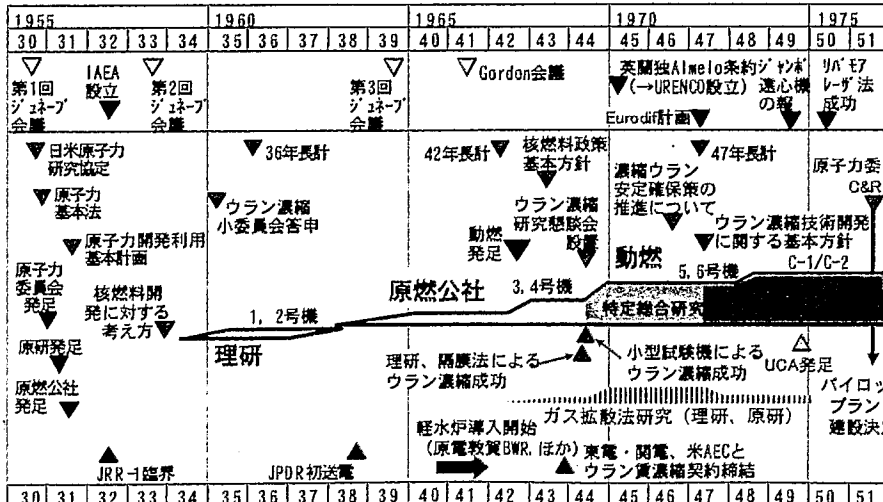


遠心法濃縮技術開発



完全国際機密
 中での純粹
 高度国産技術
 への果敢な
 挑戦

我が国の遠心分離法濃縮技術開発の歴史 (昭和50年まで)



濃縮政策の歴史的経緯(1)

- 核燃料開発に対する考え方(33年12月)
 - 日本の国情に適したウラン濃縮技術の開発を
- 36年長計(36年2月)
 - 将来の濃縮ウランの需要増大に備えて今後15～20年後にはその一部を国産化することとし、原則として原燃公社で行う
- 42年長計(42年4月)
 - 50年頃までに、わが国で採用すべき濃縮方式を定めるために必要な各方式の技術的・経済的評価の資料を得ることを目途として研究開発を促進

36

濃縮政策の歴史的経緯(2)

- 核燃料政策の基本方針(43年6月)
 - 民間主体で海外ウランを確保
 - 遠心法とガス拡散法の研究を行うが、昭和47年頃、各方式の研究成果の評価を行い、可能な限り1方式に集中すべき
- ウラン濃縮研究懇談会設置(44年5月)
 - 遠心分離法とガス拡散法を「特定総合研究」とし、3年後に両方式の評価をしてその後の方針を決定する
- 濃縮ウラン安定確保策の推進について(46年2月)
 - 日米原子力協定による供給確保
 - 国際濃縮計画への参加
 - ウラン濃縮技術の開発

37

濃縮政策の歴史的経緯（3）

- ウラン濃縮技術開発に関する基本方針（47年8月）
 - 遠心分離法については、60年までに国際競争力のある濃縮工場を稼働させることを目標に、パイロットプラント運転までの研究開発を「特別研究開発計画」（ナショナルプロジェクト）として取上げる
- 核燃料サイクル問題懇談会
ウラン濃縮技術評価検討幹事会（51年8月）
 - 動燃におけるパイロットプラント計画を評価した結果、規模として約50トンSWU/年程度のプラントを、前期、後期に分けて建設するという計画は、おおむね妥当
- ウラン濃縮国産化部会（56年8月）
 - 動燃から民間に技術移転をし、民間による国内事業化を進める
 - 官民協力して原型プラント建設を推進する

38

理研におけるガス遠心分離機の開発

- 大山義年教授の先見性 -



- 34年度原子力平和利用研究補助金により開始
- 1号機、2号機を試作、回転試験を実施
- Arの同位体分離効果を確認
- 38年に原燃公社東海事業所に引き継ぎ

理研の研究スタッフと2号機

39

濃縮ウランの国産へ
初の基礎実験に成功

理研
44. 3. 31

ガス拡散法との技術競争

- 44年5月、特定総合研究の開始 -



最初のウラン濃縮試験に成功した小型試験機

アルミナ隔膜使う
ガス拡散法 高い分離効率

理研きょうぎなどで発表

ウランの濃縮実験 遠心分離法に成功

— 上力研 国産濃縮ウラン委員会 —

実用化コスト次第

原燃公社
44. 5. 29

7

特定総合研究（44年5月～47年8月）

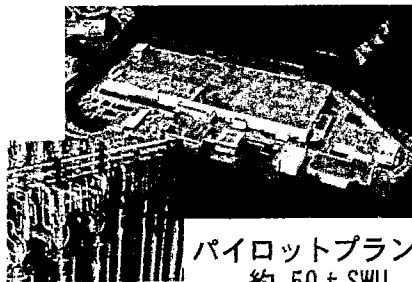
- 3, 4号機試験（初の本格的濃縮試験機）
 - 複数メーカー競合体制
 - システム信頼性試験装置（遠心機10台）
 - 第一次標準化と標準化機開発
 - 高性能機（5, 6号機）の開発
 - 回転胴内の流れの計測・解析
 - カスケード解析法開発開始
- 47年8月 ナショナルプロジェクト化

ナショナルプロジェクト期(47年8月～)

- C-1/C-2 カスケード試験
 - 遠心機寿命試験(L-1, L-2, L-3, …)
 - 遠心機性能の飛躍的向上(長胴型)
 - メーカー間協力体制強化
 - 遠心分離法ウラン濃縮共同開発会議(UCA) 発足(49年10月)
 - ウラン濃縮プロジェクト委員会
- 51年8月 パイロットプラント建設決定

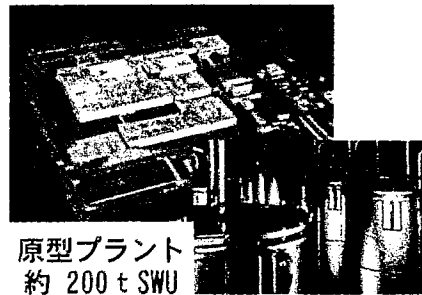
42

パイロットプラント、原型プラント



パイロットプラント
約 50 t SWU

- ホット運転約50,000時間を達成し、長期信頼性を実証
- 濃縮ウラン約51トンを生産し、プラント性能を実証
- INFCEにおいて、濃縮技術保有国としての地歩を固めた

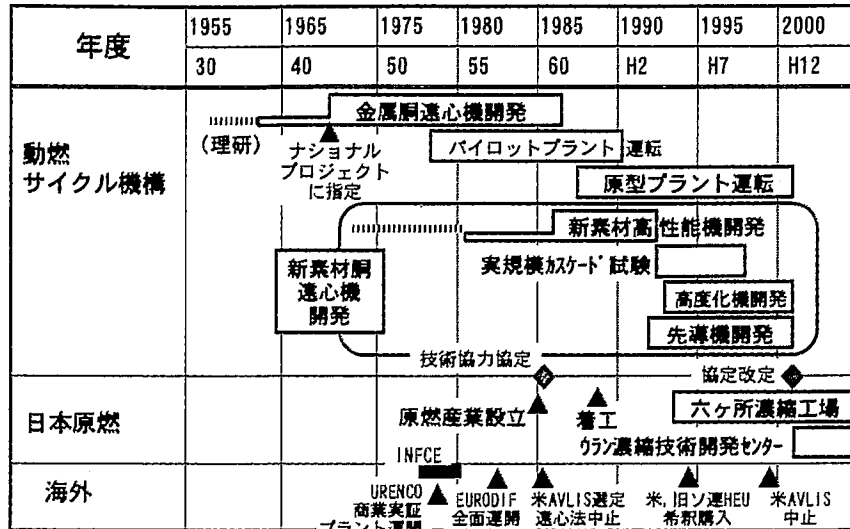


原型プラント
約 200 t SWU

- 13年間ノートラブル連続運転達成
ホット稼働率 99.9%、設備稼働率 94.3%
 - 濃縮ウラン約350トンを生産
 - 無停止保守点検技術の実証
 - プラント無停止増設の実証
 - プラント監視技術の高度化
- 六ヶ所ウラン濃縮工場に反映

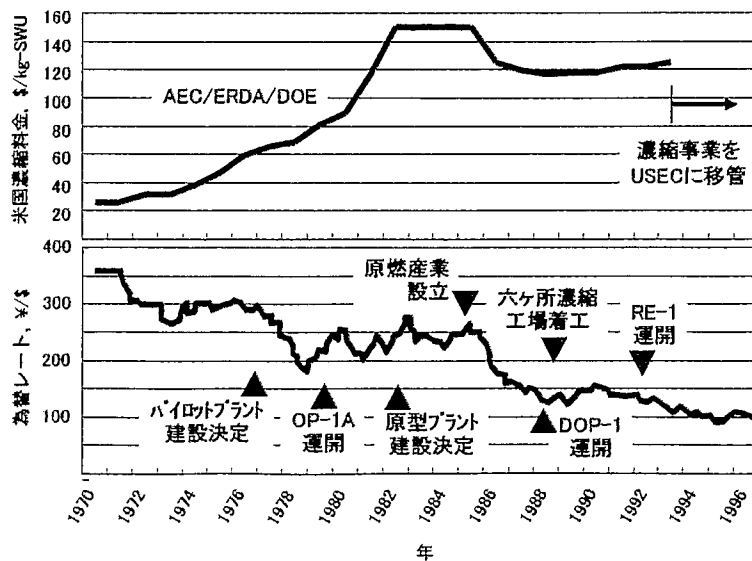
43

遠心法ウラン濃縮技術の開発全体経緯



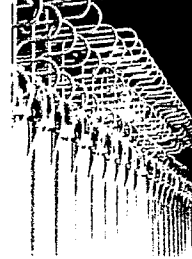
44

円高との厳しい戦い



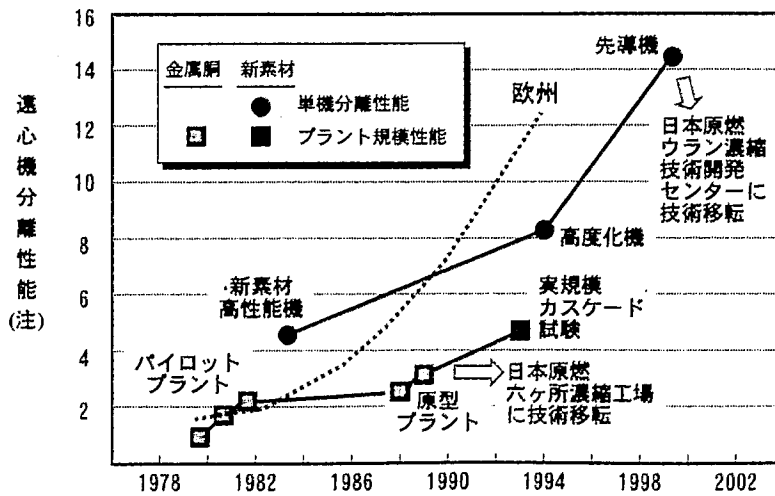
45

新素材銅 遠心機開発



- 実用規模カスケード試験 (H4~H8)
 - 新素材高性能機の長期信頼性を実証
 - 延べ2年間のホット運転で故障台数 0
 - 起動試験、及び各種非定常試験
- 先導機開発 (H4~)
 - 現行六ヶ所濃縮工場の遠心機 (金属銅) の 4~5倍の性能
- 平成12年に発足した原燃のウラン濃縮技術開発センターに開発引継ぎ

遠心機性能向上の推移



(注) 遠心機分離性能はパイロットプラント OP-1A を 1 とした場合の比率で示した 47

原燃への技移転

	動燃	サイクル機構
協定	「ウラン濃縮施設の建設、運転等に関する技術協力協定」(S60. 11. 6)	「ウラン濃縮施設の建設、運転及び技術開発に関する技術協力協定」(H12. 11. 1)
技術移転の内容	日本原燃六ヶ所ウラン濃縮工場(H4操業開始)の商業運転への技術移転 ・濃縮原型プラント成果の移転	日本原燃の新型遠心機開発等への技術移転 ・先導機開発成果の移転
実績 H15.3.31現在	技術情報の提供(累計 23,023件) 業務受託:建設・運転支援等(累計 22件) 技術者の派遣(累計 77名;14年度末現在 17名) 技術研修受入れ(累計 165名)	

48

全体を振り返って

- ・ 何が達成できたか？
 - －タイムリーな技術レベルの到達による「再処理国」、「濃縮国」としての国際的
地歩の確保(日米再処理交渉及びINFCE)
 - －サイクル全般にわたる技術基盤の確立

49

全体を振り返って

- 何がうまく行かなかったか？
 - 円滑ではなかった技術移転
 - はじめから欠落していた国産技術実用化のための国家基本戦略
 - バトンタッチ方式による技術移転と官・民の高い壁
 - 「動燃技術は高い・・・」
 - 累積債務と対価問題
 -
 - 二つの事故による動燃崩壊
 - 核燃料サイクルの持つイメージが「夢」から「お荷物」に転落

50

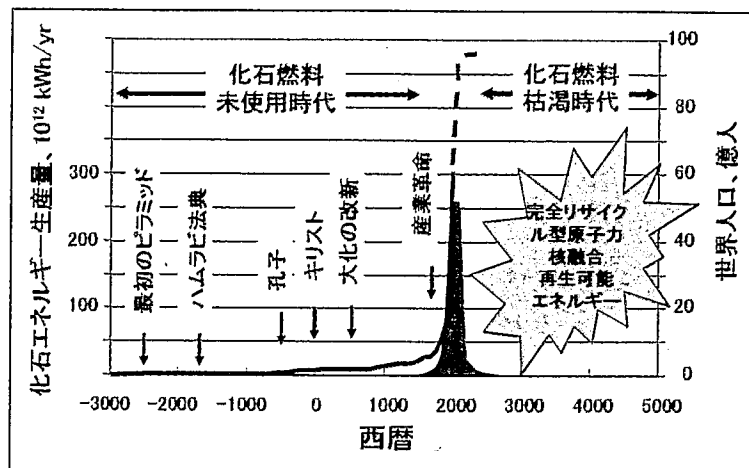
全体を振り返って

- 将来に向かって何が必要か？
 - 「お荷物」から「夢」への復権
 - 電力自由化の中における核燃料サイクルの位置付け明確化
 - 国民とのさらなる対話
 - 統合新法人における高速炉及び核燃料サイクル技術開発の着実な推進
 - 電力、メーカーとの緊密な連携
 - 開発目標の明確化と関係者間、及び国民の理解獲得
 - 実用化へのシナリオと実現体制の議論

51

核燃料サイクルの究極の使命

・ 将来の人類への備え



52

中村康治さんの遺言

- ・ 核燃料サイクルは国民がその叡智と汗でエネルギーを産み出すシステムである！
- ・ 在来化石燃料や燃料の使い捨て方式の核燃料利用では、結局天然資源の争奪の愚に至る！
- ・ 長崎の体験をもつ日本民族であるがゆえに、両刃の剣であるプルトニウムを飼い馴らすことができ、そうする責任があろう！



「なぜ核燃料サイクルか？」原子力工業 Vol. 36, No. 5 (1990)

53

サイクル
機構

