

平成13年度研究開発課題評価(事後評価)報告書

評価課題「ウラン濃縮技術開発」

平成13年9月

核燃料サイクル開発機構
研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)

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4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

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)

2001

平成 13 年度研究開発課題評価（事後評価）報告書
評価課題「ウラン濃縮技術開発」

核燃料サイクル開発機構
研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)

要 旨

核燃料サイクル開発機構(以下、「サイクル機構」)は、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」(平成 9 年 8 月 7 日、内閣総理大臣決定)及びサイクル機構の「研究開発外部評価規程」(平成 10 年 10 月 1 日制定)等に基づき、「ウラン濃縮技術開発」に関する事後評価を研究開発課題評価委員会(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)に諮問した。

これを受けて、高速炉・燃料サイクル課題評価委員会は、本委員会によって定めた評価方法に従い、サイクル機構から提出された課題説明資料、補足説明資料及び委員会における議論に基づき、本課題の評価を行った。

本報告書は、その評価結果をサイクル機構の関係資料とともに取りまとめたものである。

目 次

1. 概要	1
2. 高速炉・燃料サイクル課題評価委員会の構成	1
3. 審議経過	2
4. 評価方法	2
5. 評価結果（答申書）	5
（参考）高速炉・燃料サイクル課題評価委員会 各委員の評価意見.....	24

参考資料（核燃料サイクル開発機構）

参考資料 1 研究開発課題の事後評価について（諮問）

参考資料 2 評価結果に対する措置

参考資料 3 課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の
見解及び質問に対する回答（補足説明資料）

参考資料 4 ウラン濃縮技術開発（課題説明資料）

〔研究開発課題説明資料(本文)〕

〔研究開発課題補足説明資料〕

〔用語の説明〕

参考資料 5 ウラン濃縮技術開発（OHP資料）

参考資料 6 ウラン濃縮技術開発 自己評価書

1. 概要

核燃料サイクル開発機構(以下、「サイクル機構」という)は、「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方についての大綱的指針」(平成9年8月7日、内閣総理大臣決定)及びサイクル機構の「研究開発外部評価規程」(平成10年10月1日制定)等に基づき、「ウラン濃縮技術開発」に関する事後評価を研究開発課題評価委員会(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)に諮問した。

これを受けて、高速炉・燃料サイクル課題評価委員会は、本委員会によって定めた評価方法に従い、サイクル機構から提出された課題説明資料、補足説明資料及び委員会における議論に基づき、本課題の評価を行った。

本報告書は、その評価結果をサイクル機構の関係資料とともに取りまとめたものである。

2. 高速炉・燃料サイクル課題評価委員会の構成

本委員会は、平成11年1月に設置され、関連分野の専門家を中心として、社会科学の専門家、ジャーナリスト、ユーザーなど、幅広い分野の委員から構成されている。

委員長	岡 芳明	東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設教授
委員	井上 正	電力中央研究所原燃サイクル部長
	小鍛治市造	関西電力(株)原燃サイクルグループチーフマネージャー 原子燃料部長
	近藤三津枝	ジャーナリスト
	清水 雅彦	慶應義塾大学 常任理事
	鈴木 潤	未来工学研究所R&D戦略研究グループリーダー
	戸田 三朗	東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教授
	中川 正幸	日本原子力研究所特別研究員(現、日本原子力発電(株)顧問)
	大杉 俊隆	日本原子力研究所I-101システム研究部次長(平成13年7月1日より)
	中村 雅美	日本経済新聞社編集委員
	モリス・ブレン	駐日欧州委員会一等参事官(科学技術担当)
	班目 春樹	東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設教授
	松井 恒雄	名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻教授
	松本 史朗	埼玉大学工学部応用化学科教授
	山田 明彦	東京電力(株)原子力研究所所長

3. 審議経過

(1)第1回目の委員会開催：平成13年6月5日

- ・評価方法の決定
- ・課題内容の説明・検討

(2)第2回目の委員会開催：平成13年7月9日

- ・補足説明、質問への回答
- ・評価内容の検討

(3)評価結果(答申書)のまとめ

上記の審議結果に基づき、委員長が評価結果をまとめ、各委員の了承を得て答申書とした。

(4)答申：平成13年9月4日

4. 評価方法

以下の評価作業手順及び評価項目に従い、評価を行った。

(1)評価作業手順

1)第1回目の課題評価委員会における審議（評価方法の決定、課題内容の把握・検討）

- ・評価方法を定める。
- ・サイクル機構から課題説明資料により課題内容の説明を受け、内容を把握・検討する。なお、欠席した委員に対しては、別途、サイクル機構が対応する。

2)各委員の評価作業

- ・各委員は、第1回目の課題評価委員会開催後、課題説明資料及び委員会における説明を基に、評価項目に従って評価を行い、評価意見及び質問を書面で事務局に提出する。
- ・事務局は、これらを整理して、次回の課題評価委員会の検討資料を作成する。

3)第2回目の課題評価委員会における審議（課題の評価）

- ・各委員が行った評価、サイクル機構の課題説明資料及び補足説明、委員会における討論に基づき、課題評価委員会としての評価を行う。

4)評価結果(答申書)のまとめ及び答申

- ・委員長は、上記の審議結果に基づき、委員会としての評価結果をまとめ、理事

長に答申する。

- ・ 答申書には、次項に示す各評価項目について、委員会としての評価結果を記述する。

5)その他

- ・ 評価をよりの確なものとし、また評価に対する被評価者の理解を深めるため、課題評価委員会には研究実施責任者及び担当者を出席させ、議論に参加させるものとする。

(2)評価項目

評価項目及び評価の視点（○印）は次のとおりとする。

また、研究開発を進めていく上での提言、留意点があれば、コメントする。

1)研究開発の目的・意義

- 目的・意義は明確かつ的確であったか。
- 社会的・経済的ニーズはあったか。
- 国内外の関連技術動向が的確に把握されていたか。
- 重要性、緊急性が高いものであったか。
(長期的に見て重要性が高いものか、将来に備えて今から対応しておくべき課題か、という視点を含む。)
- 国の計画・方針との整合性
- サイクル機構が実施すべき課題であったか。

2)研究開発目標の設定

- 目標の設定は適切であったか。
- 状況に応じて適切に見直しが行われたか。
- 国内外の関連技術動向を的確に把握、反映したものであったか。
- ブレークスルーすべき点が明確であったか。

3)研究開発計画

- 計画内容(小課題の設定・内容、年次計画等)は具体的で妥当なものであったか。
- 状況に応じて計画の見直しが適切に行われたか。
- 使用する施設・設備は適当であったか。
- 実用化への道筋が適切に考えられていたか。

4)研究開発（実施）体制

○実施体制(組織、人員等)、他機関との協力・連携、運営は妥当なものであったか。

○設備・機器は適当であったか。

5)研究開発成果

①成果の内容について

○達成された具体的な成果について、水準、質、意義等の評価

○計画と比較した達成度(要因分析等を含む)

○費用対効果のバランスが取れているか。

②実用化との関係について

○実用技術開発に寄与するものであったか。

○実用化への技術的見通し

③成果の普及、公開について

○成果発表、特許出願・取得の実績

○波及効果

6)その他（上記項目に当てはめ難い評価意見）

7)総合評価

○上記各項目の評価を踏まえた総合的な判断

○今後の新たな課題の遂行において反映されるべき事項の提言・示唆を含む。

(3)評価基準

各評価項目について評価を行い、達成度新たな課題への反映等を総合的に評価する。

5. 評価結果（答申書）

平成13年9月4日

核燃料サイクル開発機構
理事長 都甲 泰正 殿

研究開発課題評価委員会
(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)
委員長 岡 芳明

研究開発課題の評価結果について（答申）

当委員会に諮問[13 サイクル機構（企）021]のあった下記の研究開発課題の事後評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

研究開発課題「ウラン濃縮技術開発」

以上

高速炉・燃料サイクル課題評価委員会報告書 「ウラン濃縮技術開発」の評価結果（事後評価）

評価結果の概要

原子炉（軽水炉）の低濃縮ウラン燃料を生産するためのウラン濃縮技術開発（以下、「本技術開発」という。）は、1972年に原子力委員会によりナショナルプロジェクトに指定された。この決定を受けて、核燃料サイクル開発機構（旧動力炉・核燃料開発事業団。以下、「サイクル機構」という。）は、ウラン濃縮技術の国産化を図ることを目的として、民間及び大学等の協力を得ながら種々の開発、試験を展開し、技術成果を事業主体に技術移転する等、本プロジェクトを推進してきた。なお、サイクル機構での本技術開発は2001年9月をもって終了するが、日本原燃㈱（旧日本原燃産業㈱。以下、「原燃」という。）は、サイクル機構で得られた技術成果を基に、青森県で六ヶ所ウラン濃縮工場（以下、「六ヶ所プラント」という。）を1992年から運転している。

高速炉・燃料サイクル課題評価委員会は、本技術開発がナショナルプロジェクトに指定された以降の技術開発について、民間への橋渡しとなった原型プラントの成果、民間への技術移転等を中心に事後評価を行った。

本技術開発は、我が国のエネルギーセキュリティを確保するため、自主的な核燃料サイクルを確立し、濃縮ウランの安定供給を図るうえで必要であることから、その目的・意義は明確である。ウラン濃縮技術は核拡散上機微な技術であるため、海外からの技術導入が不可能であることから、ナショナルプロジェクトとして事業化が可能なウラン濃縮技術を自主開発し、その技術成果を事業主体に技術移転するとの本技術開発の目的は的確であり、社会的及び経済的ニーズもあった。また、本技術開発は、我が国にとって重要性、緊急性が高く国の原子力計画方針との整合性もとれており、サイクル機構が実施すべき課題であった。

本技術開発は、原子力委員会の方針に従って目標が設定され、また状況に応じた適切な見直しがなされている。各段階の開発は、金属胴遠心機の開発からパイロットプラント、続く原型プラントへと進められた等、その開発目標は明確である。また、国際情勢が変化するなかで、遠心分離機の性能を一段と高める必要から新素材高性能機の目標が設定された。その後、さらなる高性能化を目指す高度化機の開発に着手し、また円高下での

国際競争力確保を目標に進められた先導機開発の成果は原燃による新型遠心機の開発につながられた。これら一連の開発の流れは、いずれも開発目標の設定及び適切な見直しのもとで行われている。

研究開発計画については、ナショナルプロジェクトに位置付けられてから、30年近い長期にわたるプロジェクトであったが、各ステップにおいて解決すべき課題を明確にし、開発計画を策定して着実に目標を達成したと言える。手探り状態からスタートした本技術開発を原型プラントにおける長期連続運転達成と商用プラントとして使える技術の移転まで完了したことは、その開発計画の妥当性を裏付けている。この中で、サイクル機構が自ら試験を行い、全ての意思決定を主体的に行えたことが実用化を達成した要因になっていると評価できる。

しかし、URENCO（イギリス、ドイツ、オランダの3国による遠心分離法濃縮ウラン製造会社）より目標達成時期に遅れが生じているように、海外の競争相手と開発のスピードにおいて劣っていたことは教訓にすべきと考える。事業主体の「原燃」に開発組織が一元化していく今後の開発においても考慮されるべきである。

本技術開発の推進に当たっては、サイクル機構は、外部の協力や助言を得つつ、基礎研究から原型プラントによる実証開発研究まで、性格の異なる幅広い技術を効率良く集約して行くため、一貫してプロジェクトの中核組織として機能した。この点は、本技術が実用化を達成した要因として挙げることができる。また、「原燃」が設立された以降、サイクル機構は、同社と建設、運転等に関する技術基本協定及び電気事業者も加わった研究協力協定を締結するなど関係機関と協力して技術開発を進めつつ、技術移転を促進する体制をとったことも評価できる。

しかしながら、技術移転を受け運転中の六ヶ所プラントにおいて、当初予想されていた以上の停止遠心分離機が発生している問題については、原燃が実施中の停止原因の究明調査に今後もサイクル機構が積極的に参画することを期待する。

なお、今後の開発体制は、昨年設立された原燃のウラン濃縮技術開発センター（以下、「開発センター」という。）に一元化されている。サイクル機構も先導機開発に係わる技術成果の移転、開発要員の派遣等の支援を行っており、今後とも、開発センターでの開発を必要に応じ支援する必要がある。

技術開発の成果については、金属胴遠心機の開発で要素技術の開発を行い、遠心分離機の基本仕様を確立し、10年に及ぶパイロットプラントの運転で技術的基盤を実証し、

原型プラントは 13 年にわたりノートラブルで連続運転され、極めて優秀な高稼働率運転の実績を残してきたこと、これら商業化に不可欠な各種の成果を六ヶ所プラントに技術移転したことなど高く評価できる。また、回収ウランの再濃縮が確実に実現できることを実証したことも非常に有意義であった。

新素材遠心機の開発では、新素材の実用化の可能性を示し、一元的开发体制として設立された開発センターでこれまでのサイクル機構の開発成果をベースに国際競争力の達成が可能な新型遠心機の開発を進めることになった。

成果の普及公開については、ウラン濃縮が機微技術であるために外部発表が制限される中で、145,000 件の社内技術資料や国内での 143 件、国外で 13 件の工業所有権の取得、さらに、国内学会へ 122 件、国際学会へ 55 件の外部発表が行われており評価できる。

本プロジェクトを総合的に評価するならば、外国からの技術導入が出来ない中で、プロジェクトの中核となって自主開発し、実用化を達成したことは高く評価される。国際競争力の課題を残しつつも、核燃料サイクルの自主性の確立という当初からの開発の目的、意義に照らせば、十分な成果をあげたと言え、ナショナルプロジェクトとして成功であったと評価できる。

今後のサイクル機構が果たすべき役割及び検討すべき項目として以下が挙げられる。

- ① 六ヶ所プラントの停止遠心分離機について、原型プラント機の分解点検も含め原燃が実施中の原因究明調査に協力すること。
- ② 従来までの技術成果を体系化し取り纏めること。
- ③ 開発センターでの新型遠心機の開発を支援すること。
- ④ 機微情報に関する課題を評価する場合の情報開示方法について検討すること。

評 価 結 果

(1) 研究開発の目的・意義

- 1) ウラン濃縮技術は原子炉の燃料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、エネルギーセキュリティ確保のため自主的な核燃料サイクルを確立し、濃縮ウランの安全供給を図るため必要である。この技術は核兵器の製造に直結する恐れがある技術であり、海外からの技術導入が不可能である。ナショナルプロジェクトとして事業化が可能なウラン濃縮技術を自主開発し、その技術成果を事業主体に技術移転するとの本研究開発の目的は的確であり、社会的、経済的ニーズもあった。日本にとって重要性緊急性が高く国の原子力計画方針との整合性もとれており、サイクル機構が実施すべき課題であった。INFCE 終了前にパイロットプラントが運転を開始したことにより日本がウラン濃縮技術保有国として地歩を固めることができたのも意義が大きい
- 2) 我が国の核燃料サイクルを確立する上で重要な課題の一つである。また濃縮技術として実用レベルで適用する場合、経済性、技術蓄積等から考えて遠心分離法を開発技術としたことも適切と考える。また、当時の対外状況を考えると、時宜を得た取り組みと考える。
- 3) ウラン濃縮技術開発の目的や意義は明確であり、開始当初の重要性や緊急性の高さについても問題無いものとする。
- 一方、社会的・経済的ニーズについては、近年における円高や国際的供給過剰の現状に照らすと、若干、疑問が残る。ただし、このようなコスト低減要求の問題意識から新素材胴遠心機の研究開発などが継続して行われており、目的や意義の面からはほぼ妥当なプロジェクトであったと言える。
- 4) 我が国は乏しいエネルギー資源を、原子力により補完し、特に準国産エネルギーとすべく研究と開発に大きな投資を行ってきた。核燃料サイクルの自主性確立には、ウラン濃縮技術の開発が要とされ、低濃縮ウランを生産する実用技術の保有、国際的に機微技術であり基礎研究から商用化技術（実用プラント）までを全て我が国のみにより確立せねばならぬ技術の開発、世界の情勢から実用的技術の中心となると考えられる遠心分離法の開発とその経済性を旨とした新素材胴遠心機の開発、と原子力長計にそって、核燃料サイクル機構がその主たる研究開発の担い手として実施してきた研究・開発の目的・意義は明確である。

5) 国産エネルギー資源の乏しい我が国は、原子力利用の中核技術として、原子力発電を準国産エネルギーとして長期的な計画の下に開発することを基本方針としてきた。また、このために核燃料サイクルを完結させることを目標に掲げてきた。

そのためウラン濃縮技術を開発し、濃縮ウラン燃料を国産することは、原子力開発の早い段階から重要な要素と位置付け、ナショナルプロジェクトとしてこれを推進することが原子力委員会の下に決定され、サイクル機構がこれを担当することとなった。

従って、サイクル機構が進めてきた濃縮ウラン技術開発の目的・意義は明確なものであり、国の方針として位置付けられたものであった。

6) 本テーマは、遠心法ウラン濃縮技術の実用化を目指してきたものであり、ナショナルプロジェクトに指定されてきた。その意義は核燃料サイクルの自主性の確保にある。ここしばらくは世界的にも遠心法濃縮技術が中心となると考えられることから、その実用化を一貫して目的として掲げてきたことは正しい判断であったと評価できる。濃縮技術は核兵器製造への転用の恐れがあることから機微技術とされており、その開発は国のプロジェクトとして推進してきたことも当然と考えられる。

7) 本技術開発は、目的・意義は明確であり、国の方針・計画とも整合性が取れて、サイクル機構が実施すべき課題であり、重要性の高いものである。

8) ウラン濃縮技術は原爆開発に通じる技術であることから、国際的に機微技術として扱われており、海外からの情報や技術導入は一切考えられないことから、自主技術によって開発する以外になかった。また、ウラン濃縮技術の実用化には多大な研究開発資金と技術の集約化が必要であったことから、国のプロジェクトとして推進されることとして、1961 年以降原子力開発利用長期計画に位置づけられ、旧動力炉・核燃料開発事業団がウラン濃縮技術の開発の中心的役割を担ってきた。

ウラン濃縮技術は原子炉（軽水炉）の原料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、この技術を保有しているか否かは、核燃料サイクルの完結や濃縮ウランのバーゲニングパワーから極めて重要なことがらであった。また、原子力発電の経済性を左右する重要な要素である。したがって、実用的ウラン濃縮技術を保有することは、核燃料サイクルの自主的確立をめざしたわが国においては極めて重要なことがらであり、ウラン濃縮技術開発の目的・意義は明確であったと判断される。

9) 自主的核燃料サイクルの確立という国の方針のもとに、ウラン濃縮の国技術を開発するという国の計画との整合性・目的・意義は原型プラント建設の段階までは明

確であり、社会的ニーズもあったものと考える。

またその後の新素材胴遠心機の技術開発についても国の計画のもとに進められていることは理解できる。

しかし新素材胴技術開発については、それぞれの遠心分離機機種の技術開発について実用化のため、どこまで追求するものであって、そのためにいつまでに何を実現していくのかという目標&計画設定の観点からは不十分な印象が残る。

- 1 0) 濃縮技術は機微技術の宿命があることから、国内外の関連技術が的確に反映されていないことは仕方がないことである。むしろそのような背景にあって、サイクル機構が自ら苦勞して開発したことに敬意を表する。

ただそれ故に技術の確立が最優先マターとなり、経済的ニーズの達成は二の次でなかったかと思われる。

- 1 1) 濃縮に係わる一連の技術開発は、原型プラント建設まではサイクル機構がすべきことで疑問の余地はないが、その後の開発についてはサイクル機構が参画することは当然として、研究開発体制が妥当であったかは何とも判断できない。

- 1 2) 濃縮がサイクルの自主的確立を目指す我が国にあっては不可欠な技術開発であったという基本認識は妥当である。

(2) 研究開発目標の設定

- 1) 遠心分離法によるナショナルプロジェクトの開発は、原子力委員会の方針に従って目標が設定され、また状況に応じた適切な見直しがなされており、各段階の開発は金属胴遠心分離機の開発からパイロットプラント、さらに原形プラントへと開発目標は明確である。さらに変化する国際情勢のなかで、遠心分離器の性能をさらに高める必要から新素材高性能機の目標が設定され、これはさらに高性能を目指す高度化機の開発に、またこれと並行する先導機開発がその開発成果の見通しから日本原燃院による新型遠心機の開発につなげられた一連の開発の流れは、いずれも開発目標の設定および適切な見直しのもとで行われている。

- 2) 研究開発の目標と開発ステップは、原子力委員会の方針を決定し、その遂行のための具体的技術開発目標をサイクル機構が中心となり、民間との協力の下に設定したものでありいずれも妥当と考えられる。

ウラン濃縮技術は国際的に機微な情報であり、海外からの技術導入は期待できないので、開発段階を金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素

材胴遠心機開発というステップを踏んだ原子力委員会の方針のもとに、長期にわたる開発目標を立てこれを実施した。

- 3) 金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機開発のそれぞれにおいて適切に目標が立てられていたと評価する。原型プラントまでの一連の開発は既に民間の日本原燃㈱に技術移転され、商業プラントの運転が始まっている。その意味で、民間での開発が難しい時期は国が担当し、商用化の目途が立ったところで民間に技術移転する好ましい形を実現できたといえる。また新素材胴遠心機開発は、民間の計画をサイクル機構が支援する新型遠心機開発に引き継がれており、国と民間との協力がうまくいっているケースである。
- 4) 本技術開発の目標設定は、主として原子力委員会および原子力委員会ウラン濃縮懇談会等の外部からの要請で成された経由がある。その中でサイクル機構が主体性を持って成果を出した良い課題である。
- 5) 当初の遠心分離機の基本構造の確立、周辺機器システム技術の確立および小規模カスケード試験装置によるプラントとしての特性把握は実用化に向けての次のステップであるパイロットプラントを実現するための技術的見極めをしていくための開発目標の設定として妥当なものと判断される。また、その後のパイロットプラントでの数千台規模のカスケードにより濃縮ウランが生産できることの技術実証によって濃縮事業に用いるプラントができるか否かの技術的見極め、原型プラントでのエンジニアリングや運転・運営ノウハウの確立の目標設定は妥当なものと判断される。
- 6) 金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機とステップを追った研究開発目標が設定されており適切である。金属胴遠心機の開発にあたってプラント建設のための技術開発を行っているのも評価できる。新素材胴遠心機については高性能機と先導機の開発が計画されたのも適切である。国内外の関連技術動向の反映の点では技術的には海外の動向を適切に把握し反映したと考える。

日本の原子力は原子力国産化を目標に長年努力し、軽水炉をはじめとしてその目標は達成され素晴らしい成功を収めている。しかしグローバル化と市場経済の時代になり原子力国産化という目標は過去のものとなっている。本技術開発は実用化の点では高い成果を挙げたが、実用化を国産化ではなく、国際的な濃縮市場での競争力のある商用化と考えるならば、開発のスピードとコストにおいて、海外の競争相手に優る開発としての経営戦略がもっとあるべきではなかったかと考え

る。

- 7) 機微情報が多く個別の技術の中身までは知り得ないので具体的には判断できないが、これらの項目に関しては総体としては高く評価できる。特に INFCE をクリアするべく短期間に技術実証に到達する計画を立て実行したことや、新素材利用の技術的不確実性を担保するべく、高度化機と先導機の2本建てで開発を進めた点などは、評価に値する。

ただし、高度化機をあきらめ先導機へと比重を移す見極めのタイミングが、妥当であったかどうかは疑問である。これが、結果的には商業プラントへの次世代機導入の遅れを拡大させることになったものと考えられる。

(3) 研究開発計画

- 1) 実用性の高い遠心分離機及びプラント技術を開発するとの目標をもって立てられた研究開発計画は妥当であったと評価できる。まず金属胴遠心機の開発において適切な開発項目が設定されている。遠心分離機の基本仕様を早い段階で統一し、枢要技術について自ら試験解析を実施して多くの選択肢の中から技術的裏付けをもとに採用する技術の選択が行われている。この経験の蓄積こそが開発計画を成功に導いた基盤であると高く評価できる。

その後パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機と開発が進められ成功している。なお先導機が国際競争力を念頭に置いて開発されたことは適切である。しかし海外の競争相手と開発のスピードにおいて劣っていることは、今後の教訓とすべきと考える。

- 2) 実用性のある遠心分離機の技術を開発し、それをパイロットプラントおよび原形プラントへの技術として確立させる研究開発の計画は、商業プラントにおける経済性評価データの取得も含めて、適切に進められている。また、国際情勢の急激な変化の中で、国際競争力を高めるための高性能な遠心分離機の開発計画がたてられ、電気事業者との共同研究による新素材胴遠心機の開発、これと並行して進められた先導機の開発の2つの計画に発展したが、開発に見通しが得られた先導機の技術を中心に、日本原燃(株)による新型遠心機の開発に移行することになったことは、我が国のナショナルプロジェクトが適切に進められた大きな成果と評価したい。日本原燃(株)による新型遠心機の開発ではサイクル機構の開発研究の成果が有効に継承され活用されていくことを願いたい。

3) 本研究開発はナショナルプロジェクトに位置付けられてから、30 年近い長期にわたるプロジェクトであったが、各ステップにおいて解決すべき課題を明確にし、開発計画を策定して着実に目標を達成したと言える。

本研究に着手した時点では基礎的な研究段階で、手探り状態からスタートしたが、それを原型プラントにおける長期連続運転達成と商用プラントとして使える技術の移転まで完了したことは、その開発計画の妥当性を裏付けている。

4) 本プロジェクトは、ナショナルプロジェクトに指定されてからも 30 年という非常に長期間にわたるものであった。全体としてみれば計画内容は適切であったと評価する。適宜計画の見直しが行われていること、実用化の道筋として民間への技術移転を考え着実に実行したことなども評価できる。

5) 内容、計画の見直し、施設等は適切であった。

6) ウラン濃縮技術開発の特徴は、機微技術であり、情報の入手が困難の中で、しかも、核不拡散政策上の厳しい情報管理の制約を受けた中で、基礎研究から始まり、商業プラントとして確立しなければならないことにある。したがって、目標達成に長時間を要することとなる。実際に約 30 年に及ぶ期間が費やされた。このことは技術開発の過程で計画の変更等柔軟な取り組みが必要となったものと思われる。基本的には適宜計画が再検討され開発計画は妥当なものとは判断されるが、URENCO より目標達成時期に遅れが生じていることからその原因を究明し、今後の民間における研究開発に生かして欲しい。

(4) 研究開発体制

1) 原子力委員会が開発方針を示し、これを受けてサイクル機構が中心となって、国内の電気事業者、日本原燃㈱、メーカーの協力、共同の下に本プロジェクトを推進したこと、日本原燃㈱への技術移転が有効に行える体制であったことが成功への重要な鍵であったと考える。

2) 研究開発体制は、開発内容ごとに見直しが行われ、最適な体制が選ばれてきた。機微技術を扱うため厳しい情報管理を必要とする条件下で、よくやったといえるであろう。1985 年以降、民間と協力協定を結び、技術移転をスムーズに実施したことも評価できる。

3) 機微技術のため限られた範囲での官民協力の研究開発体制であったが、研究開発

体制としては妥当なものと判断される。

- 4) ウラン濃縮技術の開発が我が国のみの技術でやり遂げねばならなかった背景の中で、基礎研究から商業化プラントによる実証開発研究まで、性格の異なる幅広い技術と、それらを効率良く集約してインテグレーションしていく研究体制が求められたが、それを適切に実施し期待される成果を生み出し商業化への技術の確立に見通しをもたらしたことは、極めて高く評価したい。これまでの開発研究に、約 30 年という長い期間が要されたことは、技術の選択とリスクの問題が常にあり、その解決に時間が必要であったということであるが、我が国の核燃料サイクルの要の技術として組み込むのにもはや時間的余裕はなく、また国際的競争力にも打ち勝つ必要のある現実をみると、これらの開発研究の時間がもっと短縮できなかったのか惜しまれるところである。

- 5) 目標の設定は原型プラント建設までは適切。非常に長期間を要しているが、濃縮の置かれた宿命からやむをえないと考える。

新素材胴遠心機の開発はまさに状況に応じて計画の見直しがされているが、適切であったかどうかは、何とも判断できない。

すなわち技術を開発し、確立すれば確実に実施主体に移転するか、または逆に濃縮の置かれた宿命を踏まえて技術開発主体と実施主体を一元的な体制にするか、どちらが良いかはわからないが、結果的に今回の原燃の一元化はそれはそれで良いとして遅きに失したと感じる。

- 6) 研究開発体制は適切であったと評価できる。初期には日本のメーカの技術開発能力を最大限に活用し、これによる技術成果を自ら実施した試験と解析結果をもとに評価し技術の選択と開発方針が立案されており評価できる。原型プラントの建設にあたっては電気事業者との協力が行われ、六ヶ所ウラン濃縮工場の建設・運転等に必要な技術情報の提供、要員の派遣など、技術移転や技術支援を行う体制がとられたことも評価できる。

実用化の見通しが得られた後は技術移転に備えた体制がとられている。実用化を達成した要因の 1 つは外部の協力や助言を得つつ、サイクル機構が一貫してこの技術の選択、調整を行う中核組織として機能したことを挙げることができる。

なお 1992 年に運転開始した「原燃」の商業化プラントは原型プラントで培われた技術が使われている。そのトラブルの経験からみると、サイクル機構に蓄積された運転管理を含むノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。

今後は原燃のウラン濃縮技術開発センターにおいて一元化した研究開発が行われることになっている。研究開発から実用化までの期間を短縮することは国際競争を考えるととりわけ重要である。研究開発が商業プラントも運転する「原燃」に一元化されたのはこの点でも評価できる。今後は実用プラントの一部のカスケードを用いて開発機の実用上の性能を試験するような実用と一体化した研究開発の考え方もあってよいのではなかろうか。

7) 本開発研究の成功は、サイクル機構が開発研究における意志決定と責任遂行を自前の設備による試験とその知見から行えた結果であることに同感であるが、将来の自主開発ナショナルプロジェクトの推進と組織のあり方に対して、貴重な大きな実験として本開発研究を分析し、レポートとして報告されることを期待したい。

8) 30年以上続いたプログラムは、遠心分離によるウラン濃縮領域で、サイクル機構を国際的レベルに導いた。開発に引き続きとられた、「原燃」に知識を移転するためのステップが正しく、成功裏に濃縮工場を建設することを約束するものであると思う。

しかしながら、本研究はサイクル機構でまもなく中止されるので、研究開発に関する多くの知識が失われることは残念である。サイクル機構の数人の研究者が、「原燃」での小規模な開発の組み立てや管理にも加わり（又は「原燃」に協力して）、密接な関係を保っていくべきと考える。そうすることで、何年もかけて研究者が得た知識を失わずに済むであろう。

9) 実施体制、他機関との協力・連携は妥当であった。しかしながら最終的に技術移転する先導機の開発には、電事連と「原燃」との協力は無かった。サイクル機構独自で行った由に開発がスムーズに行えたのであろうが、今後、「原燃」に技術移転した後も、「原燃」のセンターへの基礎・基盤技術に関するサイクル機構のノウハウを十分移転できる体制が当分の間サイクル機構側にも必要と考える。

10) DOP-1、2自身の故障率が、当初計画値を満足させるものであったことは評価できる。しかし、技術移転先の商業プラントで原因不明の故障が多数発生している現状に鑑みると、技術移転に関する体制が不十分ではなかったかとの疑問を抱かざるを得ない。

11) 先導機の開発が電気事業者や「原燃」抜きで進められたことは、「当面代替機導入の見通しが立たないのに現存機がどんどん故障していく」という、空白状態とも言うべき現状を産み出す原因となったものと考えられる。この点からも、研究実施体

制には問題があったと感じる。

(5) 研究開発成果

1) 金属胴遠心機の開発においては軸受の構造、駆動モータの型式、回転胴の構造、ガスの給排気方式などの技術を確認している。パイロットプラントでは 10 年間の運転により原型プラントや商業プラントの技術的基盤が蓄積されている。原型プラントは 13 年間にわたりノートラブルで連続運転され、10 年間のホット稼働率は 99.9 % と極めて高い実績を残している。これらの成果は六ヶ所ウラン濃縮工場に反映されている。回収ウラン原料による運転も行われ、運転員の平均被曝線量も十分低く、特段の設備の追加もなく回収ウランを原料とする濃縮を行えることを示している。

2) サイクル機構が自ら試験を行い、全ての意思決定を主体的に行いえたことが実用化を達成した要因になっていると評価できる。自らの頭で考え、手を下して自ら行うことが新しい開発において重要であることを示している。

3) 遠心機開発→パイロットプラント→原型プラント→六ヶ所導入の順に進めた金属胴遠心機の開発は十分な成果を上げたものとする。

また回収ウランの再濃縮についても、原型プラントでの実施により、U-232 の娘核種の存在等の課題を克服し、十分な成果を上げた。本件は核燃料サイクルにとって重要な位置づけのものとする。

4) 金属胴遠心機の開発では要素技術の開発、パイロットプラントによる 10 年間の運転蓄積を通じて獲得したプラントの信頼性、遠心分離機の量産技術、運転制御技術、その他種々のノウハウの獲得、原型プラントによる 13 年間の連続運転による商業化に不可欠な各種の成果と技術移転などいずれも高く評価できる成果を挙げた。

新素材胴遠心機の開発では幾つもの困難に遭遇したが、これらを解決し濃縮性能の向上、経済性の改良など次期商業プラントの基本となる新技術を開発した。今後更に信頼性、経済性向上のために解決すべき課題は残されていると考えられるが、これらは「原燃」が主体となってサイクル機構がサポートする体制が出来上がったことにより、サイクル機構としての役割は十分に果たしたと評価できる。

5) 成果を開発された技術の国際競争力で計るなら十分な成果であったとはいえない。しかし核燃料サイクルの自主性の確立という当初からの開発の意義に照らして考

えるなら、十分な成果をあげたと言い切れる。原子力をめぐる環境は開発当初と大きく変化しているが、自前の濃縮技術保有の意義はいまも全く変わっていない。ナショナルプロジェクトとしては成功であったといえるであろう。

技術移転も順調に進んでいる。開発された技術がどれだけ使われるかは経済合理性で決めればよいことであるので、今後民間が事業を担当することは正しい判断である。

成果の公表等は機微技術であることを考慮するなら、それなりになされていると評価する。

6) 原型プラント段階でウラン濃縮の事業化を見通すための必要最低限の技術レベルは達成している。国際競争力はプラントの規模のみならず、開発のスピード、経営戦略、種々の非技術問題の対処法等も影響するので、今後の課題と考える。高速回転技術など、遠心分離濃縮法は日本に適していると考えられ、プロセスや技術の改良が進むことを期待したい。

7) 個別の技術課題は機微情報と言うことで、評価できるような情報を有しないので省略する。ただし、印象としては外国からの情報が極めて限られた環境の中で、日本でも独自技術開発でここまでできるということを示したことに對し、高い評価が与えられるべきであると感じる。

一方、高度化機の開発については、失敗であったと認識している。研究開発には失敗が付き物なわけであるから、失敗は失敗として堂々と認めればよいと思う。その中から、どの部分が先導機に利用できる技術で、研究体制や見極めのノウハウなど、次につながる教訓がどの程度得られたのかが重要であると考えます。

事後評価であるので今後の展開は無いのかもしれないが、失敗から教訓を得る努力はしっかりと行ってもらいたい。

8) 開発された技術が実用化されており高く評価できるが、「原燃」へのノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。

今後は国際競争を視点に一致協力した事業の展開を期待する。開発に貢献しノウハウを持つ人材の適切な処遇も重要であることを指摘したい。国の開発の最終的は技術の移転ではなく産業の創出であるので、技術の移転より国際競争力を持つ事業の発展が何より重要であることは言うまでもない。人材の処遇もこれらの中で考えられるべきものである。

9) サイクル機構の努力の結晶である原型プラント DOP-2 遠心分離機と同じ六ヶ所

工場の遠心分離機が、所要の寿命以前に停止している事象は誠に残念。一義的には「原燃」の解決すべき課題ではあるが、サイクル機構は技術開発・移転した者として、確実にフォローする義務がある。サイクル機構には運転上・設計上・製造上の何れに問題があったのか、「原燃」と連携して原因の徹底究明に努めてほしいし、その一貫として原型プラント遠心分離機の分解調査をしっかりとお願いしたい。

- 1 0) 基礎研究・技術開発、パイロットプラント、原型プラント、および新素材系遠心分離機開発の成果を民間に技術移転し、新型遠心機開発によるウラン濃縮事業確立への積極的な反映を行えたことは、高く評価する。ただ、原形プラントでの役務生産コストが海外の3～3.5倍程度で、プラントのスケール効果による低減を考えてもまだ十分ではないが、新素材系遠心機の開発による実用性実証によって大幅な経済的合理性を得られるとの見通しであると述べているが、新しい技術の信頼性と商業プラントの規模へのスケールアップのギャップは大きい(200t→3,000t)と考えられ、このスケールファクターについては停止機器の絶対数を減らす実証経験をさらに積む必要があると思われる。
- 1 1) 達成された成果の水準は高く意義深いと考える。但し、目標・計画に対応する成果としてとらえた時、それらの間の対応性をわかりやすく示す工夫が必要であろう。
- 1 2) 見つかった問題点を分析、評価しておくことが、専門家の移籍も含め、民間へのスムーズな技術移転には不可欠と考える。特に、人形センターの試験では極めて良好な成績と報告されているが、それが何故民間移転した場合には課題があったのか、分析とその反映が今後の技術開発には極めて重要である。
実用化されておりサイクル機構が行う技術開発はない、さらに民間への技術移転がスムーズになされたような記述になっているが、上記のような分析、問題点の把握、今後の技術者の移転等など、サイクル機構の重要な mission と考える。
- 1 3) 民間のプラントとして実用化されており、研究開発の目標として十分達成されたといえるが、URENCO より目標達成が遅れていることを含めて、技術移転において多少の歪みが生じたことに対して研究成果を整理し民間移行を果たして欲しい。
- 1 4) 実用化への技術的見通しは得ているものの、成果が技術的に完成しているとは考えにくい。従ってサイクル機構の成果が「原燃」において効率的に活かされるようにすべく、「原燃」での開発計画へ本成果が十分反映されるシステム・体制を確

立（明確に）すべきであろう。

- 1 5) 高度化機の開発を 1993 年からサイクル機構は、電力、「原燃」との共同研究により、支援することになったと書いてあるが、一方、高度化機の先を行く先導機の開発をサイクル機構単独で、その前年の 1992 年より開始している。

（自己評価書）5.3（項）組織、開発体制の項で「ウラン濃縮技術開発ではインテグレートして行く過程の全ての意志決定を、サイクル機構が自ら責任を持って行ってきた。このように…全ての意志決定を主体的に行い得たことが、実用化を達成した要因となっていると考える」と書かれているが、開始時期の妥当性、高度化機と先導機の開発に際しての両者に共通の設計フィロソフィーは何だったのか。要員、資源が二分されて、非効率な開発になった可能性はなかったのか。

- 1 6) ウラン濃縮は、サイクル機構が基礎から開発し、その成果を民間に移転して事業化に持っていく最初の大規模なケースであり、今後も MOX、或いは FBR 等の事業化、商業化の先例ともなるものである。

その観点から、濃縮の経験は貴重なものであるので、実状をつまびらかにすると共に、今後の成果の移転を真に有効にするために、良い点は伸ばし、悪い点は改善するようにしていくことが、本事後評価の大きな意義であると考ええる。

- 1 7) ウラン濃縮は機微技術であるため外部発表は制限されるが 145,000 件の社内技術資料や国内の 143 件、国外 13 件の工業所有権が得られており評価できる。

- 1 8) 「原燃」への技術移転は、資料の提供と人的交流、共同研究を中心に適切に行われている。また、社内技術資料は多くあるが公開されていないと思われ、他方学会発表や工業所有権の数は少ないのは、機微な開発研究に関わることでやむを得ないものと考ええる。

- 1 9) 本研究開発はその内容に多くの機微な情報が含まれるため、研究成果の公開などの点において制約条件が少なからずあったと考えられる。外部発表等の成果の評価についてはその点も配慮しなければならないだろう。

- 2 0) （ウラン濃縮技術開発）P 10 経済性の評価について、「原型プラント計画時の為替レートで試算すると原型プラントの実績役務生産コストは、国際価格並と評価できる」としているが、役務コストは、為替レートを除くと、単にスケールファクターだけで単純に推定できず、遠心分離機の信頼性、プラント設計等トータルな技術の結晶の結果である。ここはむしろ、技報 P 30「この評価結果を持って、ウラ

ン濃縮原型プラントに適用している技術が、現時点において経済的に国際競争力を持っていると評価することは出来ないが、原型プラントの実績により、商業プラントにつながる確かな経済的見通しを得るという所期の目的は達成することができたと評価できる」の方が、誤解を招かず、妥当な表現と考える。

- 2 1) 実用化が出来たという表現が良く出てくるが、この「実用化」の意味、定義がはっきりしていない。

(6) その他

- 1) 機微技術に関する課題を評価（原則公開という形で）する場合、説明側で資料を作成する方にも大幅な制約（限度）があり、またそれに基づいて評価する方も本質（技術の内容、問題点、課題、その解決方策）を知る上で不明な点が多い。現在のような形式での課題評価が適切であるか、今後検討を要する。
- 2) 機微情報の扱いに制約されて十分な説明が得られず（できず）、説明する側も説明を受ける側も中途半端な結果となったように感じる。今後は、評価委員による機密保持誓約書などへの署名等を前提として、ある程度は機微情報を開示した方が、有意義な評価ができると思う。
- 3) 運転を終了した原型プラントの今後の有効な活用方法についても検討を行なうべきではないか。
- 4) ウラン濃縮施設における安全対策や事故レベルに対応したシミュレーションなどについても公開していく必要があるのではないか。

(7) 総合評価

- 1) ウラン濃縮技術には従来のガス拡散法、遠心法、レーザ法などいくつかのものがある。電力を多量に消費するガス拡散工場は老朽化し、レーザ法はその先進性から米国等で開発が行われていたが、結果的に行き詰まっている。これらの中で遠心法を適切に選択し、着実に技術開発を行い実用化を達成したことは、日本の原子力開発の中でも高く評価できる。開発が約 35 年間の長期に渡り、その中で技術のみならず日本を取り巻く環境や市場も大きく変化した。この中で実用化を達成したことは特筆に値する。今後はこの成果をもとに安定操業や経済合理性を確保しさらに長期的国際的戦略の下で、この技術を発展させることを期待したい。

- 2) 機微技術であるため独力で開発しなければならない中、遠心分離法を実用化技術にまで開発したことは高く評価できる。
- 3) 遠心分離機によるウラン濃縮技術開発は我が国の核燃料サイクルの自主的確立の要の課題であり、国の長期計画にそってその目的・目標が設定され、約 30 年にわたる各段階のプロジェクトの実施と次の段階への連続性の確保、およびその途中での適切な見直しは適切に行われている。サイクル機構が全期間をとおして主体性を持った研究開発を進め、途中の急激な国際経済状況の変化などの影響のなかでまだ十分な価格競争力を得るまでに至ってはいないが、新素材胴遠心機による高性能化技術を次の新型遠心機による濃縮事業へとつなげる成果を達成したことは、高く評価される。
- 4) 30 年に及ぶ研究開発成果の事後評価を行うことは容易ではないが、本プロジェクトは各ステップ毎に原子力委員会のチェックアンドレビューを受けて進められてきたため、多くの困難を乗り越え当初の目標を達成し、ウラン濃縮事業の商業化に繋げることが出来た。これは我が国の原子力開発上、特記すべき成果であると考えらる。
- 5) 本プロジェクトの意義は核燃料サイクルの自主性の確立にある。それを達成した意義は大きいと評価する。
- 6) 本技術開発は、全体としては我が国の独自技術開発路線を貫き、世界でも数少ないウラン濃縮技術保有国の地歩を固めたものとして高く評価することができる。ただし、一方では必ずしもサイクル機構のみの責任とは言えないものの、実用化段階での故障多発による足踏みに加えて新素材胴遠心機導入の遅れという、技術の空白状態を産み出している現状も、重く認識する必要がある。

今後ここで得られた教訓は、他の技術開発において同様の空白状態を産み出す事態を招かないよう、技術移転までを視野に加えた研究開発体制の充実や、クリティカル技術の代替技術開発計画などに活かして行くべきである。
- 7) ウラン濃縮技術は機微技術のため、海外からの情報を入手することが困難の中で、基礎研究から技術開発を進めていかなければならない状況で、旧動力炉・核燃料開発事業団が中核となって、民間および大学の協力をえながら進めてきた国家プロジェクトである。濃縮技術の開発は原子力発電所に供給する低濃縮ウランを安定的に確保を行う上で極めて重要な位置づけとなっており、わが国のエネルギーセキュリティを安定させ上で重要な役割を担うものである。技術開発の目標は世界市場にお

ける濃縮役務費にたちうちできるものであって、必ずしもそれに十分対応できるものとはなっていない状況にあるが、わが国が濃縮ウランを妥当な価格で購入できる状況を保ち得てきていることから、本研究開発の当初の目標は達成できたものと判断される。

なお、技術の民間移転については、当然の結果として行われているが、多少の行き違いがあったようであるが、今後は核燃料サイクル開発機構と日本原燃(株)が一体となった一体型協力体制方式による技術移転を行うとのこととなっており、わが国の総力による濃縮技術の高度化へ向けての体制が整ったと言える。

- 8) このように開発した技術、技術者を如何に温存し、民間と一体となって実用化していくか、十分な配慮を願いたい。特に、国で開発した技術を民間に移転する場合、両者（各層、各レベルで）が同じ目線、同じ立場で共通認識のもと技術開発していくことが大変重要である。
- 9) 濃縮を国内外に代替技術がない中でどのように技術開発してきたか、色々なステップの過程で考慮したことは何かを検証することは、今後の同種の技術開発のあり方を考える上で貴重な経験であると考え。主な課題は下記の通り。
 - ① 金属胴遠心機による原型プラントができた後、研究について、開発側と事業者側の役割分担は適切であったか。
 - ② 技術移転したものに、問題や課題が発生した場合の技術移転した側の役割はどうあるべきか。
- 10) 今後は民間主体の濃縮技術の高度化および経済性の追求へ向けての研究開発を期待する。それへ向けての今までの成果を今後の民間での研究開発に有効に使用できるようにまとめて欲しい。

【意見1】

(1)研究開発の目的・意義

ウラン濃縮技術は原子炉の燃料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、エネルギーセキュリティ確保のため自主的な核燃料サイクルを確立し、濃縮ウランの安全供給を図るため必要である。この技術は核兵器の製造に直結する恐れがある技術であり、海外からの技術導入が不可能である。ナショナルプロジェクトとして事業化が可能なウラン濃縮技術を自主開発し、その技術成果を事業主体に技術移転するとの本研究開発の目的は的確であり、社会的、経済的ニーズもあった。日本にとって重要性緊急性が高く国の原子力計画方針との整合性もとれており、サイクル機構が実施すべき課題であった。INFCE終了前にパイロットプラントが運転を開始したことにより日本がウラン濃縮技術保有国として地歩を固めることができたのも意義が大きい。

(2)研究開発目標の設定

金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機とステップを追った研究開発目標が設定されており適切である。金属胴遠心機の開発にあたってプラント建設のための技術開発を行っているのも評価できる。新素材胴遠心機については高性能機と先導機の開発が計画されたのも適切である。国内外の関連技術動向の反映の点では技術的には海外の動向を適切に把握し反映したと考える。

日本の原子力は原子力国産化を目標に長年努力し、軽水炉をはじめとしてその目標は達成され素晴らしい成功を収めている。しかしグローバル化と市場経済の時代になり原子力国産化という目標は過去のものとなっている。本技術開発は実用化の点では高い成果を挙げたが、実用化を国産化ではなく、国際的な濃縮市場での競争力のある商用化と考えるならば、開発のスピードとコストにおいて、海外の競争相手に優る開発としての経営戦略がもっとあるべきではなかったかと考える。

(3)研究開発計画

実用性の高い遠心分離機及びプラント技術を開発するとの目標をもって立てられた研究開発計画は妥当であったと評価できる。まず金属胴遠心機の開発において適切な開発項目が設定されている。遠心分離機の基本仕様を早い段階で統一し、枢要技術について自ら試験解析を実施して多くの選択肢の中から技術的裏付けをもとに採用する技術の選択が行われている。この経験の蓄積こそが開発計画を成功に導いた基盤であると高く評価できる。

その後パイロットプラント、原型プラント、新素材遠心機と開発が進められ成功している。なお先導機が国際競争力を念頭に置いて開発されたことは適切である。しかし海外の

競争相手と開発のスピードにおいて劣っていることは、今後の教訓とすべきと考える。

(4) 研究開発(実施)体制

研究開発体制は適切であったと評価できる。初期には日本のメーカの技術開発能力を最大限に活用し、これによる技術成果を自ら実施した試験と解析結果をもとに評価し技術の選択と開発方針が立案されており評価できる。原型プラントの建設にあたっては電気事業者との協力が行われ、六ヶ所ウラン濃縮工場の建設・運転等に必要な技術情報の提供、要員の派遣など、技術移転や技術支援を行う体制がとられたことも評価できる。実用化の見通しが得られた後は技術移転に備えた体制がとられている。

実用化を達成した要因の1つは外部の協力や助言を得つつ、サイクル機構が一貫してこの技術の選択、調整を行う中核組織として機能したことを挙げることができる。

なお1992年に運転開始した日本原燃の商業化プラントは原型プラントで培われた技術が使われている。そのトラブルの経験からみると、サイクル機構に蓄積された運転管理を含むノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。

今後は日本原燃のウラン濃縮技術開発センターにおいて一元化した研究開発が行われることになっている。研究開発から実用化までの期間を短縮することは国際競争を考えるととりわけ重要である。研究開発が商業プラントも運転する日本原燃に一元化されたのはこの点でも評価できる。今後は実用プラントの一部のカスケードを用いて開発機の実用上の性能を試験するような実用と一体化した研究開発の考え方もあってよいのではなかろうか。

(5) 研究開発成果

金属胴遠心機の開発においては軸受の構造、駆動モータの型式、回転胴の構造、ガスの給排気方式などの技術を確立している。パイロットプラントでは10年間の運転により原型プラントや商業プラントの技術的基盤が蓄積されている。原型プラントは13年間にわたりノートラブルで連続運転され、10年間のホット稼働率は99.9%と極めて高い実績を残している。これらの成果は六ヶ所ウラン濃縮工場に反映されている。回収ウラン原料による運転も行われ、運転員の平均被曝線量も十分低く、特段の設備の追加もなく回収ウランを原料とする濃縮を行えることを示している。

① 技術の達成度

原型プラント段階でウラン濃縮の事業化を見通すための必要最低限の技術レベルは達成している。国際競争力はプラントの規模のみならず、開発のスピード、経営戦略、種々の非技術問題の対処法等も影響するので、今後の課題と考える。高速回転技術など、遠心分離濃縮法は日本に適していると考えられ、プロセスや技術の改良が進むことを期待したい。

②技術移転

開発された技術が実用化されており高く評価できるが、日本原燃へのノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。今後は国際競争を視点に一致協力した事業の展開を期待する。開発に貢献しノウハウを持つ人材の適切な処遇も重要であることを指摘したい。国の開発の最終の目的は技術の移転ではなく産業の創出であるので、技術の移転より国際競争力を持つ事業の発展が何より重要であることは言うまでもない。人材の処遇もこれらの中で考えられるべきものである。

③組織開発体制

サイクル機構が自ら試験を行い、全ての意思決定を主体的に行いえたことが実用化を達成した要因になっていると評価できる。自らの頭で考え、手を下して自ら行うことが新しい開発において重要であることを示している。

④成果の普及公開について

ウラン濃縮は機微技術であるため外部発表は制限されるが145,000 件の社内技術資料や国内の143 件、国外13 件の工業所有権が得られており評価できる。

(6)総合評価

ウラン濃縮技術には従来のガス拡散法、遠心法、レーザ法などいくつかのものがある。電力を多量に消費するガス拡散工場は老朽化し、レーザ法はその先進性から米国等で開発が行われていたが、結果的に行き詰まっている。これらの中で遠心法を適切に選択し、着実に技術開発を行い実用化を達成したことは、日本の原子力開発の中でも高く評価できる。開発が約35 年間の長期に渡り、その中で技術のみならず日本を取り巻く環境や市場も大きく変化した。この中で実用化を達成したことは特筆に値する。今後はこの成果をもとに安定操業や経済合理性を確保しさらに長期的国際的戦略の下で、この技術を発展させることを期待したい。

【意見2】

(1)研究開発の目的、意義

- ・我が国の核燃料サイクルを確立する上で重要な課題の一つである。また濃縮技術として実用レベルで適用する場合、経済性、技術蓄積等から考えて遠心分離法を開発技術としたことも適切と考える。また、当時の対外状況を考えると、時宜を得た取り組みと考える。

(2)研究開発目標

- ・研究開発段階は夫々示されているが、各段階の具体的目標、そこで見つかった課題、次の段階での解決方策(どのように克服されていったのか)という、ことが概略的過ぎるため、開発の流れ、何故そのような段階を踏む必要であったのか分からない。

- ・新素材高性能機から高度化機、先導機へという流れ、また何故高度化機と先導機を並行して開発する必要があったかなども解り難い。

(3)研究開発計画

- ・新素材高性能機から高度化機へ 10 年以上、パイロットプラントから原型プラントまで 10 年、何故これだけの期間が必要であったのか。

(4)研究開発(実施)体制

- ・人員、予算については比較するデータ、ブレイクダウンが分からないため評価できない。
- ・このような技術開発には、目標に向かってインテグレートするための技術の調整を行う中核組織が必要となる、とあるが具体的にどのようなことがなされたのか。

(5)研究成果

- ・見つかった問題点を分析、評価しておくことが、専門家の移籍も含め、民間へのスムーズな技術移転には不可欠と考える。特に、人形センターの試験では極めて良好な成績と報告されているが、それが何故民間移転した場合には課題があったのか、分析とその反映が今後の技術開発には極めて重要である。
- ・実用化されておりサイクル機構が行う技術開発はない、さらに民間への技術移転がスムーズになされたような記述になっているが、上記のような分析、問題点の把握、今後の技術者の移転等など、サイクル機構の重要なミッションと考える。

(6)その他

- ・特に無し。

(7)総合評価

- ・機微技術であるため独力で開発しなければならない中、遠心分離法を実用化技術にまで開発したことは高く評価できる。
- ・しかし、評価書では、各段階の技術開発とも何れもうまく行ったような記述である。段階に応じてどんな課題(問題)が見つかりそれがどのように解決されたのかが分からない。
- ・このように開発した技術、技術者を如何に温存し、民間と一体となって実用化していくか、十分な配慮を願いたい。特に、国で開発した技術を民間に移転する場合、両者(各層、各レベルで)が同じ目線、同じ立場で共通認識のもと技術開発していくことが大変重要である。
- ・機微技術に関する課題を評価(原則公開という形で)する場合、説明側で資料を作成する方にも大幅な制約(限度)があり、またそれに基づいて評価する方も本質(技術の内容、問題点、課題、その解決方策)を知る上で不明な点が多い。現在のような形式での課題評価が適切であるか、今後検討を要する。

【意見3】

(1) 研究開発の目的・意義

- ・自主的核燃料サイクルの確立という国の方針のもとに、ウラン濃縮の国産技術を開発するという国の計画との整合性・目的・意義は原型プラント建設の段階までは明確であり、社会的ニーズもあったものと考ええる。

またその後の新素材胴遠心機の技術開発についても国の計画のもとに進められていることは理解できる。

しかし新素材胴技術開発については、それぞれの遠心機機種別の技術開発について実用化のため、どこまで追求するものであって、そのためにいつまでに何を実現していくのかという目標&計画設定の観点からは不十分な印象が残る。

- ・濃縮技術は機微技術の宿命があることから、国内外の関連技術が的確に反映されていないことは仕方がないことである。むしろそのような背景にあって、サイクル機構が自ら苦勞して開発したことに敬意を表する。

ただそれ故に技術の確立が最優先マターとなり、経済的ニーズの達成は二の次でなかったかと思われる。

- ・濃縮に係わる一連の技術開発は、原型プラント建設まではサイクル機構がすべきことで疑問の余地はないが、その後の開発についてはサイクル機構が参画することは当然として、研究開発体制が妥当であったかは何とも判断できない。

(2)～(4) 研究開発目標・計画・開発(実施)体制

- ・目標の設定は原型プラント建設までは適切。非常に長期間を要しているが、濃縮の置かれた宿命からやむをえないと考える。
- ・新素材胴遠心機の開発はまさに状況に応じて計画の見直しがされているが、適切であったかどうかは、上記の目標設定の箇所ですべて通り、何とも判断できない。

すなわち技術を開発し、確立すれば確実に実施主体に移転するか、または逆に濃縮の置かれた宿命を踏まえて技術開発主体と実施主体を一元的な体制にするか、どちらが良いかはわからないが、結果的に今回の日本原燃への一元化はそれはそれで良いとして遅きに失したと感じる。

(5) 研究開発成果

① 成果の内容

- ・遠心機開発→パイロットプラント→原型プラント→六ヶ所導入の順に進めた金属胴遠心機の開発は十分な成果を上げたものと考ええる。

また回収ウランの再濃縮についても、原型プラントでの実施により、U-232の娘核種の存在等の課題を克服し、十分な成果を上げた。本件は核燃料サイクルにとって重要な位置づけのものと考ええる。

- ・新素材胴遠心機開発は、高性能機から現在の日本原燃で開発中の新型遠心機に至るまで、各ステップが踏まれているが、実用化への技術的見通しにしろ、経済的見通しに

しろ、各ステップで出された成果・反省点が次のステップに反映されたかどうか判断できない。

- ・サイクル機構の努力の結晶である原型プラントDOP-2遠心機と同じ六ヶ所工場の遠心機が、所要の寿命以前に停止している事象は誠に残念。一義的には日本原燃の解決すべき課題ではあるが、サイクル機構は技術開発・移転した者として、確実にフォローする義務がある。サイクル機構には運転上・設計上・製造上の何れに問題があったのか、日本原燃と連携して原因の徹底究明に努めてほしいし、その一環として原型プラント遠心機の分解調査をしっかりとお願いしたい。

(7) 総合評価

- ・濃縮を国内外に代替技術がない中でどのように技術開発してきたか、色々なステップの過程で考慮したことは何かを検証することは、今後の同種の技術開発のあり方を考える上で貴重な経験であると考ええる。主な課題は下記の通り。
- ・金属胴遠心機による原型プラントができた後も、サイクル機構自身が更なる技術開発を実施するべきであったか。
- ・技術移転したものに、問題や課題が発生した場合の技術移転した側の役割はどうあるべきか。

【意見4】

(5) 研究開発成果

③ 成果の普及、公開について

- ・運転を終了した原型プラントの今後の有効な活用方法についても検討を行うべきではないか。
- ・ウラン濃縮施設における安全対策や事故レベルに対応したシミュレーションなどについても公開していく必要があるのではないか。

【意見5】

(1) 研究開発の目的・意義

ウラン濃縮技術開発の目的や意義は明確であり、開始当初の重要性や緊急性の高さについても問題無いものと考えます。

一方、社会的・経済的ニーズについては、近年における円高や国際的供給過剰の現状に照らすと、若干、疑問が残る。ただし、このようなコスト低減要求の問題意識から新素材機の研究開発などが継続して行われており、目的や意義の面からはほぼ妥当なプロジェクトであったと言える。

(2) 研究開発目標の設定、及び (3) 研究開発計画

機微情報が多く個別の技術の中身までは知り得ないので具体的には判断できないが、こ

これらの項目に関しては総体としては高く評価できる。特に INFCE をクリアするべく短期間に技術実証に到達する計画を立て実行したことや、新素材利用の技術的不確実性を担保するべく、高度化機と先導機の2本建てで開発を進めた点などは、評価に値する。

ただし、高度化機をあきらめ先導機へと比重を移す見極めのタイミングが、妥当であったかどうかは疑問である。これが、結果的には商業プラントへの次世代機導入の遅れを拡大させることになったものと考えられる。

(4)研究開発(実施)体制

DOP-1,2 自身の故障率が、当初計画値を満足させるものであったことは評価できる。しかし、技術移転先の商業プラントで原因不明の故障が多数発生している現状に鑑みると、技術移転に関する体制が不十分ではなかったかとの疑問を抱かざるを得ない。

また、先導機の開発が電気事業者や原燃抜きで進められたことも、「当面代替機導入の見通しが立たないのに現存機がどんどん故障していく」という、空白状態とも言うべき現状を産み出す原因となったものと考えられる。この点からも、研究実施体制には問題があったと感じる。

(5)研究開発成果

個別の技術課題は機微情報と言うことで、評価できるような情報を有しないので省略する。ただし、印象としては外国からの情報が極めて限られた環境の中で、日本でも独自技術開発でここまでできるということを示したことに對し、高い評価が与えられるべきであると感じる。

一方、高度化機の開発については、失敗であったと認識している。研究開発には失敗が付き物なわけであるから、失敗は失敗として堂々と認めればよいと思う。その中から、どの部分が先導機に利用できる技術で、研究体制や見極めのノウハウなど、次につながる教訓がどの程度得られたのかが重要であると考ええる。

(6)今後の展開

事後評価であるので今後の展開は無いのかもしれないが、失敗から教訓を得る努力はしっかりと行ってもらいたい。

(7)その他

機微情報の扱いに制約されて十分な説明が得られず(できず)、説明する側も説明を受ける側も中途半端な結果となったように感じる。今後は、評価委員による機密保持誓約書などへの署名等を前提として、ある程度は機微情報を開示した方が、有意義な評価ができると思う。

(8)総合評価

本技術開発は、全体としては我が国の独自技術開発路線を貫き、世界でも数少ないウラ

ン濃縮技術保有国の地歩を固めたものとして高く評価することができる。ただし、一方では必ずしもサイクル機構のみの責任とは言えないものの、実用化段階での故障多発による足踏みに加えて新素材遠心機導入の遅れという、技術の空白状態を産み出している現状も、重く認識する必要がある。

今後ここで得られた教訓は、他の技術開発において同様の空白状態を産み出す事態を招かないよう、技術移転までを視野に加えた研究開発体制の充実や、クリティカル技術の代替技術開発計画などに活かして行くべきである。

【意見6】

(1) 研究開発の目的・意義

我が国は乏しいエネルギー資源を、原子力により補完し、特に準国産エネルギーとすべく研究と開発に大きな投資を行ってきている。核燃料サイクルの自主性確立には、ウラン濃縮技術の開発が要とされ、低濃縮ウランを生産する実用技術の保有、国際的に機微技術であり基礎研究から商用化技術（実用プラント）までを全て我が国のみにより確立せねばならぬ技術の開発、世界の情勢から実用的技術の中心となると考えられる遠心分離法の開発とその経済性を目指した新素材胴遠心機の開発、と原子力長計にそって、核燃料サイクル機構がその主たる研究開発の担い手として実施してきた研究・開発の目的・意義は明確である。

(2) 研究開発目標の設定

遠心分離法によるナショナルプロジェクトの開発は、原子力委員会の方針に従って目標が設定され、また状況に応じた適切な見直しがなされており、各段階の開発は金属胴遠心分離機の開発からパイロットプラント、さらに原形プラントへと開発目標は明確である。さらに変化する国際情勢のなかで、遠心分離器の性能をさらに高める必要から新素材高性能機の目標が設定され、これはさらに高性能を目指す高度化機の開発に、またこれと並行する先導機開発がその開発成果の見通しから原燃による新型遠心機の開発につなげられた一連の開発の流れは、いずれも開発目標の設定および適切な見直しのもとで行われている。

(3) 研究開発計画

実用性のある遠心分離器の技術を開発し、それをパイロットプラントおよび原形プラントへの技術として確立させる研究開発の計画は、商業プラントにおける経済性評価データの取得も含めて、適切に進められている。また、国際情勢の急激な変化の中で、国際競争力を高めるための高性能な遠心分離機の開発計画がたてられ、電気事業者との共同研究による新素材胴遠心機の開発、これと並行して進められた先導機の開発の2つの計画に発展したが、開発に見通しが得られた先導機の技術を中心に、原燃による新型遠心機の開発に

移行することになったことは、我が国のナショナルプロジェクトが適切に進められた大きな成果と評価したい。原燃による新型遠心機の開発ではサイクル機構の開発研究の成果が有効に継承され活用されていくことを願いたい。

(4) 研究開発(実施)体制

ウラン濃縮技術の開発が我が国のみの技術でやり遂げねばならなかった背景の中で、基礎研究から商業化プラントによる実証開発研究まで、性格の異なる幅広い技術と、それらを効率良く集約してインテグレーションしていく研究体制が求められたが、それを適切に実施し期待される成果を生み出し商業化への技術の確立に見通しをもたらしたことは、極めて高く評価したい。これまでの開発研究に、約 30 年という長い期間が要されたことは、技術の選択とリスクの問題が常にあり、その解決に時間が必要であったということであるが、我が国の核燃料サイクルの要の技術として組み込むのにもはや時間的余裕はなく、また国際的競争力にも打ち勝つ必要のある現実をみると、これらの開発研究の時間がもっと短縮できなかったのか惜しまれるところである。

本開発研究の成功は、サイクル機構が開発研究における意志決定と責任遂行を自前の設備による試験とその知見から行えた結果であることに同感であるが、将来の自主開発ナショナルプロジェクトの推進と組織のあり方に対して、貴重な大きな実験として本開発研究を分析し、レポートとして報告されることを期待したい。

(5) 研究開発成果

① 成果の内容について

基礎研究・技術開発、パイロットプラント、原型プラント、および新素材胴遠心分離機開発の成果を民間に技術移転し、新型遠心機開発によるウラン濃縮事業確立への積極的な反映を行えたことは、高く評価する。ただ、原形プラントでの役務生産コストが海外の 3－3.5 倍程度で、プラントのスケール効果による低減を考えてもまだ十分ではないが、新素材胴遠心機の開発による実用性実証によって大幅な経済的合理性を得られるとの見通しであると述べているが、新しい技術の信頼性と商業プラントの規模へのスケールアップのギャップは大きい(200t→3000t)と考えられ、このスケールファクターについては停止機器の絶対数を減らす実証経験をさらに積む必要があると思われる。

② 実用化との関係について

①に述べたとおりである。

③ 成果の普及、公開について

原燃への技術移転は、資料の提供と人的交流、共同研究を中心に適切に行われている。また、社内技術資料は多くあるが公開されていないと思われ、他方学会発表や工業所有権の数は少ないのは、機微な開発研究に関わることでやむを得ないものとする。

(6) 総合評価

遠心分離機によるウラン濃縮技術開発は我が国の核燃料サイクルの自主的確立の要の課題であり、国の長期計画にそってその目的・目標が設定され、約30年にわたる各段階のプロジェクトの実施と次の段階への連続性の確保、およびその途中で適切な見直しは適切に行われている。サイクル機構が全期間をととして主体性を持った研究開発を進め、途中の急激な国際経済状況の変化などの影響のなかでまだ十分あ価格競争力を得るまでに至ってはいないが、新素材胴遠心機による高性能化技術を次の新型遠心機による濃縮事業へとつなげる成果を達成したことは、高く評価される。

【意見7】

(1) 研究開発の目的・意義

国産エネルギー資源の乏しい我が国は、原子力利用の中核技術として、原子力発電を準国産エネルギーとして長期的な計画の下に開発することを基本方針としてきた。また、このために核燃料サイクルを完結させることを目標に掲げてきた。

そのためウラン濃縮技術を開発し、濃縮ウラン燃料を国産することは、原子力開発の早い段階から重要な要素と位置付け、ナショナルプロジェクトとしてこれを推進することが原子力委員会の下に決定され、サイクル機構がこれを担当することとなった。

従って、サイクル機構が進めてきた濃縮ウラン技術開発の目的・意義は明確なものであり、国の方針として位置付けられたものであった。

(2) 研究開発目標の設定

研究開発の目標と開発ステップは、原子力委員会が方針を決定し、その遂行のための具体的技術開発目標をサイクル機構が中心となり、民間との協力の下に設定したものでありいずれも妥当と考えられる。

ウラン濃縮技術は国際的に機微な情報であり、海外からの技術導入は期待できないので、開発段階を金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機開発というステップを踏んだ原子力委員会の方針のもとに、長期にわたる開発目標を立てこれを実施した。

(3) 研究開発計画

本研究開発はナショナルプロジェクトに位置付けられてから、30年近い長期にわたるプロジェクトであったが、各ステップにおいて解決すべき課題を明確にし、開発計画を策定して着実に目標を達成したといえる。

本研究に着手した時点では基礎的な研究段階で、手探り状態からスタートしたが、それを原型プラントにおける長期連続運転達成と商用プラントとして使える技術の移転まで完

了したことは、その開発計画の妥当性を裏付けている。

(4) 研究開発(実施)体制

原子力委員会が開発方針を示し、これを受けてサイクル機構が中心となって、国内の電気事業者、原燃、メーカーの協力、共同の下に本プロジェクトを推進したこと、原燃への技術移転が有効に行える体制であったことが成功への重要な鍵であったと考える。

(5) 研究開発成果

金属胴遠心機の開発では要素技術の開発、パイロットプラントによる 10 年間の運転蓄積を通じて獲得したプラントの信頼性、遠心分離機の量産技術、運転制御技術、その他種々のノウハウの獲得、原型プラントによる 13 年間の連続運転による商業化に不可欠な各種の成果と技術移転などいずれも高く評価できる成果を挙げた。

新素材胴遠心機の開発では幾つもの困難に遭遇したが、これらを解決し濃縮性能の向上、経済性の改良など次期商業プラントの基本となる新技術を開発した。今後更に信頼性、経済性向上のために解決すべき課題は残されていると考えられるが、これらは原燃が主体となってサイクル機構がサポートする体制が出来上がったことにより、サイクル機構としての役割は充分に果たしたと評価できる。

なお、本研究開発はその内容に多くの機微な情報が含まれるため、研究成果の公開などの点において制約条件が少なからずあったと考えられる。外部発表等の成果の評価についてはその点も配慮しなければならないだろう。

(6) その他

特になし

(7) 総合評価

30 年に及ぶ研究開発成果の事後評価を行うことは容易ではないが、本プロジェクトは各ステップ毎に原子力委員会のチェックアンドレビューを受けて進められてきたため、多くの困難を乗り越え当初の目標を達成し、ウラン濃縮事業の商業化に繋げることが出来た。これは我が国の原子力開発上、特記すべき成果であると考ええる。

【意見 8】

(1) 研究開発の目的・意義

本テーマは、遠心法ウラン濃縮技術の実用化を目指してきたものであり、ナショナルプロジェクトに指定されてきた。その意義は核燃料サイクルの自主性の確保にある。ここしばらくは世界的にも遠心法濃縮技術が中心となると考えられることから、その実用化を一貫して目的として掲げてきたことは正しい判断であったと評価できる。濃縮技術は核兵器製造への転用の恐れがあることから機微技術とされており、その開発は国のプロジェクト

として推進してきたことも当然と考えられる。

(2)研究開発目標の設定

金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機開発のそれぞれにおいて適切に目標が立てられていたと評価する。原型プラントまでの一連の開発は既に民間の日本原燃（株）に技術移転され、商業プラントの運転が始まっている。その意味で、民間での開発が難しい時期は国が担当し、商用化の目途が立ったところで民間に技術移転する好ましい形を実現できたといえる。また新素材胴遠心機開発は、民間の計画をサイクル機構が支援する新型遠心機開発に引き継がれており、国と民間との協力がうまくいっているケースである。

(3)研究開発計画

本プロジェクトは、ナショナルプロジェクトに指定されてからも 30 年という非常に長期間にわたるものであった。全体としてみれば計画内容は適切であったと評価する。適宜計画の見直しが行われていること、実用化の道筋として民間への技術移転を考え着実に実行したことなども評価できる。

(4)研究開発(実施)体制

研究開発体制は、開発内容ごとに見直しが行われ、最適な体制が選ばれてきた。機微技術を扱うため厳しい情報管理を必要とする条件下で、よくやったといえるであろう。1985 年以降、民間と協力協定を結び、技術移転をスムーズに実施したことも評価できる。

(5)研究開発成果

成果を開発された技術の国際競争力で計るなら十分な成果であったとはいえない。しかし核燃料サイクルの自主性の確立という当初からの開発の意義に照らして考えるなら、十分な成果をあげたと言い切れる。原子力をめぐる環境は開発当初と大きく変化しているが、自前の濃縮技術保有の意義はいまも全く変わっていない。ナショナルプロジェクトとしては成功であったといえるであろう。

技術移転も順調に進んでいる。開発された技術がどれだけ使われるかは経済合理性で決めればよいことであるので、今後民間が事業を担当することは正しい判断である。

成果の公表等は機微技術であることを考慮するなら、それなりになされていると評価する。

(6)その他

特になし。

(7)総合評価

本プロジェクトの意義は核燃料サイクルの自主性の確立にある。それを達成した意義は大きいと評価する。

【意見 9】

30 年以上続いたプログラムは、遠心分離によるウラン濃縮領域で、サイクル機構を国際的レベルに導いた。開発に引き続きとられた、「原燃」に知識を移転するためのステップが正しく、成功裏に濃縮工場を建設することを約束するものであると思う。

しかしながら、この研究がサイクル機構でまもなく中止されるので、研究開発に関する多くの知識が失われることは残念である。サイクル機構の数人の研究者が、「原燃」での小規模な開発の組み立てや管理にも加わり（又は原燃に協力して）、密接な関係を保っていくべきと考える。そうすることで、何年もかけて研究者が得た知識を失わずに済むであろう。

【意見 10】

(1)研究開発の目的・意義

本技術開発は、目的・意義は明確であり、国の方針・計画とも整合性が取れて、サイクル機構が実施すべき課題であり、重要性の高いものである。

(2)研究開発目標

本技術開発の目標設定は、主として原子力委員会および原子力委員会ウラン濃縮懇談会等の外部からの要請で成された経由がある。その中でサイクル機構が主体性を持って成果を出した良い課題である。

(3)研究開発計画

内容、計画の見直し、施設等は適切であった。

(4)研究開発体制

実施体制、他機関との協力・連携は妥当であった。しかしながら最終的に技術移転する先導機の開発には、電事連と原燃との協力は無かった。サイクル機構独自で行った由に開発がスムーズに行えたのであろうが、今後、原燃に技術移転した後も、原燃のセンターへの基礎・基盤技術に関するサイクル機構のノウ・ハウを十分移転できる体制が当分の間サイクル機構側にも必要と考える。

(5)研究開発成果について

- ①達成された成果の水準は高く意義深いと考える。但し、目標・計画に対応する成果としてとらえた時、それらの間の対応性をわかりやすく示す工夫が必要であろう。
- ②実用化への技術的見通しは得ているものの、成果が技術的に完成しているとは考えにくい。従ってサイクル機構の成果が原燃において効率的に活かされるようにすべく、原燃での開発計画へ本成果が十分反映されるシステム・体制を確立（明確に）すべきであろう。

【意見 11】

(1)研究開発の目的・意義

ウラン濃縮技術は原爆開発に通じる技術であることから、国際的に機微技術として扱われており、海外からの情報や技術導入は一切考えられないことから、自主技術によって開発する以外になかった。また、ウラン濃縮技術の実用化には多大な研究開発資金と技術の集約化が必要であったことから、国のプロジェクトとして推進されることとして、1961年以降原子力開発利用長期計画に位置づけられ、旧動力炉・核燃料開発事業団がウラン濃縮技術の開発の中心的役割を担ってきた。

ウラン濃縮技術は原子炉（軽水炉）の原料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、この技術を保有しているか否かは、核燃料サイクルの完結や濃縮ウランのバーゲニングパワーから極めて重要なことからであった。また、原子力発電の経済性を左右する重要な要素である。したがって、実用的ウラン濃縮技術を保有することは、核燃料サイクルの自主的確立をめざしたわが国においては極めて重要なことからであり、ウラン濃縮技術開発の目的・意義は明確であったと判断される。

(2)研究開発目標の設定

当初の遠心分離機の基本構造の確立、周辺機器システム技術の確立および小規模カスケード試験装置によるプラントとしての特性把握は実用化に向けての次のステップであるパイロットプラントを実現するための技術的見極めをしていくための開発目標の設定として妥当なものと判断される。また、その後のパイロットプラントでの数千台規模のカスケードにより濃縮ウランが生産できることの技術実証によって濃縮事業に用いるプラントができるか否かの技術的見極め、原型プラントでのエンジニアリングや運転・運営ノウハウの確立の目標設定は妥当なものと判断される。

(3)研究開発計画

ウラン濃縮技術開発の特徴は、機微技術であり、情報の入手が困難の中で、しかも、核不拡散政策上の厳しい情報管理の制約を受けた中で、基礎研究から始まり、商業プラントとして確立しなければならないことにある。したがって、目標達成に長時間を要することとなる。実際に約 30 年に及ぶ期間が費やされた。このことは技術開発の過程で計画の変更等柔軟な取り組みが必要となったものと思われる。基本的には適宜計画が再検討され開発計画は妥当なものと判断されるが、URENCO より目標達成時期に遅れが生じていることからその原因を究明し、今後の民間における研究開発に生かして欲しい。

(4)研究開発（実施）体制

機微技術のため限られた範囲での官民協力の研究開発体制であったが、研究開発体制としては妥当なものと判断される。

(5)研究開発成果

民間のプラントとして実用化されており、研究開発の目標として十分達成されたといえるが、URENCO より目標達成が遅れていることを含めて、技術移転において多少の歪みが生じたことに対して研究成果を整理し民間移行を果たして欲しい。

(6)その他

特になし。

(7)総合評価

ウラン濃縮技術は機微技術のため、海外からの情報を入手することが困難の中で、基礎研究から技術開発を進めていかなければならない状況で、旧動力炉・核燃料開発事業団が中核となって、民間および大学の協力をえながら進めてきた国家プロジェクトである。濃縮技術の開発は原子力発電所に供給する低濃縮ウランを安定的に確保を行う上で極めて重要な位置づけとなっており、わが国のエネルギーセキュリティを安定させ上で重要な役割を担うものである。技術開発の目標は世界市場における濃縮役務費にたちうちできるものであって、必ずしもそれに十分対応できるものとはなっていない状況にあるが、わが国が濃縮ウランを妥当な価格で購入できる状況を保ち得てきていることから、本研究開発の当初の目標は達成できたものと判断される。

なお、技術の民間移転については、当然の結果として行われているが、多少の行き違いがあったようであるが、今後は核燃料サイクル開発機構と日本原燃（株）が一体となった一体型協力体制方式による技術移転を行うとのこととなっており、わが国の総力による濃縮技術の高度化へ向けての体制が整ったと言える。今後は民間主体の濃縮技術の高度化および経済性の追求へ向けての研究開発を期待する。それへ向けての今までの成果を今後の民間での研究開発に有効に使用できるようにまとめて欲しい。

【意見 12】

- 1)濃縮がサイクルの自主的確立を目指す我が国にあっては不可欠な技術開発であったという基本認識は妥当である。
- 2)サイクル機構が全く独力で遠心分離機をここまで開発してきたことは賞賛に値するが、言わずもがなであるが、それに対して自画自賛に陥らないようにすることも肝要である。
- 3)実用化が出来たという表現が良く出てくるが、この「実用化」の意味、定義がはっきりしていない。
- 4)「このようなプロジェクトを推進するための組織のあり方を示した点もウラン濃縮技術開発の成果としてあげることが、出来ると考える」と言い切っているが、例えば、機微技術という特殊な要因を持つ技術開発において、核燃料サイクル技術検討小委員会の

指摘事項にも「この点が、結果的に大きな障害となっているとの感を否めない」とあるように関係者間の意志疎通、成果の活用等の面で、問題点となったこと、及び今後の反省点になるようなことはないのか。

又、当事者としての苦労した点も含めて、率直に述べたらどうか。

- 5)DOP-2での金属銅遠心機の高実績が、なぜ六ヶ所での高停止率になったのか。原因は究明中の段階であるが、技術開発と事業化の相違点の認識、及び、核燃料サイクル技術検討小委員会の指摘事項「開発者による開発過程における実績も、その情報が十分に関係者の間で共有されているとは言い難い面がある」と触れられているように、技術移転のやり方に改善すべき点等は無かったのか。
- 6)P4「開発目標の変化に対応して、組織の機能を変化させてきたこと」とは、具体的には何なのか。
- 7)P4「外部の評価委員会や大学等の助言や協力をえつつ」とは、具体的にどのような内容なのか。
- 8)高度化機の開発を 1993 年からサイクル機構は、電力、日本原燃との共同研究により、支援することになったと書いてあるが、一方、高度化機の先を行く先導機の開発をサイクル機構単独で、その前年の 1992 年より開始している。

5.3 組織、開発体制の項で「ウラン濃縮技術開発ではインテグレートして行く過程の全ての意志決定を、サイクル機構が自ら責任を持って行ってきた。このように…全ての意志決定を主体的に行い得たことが、実用化を達成した要因となっていると考える」

と書かれているが、開始時期の妥当性、高度化機と先導機の開発に際しての両者に共通の設計フィロソフィーは何だったのか。

要員、資源が二分されて、非効率な開発になった可能性はなかったのか。

9)P.10(7)経済性の評価

「原型プラント計画時の為替レートで試算すると原型プラントの実績役務生産コストは、国際価格並と評価できる」としているが、役務コストは、為替レートを除くと、単にスケールファクターだけで単純に推定できず、遠心分離機の信頼性、プラント設計等トータルな技術の結晶の結果である。

ここはむしろ、技報 P.30「この評価結果を持って、ウラン濃縮原型プラントに適用している技術が、現時点において経済的に国際競争力を持っていると評価することは出来ないが、原型プラントの実績により、商業プラントにつながる確かな経済的見通しを得るという所期の目的は達成することができたと評価できる」の方が、誤解を招かず、妥当な表現と考える。

- 10)ウラン濃縮は、サイクル機構が基礎から開発し、その成果を民間に移転して事業化に持

っていく最初の大規模なケースであり、今後も MOX、或いは FBR 等の事業化、商業化の先例ともなるものである。

その観点から、濃縮の経験は貴重なものであるので、実状をつまびらかにすると共に、今後の成果の移転を真に有効にするために、良い点は伸ばし、悪い点は改善するようにしていくことが、本事後評価の大きな意義であると考えている。

参 考 資 料

核燃料サイクル開発機構

参 考 資 料 目 次

参考資料 1	研究開発課題の中間評価について（諮問）	(1)
参考資料 2	評価結果に対する措置	(3)
参考資料 3	課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解 及び質問に対する回答	(6)
参考資料 4	ウラン濃縮技術開発（課題説明資料	(29)
	[研究開発課題説明資料(本文)]	(30)
	[研究開発課題-補足説明資料]	(64)
	[用語の説明]	(74)
参考資料 5	ウラン濃縮技術開発（OHP 資料）	(85)
参考資料 6	ウラン濃縮技術開発 自己評価書	(132)

参 考 資 料 1

研究開発課題の事後評価について（諮問）

平成13年5月7日

研究開発課題評価委員会

(高速炉・燃料サイクル課題評価委員会)

委員長 岡 芳明 殿

核燃料サイクル開発機構

理事長 都甲 泰正

研究開発課題の事後評価について（諮問）

研究開発外部評価規程第7条第1項に基づき、次の事項について諮問致します。

なお、検討結果については、平成13年8月中旬までに答申を示されたく申し添えます。

・諮問事項

「ウラン濃縮技術開発」に関する事後評価

以上

参 考 資 料 2

評価結果に対する措置

研究開発課題評価委員会
「ウラン濃縮技術開発」の評価結果(事後評価)に対する措置

平成13年9月20日
核燃料サイクル開発機構

平成13年度の研究開発課題評価委員会（高速炉・燃料サイクル課題評価委員会）に諮りました「ウラン濃縮技術開発」について、「外国からの技術導入ができない中でサイクル機構がプロジェクトの中核となって自主開発して実用化を達成し、ナショナルプロジェクトとしては成功であった」との評価を頂きました。

本件は事後評価であり、これで技術開発を終了することになりますが、ご指摘があった事項については以下の措置を講じることとします。

1. 「六ヶ所ウラン濃縮工場の停止遠心分離機について、原型プラント機の分解点検も含め日本原燃株が実施中の原因究明調査に協力すること」とのご指摘に対し、

停止遠心分離機の原因究明調査については、サイクル機構としても以下の事項について積極的に対応していきます。

- (1) 日本原燃株に協力して、六ヶ所ウラン濃縮工場遠心分離機部品の分析作業を実施しており、今後も継続して協力します。
- (2) 日本原燃株が設置した、RE-1A分解調査特別委員会にサイクル機構の専門家が参画し、原因究明調査に協力します。
- (3) 原型プラントの遠心分離機を分解調査し、その結果をRE-1A分解調査特別委員会に提供していきます。

2. 「従来までの技術成果を体系化し取りまとめること」とのご指摘に対し、

- (1) 金属胴遠心機及び新素材胴遠心機の開発成果並びにパイロットプラントの運転成果については、既に技術成果を取りまとめました。なお、現在進めている原型プラント遠心分離機の分解調査は早急に報告書を完成する予定です。
- (2) 今年3月に運転を終了した原型プラントの運転成果については、技術成果を9月末までに体系化するとともに、有効に活用できるようにデジタル化していきます。

3. 「日本原燃㈱ 技術開発センターでの新型遠心機の開発を支援すること」とのご指摘に対し、

- (1) 日本原燃㈱とサイクル機構は、2000年11月1日に「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」を締結し、新型遠心機の開発業務を今後とも技術支援できるようにしました。
- (2) ウラン濃縮技術開発センターの設置に合わせ、先導機の技術成果を移転するとともに、高度化機及び先導機開発に携わった技術者のほとんどを同センターに出向させ日本原燃に開発体制を一元化し、日本原燃が実施している新型遠心機の技術開発に協力しており、今後もこの協力を継続していきます。

4. 「機微情報に関する課題を評価する場合の情報開示方法について検討すること」とのご指摘に対し、

今回の評価対象であるウラン濃縮技術は、国際的にも機微技術として厳しく管理されていることから、技術的内容の詳細については十分に開示できないところがありました。しかし、技術開発で必要であった事項については機微技術に触れずに、原理的説明とする等の工夫によりご理解を頂けたものと考えております。この経験を社内で共有化し、今後の機微技術情報を含む課題について評価を受ける場合に適切な対応をしてまいりたいと考えております。

以 上

参 考 資 料 3

課題評価委員会委員の評価意見に対する
サイクル機構の見解及び質問に対する回答
(補足説明資料)

(1) 研究開発の目的・意義

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) ウラン濃縮技術は原子炉の燃料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、エネルギーセキュリティ確保のため自主的な核燃料サイクルを確立し、濃縮ウランの安全供給を図るため必要である。この技術は核兵器の製造に直結する恐れがある技術であり、海外からの技術導入が不可能である。ナショナルプロジェクトとして事業化が可能なウラン濃縮技術を自主開発し、その技術成果を事業主体に技術移転するとの本研究開発の目的は的確であり、社会的、経済的ニーズもあった。日本にとって重要性緊急性が高く国の原子力計画方針との整合性もとれており、サイクル機構が実施すべき課題であった。INFCE終了前にパイロットプラントが運転を開始したことにより日本がウラン濃縮技術保有国として地歩を固めることができたのも意義が大きい。	1) 拝承
2) 我が国の核燃料サイクルを確立する上で重要な課題の一つである。また濃縮技術として実用レベルで適用する場合、経済性、技術蓄積等から考えて遠心分離法を開発技術としたことも適切と考える。また、当時の対外状況を考えると、時宜を得た取り組みと考える。	2) 拝承
3) ウラン濃縮技術開発の目的や意義は明確であり、開始当初の重要性や緊急性の高さについても問題無いものとする。 一方、社会的・経済的ニーズについては、近年における円高や国際的供給過剰の現状に照らすと、若干、疑問が残る。ただし、このようなコスト低減要求の問題意識から新素材機の研究開発などが継続して行われており、目的や意義の面からはほぼ妥当なプロジェクトであったと言える。	3) 拝承
4) 我が国は乏しいエネルギー資源を、原子力により補完し、特に準国産エネルギーとすべく研究と開発に大きな投資を行ってきている。核燃料サイクルの自主性確立には、ウラン濃縮技術の開発が要とされ、低濃縮ウランを生産する実用技術の保有、国際的に機微技術であり基礎研究から商用化技術（実用プラント）までを全て我が国のみにより確立せねばならぬ技術の開発、世界の情勢から実用的技術の中心となると考えられる遠心分離法の開発とその経済性を旨とした新素材遠心機の開発、と原子力長計にそって、核燃料サイクル機構がその主たる研究開発の担い手として実施してきた研究・開発の目的・意義は明確である。	4) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(2/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
5) 国産エネルギー資源の乏しい我が国は、原子力利用の中核技術として、原子力発電を準国産エネルギーとして長期的な計画の下に開発することを基本方針としてきた。また、このために核燃料サイクルを完結させることを目標に掲げてきた。 そのためウラン濃縮技術を開発し、濃縮ウラン燃料を国産することは、原子力開発の早い段階から重要な要素と位置付け、ナショナルプロジェクトとしてこれを推進することが原子力委員会の下に決定され、サイクル機構がこれを担当することとなった。 従って、サイクル機構が進めてきた濃縮ウラン技術開発の目的・意義は明確なものであり、国の方針として位置付けられたものであった。	5) 拝承
6) 本テーマは、遠心法ウラン濃縮技術の実用化を目指してきたものであり、ナショナルプロジェクトに指定されてきた。その意義は核燃料サイクルの自主性の確保にある。ここしばらくは世界的にも遠心法濃縮技術が中心となると考えられることから、その実用化を一貫して目的として掲げてきたことは正しい判断であったと評価できる。濃縮技術は核兵器製造への転用の恐れがあることから機微技術とされており、その開発は国のプロジェクトとして推進してきたことも当然と考えられる。	6) 拝承
7) 本技術開発は、目的・意義は明確であり、国の方針・計画とも整合性が取れて、サイクル機構が実施すべき課題であり、重要性の高いものである。	7) 拝承
8) ウラン濃縮技術は原爆開発に通じる技術であることから、国際的に機微技術として扱われており、海外からの情報や技術導入は一切考えられないことから、自主技術によって開発する以外になかった。また、ウラン濃縮技術の実用化には多大な研究開発資金と技術の集約化が必要であったことから、国のプロジェクトとして推進されることとして、1961年以降原子力開発利用長期計画に位置づけられ、旧動力炉・核燃料開発事業団がウラン濃縮技術の開発の中心的役割を担ってきた。 ウラン濃縮技術は原子炉（軽水炉）の原料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、この技術を保有しているか否かは、核燃料サイクルの完結や濃縮ウランのバーゲニングパワーから極めて重要なことからであった。また、原子力発電の経済性を左右する重要な要素である。したがって、実用的ウラン濃縮技術を保有することは、核燃料サイクルの自主的確立をめざしたわが国においては極めて重要なことからであり、ウラン濃縮技術開発の目的・意義は明確であったと判断される。	8) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(3/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
9) 自主的核燃料サイクルの確立という国の方針のもとに、ウラン濃縮の国技術を開発するという国の計画との整合性・目的・意義は原型プラント建設の段階までは明確であり、社会的ニーズもあったものと考ええる。またその後の新素材銅遠心機の技術開発についても国の計画のもとに進められていることは理解できる。しかし新素材銅技術開発については、それぞれの遠心機機種の技術開発について実用化のため、どこまで追求するものであって、そのためにいつまでに何を実現していくのかという目標&計画設定の観点からは不十分な印象が残る。	9) 新素材高性能機は1986年までの新素材銅に係わる開発成果をもとに開発計画が策定され、1990年までに単機開発を行い、1991年に実用規模カスケード試験を開始する計画としました。高度化機は、高性能化による経済性向上を目的に、2003年の六ヶ所ウラン濃縮工場プラント導入を目標とし、システム試験を1999年に終了する開発計画を策定しました。 一方、先導機は、前記2機種と異なり具体的な実用化のターゲットを当初から設定せずに、将来のさらに高性能化した遠心分離機に必要な基礎的・基盤的、先進的な技術開発を目標としました。併せて、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第2項「新素材銅遠心機の開発経緯と各機種の技術成果」を参照ください。
1 0) 濃縮技術は機微技術の宿命があることから、国内外の関連技術が的確に反映されていないことは仕方がないことである。むしろそのような背景にあって、サイクル機構が自ら苦勞して開発したことに敬意を表する。ただそれ故に技術の確立が最優先マターとなり、経済的ニーズの達成は二の次でなかったかと思われる。	1 0) 遠心機は機械・材料・物理化学的にも限界的な条件下で運転されるものであるため、その開発は製造技術と不可分の関係にあります。従って、プラントへの導入のためには量産性と信頼性の双方を視野に入れた製造技術の開発(量産化技術=製造技術に設計性能を織り込んでいく開発)が必要となります。遠心機開発は量産性と信頼性を満たす製造技術の開発を基盤として高性能化を進めることで経済性の向上を図ってきました。
1 1) 濃縮に係わる一連の技術開発は、原型プラント建設まではサイクル機構がすべきことで疑問の余地はないが、その後の開発についてはサイクル機構が参画することは当然として、研究開発体制が妥当であったかは何とも判断できない。	1 1) 原子力委員会等の方針に基づき、金属銅遠心機までは重電メーカー3社の協力を得ながら開発を進め、新素材遠心機以降は、技術移転を念頭に電気事業者、日本原燃(株)との共同研究という開発体制で進めて参りました。
1 2) 濃縮がサイクルの自主的確立を目指す我が国にあっては不可欠な技術開発であったという基本認識は妥当である。	1 2) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(4/22)

(2) 研究開発目標の設定

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) 遠心分離法によるナショナルプロジェクトの開発は、原子力委員会の方針に従って目標が設定され、また状況に応じた適切な見直しがなされており、各段階の開発は金属胴遠心分離機の開発からパイロットプラント、さらに原形プラントへと開発目標は明確である。さらに変化する国際情勢のなかで、遠心分離器の性能をさらに高める必要から新素材高性能機の目標が設定され、これはさらに高性能を目指す高度化機の開発に、またこれと並行する先導機開発がその開発成果の見通しから日本原燃株による新型遠心機の開発につながられた一連の開発の流れは、いずれも開発目標の設定および適切な見直しのもとで行われている。	1) 拝承
2) 研究開発の目標と開発ステップは、原子力委員会が方針を決定し、その遂行のための具体的技術開発目標をサイクル機構が中心となり、民間との協力の下に設定したものでありいずれも妥当と考えられる。 ウラン濃縮技術は国際的に機微な情報であり、海外からの技術導入は期待できないので、開発段階を金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機開発というステップを踏んだ原子力委員会の方針のもとに、長期にわたる開発目標を立てこれを実施した。	2) 拝承
3) 金属胴遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材胴遠心機開発のそれぞれにおいて適切に目標が立てられていたと評価する。原型プラントまでの一連の開発は既に民間の日本原燃株に技術移転され、商業プラントの運転が始まっている。その意味で、民間での開発が難しい時期は国が担当し、商用化の目途が立ったところで民間に技術移転する好ましい形を実現できたといえる。また新素材胴遠心機開発は、民間の計画をサイクル機構が支援する新型遠心機開発に引き継がれており、国と民間との協力がうまくいっているケースである。	3) 拝承
4) 本技術開発の目標設定は、主として原子力委員会および原子力委員会ウラン濃縮懇談会等の外部からの要請で成された経由がある。その中でサイクル機構が主体性を持って成果を出した良い課題である。	4) 拝承
5) 当初の遠心分離機の基本構造の確立、周辺機器システム技術の確立および小規模カスケード試験装置によるプラントとしての特性把握は実用化に向けての次のステップであるパイロットプラントを実現するための技術的見極めをしていくための開発目標の設定として妥当なものと判断される。また、その後のパイロットプラントでの数千台規模のカスケードにより濃縮ウランが生産できることの技術実証によって濃縮事業に用いるプラントができるか否かの技術的見極め、原型プラントでのエンジニアリングや運転・運営ノウハウの確立の目標設定は妥当なものと判断される。	5) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(5/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
6) 金属酳遠心機開発、パイロットプラント、原型プラント、新素材酳遠心機とステップを追った研究開発目標が設定されており適切である。金属酳遠心機の開発にあたってプラント建設のための技術開発を行っているのも評価できる。新素材酳遠心機については高性能機と先導機の開発が計画されたのも適切である。国内外の関連技術動向の反映の点では技術的には海外の動向を適切に把握し反映したと考える。 日本の原子力は原子力国産化を目標に長年努力し、軽水炉をはじめとしてその目標は達成され素晴らしい成功を収めている。しかしグローバリゼーションと市場経済の時代になり原子力国産化という目標は過去のものとなっている。本技術開発は実用化の点では高い成果を挙げたが、実用化を国産化ではなく、国際的な濃縮市場での競争力のある商用化と考えるならば、開発のスピードとコストにおいて、海外の競争相手に優る開発としての経営戦略がもっとあるべきではなかったかと考える。	6) 2000年11月に日本原燃㈱、原燃マシナリー及びサイクル機構の技術者を結集したウラン濃縮技術開発センターが設立されました。これにより開発者と事業者が一体となった体制が構築されました。
7) 研究開発段階は夫々示されているが、各段階の具体的目標、そこで見つかった課題、次の段階での解決方策(どのように克服されていったのか)という、ことが概略的過ぎるため、開発の流れ、何故そのような段階を踏む必要であったのか分からない。 新素材高性能機から高度化機、先導機へという流れ、また何故高度化機と先導機を並行して開発する必要があったかなども解り難い。	7) ご質問については、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第2項「新素材酳遠心機の開発経緯と各機種の技術成果」を参照ください。
8) 機微情報が多く個別の技術の中身までは知り得ないので具体的には判断できないが、これらの項目に関しては総体としては高く評価できる。特にINFCEをクリアするべく短期間に技術実証に到達する計画を立て実行したことや、新素材利用の技術的不確実性を担保するべく、高度化機と先導機の2本建てで開発を進めた点などは、評価に値する。 ただし、高度化機をあきらめ先導機へと比重を移す見極めのタイミングが、妥当であったかどうかは疑問である。これが、結果的には商業プラントへの次世代機導入の遅れを拡大させることになったものと考えられる。	8) 参考資料6 ウラン濃縮技術開発(補足説明資料) 2. 新素材酳遠心機の開発経緯と各機種の技術成果 を参照ください。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(6/22)

(3) 研究開発計画

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) 実用性の高い遠心分離機及びプラント技術を開発するとの目標をもって立てられた研究開発計画は妥当であったと評価できる。まず金属胴遠心機の開発において適切な開発項目が設定されている。遠心分離機の基本仕様を早い段階で統一し、概要技術について自ら試験解析を実施して多くの選択肢の中から技術的裏付けをもとに採用する技術の選択が行われている。この経験の蓄積こそが開発計画を成功に導いた基盤であると高く評価できる。 その後パイロットプラント、原型プラント、新素材遠心機と開発が進められ成功している。なお先導機が国際競争力を念頭に置いて開発されたことは適切である。しかし海外の競争相手と開発のスピードにおいて劣っていることは、今後の教訓とすべきと考える。	1) 拝承
2) 実用性のある遠心分離機の技術を開発し、それをパイロットプラントおよび原形プラントへの技術として確立させる研究開発の計画は、商業プラントにおける経済性評価データの取得も含めて、適切に進められている。また、国際情勢の急激な変化の中で、国際競争力を高めるための高性能な遠心分離機の開発計画がたてられ、電気事業者との共同研究による新素材胴遠心機の開発、これと並行して進められた先導機の開発の2つの計画に発展したが、開発に見通しが得られた先導機の技術を中心に、日本原燃株による新型遠心機の開発に移行することになったことは、我が国のナショナルプロジェクトが適切に進められた大きな成果と評価したい。日本原燃株による新型遠心機の開発ではサイクル機構の開発研究の成果が有効に継承され活用されていくことを願いたい。	2) 拝承
3) 本研究開発はナショナルプロジェクトに位置付けられてから、30年近い長期にわたるプロジェクトであったが、各ステップにおいて解決すべき課題を明確にし、開発計画を策定して着実に目標を達成したと言える。 本研究に着手した時点では基礎的な研究段階で、手探り状態からスタートしたが、それを原型プラントにおける長期連続運転達成と商用プラントとして使える技術の移転まで完了したことは、その開発計画の妥当性を裏付けている。	3) 拝承
4) 本プロジェクトは、ナショナルプロジェクトに指定されてからも30年という非常に長期間にわたるものであった。全体としてみれば計画内容は適切であったと評価する。適宜計画の見直しが行われていること、実用化の道筋として民間への技術移転を考え着実に実行したことなども評価できる。	4) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(7/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
5) 内容、計画の見直し、施設等は適切であった。	5) 拝承
6) ウラン濃縮技術開発の特徴は、機微技術であり、情報の入手が困難の中で、しかも、核不拡散政策上の厳しい情報管理の制約を受けた中で、基礎研究から始まり、商業プラントとして確立しなければならないことにある。したがって、目標達成に長時間を要することとなる。実際に約30年に及ぶ期間が費やされた。このことは技術開発の過程で計画の変更等柔軟な取り組みが必要となったものと思われる。基本的には適宜計画が再検討され開発計画は妥当なものと判断されるが、URENCOより目標達成時期に遅れが生じていることからその原因を究明し、今後の民間における研究開発に生かして欲しい。	6) 拝承 併せて、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第1項「遠心分離機の開発期間及び開発期間の短縮化」を参照ください。
7) 新素材高性能機から高度化機へ10年以上、パイロットプラントから原型プラントまで10年、何故これだけの期間が必要であったのか。	7) 新素材高性能機の開発においては、新たに採用した新素材特有の現象を工学的に克服するため、他機種と比べ長期の開発期間が必要となりました。 原型プラントの建設時期については、パイロットプラントでの技術実証の成果及び我が国におけるウラン濃縮事業化の時期を睨み決定されました。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(8/22)

(4) 研究開発体制

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) 原子力委員会が開発方針を示し、これを受けてサイクル機構が中心となって、国内の電気事業者、日本原燃株、メーカーの協力、共同の下に本プロジェクトを推進したこと、日本原燃株への技術移転が有効に行える体制であったことが成功への重要な鍵であったと考える。	1) 拝承
2) 研究開発体制は、開発内容ごとに見直しが行われ、最適な体制が選ばれてきた。機微技術を扱うため厳しい情報管理を必要とする条件下で、よくやったといえるであろう。1985年以降、民間と協力協定を結び、技術移転をスムーズに実施したことも評価できる。	2) 拝承
3) 機微技術のため限られた範囲での官民協力の研究開発体制であったが、研究開発体制としては妥当なものと判断される。	3) 拝承
4) ウラン濃縮技術の開発が我が国のみの技術でやり遂げねばならなかった背景の中で、基礎研究から商業化プラントによる実証開発研究まで、性格の異なる巾広い技術と、それらを効率良く集約してインテグレーションしていく研究体制が求められたが、それを適切に実施し期待される成果を生み出し商業化への技術の確立に見通しをもたらしたことは、極めて高く評価したい。これまでの開発研究に、約30年という長い期間が要されたことは、技術の選択とリスクの問題が常にあり、その解決に時間が必要であったということであるが、我が国の核燃料サイクルの要の技術として組み込むのにもはや時間的余裕はなく、また国際的競争力にも打ち勝つ必要のある現実をみると、これらの開発研究の時間がもっと短縮できなかったのか惜しまれるところである。	4) 拝承
5) 目標の設定は原型プラント建設までは適切。非常に長期間を要しているが、濃縮の置かれた宿命からやむをえないと考える。 新素材胴遠心機の開発はまさに状況に応じて計画の見直しがされているが、適切であったかどうかは、何とも判断できない。 すなわち技術を開発し、確立すれば確実に実施主体に移転するか、または逆に濃縮の置かれた宿命を踏まえて技術開発主体と実施主体を一元的な体制にするか、どちらが良いかはわからないが、結果的に今回の日本原燃株への一元化はそれはそれで良いとして遅きに失したと感じる。	5) 拝承

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
6) 研究開発体制は適切であったと評価できる。初期には日本のメーカの技術開発能力を最大限に活用し、これによる技術成果を自ら実施した試験と解析結果をもとに評価し技術の選択と開発方針が立案されており評価できる。原型プラントの建設にあたっては電気事業者との協力が行われ、六ヶ所ウラン濃縮工場の建設・運転等に必要な技術情報の提供、要員の派遣など、技術移転や技術支援を行う体制がとられたことも評価できる。実用化の見通しが得られた後は技術移転に備えた体制がとられている。 実用化を達成した要因の1つは外部の協力や助言を得つつ、サイクル機構が一貫してこの技術の選択、調整を行う中核組織として機能したことを挙げることができる。 なお1992年に運転開始した日本原燃㈱の商業化プラントは原型プラントで培われた技術が使われている。そのトラブルの経験からみると、サイクル機構に蓄積された運転管理を含むノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。 今後は日本原燃㈱のウラン濃縮技術開発センターにおいて一元化した研究開発が行われることになっている。研究開発から実用化までの期間を短縮することは国際競争を考えるととりわけ重要である。研究開発が商業プラントも運転する日本原燃㈱に一元化されたのはこの点でも評価できる。今後は実用プラントの一部のカスケードを用いて開発機の実用上の性能を試験するような実用と一体化した研究開発の考え方もあるのではなかろうか。	6) 拝承 併せて、停止遠心機については、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第3項「金属胴遠心機の停止原因について」を参照ください。
7) 本開発研究の成功は、サイクル機構が開発研究における意志決定と責任遂行を自前の設備による試験とその知見から行えた結果であることに同感であるが、将来の自主開発ナショナルプロジェクトの推進と組織のあり方に対して、貴重な大きな実験として本開発研究を分析し、レポートとして報告されることを期待したい。	7) プロジェクトの推進と組織のあり方については、1993年から1995年にかけて外部機関に評価を委託するなどして既に報告書として取纏めました。その概要については、サイクル機構技法No.10 別冊において「ウラン濃縮原型プラントプロジェクト評価」として報告しております。
8) 30年以上続いたプログラムは、遠心分離法によるウラン濃縮領域で、サイクル機構を国際的レベルに導いた。開発に引き続きとられた日本原燃㈱に知識を移転するためのステップが正しく、成功裏に再処理工場を建設することを約束するものであると思う。 しかしながら、本研究はサイクル機構でまもなく中止されるので、研究開発に関する多くの知識が失われることは残念である。サイクル機構の数人の研究者が、「原燃」での小規模な開発の組み立てや管理にも加わり(又は「原燃」に協力して)、密接な関係を保っていくべきと考える。そうすることで、何年もかけて研究者が得た知識を失わずに済むであろう。	8) サイクル機構でのウラン濃縮に関する技術開発は、政令により平成13年9月で終了することになっています。日本原燃㈱への協力については、昨年11月に日本原燃㈱ウラン濃縮技術開発センターの設置に合わせ先導機の技術成果を移転するとともに、高度化機及び先導機開発に携わった技術者のほとんどを同センターに出向させています。なお、プラントの解体、廃棄物の処理等に関する技術開発については人形峠の施設を活用した共同研究、受託研究などにより今後とも継続していく考えています。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(10/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
9) 実施体制、他機関との協力・連携は妥当であった。しかしながら最終的に技術移転する先導機の開発には、電事連と日本原燃株との協力は無かった。サイクル機構独自で行った由に開発がスムーズに行えたのであろうが、今後、日本原燃株に技術移転した後も、日本原燃株のセンターへの基礎・基盤技術に関するサイクル機構のノウ・ハウを十分移転できる体制が当分の間サイクル機構側にも必要と考える。	9) 上記8)の回答を参照ください。
1 0) DOP-1,2自身の故障率が、当初計画値を満足させるものであったことは評価できる。しかし、技術移転先の商業プラントで原因不明の故障が多数発生している現状に鑑みると、技術移転に関する体制が不十分ではなかったかとの疑問を抱かざるを得ない。	1 0) 参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第3項「金属胴遠心機の停止原因について」を参照ください。
1 1) 先導機の開発が電気事業者や日本原燃株抜きで進められたことは、「当面代替機導入の見通しが立たないのに現存機がどんどん故障していく」という、空白状態とも言うべき現状を産み出す原因となったものと考えられる。この点からも、研究実施体制には問題があったと感じる。	1 1) 高度化機の開発において技術的課題が発生し、当初目標時期の導入はなりません。サイクル機構としては今後原燃で実施する新型遠心機の開発を全面的に支援していきます。
1 2) このような技術開発には、目標に向かってインテグレートするための技術の調整を行う中核組織が必要となる、とあるが具体的にどのようなことがなされたのか。	1 2) ご質問については、複数の技術の中から解析、試験等を実施して最適な技術を選択し、選択した技術の機能向上を図ってまいりました。

(5) 研究開発成果

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) 金属胴遠心機の開発においては軸受の構造、駆動モータの型式、回転胴の構造、ガスの給排気方式などの技術を確立している。パイロットプラントでは10年間の運転により原型プラントや商業プラントの技術的基盤が蓄積されている。原型プラントは13年間にわたりノートラブルで連続運転され、10年間のホット稼働率は99.9 %と極めて高い実績を残している。これらの成果は六ヶ所ウラン濃縮工場に反映されている。回収ウラン原料による運転も行われ、運転員の平均被曝線量も十分低く、特段の設備の追加もなく回収ウランを原料とする濃縮を行えることを示している。	1) 拝承
2) サイクル機構が自ら試験を行い、全ての意思決定を主体的に行いえたことが実用化を達成した要因になっていると評価できる。自らの頭で考え、手を下して自ら行うことが新しい開発において重要であることを示している。	2) 拝承
3) 遠心機開発→パイロットプラント→原型プラント→六ヶ所導入の順に進めた金属胴遠心機の開発は十分な成果を上げたものと考えます。 また回収ウランの再濃縮についても、原型プラントでの実施により、U-232の娘核種の存在等の課題を克服し、十分な成果を上げた。本件は核燃料サイクルにとって重要な位置づけのものと考えます。	3) 拝承
4) 金属胴遠心機の開発では要素技術の開発、パイロットプラントによる10年間の運転蓄積を通じて獲得したプラントの信頼性、遠心分離機の量産技術、運転制御技術、その他種々のノウハウの獲得、原型プラントによる13年間の連続運転による商業化に不可欠な各種の成果と技術移転などいずれも高く評価できる成果を挙げた。 新素材胴遠心機の開発では幾つもの困難に遭遇したが、これらを解決し濃縮性能の向上、経済性の改良など次期商業プラントの基本となる新技術を開発した。今後更に信頼性、経済性向上のために解決すべき課題は残されていると考えられるが、これらは日本原燃協が主体となってサイクル機構がサポートする体制が出来上がったことにより、サイクル機構としての役割は十分に果たしたと評価できる。	4) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(12/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
5) 成果を開発された技術の国際競争力で計るなら十分な成果であったとは言い難い。しかし核燃料サイクルの自主性の確立という当初からの開発の意義に照らして考えるなら、十分な成果をあげたと言い切れる。原子力をめぐる環境は開発当初と大きく変化しているが、自前の濃縮技術保有の意義はいまも全く変わっていない。ナショナルプロジェクトとしては成功であったといえるであろう。 技術移転も順調に進んでいる。開発された技術がどれだけ使われるかは経済合理性で決めればよいことであるので、今後民間が事業を担当することは正しい判断である。 成果の公表等は機微技術であることを考慮するなら、それなりになされていると評価する。	5) 拝承
6) 原型プラント段階でウラン濃縮の事業化を見通すための必要最低限の技術レベルは達成している。国際競争力はプラントの規模のみならず、開発のスピード、経営戦略、種々の非技術問題の対処法等も影響するので、今後の課題と考える。高速回転技術など、遠心分離濃縮法は日本に適していると考えられ、プロセスや技術の改良が進むことを期待したい。	6) 拝承
7) 個別の技術課題は機微情報と言うことで、評価できるような情報を有しないので省略する。ただし、印象としては外国からの情報が極めて限られた環境の中で、日本でも独自技術開発でここまでできるということを示したことに對し、高い評価が与えられるべきであると感じる。 一方、高度化機の開発については、失敗であったと認識している。研究開発には失敗が付き物なわけであるから、失敗は失敗として堂々と認めればよいと思う。その中から、どの部分が先導機に利用できる技術で、研究体制や見極めのノウハウなど、次につながる教訓がどの程度得られたのかが重要であると考えている。 事後評価であるので今後の展開は無いのかもしれないが、失敗から教訓を得る努力はしっかりと行ってもらいたい。	7) 拝承
8) 開発された技術が実用化されており高く評価できるが、日本原燃㈱へのノウハウの移転においてさらに改善の余地があるのではないかと感じられる。 今後は国際競争を視点に一致協力した事業の展開を期待する。開発に貢献しノウハウを持つ人材の適切な処遇も重要であることを指摘したい。国の開発の最終の目的は技術の移転ではなく産業の創出であるので、技術の移転より国際競争力を持つ事業の発展が何より重要であることは言うまでもない。人材の処遇もこれらの中で考えられるべきものである。	8) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(13/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
9) サイクル機構の努力の結晶である原型プラントDOP-2遠心機と同じ六ヶ所工場の遠心機が、所要の寿命以前に停止している事象は誠に残念。一義的には日本原燃株の解決すべき課題ではあるが、サイクル機構は技術開発・移転した者として、確実にフォローする義務がある。サイクル機構には運転上・設計上・製造上の何れに問題があったのか、日本原燃株と連携して原因の徹底究明に努めてほしいし、その一環として原型プラント遠心機の分解調査をしっかりとお願いしたい。	9) 拝承
10) 基礎研究・技術開発、パイロットプラント、原型プラント、および新素材胴遠心分離機開発の成果を民間に技術移転し、新型遠心機開発によるウラン濃縮事業確立への積極的な反映を行えたことは、高く評価する。ただ、原形プラントでの役務生産コストが海外の3~3.5倍程度で、プラントのスケール効果による低減を考えてもまだ十分ではないが、新素材胴遠心機の開発による実用性実証によって大幅な経済的合理性を得られるとの見通しであると述べているが、新しい技術の信頼性と商業プラントの規模へのスケールアップのギャップは大きい(200t→3,000t)と考えられ、このスケールファクターについては停止機器の絶対数を減らす実証経験をさらに積む必要があると思われる。	10) 新素材胴遠心機の長期信頼性については、1,000台の新素材高性能機で構成する実用規模カスケード試験装置を2年間運転した後の分解調査結果により、金属胴遠心機の停止原因と推定されるウラン化合物の付着兆候は見られませんでした。また、新素材特有な粘弾性クリープ現象については解析及び試験により10年後の変形が回転性能に問題ないことを実証する手法を確立しています。以上から、新素材胴遠心機の長期信頼性については基本的な問題はないと考えますが、今後、将来機の実用化に当たってはご指摘の通り実証試験が必要と考えられます。
11) 達成された成果の水準は高く意義深いと考える。但し、目標・計画に対応する成果としてとらえた時、それらの間の対応性をわかりやすく示す工夫が必要であろう。	11) 参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第1項「遠心分離機の開発期間及び開発期間の短縮化」及び第2項「新素材胴遠心機の開発経緯と各機種 of 技術成果」を参照ください。
12) サイクル機構が全く独力で遠心分離機をここまで開発してきたことは賞賛に値するが、言わずもがなであるが、それに対して自画自賛に陥らないようにすることも肝要である。	12) ご指摘については、今日の最新の新素材遠心分離機にも使用している、遠心分離機の基本構造は金属胴遠心分離機の開発時代に重電3社をはじめとする、国内工業界の技術協力のもとに実現できたものであり、その技術開発を通じて、サイクル機構の技術者の基礎技術が育成されたと考えております。また、新素材高性能機の開発は、電気事業者・日本原燃株と相互に協力した共同研究で開発しました。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(14/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1 3) 「このようなプロジェクトを推進するための組織のあり方を示した点もウラン濃縮技術開発の成果としてあげることが、出来ると考える」と言い切っているが、例えば、機微技術という特殊な要因を持つ技術開発において、核燃料サイクル技術検討小委員会の指摘事項にも「この点が、結果的に大きな障害となっているとの感を否めない」とあるように関係者間の意志疎通、成果の活用等の面で、問題点となったこと、及び今後の反省点になるようなことはないのか。 又、当事者としての苦勞した点も含めて、率直に述べたらどうか。	1 3) ご指摘については真摯に受止め、今後の技術移転の進め方に反映していかなければならないと感じております。 左記委員会は「情報を十分に持たない事業者が、開発の成果を見極め、開発者から技術の移転を得た上で、事業化の観点からさらに開発を行うとの従来の考え方は、本事業の特殊性から適当でない。」としており「技術を開発者から事業者に移転すると言う従来の技術移転」の困難性を指摘しているところです。
1 4) 見つかった問題点を分析、評価しておくことが、専門家の移籍も含め、民間へのスムーズな技術移転には不可欠と考える。特に、人形センターの試験では極めて良好な成績と報告されているが、それが何故民間移転した場合には課題があったのか、分析とその反映が今後の技術開発には極めて重要である。 実用化されておりサイクル機構が行う技術開発はない、さらに民間への技術移転がスムーズになされたような記述になっているが、上記のような分析、問題点の把握、今後の技術者の移転など、サイクル機構の重要なmissionと考える。	1 4) 日本原燃㈱六ヶ所ウラン濃縮工場における停止遠心機の問題については、サイクル機構としても積極的に対応していく考えであり、現在、原型プラント遠心機の分解調査、六ヶ所遠心機部品の分析等の調査、分析作業を実施するとともに、日本原燃㈱の原因究明調査組織への参画等を実施しています。また、これらの結果を今後の技術移転及び技術開発に反映させていく所存であります。 合わせて、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第3項「金属胴遠心機の停止原因について」を参照ください。
1 5) 民間のプラントとして実用化されており、研究開発の目標として十分達成されたといえるが、URENCOより目標達成が遅れていることを含めて、技術移転において多少の歪みが生じたことに対して研究成果を整理し民間移行を果たして欲しい。	1 5) 先導機開発に関する技術情報は整理して日本原燃㈱に全て開示致しました。 合わせて、参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第1項「遠心分離機の開発期間の短縮化」を参照ください。
1 6) 実用化への技術的見通しは得ているものの、成果が技術的に完成しているとは考えにくい。従ってサイクル機構の成果が日本原燃㈱において効率的に活かされるようにすべく、日本原燃㈱での開発計画へ本成果が十分反映されるシステム・体制を確立(明確に)すべきであろう。	1 6) 日本原燃㈱に対する今後の支援体制については、本参考資料3の(4)研究開発体制の(8)の回答を参照ください。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(15/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
17) DOP-2での金属銅遠心機の高実績が、なぜ六ヶ所での高停止率になったのか。原因は究明中の段階であるが、技術開発と事業化の相違点の認識、及び、核燃料サイクル技術検討小委員会の指摘事項「開発者による開発過程における実績も、その情報が十分に関係者の間で共有されているとは言い難い面がある」と触れられているように、技術移転のやり方に改善すべき点等は無かったのか。	17) サイクル機構が確立した原型プラント建設運転の技術（設計図書、品質管理要領書、運転要領書、コンピュータプログラム）はすべて日本原燃㈱に提供してきました。更に、商用プラント運転時にはプラント設計、運転技術者をはじめ運転管理者などの要員派遣（累積68名）、日本原燃㈱のプラント運転要員（新人社員）の受入れ研修（累積187名）を行うなど、可能な範囲で最大限の技術移転を行ってきました。 また、2000年11月にウラン濃縮開発センターが設立され、日本原燃㈱、サイクル機構、原燃マシナリーの技術者が集結しオールジャパンの開発体制が構成されました。サイクル機構としては、今後も同センターでの開発に積極的に協力してまいります。
18) 高度化機の開発を1993年からサイクル機構は、電力、日本原燃㈱との共同研究により、支援することになったと書いてあるが、一方、高度化機の手を先導機の開発をサイクル機構単独で、その前年の1992年より開始している。 （自己評価書（参考資料7））5.3（項）組織、開発体制の項で「ウラン濃縮技術開発ではインテグレートして行く過程の全ての意志決定を、サイクル機構が自ら責任を持って行ってきた。このように…全ての意志決定を主体的に行い得たことが、実用化を達成した要因となっていると考える」と書かれているが、開始時期の妥当性、高度化機と先導機の開発に際しての両者に共通の設計フィロソフィーは何だったのか。 要員、資源が二分されて、非効率な開発になった可能性はなかったのか。	18) 1989年原子力委員会ウラン濃縮懇談会報告に基づき、1992年から基礎的・基盤的、先導的技術開発を開始しました。 サイクル機構としては、高度化機の開発を全面的に支援し、試験の中断時期等の合間の時間を利用し、先導機の試験を実施してきました。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(16/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1 9) ウラン濃縮は、サイクル機構が基礎から開発し、その成果を民間に移転して事業化に持っていく最初の大規模なケースであり、今後もMOX、或いはFBR等の事業化、商業化の先例ともなるものである。 その観点から、濃縮の経験は貴重なものであるので、実状をつまびらかにすると共に、今後の成果の移転を真に有効にするために、良い点は伸ばし、悪い点は改善するようにしていくことが、本事後評価の大きな意義であると考ええる。	1 9) 新素材瞬遠心機によるウラン濃縮技術開発に関しては、事業主体の日本原燃株及び電気事業者と新素材高性能機、高度化機開発の二度の共同研究を実施し、開発経験、経緯を共有してきました。その中から、今後に向けての開発体制を日本原燃株のウラン濃縮技術開発センターの設立、それに向けての集中協力が図られてきました。この経験は再処理、MOX燃料やFBR等の事業化、商業化が行われる分野を始め、サイクル機構、日本原燃株、電気事業者には十分情報として共有化されており、今後生かされていくものと考えています。
2 0) ウラン濃縮は機微技術であるため外部発表は制限されるが145,000 件の社内技術資料や国内の143 件、国外13 件の工業所有権が得られており評価できる。	2 0) 拝承
2 1) 日本原燃株への技術移転は、資料の提供と人的交流、共同研究を中心に適切に行われている。また、社内技術資料は多くあるが公開されていないと思われ、他方学会発表や工業所有権の数は少ないのは、機微な開発研究に関わることでやむを得ないものと考ええる。	2 1) 拝承
2 2) 本研究開発はその内容に多くの機微な情報が含まれるため、研究成果の公開などの点において制約条件が少なからずあったと考えられる。外部発表等の成果の評価についてはその点も配慮しなければならないだろう。	2 2) 制約条件があるなかで可能な限り外部発表に努めてまいりました。
2 3) (ウラン濃縮技術開発(参考資料4) P10 経済性の評価について、「原型プラント計画時の為替レートで試算すると原型プラントの実績役務生産コストは、国際価格並と評価できる」としているが、役務コストは、為替レートを除くと、単にスケールファクターだけで単純に推定できず、遠心分離機の信頼性、プラント設計等トータルな技術の結晶の結果である。ここはむしろ、サイクル技法No.10別冊 P30「この評価結果を持って、ウラン濃縮原型プラントに適用している技術が、現時点において経済的に国際競争力を持っていると評価することは出来ないが、原型プラントの実績により、商業プラントにつながる確かな経済的見通しを得るという所期の目的は達成することができた」と評価できる」の方が、誤解を招かず、妥当な表現と考える。	2 3) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(17/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
24) 実用化が出来たという表現が良く出てくるが、この「実用化」の意味、定義がはっきりしていない。	24) ご指摘のように、「自己評価書」で実用化という言葉が安易に使いすぎた感があります。自己評価書の中では、主として金属銅のプラント技術のように商用化へ到達したという認識を持っているものと、新素材高性能機のように具体的に商用化はされていないが技術的には商用化できると考えたものと、先導機のように今後さらに技術開発が必要だが商用化遠心機としての開発可能性があると考えたものを実用化という言葉で表しました。念のため、自己評価書で、実用化の言葉を使用した個所に理由を注記しました。
25) (自己評価書(参考資料7)) P4「開発目標の変化に対応して、組織の機能を変化させてきたこと」とは、具体的には何なのか。	25) 技術開発の目標は、基礎研究から機器開発、プラント設計・建設、プラント運用へと変化してきました。これに対して組織の機能として基礎研究、機器開発に携わってきた技術者がプラントの設計、建設を、さらに設計、建設に携わってきた技術者がプラント運転に移っていくことで、機器開発、設計思想がプラント運転に活かされるよう変化させてきました。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(18/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
2 6) (自己評価書(参考資料7)) P 4 「外部の評価委員会や大学等の助言や協力をえつつ」とは、具体的にどのような内容なのか。	2 6) サイクル機構におけるウラン濃縮技術開発の始まりは、東京工業大学の大山義年教授が理化学研究所において進めていた遠心分離機を動燃の前身である原子燃料公社に移して開発を始めたことによります。金属胴遠心機開発の当初(1972年～1980年頃)はメーカーの技術を結集して行っていたが、大山先生や同じ研究室関係から高嶋、金川、三神諸先生から分離理論やカスケード理論について、種々の指導・助言を頂いてきました。 また、ナショナルプロジェクトに指定され、重電メーカーの技術を結集し、遠心分離機の基本構造を構築していく際にも、重要技術について検討するため軸受・軸封小委員会、分離流動小委員会等を大学とメーカー関係者の協力のもとに設け、検討を行うことで基本構造の構築が進んだ経緯があります。とりわけ特筆すべきこととして、新素材に取り組んだ初期の昭和50年代初めに、東京大学の植村教授を始め東京大学の構造工学を専門とする諸先生による委託研究で新素材の基礎理論が確立され、以後の新素材回転胴の設計が飛躍的に進歩する礎となったことが挙げられます。また、ウラン濃縮関係の学界、及びメーカー関係者によりウラン濃縮技術委員会を設置し、委員会を各年度に開催、技術開発状況を報告し技術開発の方向や内容について助言、協力を得てまいりました。
2 7) 新素材胴遠心機開発は、高性能機から現在の日本原燃(株)で開発中の新型遠心機に至るまで、各ステップが踏まれているが、実用化への技術的見通しにしろ、経済的見通しにしろ、各ステップで出された成果・反省点が次のステップに反映されたかどうか判断できない。	2 7) 参考資料4(研究開発課題-補足説明資料)の第1項「遠心分離機の開発期間の短縮化」及び第2項「新素材胴遠心機の開発経緯と各機種技術成果」を参照ください。

(6) その他

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) 機微技術に関する課題を評価(原則公開という形で)する場合、説明側で資料を作成する方にも大幅な制約(限度)があり、またそれに基づいて評価する方も本質(技術の内容、問題点、課題、その解決策)を知る上で不明な点が多い。現在のような形式での課題評価が適切であるか、今後検討を要する。	1) 今回の評価対象であるウラン濃縮技術は、国際的にも機微技術として厳しく管理されていることから、技術的内容の詳細については十分に開示できないところがありました。しかし、技術開発で必要であった事項については機微技術に触れずに、原理的説明とする等の工夫によりご理解を頂けたものと考えております。この経験を社内で共有化し、今後の機微技術情報を含む課題について評価を受ける場合に適切な対応をしてまいりたいと考えております。
2) 機微情報の扱いに制約されて十分な説明が得られず(できず)、説明する側も説明を受ける側も中途半端な結果となったように感じる。今後は、評価委員による機密保持誓約書などへの署名等を前提として、ある程度は機微情報を開示した方が、有意義な評価ができると思う。	2) 上述 1) の回答を参照ください。
3) 運転を終了した原型プラントの今後の有効な活用方法についても検討を行なうべきではないか。	3) 原型プラントをはじめ、人形峠環境技術センターの各施設設備については、核燃料施設の廃止措置技術開発の場として今後の活用していく計画であり、主な項目としては以下のとおりであり、これらの技術についても日本原燃㈱に技術移転していく考えています。 ○滞留ウランの回収技術開発 ○遠心機の解体技術開発 ○核燃料取扱い施設の解体及び廃棄物処理に関する技術開発
4) ウラン濃縮施設における安全対策や事故レベルに対応したシミュレーションなどについても公開していく必要があるのではないか。	4) 事故レベルに対応したシミュレーションの一つとして最大事故の想定を行い、その内容を公開された許認可申請書にも記載しています。また、保安規定に基づいて行う防災訓練に係わる事故想定、対応内容などについては事前に地元、関係官庁に説明を行ってから実施しています。原則として技術的に機微な内容を除いて公開することで対応しています。

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(20/22)

(7) 総合評価

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
1) ウラン濃縮技術には従来のガス拡散法、遠心法、レーザ法などいくつかのものがある。電力を多量に消費するガス拡散工場は老朽化し、レーザ法はその先進性から米国等で開発が行われていたが、結果的に行き詰まっている。これらの中で遠心法を適切に選択し、着実に技術開発を行い実用化を達成したことは、日本の原子力開発の中でも高く評価できる。開発が約35年間の長期に渡り、その中で技術のみならず日本を取り巻く環境や市場も大きく変化した。この中で実用化を達成したことは特筆に値する。今後はこの成果をもとに安定操業や経済合理性を確保しさらに長期的国際的戦略の下で、この技術を発展させることを期待したい。	1) 拝承
2) 機微技術であるため独力で開発しなければならない中、遠心分離法を実用化技術にまで開発したことは高く評価できる。	2) 拝承
3) 遠心分離機によるウラン濃縮技術開発は我が国の核燃料サイクルの自主的確立の要の課題であり、国の長期計画にそってその目的・目標が設定され、約30年にわたる各段階のプロジェクトの実施と次の段階への連続性の確保、およびその途中での適切な見直しは適切に行われている。サイクル機構が全期間をとおして主体性を持った研究開発を進め、途中の急激な国際経済状況の変化などの影響のなかでまだ十分価格競争力を得るまでに至ってはいないが、新素材胴遠心機による高性能化技術を次の新型遠心機による濃縮事業へとつなげる成果を達成したことは、高く評価される。	3) 拝承
4) 30年に及ぶ研究開発成果の事後評価を行うことは容易ではないが、本プロジェクトは各ステップ毎に原子力委員会のチェックアンドレビューを受けて進められてきたため、多くの困難を乗り越え当初の目標を達成し、ウラン濃縮事業の商業化に繋げることが出来た。これは我が国の原子力開発上、特記すべき成果であると考えらる。	4) 拝承
5) 本プロジェクトの意義は核燃料サイクルの自主性の確立にある。それを達成した意義は大きいと評価する。	5) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(21/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
6) 本技術開発は、全体としては我が国の独自技術開発路線を貫き、世界でも数少ないウラン濃縮技術保有国の地歩を固めたものとして高く評価することができる。ただし、一方では必ずしもサイクル機構のみの責任とは言えないものの、実用化段階での故障多発による足踏みに加えて新素材遠心機導入の遅れという、技術の空白状態を産み出している現状も、重く認識する必要がある。 今後ここで得られた教訓は、他の技術開発において同様の空白状態を産み出す事態を招かないよう、技術移転までを視野に加えた研究開発体制の充実や、クリティカル技術の代替技術開発計画などに活かして行くべきである。	6) 拝承
7) ウラン濃縮技術は機微技術のため、海外からの情報を入手することが困難の中で、基礎研究から技術開発を進めていかなければならない状況で、旧動力炉・核燃料開発事業団が中核となって、民間および大学の協力をえながら進めてきた国家プロジェクトである。濃縮技術の開発は原子力発電所に供給する低濃縮ウランを安定的に確保を行う上で極めて重要な位置づけとなっており、わが国のエネルギーセキュリティを安定させ上で重要な役割を担うものである。技術開発の目標は世界市場における濃縮役務費にたちうちできるものであって、必ずしもそれに十分対応できるものとはなっていない状況にあるが、わが国が濃縮ウランを妥当な価格で購入できる状況を保ち得てきていることから、本研究開発の当初の目標は達成できたものと判断される。 なお、技術の民間移転については、当然の結果として行われているが、多少の行き違いがあったようであるが、今後は核燃料サイクル開発機構と日本原燃株が一体となった一体型協力体制方式による技術移転を行うとのこととなっており、わが国の総力による濃縮技術の高度化へ向けての体制が整ったと言える。	7) 拝承
8) このように開発した技術、技術者を如何に温存し、民間と一体となって実用化していくか、十分な配慮を願いたい。特に、国で開発した技術を民間に移転する場合、両者(各層、各レベルで)が同じ目線、同じ立場で共通認識のもと技術開発していくことが大変重要である。	8) 拝承

課題評価委員会委員の評価意見に対するサイクル機構の見解及び質問に対する回答

(22/22)

評価意見	サイクル機構の考え方、質問に対する回答
9) 濃縮を国内外に代替技術がない中でどのように技術開発してきたか、色々なステップの過程で考慮したことは何かを検証することは、今後の同種の技術開発のあり方を考える上で貴重な経験であるとする。主な課題は下記の通り。 ① 金属胂遠心機による原型プラントができた後の研究について、開発側と事業者側の役割分担は適切であったか。 ② 技術移転したものに、問題や課題が発生した場合の技術移転した側の役割はどうあるべきか。	9) 左記の課題について検証する場合、①及び②項はどうしてもその時代背景を考慮することになり、当時の原子力委員会での決定に従った適切な計画であったと思います。③項の課題はまさにこれからの機構に於ける濃縮技術者の扱いをどうするのかということと直結する問題で検討すべき課題と思います。 ① 独立国家としてはいかなる国からも自主性を確保する必要があり、このためには、エネルギーセキュリティの確保は必須と考えます。 ② 1989年のウラン濃縮懇談会において、民間が以降の開発研究の主導的役割を担い、サイクル機構は基礎・基盤的な開発、先導的な研究開発塔を実施し、民間の研究開発も支援するとされました。 ③ 基本的には移転技術に問題が発生した場合、移転側の役割はその原因究明、対策に協力することであり、これまでも停止遠心機の原因究明も含め日本原燃協からの要請に応じて運転支援等を実施してまいりました。
10) 今後は民間主体の濃縮技術の高度化および経済性の追求へ向けての研究開発を期待する。それへ向けての今までの成果を今後の民間での研究開発に有効に使用できるようにまとめて欲しい。	10) 単機開発及びパイロットプラントの運転成果においては既に成果情報を日本原燃協に技術移転しており、今年3月に運転を終了した原型プラントの運転で得られた成果については、技術の体系化、データベース化を図っているところです。
11) 評価書では、各段階の技術開発とも何れもうまく行ったような記述である。段階に応じてどんな課題(問題)が見つかりそれがどのように解決されたのかが分からない。	11) 参考資料6 ウラン濃縮技術開発(補足説明資料) 1. 遠心分離機の開発期間及び開発期間の短縮化 及び 2. 新素材胂遠心機の開発経緯と各機種種の技術成果を参照ください。

参 考 資 料 4

ウラン濃縮技術開発 (課題説明資料)

【研究開発課題説明資料】

本資料は、課題評価委員会
の評価意見等により改訂
したものである。

ウラン濃縮技術開発

平成13年6月

(平成13年9月改訂)

核燃料サイクル開発機

目 次

はじめに	1
1. 研究開発の目的・意義	1
2. 研究開発目標の設定	2
2. 1 金属胴遠心機開発期	2
2. 2 パイロットプラント	2
2. 3 原型プラント	2
2. 4 新素材胴遠心機の開発	3
3. 研究開発計画	4
3. 1 金属胴遠心機開発期	4
3. 2 パイロットプラント	4
3. 3 原型プラント	4
3. 4 新素材胴遠心機	5
4. 研究開発体制	7
5. 研究開発成果	8
5. 1 金属胴遠心機開発期	8
5. 2 パイロットプラント	8
5. 3 原型プラント	9
5. 4 新素材胴遠心機	11
6. 研究開発費用及び要員	12
7. 成果の普及及び公開について	13
8. まとめ	14

添付図リスト

図 1.1	ウラン濃縮技術の開発ステップ	1 5
図 3.4-1	新素材胴遠心機の開発計画 (1 / 3)	1 6
	(2 / 3)	1 7
	(3 / 3)	1 8
図 4.1	遠心分離機の研究開発体制 (1 / 2)	1 9
	(2 / 2)	2 0
図 5.1-1	金属胴遠心機性能の推移	2 1
図 5.2-1	パイロットプラントの運転実績	2 2
図 5.2-2	核燃料サイクル確立に果たした役割	2 3
図 5.3-1	原型プラントの運転実績	2 4
図 5.3-2	設備、機器の大型化及び合理化	2 5
図 5.3-3	DOP-2 遠心分離機の運転実績	2 6
図 5.3-4	回収ウラン原料による運転実績	2 7
図 5.3-5	原型プラントの役務生産コスト実績	2 8
図 5.3-6	役務生産コストの試算	2 9
図 5.4-1	実用規模カスケード試験の成果	3 0
図 5.4-2	新素材胴遠心機の性能推移	3 1

はじめに

1972 年に遠心法ウラン濃縮技術がナショナルプロジェクトに指定されて以降、国の方針に基づき、核燃料サイクル開発機構（1998 年までは動力炉・核燃料開発事業団。以下「サイクル機構」という。）が中核となって、遠心分離機及び濃縮プラント機器の開発並びにパイロットプラント、原型プラントの建設・運転によるプラント技術に係わる開発、実証を行うとともに、1985 年に発足した事業主体である日本原燃（株）（1992 年までは日本原燃産業（株）。以下「原燃」という。）に、この成果を技術移転してきた。

原燃は、1992 年に青森県六ヶ所村でウラン濃縮商業工場の操業を開始し、1998 年には 1,050tSWU/y まで設備容量を拡張し操業を行っている。

本評価は、サイクル機構での研究開発業務が本年 9 月に終了するにあたり、ナショナルプロジェクトに指定されて以降、現在までのサイクル機構の業務内容について、事後評価を受けるものである。

1. 研究開発の目的・意義

我が国の商用原子力発電炉の燃料には、ウラン燃料中の U^{235} の濃縮度を数％程度まで高めた濃縮ウランを使用する必要がある。このため、資源の乏しい我が国においては、エネルギーセキュリティの確保、ウランの有効利用等の観点から、ウラン濃縮を含む自主的核燃料サイクルを確立し、安定した濃縮ウランの供給を確保することが国の方針となっている。

しかしながら、濃縮ウランを製造するための技術、即ち、ウラン同位体を分離する技術は甚だ困難であり、長期間にわたる大規模な技術開発を要するものであった。更に、この技術は核兵器の製造に直結する恐れのある技術であることから国際的に機微な情報とされ、海外からの技術導入が不可能であり、国が遠心法ウラン濃縮技術をナショナルプロジェクトとして自主開発する意義は、これを事業化し、自主的核燃料サイクルの確立することであった。

また、国内で転換した天然及び回収ウランを濃縮し、その製品を発電炉に装荷して核燃料サイクルの輪を閉じたこと、カーター米大統領の核不拡散政策が発端で開かれた国際核燃料サイクル評価（INFCE；International Nuclear Fuel Cycle Evaluation）において、INFCE 終了前の 1979 年にパイロットプラントの運転を開始したことによって、日本がウラン濃縮技術保有国としての地歩を固め、その後の開発が継続できたこと等も大きな意義であった。

（図 1.1 ウラン濃縮技術の開発ステップ）

2. 研究開発目標の設定

我が国でウラン濃縮用遠心分離機の1号機が試作された1959年以降40年に及ぶウラン濃縮技術開発において、初期の十数年は、金属胴遠心機の開発に重点が置かれた揺籃期と言える。

原子力委員会によるガス拡散法とのチェックアンドレビューの結果、遠心分離法がナショナルプロジェクトとして位置付けられた1972年以降は、原子力委員会の方針にしたがって、以下のステップで開発を進めてきた。

- ① 金属胴遠心機開発に代表される遠心分離機、大型UF₆取扱い機器等のプラント建設のための技術開発（以下、金属胴遠心機開発期）
- ② パイロットプラントでのウラン濃縮に係わる技術的基盤の確立
- ③ 原型プラントでのウラン濃縮に係わる技術及び経済性の実証
- ④ 経済性を向上するための新素材胴遠心機の開発

2. 1 金属胴遠心機開発期

1972年に原子力委員会が遠心分離法をナショナルプロジェクトに指定したことを受け、ウラン濃縮技術開発懇談会は、1976年頃にパイロットプラントの建設に着手するにあたって事前の評価を行えるよう分離性能、長期安定性、安全工学性及び量産性を有する遠心分離機の開発及びプラント規模のUF₆取扱い機器等の開発を目標とした。

2. 2 パイロットプラント

1976年に原子力委員会は、金属胴遠心機の開発で得られた成果を踏まえ、パイロットプラントの建設を決定した。パイロットプラントは、プラント規模で濃縮ウランを生産し、ウラン濃縮技術の技術的基盤を確立することを目的とした。以下が具体的な目標となった。

- ① 遠心分離機の量産技術の見通し
- ② 遠心分離機性能の確認
- ③ 遠心分離機及びカスケードの信頼性の確認
- ④ プラント運転条件の確立

2. 3 原型プラント

1981年に原子力委員会ウラン濃縮国産化専門部会は、昭和60年代前半に商業プラントの運転を開始し、昭和60年代末に1,000tSWU/yの規模とし、2000年頃までに最低3,000tSWU/y程度の規模を目標とし、民間での事業化を進めるため、ウラ

ン濃縮の技術及び経済性の実証を図るため原型プラントの建設を決定した。この中で原型プラントでの目標は以下の通りとされた。

- ① 遠心分離機の量産技術の確立
- ② プラント機器・設備の大型化及び合理化
- ③ プラント建設及び運転システムの確立
- ④ 民間への技術移転

2. 4 新素材胴遠心機の開発

遠心分離機の性能は、理論上、周辺速度（以下「周速」という。）の 4 乗及び回転胴の長さに比例する。このため、遠心法ウラン濃縮技術がナショナルプロジェクトに指定された当時から、サイクル機構では金属胴遠心機の開発と並行して、鋼と比べて比重が小さく、大幅な高周速化が期待できる、新素材胴遠心機の開発を進めていた。

2.4.1 新素材高性能機開発

1986 年に原子力委員会ウラン濃縮懇談会は、国際的なウラン濃縮役務供給能力過剰のなかでのウラン濃縮事業者の多様化による役務価格低下や為替レートの円高傾向等による国際競争力の低下の懸念から、コストダウンにつながり開発リスクの少ない新素材高性能機による遠心分離法及び革新的な濃縮技術であるレーザー法技術の開発を決定した。また、新素材高性能機については 1990 年頃を目途に数十台規模のカスケード試験及び量産製造技術開発を完了する計画とした。

1989 年に原子力委員会は、開発の進捗を評価し実用化を図るため、1991 年度の運転開始を目途に人形峠環境技術センター（1998 年までは人形峠事業所。以下「人形峠センター」という。）に新素材高性能機約 1,000 台からなる実用規模カスケード試験装置の建設、運転を行うことを決定した。

2.4.2 高度化機開発

1992 年に原子力委員会ウラン濃縮懇談会は、新素材高性能機の開発に見通しが得られたことから、六ヶ所ウラン濃縮工場の経済性を向上するため、同工場の取替え機として、民間が主体となって遠心分離機性能が新素材高性能機の 1.5～2 倍の高度化機を開発し、2003 年までにプラントに導入する計画が示された。

2.4.3 先導機開発

1989 年に原子力委員会ウラン濃縮懇談会は、将来の遠心分離機に必要な基礎的・基盤的、先導的な研究開発等をサイクル機構が実施することを決定した。

3. 研究開発計画

サイクル機構は各々の研究開発段階で目標とした項目を遂行するため、以下のとおり開発計画を設定した。

3. 1 金属胴遠心機開発期

ナショナルプロジェクトに参画した重電メーカー各社等の技術開発力を結集し、また学界からの助力を得ながら、自ら試験・解析を実施して、多くの選択肢の中から技術的裏付けをもとに採用する技術の選択を行い、遠心分離機の基本構造を確立していった。主な開発項目には、以下のようなものがあった。

- ① 回転胴の強度及び振動制御の設計手法の開発
- ② 遠心分離機材料の開発
- ③ 上下部軸受等の機械要素部品の開発
- ④ 同位体分離に係わる分離機構開発とそのパラメータの最適化
- ⑤ 回転胴内部循環流、カスケード流動特性等の解析手法の開発
- ⑥ モーター、高周波電源等の駆動機構の開発
- ⑦ 耐震性、耐衝撃波及性、破壊時安全性等の安全工学
- ⑧ 量産技術の開発
- ⑨ 大型 UF₆ 取扱い機器の開発

3. 2 パイロットプラント

1976 年の原子力委員会の決定を受け、サイクル機構はパイロットプラントの建設・運転計画を以下のとおり策定した。

- ① 遠心分離機の量産性を見通しをつけるため約 7,000 台の遠心分離機を製作
- ② プラントの定常試験、非定常試験を行い、運転・制御技術を蓄積してウラン濃縮プラントの運転法を確立
- ③ 10 年間の試験を行い信頼性と経済性を見通しを得る
- ④ 人形峠センターに建設

また、1977 年から開始された INFCE において、米国から既存のウラン濃縮技術保有国以外の国には、新規のウラン濃縮事業は認めないとの方針が出されたことから、パイロットプラントを早急に建設し、運転を開始することとした。

3. 3 原型プラント

1982 年の原子力委員会の決定を受け、サイクル機構は電気事業者とも協議し、原

型プラントの建設・運転計画を以下のとおり策定した。

- ① 電力各社との役務契約（10 年）に基づく濃縮ウランの生産
- ② 建設費の一部を民間から借入
- ③ プラントの無停止増設及び保守を可能とする設備設計
- ④ システムの合理化及び大型化を図った設計
- ⑤ 遠心分離機量産技術を確立するための品質管理要領書を作成
- ⑥ 連続運転を通じてプラントシステムのエンジニアリングや運転ノウハウを蓄積
- ⑦ 運転実績に基づく信頼性及び経済性の評価
- ⑧ 原燃技術者を含めた運転要員の養成

また、1997 年に当初の 10 年分の契約が終了し、1998 年にサイクル機構はウラン濃縮事業から撤退する方針が決まった。これを受けて人形峠センターの将来構想との関連で関係各者との協議に基づき 3 年間の追加運転を行うこととなり追加役務契約を締結した。なお、役務契約では、回収ウランの再濃縮も実施することとした。

3. 4 新素材胴遠心機

3.4.1 新素材高性能機

1986 年に原子力委員会ウラン濃縮懇談会が新素材高性能機の開発を決定したことを受け、サイクル機構は、電気事業者 10 社及び原燃と開発計画を協議し、1986 年から 1990 年まで 5 ヶ年の共同研究とすることで合意された。しかし、開発途上で遭遇した技術課題のため 1 年間の延長を余儀なくされた。

この開発計画では、今までの金属胴遠心機と回転胴の材質が異なることから、これに関する以下の開発項目に重点を置いた。

- ① 新素材回転胴の設計手法の確立
- ② 新素材回転胴の製作法の確立
- ③ 新素材胴遠心機に適した上下軸受構造の開発
- ④ 新素材胴遠心機に適したモーター、高周波電源等の駆動機構の開発
- ⑤ 高周速化に伴う分離流動機構の開発と最適化
- ⑥ 遠心分離機破壊時の対策

また、実用規模カスケード試験に関しても、電気事業者 10 社及び原燃との共同研究で人形峠センターにおいて実施し、約 1,000 台の遠心分離機は電気事業者が負担することで合意され、1990 年から 1996 年までの 7 ヶ年間実施された。本試験においても、回転胴の材質が異なることによる以下の項目に開発の重点が置かれた。

- ① 遠心分離機の初期起動法の確立
- ② UF₆の初期供給法の確立
- ③ 異常時の運転手法の確立
- ④ 新素材高性能機の長期安定性の評価

3.4.2 高度化機

1992 年の原子力委員会ウラン濃縮懇談会の結論に基づき、サイクル機構は、単機開発から 10 台程度のシステム試験までを電気事業者 10 社及び原燃との共同研究により 1993 年から 1998 年までの予定で高度化機の開発を支援することになった。この開発計画では、以下の開発項目に重点が置かれた。

- ① 高度化機回転胴の設計手法及び製作法の確立
- ② 高度化機の構成要素部品である UF₆ガス拔出管、軸受、モーター等の開発
- ③ 高周速化に伴う回転性能の確立
- ④ 分離性能の最適化及び特性把握
- ⑤ 遠心分離機破壊時の安全性及び地震時における健全性の確立

原燃の計画は、コスト低減の考えから、金属胴遠心機と同じ集合化構造をとっていた。この構造に係わる安全性の確認等が必要となり、開発期間が不足することから 1999 年に開発期間を 1 年延長した。また、高度化機で採用した新しい材料の遠心機下部部品に課題があることが判明したことから、更に 1 年の延長を行い、2000 年度末までの計画とした。

3.4.3 先導機

1989 年の原子力委員会ウラン濃縮懇談会の報告に基づく基礎的・基盤的、先導的な研究開発の実施にあたっては、当時円高が進みつつあったことから、為替レートが 100 円／ドルになっても国際競争力のある遠心分離機（以下、「先導機」という。）を開発することを目標に設定して、サイクル機構はこれを達成するため以下の計画を策定した。

- ① プラントの経営計算から遠心分離機設備の建設費を算出
- ② 技術的に可能と思われる 1 機当たりの性能及び価格を決定
- ③ 上記の結論に基づき遠心分離機の基本仕様を決定
- ④ 必要となる技術要素毎の開発計画を策定
- ⑤ 5 カ年で先導機としての技術要素を集約して実現の可能性を評価

(図 3.4.1 新素材胴遠心機の開発計画)

4. 研究開発体制

本プロジェクトは、原子力委員会が、開発の各段階でチェックアンドレビューを行って新たな国の開発方針を示し、サイクル機構がこの方針を受けてプロジェクトの中核となり推進する体制であった。

プロジェクトの推進体制は、開発の進捗と外部状況の変化に伴い、以下のような変遷があった。

金属胴遠心機開発期及びパイロットプラントの建設・運転時期においては、サイクル機構がプロジェクトに参画した重電メーカーを中心にして材料メーカー、軸受メーカー等の持つ技術開発能力を最大限に活用し、これによる技術成果を自ら実施した試験及び解析結果を基に評価し、技術の選択と開発方針を立案し、プロジェクトを推進する体制であった。

原型プラントの建設にあたっては、借入金を除く建設費用の半額を電気事業者が負担した。電気事業者とはウラン濃縮プラント協力会議を組織し、原型プラントの建設・運転計画の基本方針を同協力会議で決定することとした。また、事業主体として原型プラント建設中の1985年に設立された原燃とは同年に「ウラン濃縮施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定」及び「技術協力の実施に関する協定」を締結し、六ヶ所ウラン濃縮工場の建設、運転等に必要な技術情報の提供、要員の派遣及び受入れを実施するなど、技術移転及び技術支援を行った。

新素材胴遠心機の開発においては、1986年に電気事業者10社及び原燃と「遠心分離法ウラン濃縮技術の研究協力に関する協定」を締結し、新素材高性能機の開発を、続いて1993年に上記協定を改定し、高度化機の開発を共同研究で実施した。

以上のようにサイクル機構はプロジェクト推進の中心的役割を果たしてきたが、1989年の原子力委員会ウラン濃縮懇談会報告の中で、1991年以降は技術開発においても民間が主導的役割を担うことが提言されたことから、高度化機の開発は原燃が中心となって開発を進めることとなった。その後、1998年のサイクル機構の発足時にウラン濃縮の技術開発業務は整理することになり、2001年9月末までに開発業務は終了することになった。

一方、2000年11月に原燃は、今後の開発体制の一元化を図るため、六ヶ所にウラン濃縮技術開発センターを設置した。これに合わせ、原燃とはこれまでの協定を全面改定した「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」を締結し、先導機関連の技術情報を提供するとともに12名の開発要員を出向させた。

なお、サイクル機構内の研究開発体制としては、東海事業所と人形峠センターでその開発分担をしており、遠心分離機の本体（単機）の開発、小規模なカスケード試験、パイロットプラント用までの機器・設備の開発は東海事業所で、パイロットプラント

規模以上の多数台の遠心分離機を使ったカスケード技術開発や商用プラント規模の機器・設備の開発は人形峠センターが所掌して実施した。

(図4.1 遠心分離機の研究開発体制)

5. 研究開発成果

5.1 金属銅遠心機開発期

サイクル機構が中心となって実施した種々の研究開発は、試行錯誤を繰り返した結果、1976年までには現在の遠心分離機と基本的に同様な上下部軸受の構造、駆動モーターの型式、回転胴の構造、ガスの給排気方式を確立した。また、遠心分離機の分離性能は、これらの構造と密接に関連しているので、基本構造の確定とともに、開発の方向性が明確になり、徐々に分離性能が向上するとともに、回転安定性も増してきた。

設計から製作、試験、評価までの開発のサイクルを年度毎に実施し、年々分離性能および安定性が向上し、パイロットプラントには3世代の遠心分離機(OP-1A、OP-1B及びOP-2機)が導入された。

(図5.1-1 金属銅遠心機性能の推移)

5.2 パイロットプラント

パイロットプラントは、3期に分けて建設し、第1運転単位の第1期(OP-1A)は、1979年9月に運転を開始し、その後、第1運転単位の第2期(OP-1B)は、OP-1A遠心機性能の1.5倍以上の遠心分離機が導入され、1980年10月に運転を開始した。また、第2運転単位(OP-2)は、OP-1Aより更に2倍の性能の遠心分離機を採用して、1981年3月に運転を開始し、1990年3月に試験運転を終了するまで、さまざまな試験を行った。

パイロットプラントにおけるこの約10年の運転蓄積が、原型プラントや商業プラントの技術的基礎を築いた。

主な成果を以下に列挙する。

- ① 1979年9月にパイロットプラントが運転試験を開始したことで、国際的にもウラン濃縮技術保有国として地歩を固め、以降の技術開発が継続できた。
- ② 約7,000台規模の遠心分離機の生産及びプラントでの長期運転(ホット運転約50,000時間)により、信頼性のある遠心分離機の量産技術の見通しを得た。
- ③ 約51tUの濃縮ウランを生産し、プラント性能を実証した。
- ④ 事業所内に隣接する製錬転換施設から供給された天然ウラン、回収ウラン原

料を用いてウラン濃縮試験を実施し、一部の製品ウランは新型転換炉ふげんに装荷されるなど我が国における核燃料サイクルの輪を閉じた。

- ⑤ カスケードを中心としたプラントの運転制御技術を蓄積するため、ホット定格試験（19 件）、非定常特性試験（26 件）を行い、基本的な運転方法を確立した。また、解析技術として、静特性・動特性シミュレーションの検証と改良を行った。
- ⑥ 不拡散の強化策として、パイロットプラントを実証の場に提供して、IAEA、関連諸国等と会議体を組織し、大型ウラン濃縮工場の保障措置システムを構築した。
- ⑦ UF_6 の分析技術、保守点検技術などの付帯技術を確立した。
- ⑧ ウラン濃縮プラントの試験、運転実績を原型プラントの設計、建設、運転に反映した。
- ⑨ 約 250 名の濃縮プラント運転技術者を養成した。

〔 図 5.2-1 パイロットプラントの運転実績
図 5.2-2 核燃料サイクル確立に果たした役割 〕

5. 3 原型プラント

原型プラントの建設は 2 期に分けて実施し、第 1 運転単位（DOP-1）は 1988 年、第 2 運転単位（DOP-2）は 1989 年に操業運転を開始した。その後、プラントは順調な運転を継続し、1998 年 3 月には当初計画した 10 年間の連続運転で濃縮ウランを約 310 tU 生産した。引き続き、1998 年 4 月からは 3 年間の濃縮延長役務運転を行い、1999 年に DOP-2 が、2001 年に DOP-1 がその生産運転を終了した。この間、13 年間にわたり遠心分離機は連続運転を継続し、一般災害を含めノートラブルを達成した。

原型プラントの主な成果は以下の通りである。

（1）運転実績

役務契約に基づき、13 年間にわたり約 350tU の濃縮ウランを生産した。生産計画時の運転時間と運転の実績時間の比を示すホット稼働率は、当初 10 年の運転期間で 99.9%、設計役務処理能力と実役務処理量の比を示す設備利用率は 94.3%であり、当初計画値を上まわった。なお、ホット稼働率が 100%に至らなかった理由は、商用電源の停電によるものであった。

（2）高稼働率の達成に向けたプラント技術

① 遠心分離機製造要領書の作成

遠心分離機の回転性能、分離性能、長期安定性、安全性に問題ない製作公差を設定するとともに、経済性の観点からプロセス管理を主体とした品質管理要領を

策定した。

② プラント無停止増設技術の実証

DOP-1 生産運転中に DOP-2 設備の設置、各種試験及び配管類、取合信号等のつなぎ込みを実施し、既設プラントを停止することなく、プラント規模を拡大していく技術を実証した。

③ 無停止保守点検技術の確立

プラントの生産運転を停止することなく、設備・機器の保守や法定点検及び自主点検が安全にできることを 13 年間の連続運転で実証した。

④ プラント監視技術の高度化

プラント運転データを解析し、日常の設備巡視点検等でプラントの異常兆候を早期に認知する手法を確立した。

(3) 遠心分離機の運転実績（長期安定性）

遠心分離機の長期安定性を表す年平均の実効故障率は、当初の 10 年では DOP-1 で約 0.3%/年、DOP-2 が約 0.5%/年と当初計画値を満足した。また、全運転期間(13 年間)での評価は、DOP-1 が約 0.6%/年、DOP-2 が約 0.7%/年であった。

(4) 設備、機器の大型化及び合理化

発生・回収シリンダの大型化やウランをシリンダに直接回収する方式を採用し、パイロットプラントと比較するとUF₆ 取扱いエリアは約 1/5 に縮小され遠心分離機の分離性能の上昇による経済性の向上も含め、建設費は約 1/4 に低減できた。

(5) プラント運転技術のシステム化

① 運転監視技術の確立

プラントの異常診断手法として、圧力計のドリフト事象の検知や流量調節弁の詰まり事象を検知する異常診断システムを開発し、迅速な正常復旧操作を可能とした。

② 予防保全技術の確立

機器の故障がプラント全体に影響する主要な機器を対象に計測器を付加することで故障兆候の検知を可能とした。また、これらのデータを解析し、経済的な機器の定期点検の間隔と点検項目を設定することができた。

③ 制御・監視の高度化

製品濃縮度予測制御システムを開発し、製品濃縮度の変動巾を運転初期の約 50%以下に低減させることが可能となり、均質設備で計画していた製品濃度調整作業工程を不要とした。

(6) 回収ウラン原料による運転実績

回収ウランを原料として濃縮ウランを約 53tU 生産した。これにより回収ウラン原料の特徴であるシリンダ毎の濃縮度の違いに応じて、カスケードへの供給流量やカスケード圧力を変更し、所定濃縮度の濃縮ウラン及び劣化ウランを製造する運転制御法を実証した。

天然ウラン原料での生産時と比べると有意な被ばく量 ($0.1\text{mSv}/3$ ヶ月) を検出した運転員の数約 3 倍であったが、平均被ばく線量は $1.56\text{mSv}/3$ ヶ月で年間の許容被ばく量 $50\text{mSv}/\text{y}$ と比べると十分に低い値であった。

また、作業エリアでの空間線量は天然ウラン原料の約 2 倍であったが、通行制限を行うことで特段の設備等を設置する必要はなかった。

(7) 経済性の評価

原型プラントのコスト実績は、減価償却費が全体コストの $2/3$ を占めるいわゆる設備産業としての特徴を有している。設備投資、人件費等の項目毎にスケールファクターを設定して、プラント規模及び運転期間をパラメータとした役務生産コストを試算した。この結果、1981 年ウラン濃縮国産化専門部会での国産化目標値である $3,000\text{tSWU}/\text{y}$ のプラント規模でのコストは、原型プラントのコストの 40% 程度となる。この評価結果を持って、原型プラントに適用している技術が、現時点において経済的に国際競争力を持っていると評価することはできないが、原型プラントの実績により、商業プラントにつながる確かな経済的見通しを得るという所期の目標は達成することができたと評価できる。

図 5.3-1 原型プラントの運転実績

図 5.3-2 設備、機器の大型化及び合理化

図 5.3-3 DOP-2 遠心分離機の運転実績

図 5.3-4 回収ウラン原料による運転実績

図 5.3-5 原型プラントの役務生産コスト実績

図 5.3-6 役務生産コストの試算

5. 4 新素材胴遠心機

5.4.1 新素材高性能機

(1) 新素材高性能機の開発

新素材胴遠心機の開発では、高周速化に対応した上下部軸受、回転胴構造、モーター、駆動電源等は計画通り目標を達成した。しかし、新素材特有の粘弾性特

性の影響によって、遠心分離機の回転安定性に問題が生じ、開発は難航した。この粘弾性クリープの現象を解析して、その結果を材料及び形状に反映し、最終的に10年後の変形量まで考慮しても十分余裕のある回転胴の開発に成功した。

(2) 実用規模カスケード試験

本カスケードは、新素材高性能機の特性に合わせ、従来とは異なるカスケード構成を採用した。試験当初に遠心分離機製造上の品質管理の不具合による初期故障を経験した他は、遠心分離機の設計性能の実証、定常・非定常時のカスケード特性の把握及び遠心分離機信頼性の確認などの点で十分な成果をあげた。特に、遠心分離機の信頼性は約2年の運転期間において1台の故障遠心分離機も無く、将来の新素材胴遠心機時代の先駆けとなった。

5.4.2 高度化機

新素材高性能機と比べ高周速化及び長胴化が図られたことで、分離性能が約50%向上したが、回転胴下部部品の長期信頼性の課題が発生し、この課題を解決するには更なる開発期間を要することが判明した。一方で、高度化機と並行して開発が進められてきた先導機の開発に見通しが出てきたことから、原燃は先導機をベースとし、高度化機開発で得られた知見を反映して新型遠心機の開発に移行することとし、高度化機の開発は2000年度末で終了することになった。

5.4.3 先導機

国際競争力を有する先導機に必要な、高周速化及び長胴化の技術開発に続いて、これらの成果を集約した遠心分離機による分離試験を実施し、当初の目標分離性能の約90%を確認した。サイクル機構は、これらの開発成果を原燃に提供し、ウラン濃縮技術開発センターでの新型遠心機の開発に反映されることになった。

〔 図 5.4-1 実用規模カスケード試験の成果
図 5.4-2 新素材胴遠心機の性能推移 〕

6. 研究開発費用及び要員

本プロジェクトが1972年にナショナルプロジェクトに指定されて以来2001年までの期間に要した研究開発費（民間からの借入金、電気事業者10社からの出資金を含む）及び要員（職員のみ）は、約3,250億円と約5,400人年である。なお、これらを技術開発期間毎にまとめると以下のとおりである。

	金属胴遠心機 の開発	パイロットプラント 原型プラントの 技術開発	新素材胴遠心機 の開発	合 計
開発費	約 710 億円	約 2,030 億円	約 510 億円	約 3,250 億円
人 員	約 1,300 人年 平均 90 人/年	約 3,000 人年 平均 130 人/年	約 1,000 人年 平均 70 人/年	約 5,400 人年 平均 180 人/年

7. 成果の普及及び公開について

1982 年の「原子力開発利用長期計画」の方針に沿ってウラン濃縮国産化の民間事業化のため、1985 年に事業主体である原燃と「ウラン濃縮施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定」及び「技術協力の実施に関する協定」を締結するとともに、2000 年にはそれらを全面改定した「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」を締結し技術移転を進めてきた。

サイクル機構から原燃への技術移転は、技術者の出向・移籍、技術資料の提供、原燃技術者のサイクル機構への受入れ研修、業務の受託、研究施設の共同利用（共同研究の実施）などの方法により進められた。

主要な実績並びに外部発表及び工業所有権について以下にまとめた。

（1）原燃への技術支援実績

項 目	件 数
出向派遣	延べ 68 名（累計 338 人年）
移 籍	20 名
研修生の受入れ	累計 187 名
技術資料の開示	約 22,500 件 ○原型プラント設計図書 ○品質管理要領書 ○先導機開発資料 他
支援受託件数	348 件 ○設計支援（RE-1 プラント詳細設計の支援） ○建設、運転準備支援（保障措置、許認可申請 他） ○運転支援
共同研究	○新素材高性能機の開発 ○高度化機の開発 ○滞留ウラン除去及び回収技術の開発 他

(2) 外部発表及び工業所有権

項 目	件 数	備 考
国内学会	122 件	原子力学会、核物質管理学会、報告と講演の会 他
国際学会	55 件	IAEA との開発発表を含む
投稿・寄稿	78 件	原子力年鑑、原子力 eye、電気評論 他
表 彰 等	23 件	科学技術庁長官賞 日本原子力学会賞 理事長表彰
社内技術資料	約 145,000 件	
工業所有権	国内 143 件 国外 13 件	特許及び実用新案

8. まとめ

- (1) ウラン濃縮技術の開発には、我が国の原子力政策を進める上での重要な技術課題の一つである、ウラン濃縮技術を自主技術により開発し、自主的核燃料サイクルを確立するという、明確な目的・意義があった。
- (2) サイクル機構は、事業化を達成するために必要な技術を開発し、原型プラントでの 13 年間の連続かつノートラブルで運転を完遂してその技術的及び経済性を実証するとともに、その成果を原燃六ヶ所ウラン濃縮工場に技術移転し、事業化を図ることが出来た。
- (3) 基礎的研究から大規模のプラントの運転まで、長期に渡る技術開発を計画的に行うことができた背景には、ナショナルプロジェクトとして、産・学・官の協力の下、サイクル機構がプロジェクトの全期間を通じて、一貫して、技術の評価・調整・集約ができる技術集団として、その中核組織としての機能を果たしてきたことが上げられる。
- (4) 原型プラントの計画段階と比べ国際的な供給過剰及び為替レートの円高傾向等により、国際市場で競争力を持つには、厳しい状況になっている。このような状況に対応するため、原燃は、昨年 11 月にウラン濃縮技術開発センターを設立した。これに合わせ、サイクル機構は、先導機に関する技術情報を原燃に提供するとともに、サイクル機構の開発要員を派遣して原燃による新型遠心機の開発を支援している。このような開発の一元化体制は、開発成果を適宜プラントに導入できる濃縮事業の特徴に合った体制と考えられる。

以 上

図1.1 ウラン濃縮技術の開発ステップ

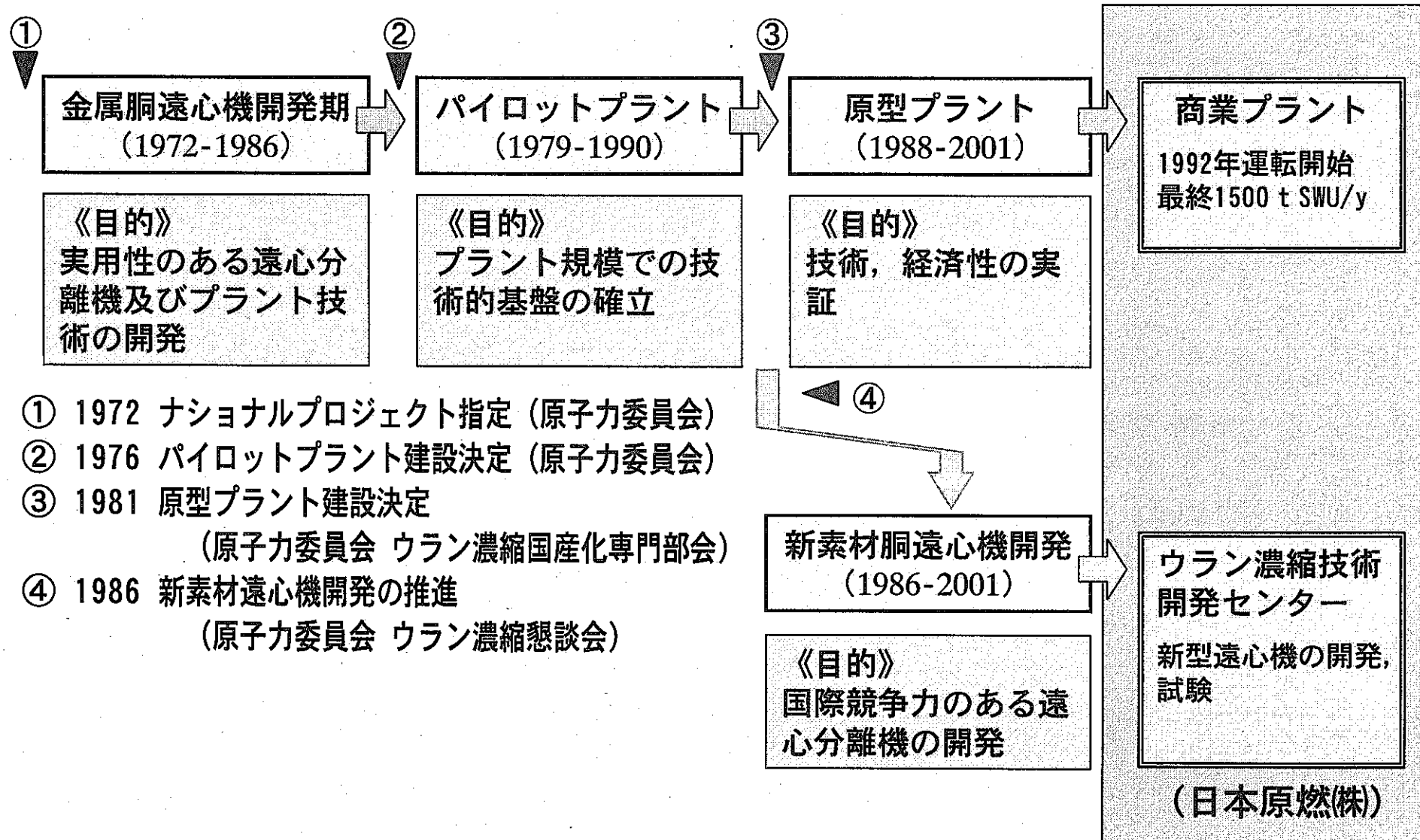


図3. 4-1 新素材胴遠心機の開発計画(1/3)

新素材高性能機の開発工程

内容\年度	'81～	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
(1) 要素開発	軸受, モーター, その他												
(2) 回転性能	耐アンバランス性能, 回転安定性												
(3) 安全工学	耐震試験, 遠心機破壊試験												
(4) 分離流動	基本特性の把握					プラント適合化							
(5) ブロック試験		構造最適化				カスケード試験							
		基本特性試験											
(6) 実用規模カスケード試験								起動試験, ホット定格試験, 非定常特性試験					
	← 共同研究 →												

図3.4-1 新素材胴遠心機の開発計画(2/3)

高度化機の開発工程

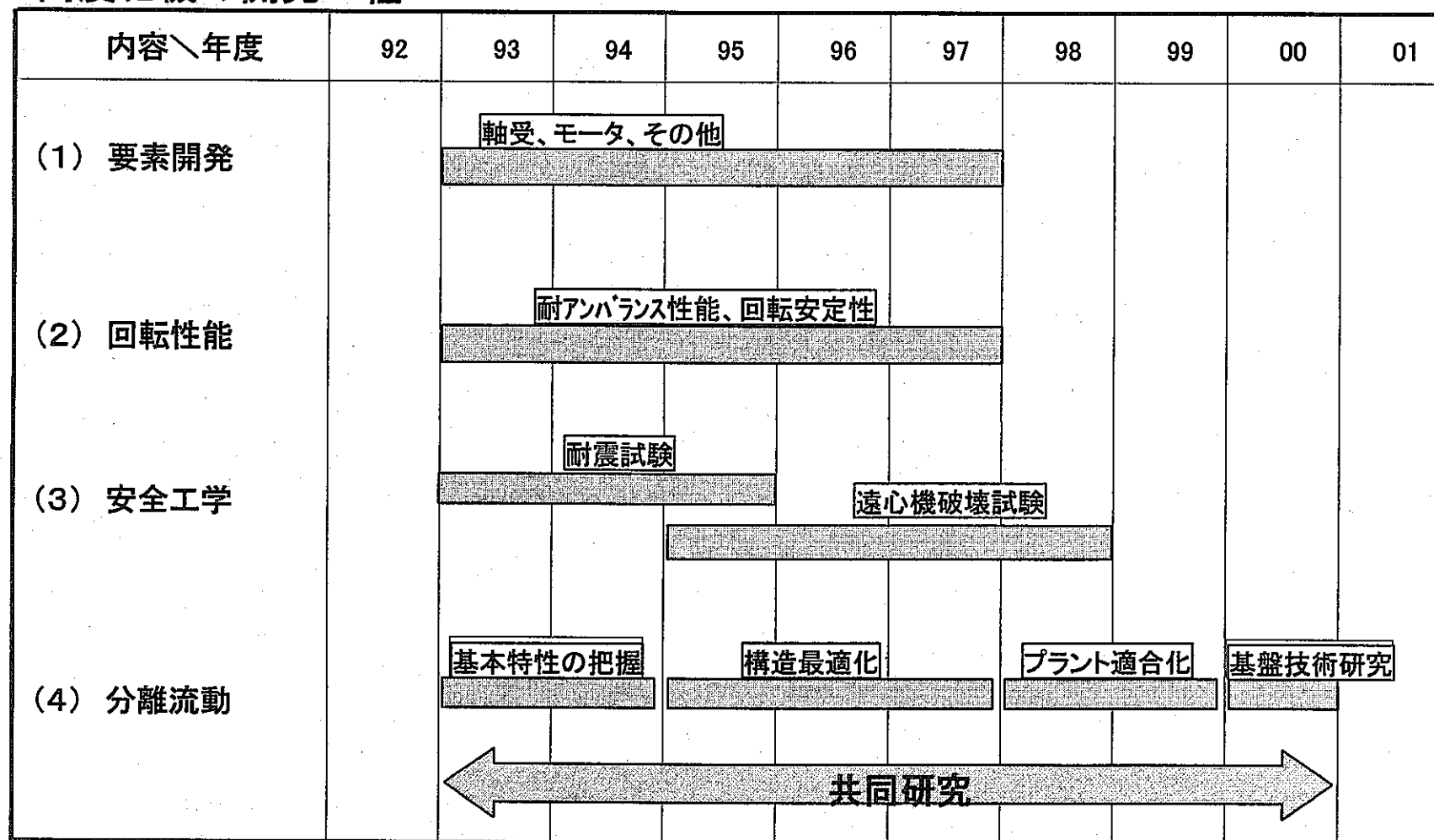


図3.4-1 新素材胴遠心機の開発計画(3/3)

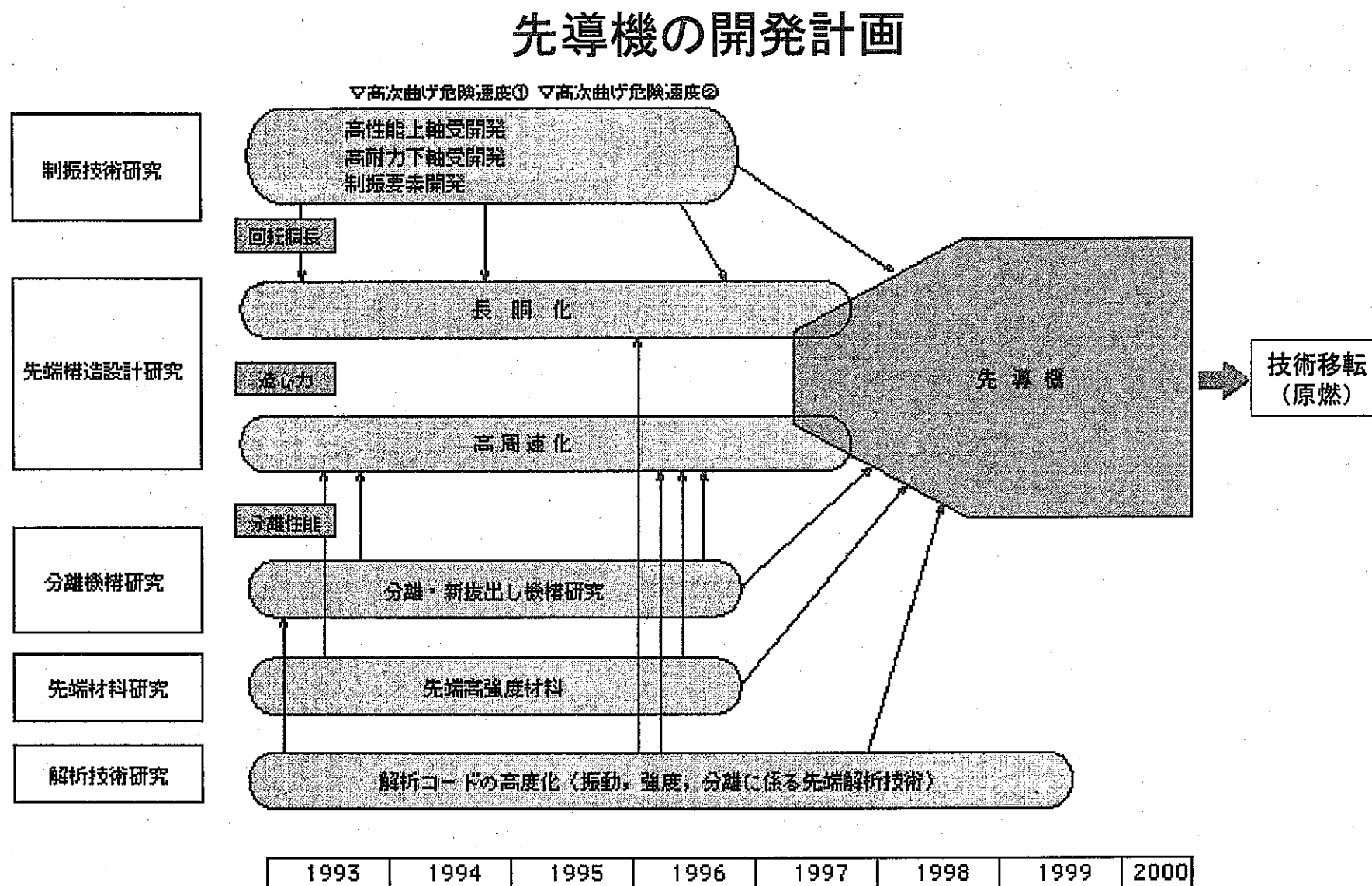
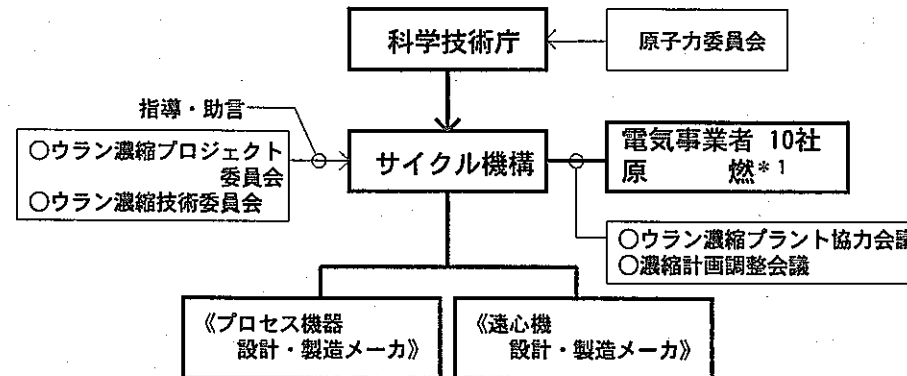
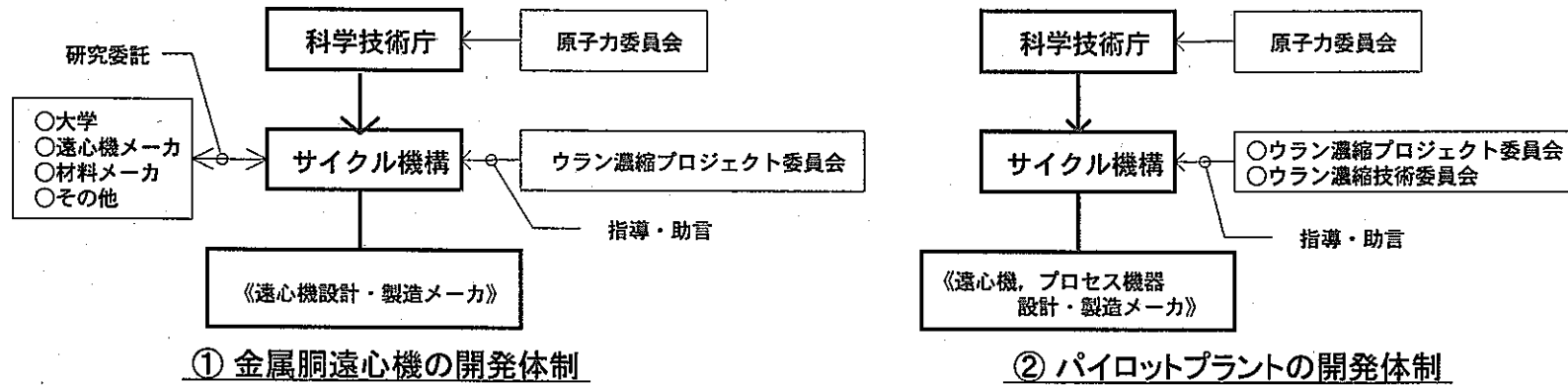


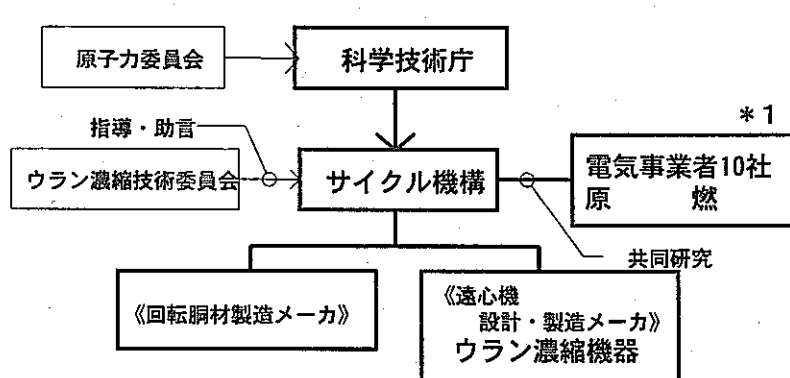
図4.1 遠心分離機の研究開発体制(1/2)



* 1 「ウラン濃縮施設の建設、運転等に関する技術協力基本協定」及び「技術協力の実施に関する協定」を締結 (1985)

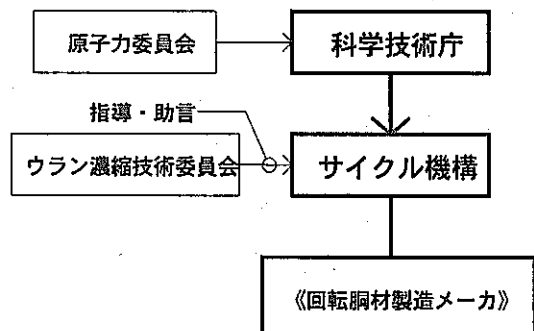
③ 原型プラントの開発体制

図4.1 遠心分離機の研究開発体制(2/2)

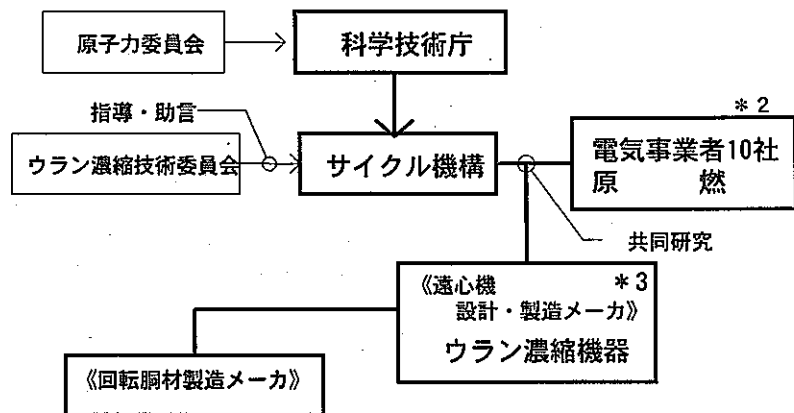


* 1 「遠心分離法ウラン濃縮技術の研究協力に関する協定」を締結（1986年）

④ 新素材高性能機の開発体制



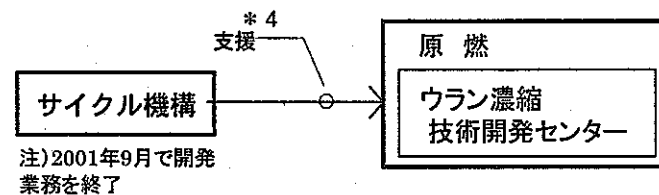
⑥ 先導機の開発体制



* 2 「遠心分離法ウラン濃縮技術の研究協力に関する協定」を締結（1993年）

* 3 日本原燃㈱も資本参加して原燃マシナリーに改組（1998年）

⑤ 高度化機の開発体制



* 4 「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」を締結（2000年）

⑦ 新型遠心機の開発体制

図5.1-1 金属洞遠心機性能の推移

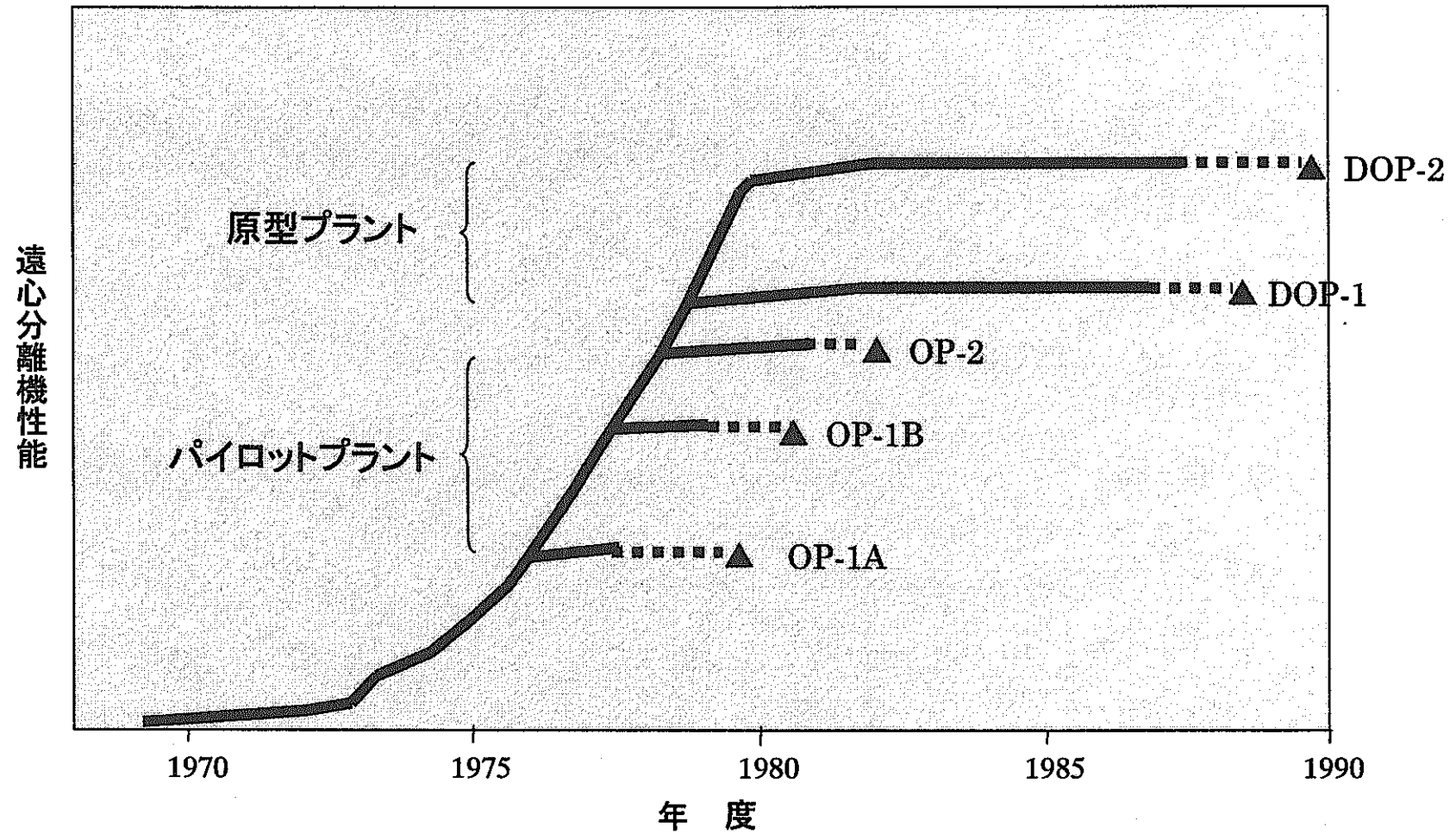


図5.2-1 パイロットプラントの運転実績

内容\年度	1979	1980	1981	1982	～	1986	1987	1988	1989
OP-1									
OP-2									
【各種試験】									
1) カスケード起動試験									
2) ホット定格試験									
3) 非定常特性試験									
4) 回収ウラン再濃縮試験									

- 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51tU 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地歩を固めた

図5.2-2 核燃料サイクル確立に果たした役割

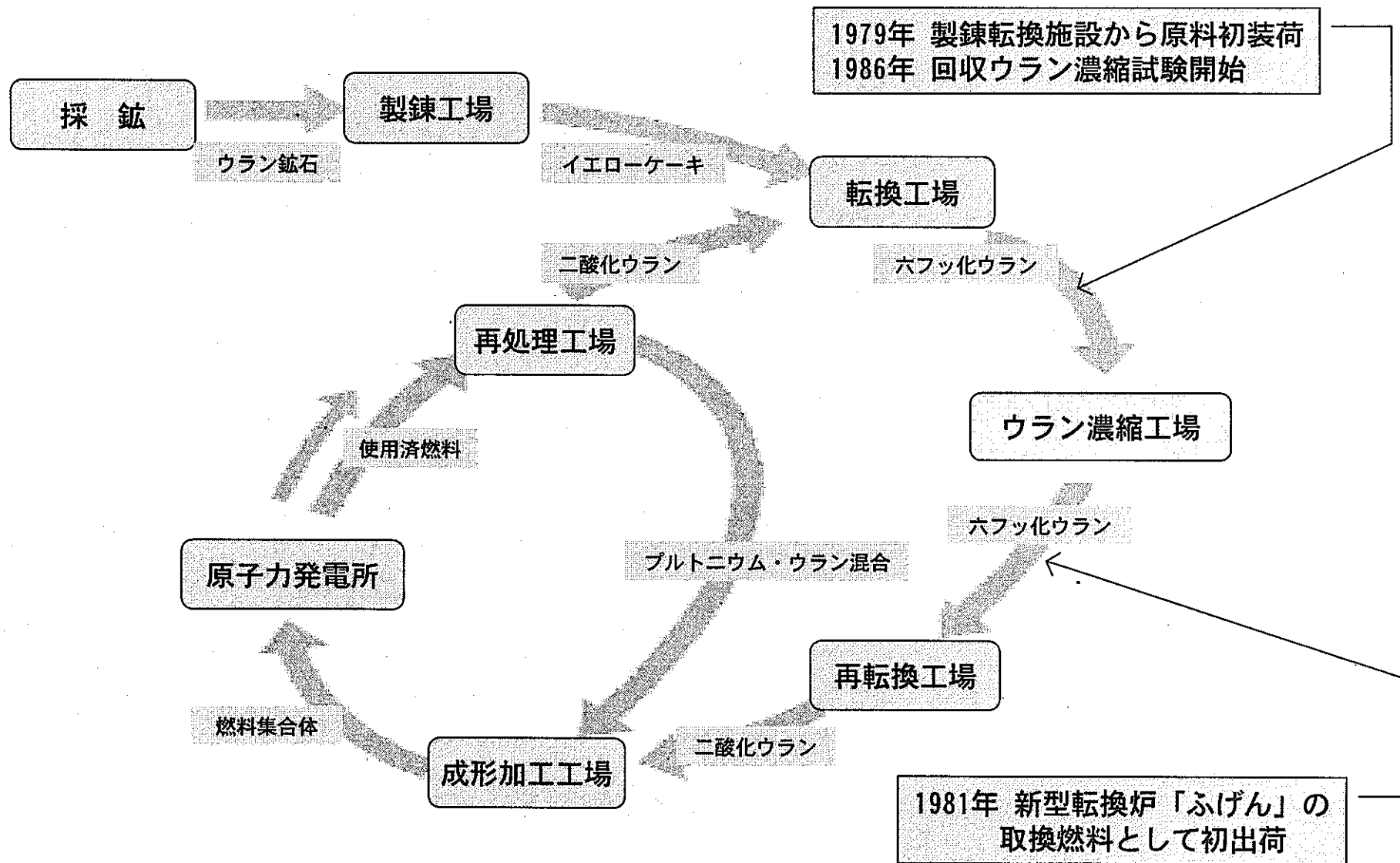
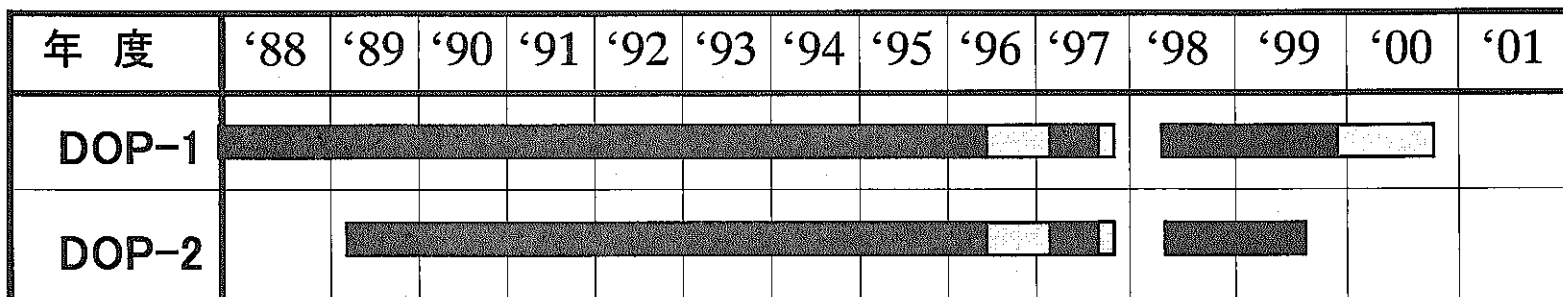


図5.3-1 原型プラントの運転実績



■ 天然ウラン原料

□ 回収ウラン原料

ホット稼働率 99.9% 設備利用率 94.3%

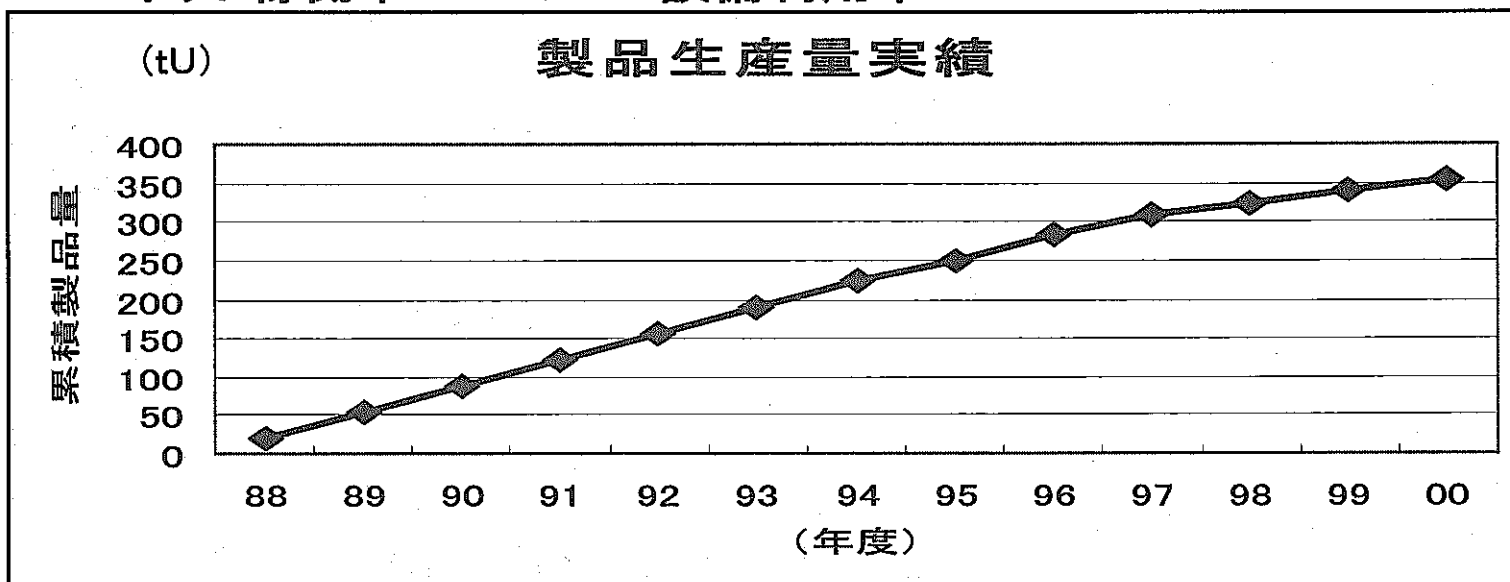
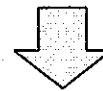


図5.3-2 設備、機器の大型化及び合理化

○経済性の向上

○大型プラントへの実証

内 容		パイロットプラント		原型プラント
大型化	原料・廃品シリンダ	30B (2.1tUF ₆)	約6倍 →	48Y (12tUF ₆)
	製品コールドトラップ	0.2tUF ₆	約10倍 →	2 tUF ₆
	廃品コールドトラップ	2 tUF ₆	約3倍 →	6 tUF ₆
合理化	ウランの回収方式	コールドトラップ方式		直接回収方式(シリンダ回収方式)
	遠心機駆動方式	起動用+定格用		起動用と定格用を兼用
	コールドトラップ冷却装置	集中型(全コールドトラップ)		分散型(コールドトラップ毎)
	機器運転操作場所	中央操作室、現場操作室、機側		中央操作室、機側



UF ₆ 取扱いエリア	54m ² /tSWU/y	約1/5 →	10m ² /tSWU/y
建設費	11.6億円/tSWU/y	約1/4 →	2.8億円/tSWU/y

図5.3-3 DOP-2遠心分離機の運転実績

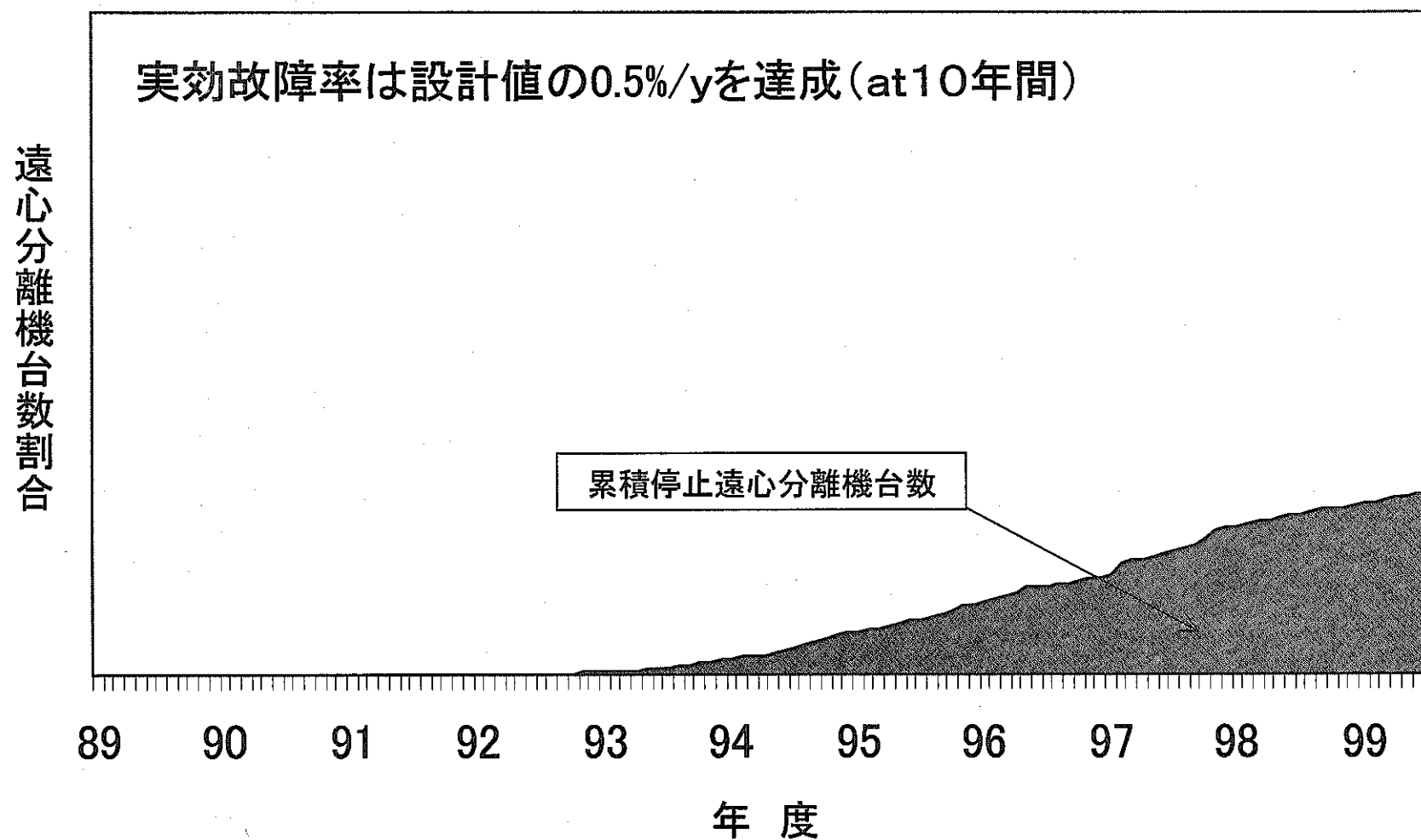


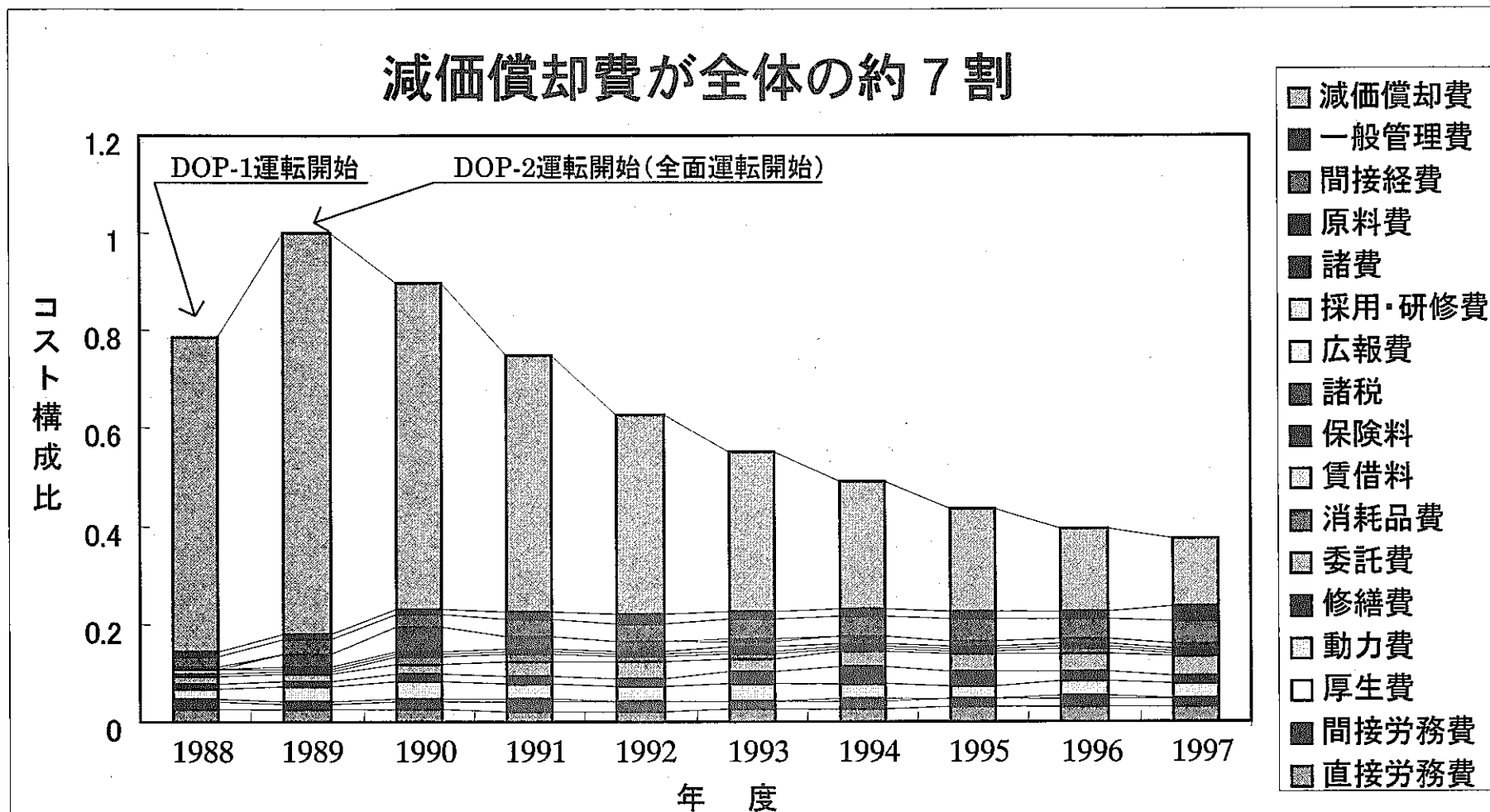
図5.3-4 回収ウラン原料による運転実績

内 容		天然ウラン原料使用時	回収ウラン原料使用時
被ばく量 ^{*1}	0.1mSv／3ヶ月以上の検出者	4人／16人中	11人／16人中
	検出者の平均線量	0.38mSv／3ヶ月	1.56mSv／3ヶ月
空間線量 ^{*2}	発生回収室エリア	0.45～0.88 μ Sv／h	0.9～1.3 μ Sv／h
運転制御方法		—	○多成分コードの構築 (U²³²・234・235・236・238) ○原料濃縮度の変化に対応した制御方法の確立
被ばく管理方法		—	○シリンダ槽廻りの作業者をローテーション化して被ばく量を低減化

*1 年間許容被ばく量 50mSv／y

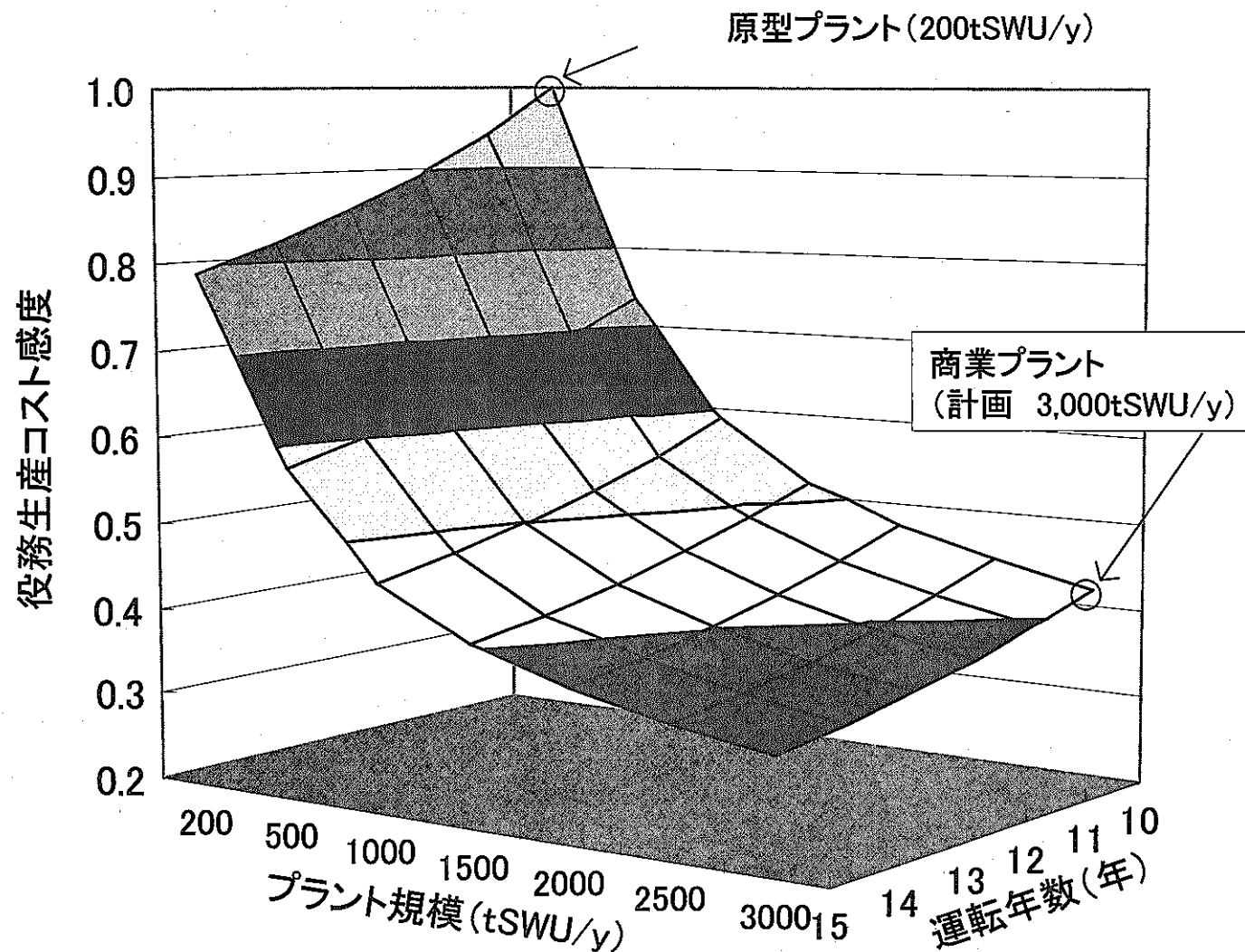
*2 作業環境管理基準 5.95 μ Sv／h

図5.3-5 原型プラントの役務生産コスト実績



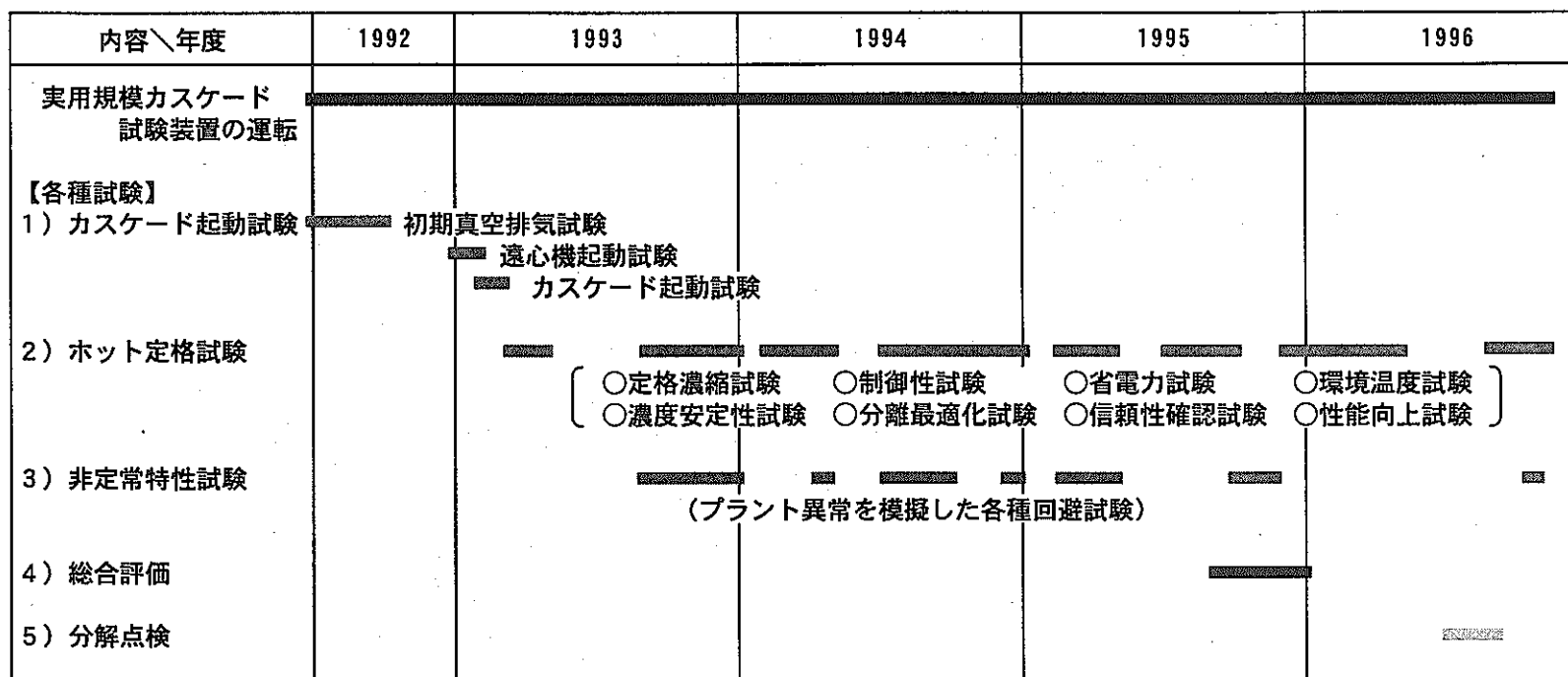
注) 原型プラントが全面運転開始した1989年度を1とした場合の比率で表した。

図5.3-6 役務生産コストの試算



*1 1981年ウラン濃縮懇談会報告における
将来の商業プラント規模計画値

図5.4-1 実用規模カスケード試験の成果

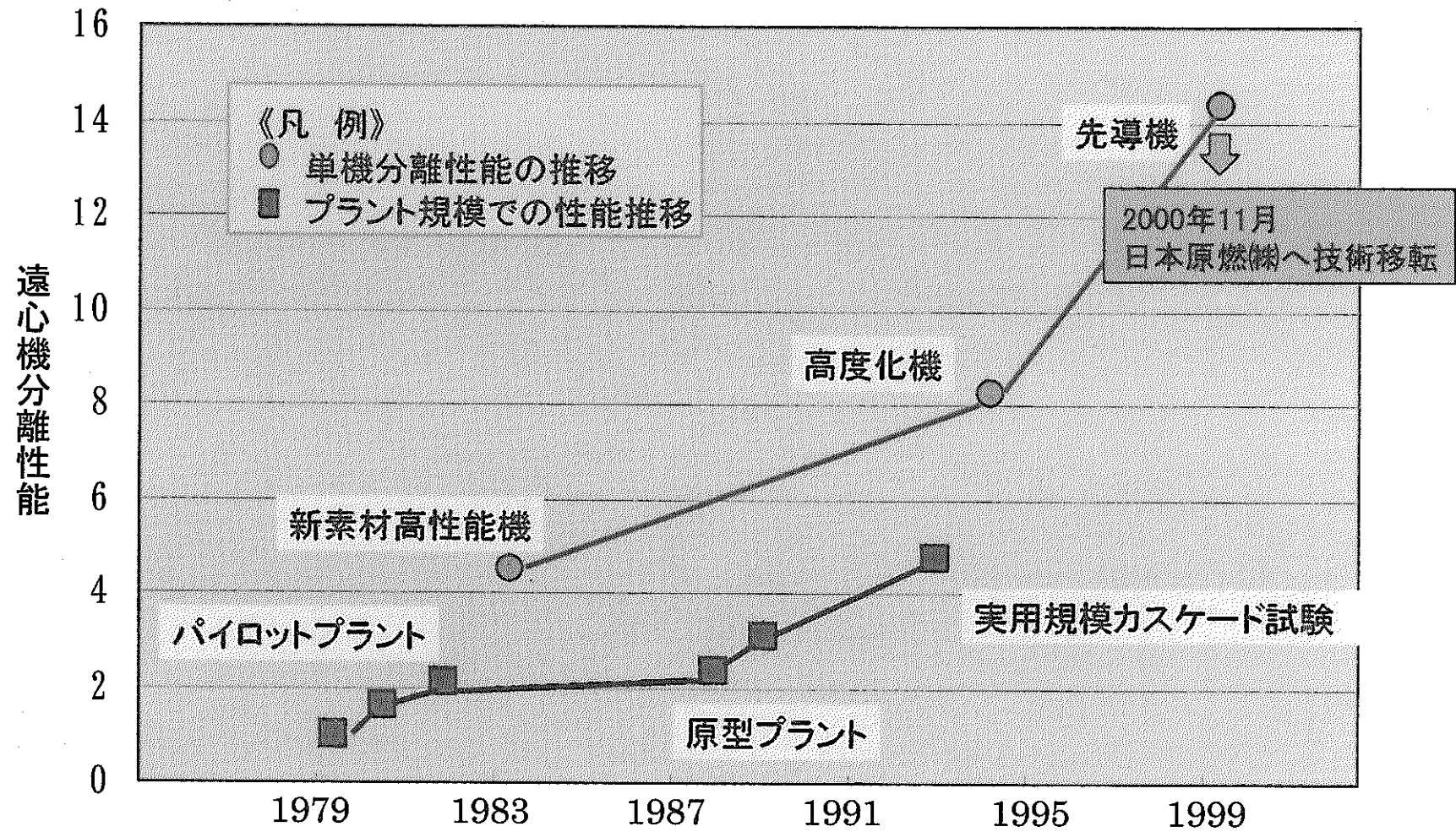


○新素材高性能機の長期信頼性を実証

○カスケード起動試験, ホット定格試験及び非定常特性試験により,
カスケード運転技術の実証

○ホット運転時間実績 約2年間で故障台数 0台

図5.4-2 新素材胴遠心機の性能推移



注) 遠心分離機分離性能はパイロットプラントのOP-1Aを1とした場合の比率で表した。

ウラン濃縮技術開発

平成13年7月

(平成13年9月改訂)

核燃料サイクル開発機構

目 次

I. 補足追加説明

- 1. 遠心分離機の開発期間及び開発期間の短縮化……………補- 3
- 2. 新素材胴遠心機の開発経緯と各機種 of 技術成果……………補- 3
- 3. 金属胴遠心機の停止原因について……………補- 4

II. 添付図

- 図 1 遠心分離機の開発期間……………補- 6
- 図 2 新素材胴遠心機の開発経緯……………補- 7
- 図 3 金属胴遠心機の停止原因調査……………補- 8
- 図 4 遠心分離機回転胴の観察結果……………補- 9
- 図 5 ウラン化合物の付着メカニズム……………補-10

1. 遠心分離機の開発期間及び開発期間の短縮化

遠心分離機の基本的な構造は、パイロットプラントに導入された OP-1A 機までに確立された。以降の遠心分離機開発は、経済性の向上を図るべく、この基本構造をベースに、高周速化及び長胴化した新機種の開発を繰返してきた。

新機種の開発には、必要な技術開発を開始してから、実用化の見通しをつけるまでにおよそ約 10 年程度が必要と見込まれる。開発期間としては、大きく単機開発とカスケード試験・遠心分離機信頼性確認の期間に分けられる（図 1 参照）。

実際の開発期間は、開発機種のブレイクスルー技術の難易度等で変わり、回転胴材料を金属から新素材に変わった時、新規の技術課題が発生した時等は開発期間が長期化した。

開発期間を短縮する方法としては、以下の方法が考えられる。

URENCO ではリードカスケードと称し、開発した機種をプラントの一部に導入し、実用化を評価・検討する方策を採用している。最近も 1980 年代末から 1990 年代に開発した TC-21 機（第 6 世代機）を昨年リードカスケードに導入し、数年後に商用化の判断をするとの報道があった。（Nuclear Fuel May 28, 2001）

また、プラントへの導入を早める方策として、複数の機種を並行開発することも有効であった。我が国の金属胴遠心機や URENCO での新機種開発ではこの方法が取られていた。これは、遠心分離機の開発が、従来までの開発成果を基に連続的・継続的に開発が進められてきたことによる。

2. 新素材胴遠心機の開発経緯と各機種の技術成果

更なる経済性の向上を図るためには、金属胴遠心機で用いる金属の強度では周速の向上が限界となってきたことから、軽くて強度がある新素材を回転胴材料として採用することとなった。

新素材胴遠心機は、まず、金属胴遠心機の基本的な設計思想をベースに新素材高性能機が開発された。新素材高性能機を開発するにあたっての基本的な考えは、金属胴遠心機の開発成果を最大限に踏襲し、新素材の遠心分離機の回転胴材料としての実用可能性を実証することを主眼とした。この結果、新素材特有の粘弾性特性を加味した設計及び製造技術、事故波及の防止策等を確立し、また、実用規模カスケード試験で長期信頼性の確認、カスケード制御法を確立するなどして、新素材胴遠心機の実現可能性を実証した。

高度化機は、これをベースに、長胴化・高周速化し、長胴化するための制振方法の改良、量産性の向上等を図った。しかしながら、新しく採用した回転胴下部の金

属材料に長期信頼性の課題が判明した。

先導機は、1989年の原子力委員会ウラン濃縮懇談会報告書に基づき、具体的な遠心分離機を開発ターゲットにするのではなく、将来の遠心分離機の開発に必要な予め確認すべき事項の実証、要素技術の開発等を目的に開始された。この結果、更なる高周速化でも遠心分離法が成立することを確認し、また、長胴化の方策として、新素材高性能機と高度化機の特性を併せ持つ方法を考案した。その後、これらの成果を集約し、先導機として集約していった。

この結果、高度化機は、長期信頼性の技術課題から開発期間が長期化し、一方、先導機も同様な技術課題があったものの実績ある材料に交換したことから、現段階では、両機種の間、今後実用化までの開発期間に大きな差がなくなっている。このため、開発センターにおける将来機は、先導機をベースに開発が進められると聞いている（図2参照）。

3. 金属屑遠心機の停止原因について

DOP-2 遠心分離機は、運転開始から4年経過した頃より遠心分離機回転数が定格回転数を維持できずに低下する事象（以下、「すべり機」という。）が発生した。

機械損を測定した結果、一部の遠心分離機に機械損（遠心分離機回転体の負荷により軸受等に発生する損失）が増加していた。この機械損は運転時間に比例して増加すること、及び機械損が一定値に達するとすべり機となることが判明した。

機械損の増加要因としては、回転体へのウラン化合物の付着が考えられたため、半導体（Ge）検出器を用いて遠心分離機内部に存在するウラン化合物を定量的に計測する手法を開発した。その結果、遠心分離機回転体下部でのウラン化合物の存在が確認された。また、ウラン化合物と機械損の関係は、ウラン化合物が一定量を超えると機械損が増加するグループと、ウラン化合物の付着量は増加するものの、機械損は増加しないグループに分かれることが分かった。

このことから、付着したウラン化合物のはく離等により回転体がアンバランスになった場合に機械損が増加すると推定された（図3参照）。

回転体の金属材料表面保護皮膜と UF_6 との反応が発生している可能性があることから、保護皮膜の構造をFIB（Focused Ion Beam）を用いて分析した結果、保護皮膜は2層構造になっており、表面に柱状結晶層が形成され、その内側に粒状結晶層が存在していた。

DOP-2 遠心分離機と基本仕様が同じで、ホット運転時間が約9,000時間の遠心分離機から採取した試料の断面構造例を図4に示す。材料表面に黒く見える部分はウ

ラン化合物で、表面保護皮膜は 2 層構造を保った状態で存在しているが、XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy) による表面から深さ方向の元素推移分析では、ウランが材料表面だけでなく保護皮膜内部に拡散していることが確認された(図 4 参照)。

これらの分析結果等から表面保護皮膜表面へのウラン付着メカニズムは、 UF_6 が柱状結晶層粒界面を拡散し、内部の母材金属と接触し UF_5 に還元される。さらに拡散してきた UF_6 と UF_5 が接触することでフッ素の交換反応が起こる。この交換反応により UF_6 は次々と UF_5 に還元され、粒界面は UF_5 で満たされ保護皮膜表面上に到達し、クラスタを形成する。このクラスタがある程度の大きさになると、遠心力によりクラスタがはく離される。このように、クラスタの生成、はく離の繰返しによって遠心分離機内部のウラン化合物の付着量が徐々に増加していくと推定される(図 5 参照)。

現在、日本原燃(株)とサイクル機構で停止遠心分離機の分解調査を行っており、上記の一つの推定の妥当性を含め、停止原因を明らかにしていくこととしている。

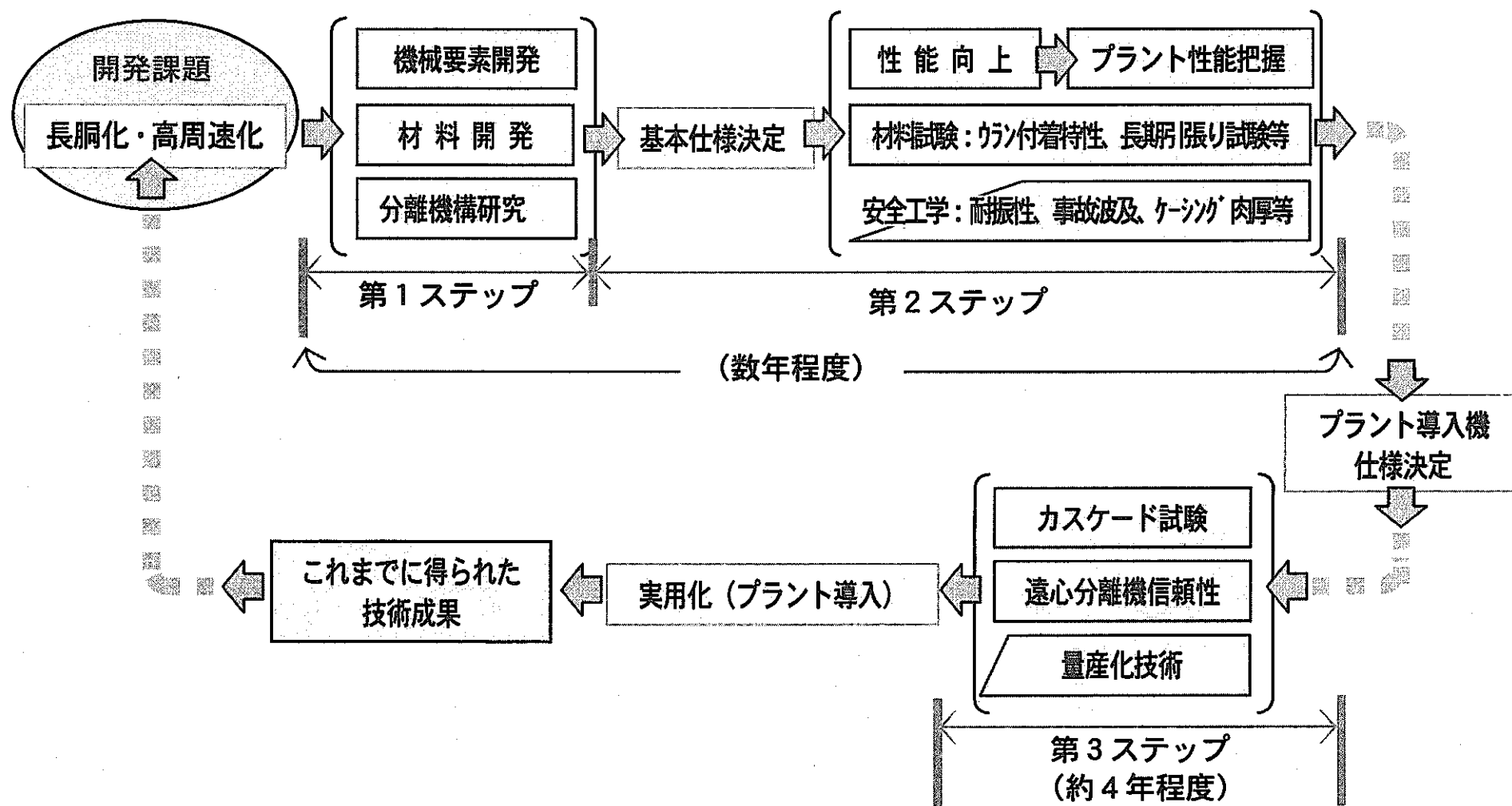
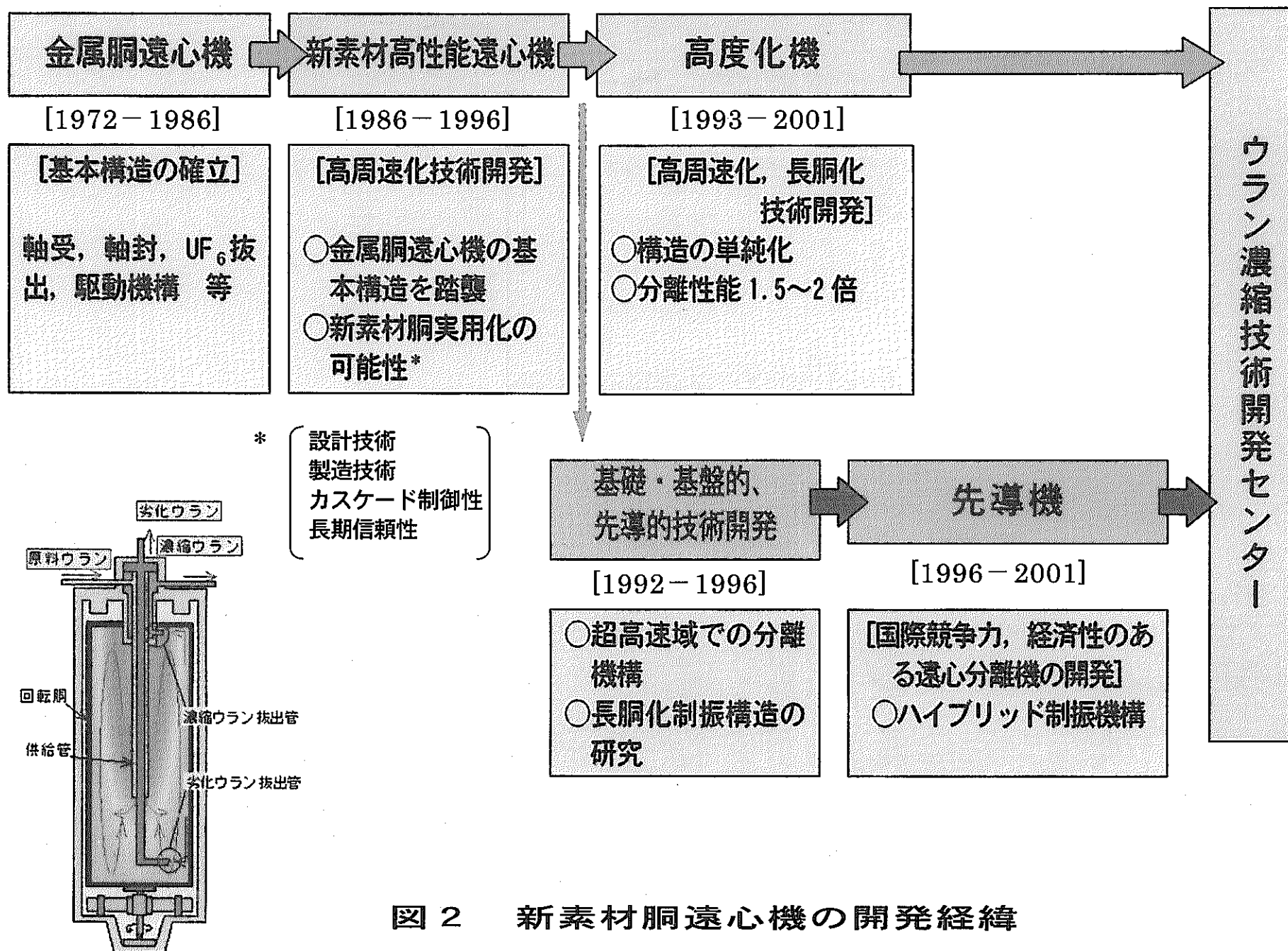
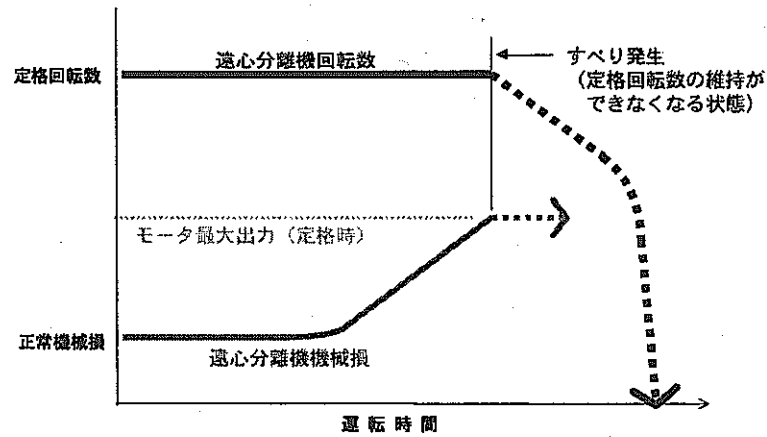


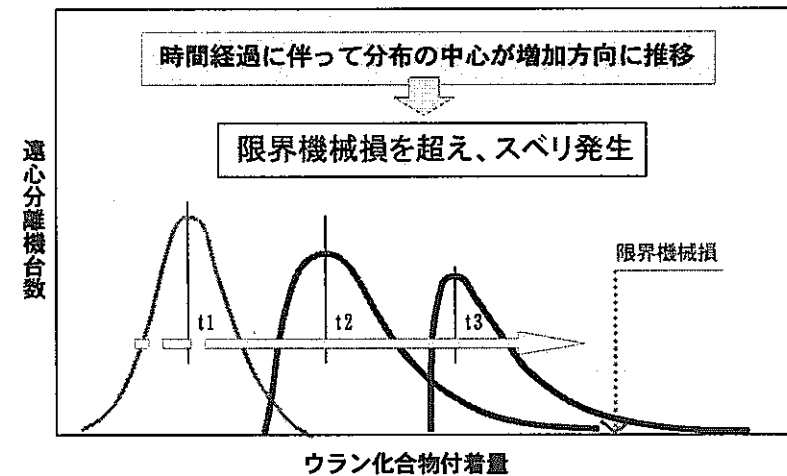
図 1 遠心分離機の開発期間



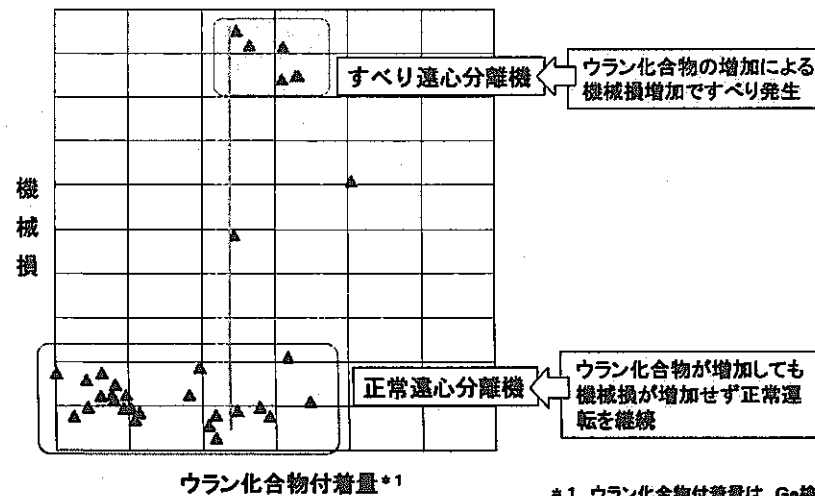
①停止遠心分離機の機械損失と回転数の関係



機械損があるレベル (モータ最大出力) を超えると定格回転数の維持が困難となり停止に至る

② γ 線測定による付着量の変化の概念

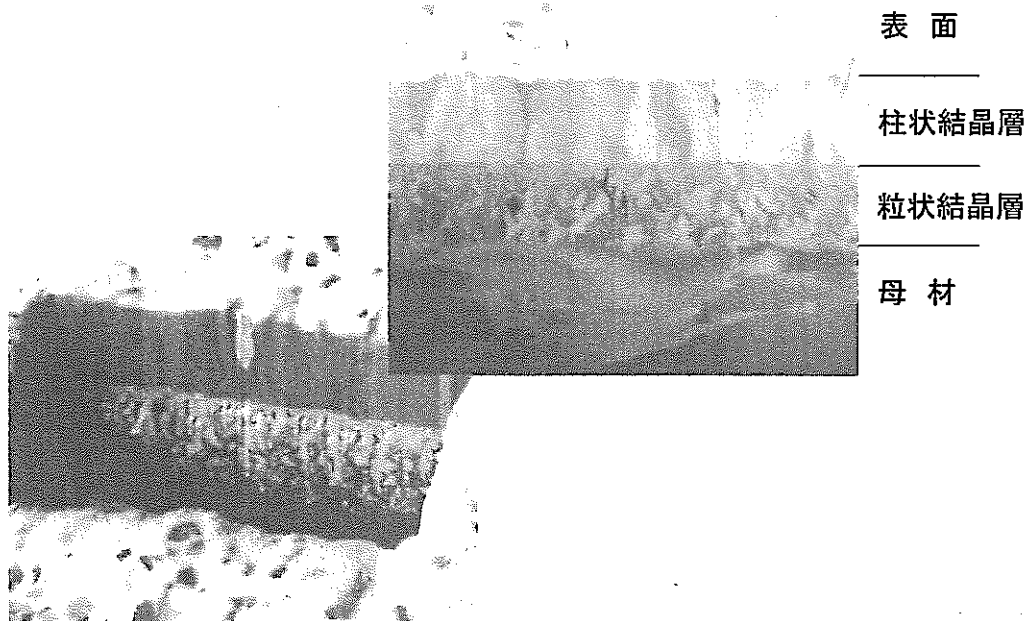
③遠心分離機機械損とウラン化合物付着量の関係



*1 ウラン化合物付着量は、Ge検出器による γ 線計測結果より推定した。

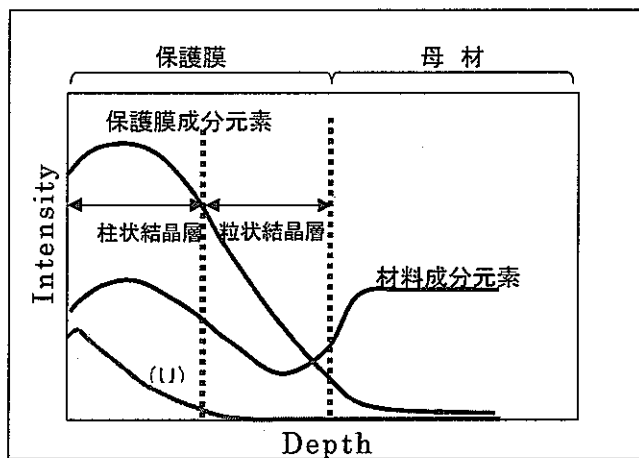
図3 金属胂遠心機の停止原因調査

回転胴材料の断面観察結果



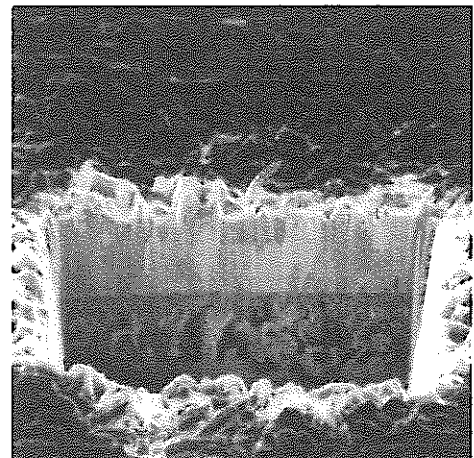
保護膜深さ方向分析

XPS (Depth)



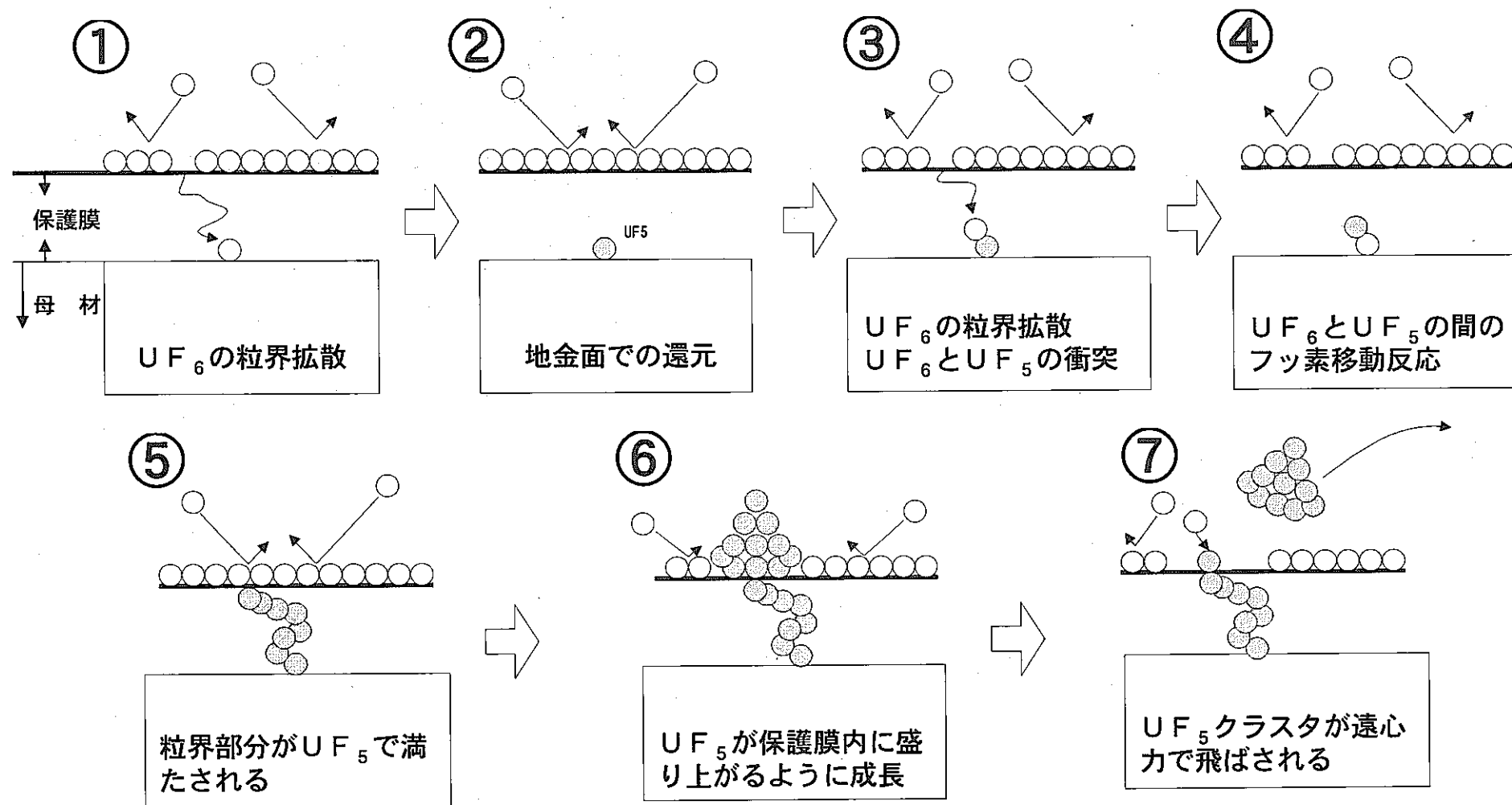
ウランが保護膜内部へ拡散

FIB (断面構造)



保護皮膜は2層構造を保つ
(ホット運転時間約 9,000 時間)

図 4 遠心分離機回転胴の観察結果



[参考文献]《著者：矢戸弓雄》《掲載誌：Journal of Nuclear Science and Technology 1996.OCT》

《タイトル：Uranium Isotope Exchange between Gaseous UF_6 and Solid UF_5 》

図 5 ウラン化合物の付着メカニズム

ウラン濃縮技術開発

【用語の説明】

ウラン

陽子数（原子番号）が 92 の元素。天然ウランの同位体としては、ウラン 235 が約 0.7%、ウラン 238 が約 99.3%、そのほかウラン 234 等が微量含まれている。軽水炉の燃料として主に核分裂を起こすのはウラン 235 である。

ウラン濃縮技術

天然ウラン中にウラン 235 は約 0.7%しか含まれていないが、軽水炉において効率よく核分裂を継続させるためには、ウラン 235 の割合を 3~5% にまで高める必要がある。このウラン 235 の割合を高めることをウラン濃縮という。

ウラン拔出管

遠心分離機回転胴内の UF_6 を拔出す管である。

遠心分離法

遠心分離法は、超高速で回転する円筒の中に、ガス状の六フッ化ウランを流す。そうすると、遠心力によって筒の外側には重いウラン 238 が集まり、内側には軽いウラン 235 が集められる。一回で濃縮される割合はごくわずかなので、いくつもの遠心分離機の中を通過して徐々に濃縮度が高められる。

遠心分離機

一つのケーシングに一つの回転体を組込んだ機械で、 UF_6 ガスを円筒状の回転胴に導き、これを回転させて遠心力により分離する機械。

OP-1

ウラン濃縮パイロットプラント（現、濃縮工学施設）第 1 運転単位を示す。第 1 運転単位には、OP-1A 及び OP-1B 遠心分離機を有していた。

OP-2

ウラン濃縮パイロットプラント（現、濃縮工学施設）第 2 運転単位を示す。第 2 運転単位には、OP-2 遠心分離機を有していた。

回収ウラン

使用済核燃料を再処理することにより、回収されたウラン。軽水炉の場合、使用済燃料中のウラン 235 の比率は、1%程度である。

核燃料サイクル

原子力発電はウランを”燃やした”(核分裂という)ときにでる熱を利用して発電する。ウランを燃やすと、熱と放射線がでて、後には燃え残りのウランや新しくできたプルトニウム、燃えカス(専門用語では核分裂生成物という)が残る。燃え残ったウランや新しくできたプルトニウムは、繰り返し燃料として使う。

核燃料サイクルとは、ウラン燃料が製錬→転換→濃縮→再転換→加工→発電→再処理(回収ウランやプルトニウムの再利用)のように輪になっていることから呼んでいる。

カスケード (Cascade)

ウラン 235 を濃縮する場合、1回の濃縮工程で濃縮される割合はわずかなため、濃縮要素を何段もかさねないと目的とする軽水炉燃料級の濃縮度が得られない。たとえば、一つの濃縮要素から供給された天然ウランの半分が濃縮されて出てくることを仮定した場合、次の濃縮要素に入れて濃縮する作業を繰り返すと、最終的に出てくる軽水炉燃料級の濃縮ウランは、供給した天然ウランの約 10^3 分の 1 (遠心法) $\sim 10^{150}$ 分の 1 (ガス拡散法) の量に減少する。これはウラン 235 が減少したウラン(減損ウラン)を捨ててしまうからで、この減損ウランを別の濃縮要素でもとの濃度まで濃縮して、再び原料として供給してやればよく、濃縮要素を組合わせて、この操作を行えるようにしたのがカスケードで、供給した天然ウランの 5~10 分の 1 の濃縮ウランを得ることができる。

カスケードには、上流段の濃縮度が全く同一となるアイデアルカスケード、各段毎の流量を同一にしたスケアカスケード及びスケアカスケードの各段を小さくし、アイデアルカスケードに近づけたステップカスケードがある。

カスケード設備

濃縮プラントの中心設備で、遠心分離機をカスケード(滝が流れ落ちる

様子の意味) 状に多数台配置した設備。

核拡散防止に関する国際条約

核兵器を保有していない国が新たに保有国となることを防止し、原子力平和利用を担保することを目的とした国際条約。1968年6月に国連総会で決議され、1970年3月5日に発効した。その25年後の1995年5月に「条約の無期限延長」が決定された。日本は1970年2月に調印、1976年6月に批准した。

ガス拡散法

気体の同位体混合物は多孔質壁を通して拡散させられる。この時、軽い分子は重い分子より速く多孔質壁を通過する性質を利用して濃縮する。

原料濃度

カスケード等に供給される原料用ウラン 235 濃度で、通常天然ウランの濃縮度をさす。

減損域

カスケードにおいて、フィード段よりテイル側の段をいう。

計量管理と査察

核物質が核兵器に転用されていないことを保障するために「計量管理」と「査察」が実施される。「計量管理」は事業者の責務であり、核物質の保有量、使用量を正確に測定・記録し国や IAEA に報告する。「査察」は国や IAEA の査察官によって実施され、計量管理が正しく行われていることを確認するため、実際に施設に立入って計量管理記録や核物質量を検査する。

国際原子力機関 (IAEA)

国連によって作られた政府間機関であり、原子力の平和利用を推進すると同時に、核拡散防止のための検証活動を行う国際的中央機関。

コールドトラップ (CoT、CT)

フreon等の冷媒を用いて固体化捕集するための容器で UF_6 の捕集に使用する。

コールド状態 (コールド運転)

UF_6 ガスが入っていない状態 (主としてカスケードまたは遠心分離機に用いる)。

コールド定格

コールド状態において遠心分離機が定格の周波数で運転されている状態。

高周波電源

遠心分離機を駆動するための電源設備でインバータ装置、電源分電盤等で構成する。

国際核燃料サイクル評価会議（INFCE）

原子力の平和利用と核不拡散とを両立する方策を探るため、米国のカーター大統領の提唱により、1977年10月から2年余りにわたって開催された。IAEAの保障措置を基幹とすることで、核燃料サイクルの進展による核拡散のリスクは十分に抑制可能であると結論され、保障措置の改良、国際的制度の構築、技術的代替手段確立の努力の重要性が確認された。

高度化機

新素材を用いた回転胴構造を単純化するとともに、長胴化と高周速化により経済性向上を目指した遠心機。

さ

集合遠心機

複数台の遠心分離機または回転体を一つの、あるいは一体となった外筒に納めたもの。

事故波及

遠心機破損時の衝撃力により他遠心機が破損する現象、あるいはこれが連鎖的に伝播していく現象。

冗長化

システムの信頼性を高めるための手法の一つで、性能に余裕を持たせる方法や予備の機械を待機させる方法等がある。

CVCFインバータ盤

一定電圧一定周波数を出力するインバータ。

実効故障率

故障率は「機器の故障台数」／「積算運転時間」を、％／年などの単位で表すが、遠心分離機のように、一定の期間にどれだけの分離作業を行ったかを評価するような場合には、実効故障率を用いたほうが適切である。

$$\text{実効故障率} = \frac{[\text{遠心分離機個々の停止時間の総和}] \times 100(\%)}{[\text{総遠心分離機台数} \times \text{積算運転時間}]}$$

積算運転時間を年にすれば、単位は％／年となるが、これは、遠心分離機の故障時間の割合を表すので、実際に遠心分離機が分離作業をできなかった割合と同一になる。

使用済燃料

使用済核燃料ともいう。原子炉内で一定期間、核反応を起こさせた後、取出された核燃料を示す。燃え残りのウランや新しくできたプルトニウム等の核燃料として再び利用できるものと、核分裂生成物等とが含まれている。

製品（P）

遠心分離機及びカスケード段において濃縮された UF_6 の流れ、またはその UF_6 が通る場所をいう。部品等にもこの名称を使う。

設備利用率（Availability）

建設したプラントが有効に運用されていることを評価する目的に使用する数値で、以下により求める。

$$\text{設備利用率} = \frac{[\text{対象期間中の実働分離仕事量}] \times 100(\%)}{[(\text{公称設備容量}) \times (\text{対象期間})]}$$

先導機

経済的、技術的に国際競争力を持たせることを目的に、技術開発を進めている高性能遠心機。

た

直接回収システム

カスケードからの製品、廃品 UF_6 ガスを、圧縮機により加圧し直接シ

リンドに回収するシステム。

中央運転盤

中央操作室に設置し、監視、操作を集中化した盤。監視を行うための装置としては、CRT 表示装置、警報ランプ、指示計、記録用タイプライタ、グラフィックボード等があり、運転操作を行うための装置としては、操作ボタン、指示調節計等がある。これらを必要に応じて組合わせることにより中央運転盤が構成される。運転員は、この中央運転盤を通じてプラントの運転状態を把握でき、また機器、弁等の操作を行うことができる。

天然ウラン (NU)

天然に算出するウラン。約 238 の原子量を有し、ウラン 234 を微量、ウラン 235 を 0.7% 及びウラン 238 を 99.3% 含有する。

テイル (T)

カスケードで減損された UF_6 の流れ、あるいはその UF_6 が通る場所をいう。

定常運転

プラントが生産を行っている状態をいう。但し、カスケード系の運転操作においては、全還流、T回収もホット定格に準ずる運転モードと考え、ホット定格、T回収、全還流を定常運転という。

停電

商用電源の電圧が、公称電圧の 90% 未満となる状態をいい、瞬時停電、停電タイムアウト、全停電、短時間停電及び完全停電の 5 種類に分類される。

同位体分離

ある元素が 2 種以上の同位体の混合物であるとき、同一元素に属する各同位体を個々に分離すること。

な

濃縮度

ウラン中に含まれるウラン 235 の比率。

濃縮ウラン (EU)

天然ウランに含まれている同位体ウラン 238 に対するウラン 235 の割合を人工的に大きくしたウラン。その濃縮度が増えるにつれて、低濃縮ウラン、高濃縮ウランなどに分けられる。

濃度

物質の組成を表す量で、色々な表示法がある。各成分の組成比を表す場合には、その重量比（重量パーセント）、体積比（体積パーセント）、モル数の比（モル分率）などが用いられる。ウラン中におけるウラン 235 の存在比を表す場合には原料濃度、製品濃度、廃品濃度の言葉で使い、それぞれのウラン 235 濃度を意味する。

濃縮域

カスケードにおいて、フィード段より製品側の全段をいう。フィード段は、濃縮域に含める。

は

非定常運転

遠心機停止状態と定常運転状態の間の過渡的な運転状態。カスケードの運転操作においては以下の運転モードを非定常運転に含める。

遠心機昇速、コールド定格、UF₆供給、T還流、UF₆排気、遠心機降速

分離作業量（SWU）

ウラン濃縮プラントの容量や濃縮コストなどを比較したり評価したりするために導入された総合尺度。分離機を通過することによって付加された価値として定義されている。流量や重量と区別するため、SWU を付し tSWU などと表す。

ウラン濃縮プラントの容量や、濃縮費などを表現する場合には、製品ウラン濃縮度 X_P 、製品量 G_P だけでなく、供給ウラン濃縮度 X_F 、減損ウラン濃縮度 X_W など、すべて考慮しなければならず、このままでは比較や評価が困難なので、これらの総合尺度として、分離作業量（または分離仕事量）あるいは分離パワー、 δU なる表現が用いられる。分離作業量は、分離器を通過することによって付加される流出物の価値の増加として定義され、次式で表される。

$$\delta U = G_P \cdot V(X_P) + G_W \cdot V(X_W) - G_F \cdot V(X_F)$$

また、価値関数 $V(X)$ は以下のように定義される。

$$V(X) = (2X - 1) \ln\{X / (1 - X)\}$$

V V V F インバータ盤

可変電圧可変周波数を出力できるインバータ。

フィード

同位体分離を行うカスケードに原料を供給する操作及び状態。供給される原料そのものをいうこともある。

分離係数 (Separation factor)

分離の程度を評価する係数の総称で、下記に示すように遠心分離機に UF_6 ガスを供給し、この供給流をこれよりウラン 235 濃度の高い濃縮流とウラン 235 濃度の低い減損流とに分離する作業を何度も繰り返すことによって分離作業が行われる。この遠心分離機の実分離能力を分離係数で表現し、ヘッド分離係数、テイル分離係数、段分離係数または全段分離係数の3種類の表現をする。

分離パワー (Separative power)

分離要素 (例：遠心分離機)、分離単位 (例：カスケード) 及びカスケードの実分離性能。単位は $kgSWU/y$ または $tSWU/y$ を使う。

ホット稼働率 (AF)

$$\begin{aligned} \text{稼働率} &= \frac{[(\text{期間}) - (\text{停止時間})] \times 100(\%)}{[\text{期間}]} \\ &= \frac{[(\text{期間}) - (\text{定期検査時間}) - (\text{故障停止時間}) - (\text{補修停止時間})] \times 100(\%)}{[\text{期間}]} \end{aligned}$$

通常は、カスケードのホット時間を分子に入れて稼働率を求める。

や

UF₆ 捕集効率

高性能フィルター、コールドトラップあるいはケミカルトラップの

UF₆捕集性能を表す無次元数で、百分率でいうことが多く、次の式で求める。

$$\text{UF}_6\text{捕集率} = \{1 - (\text{排出 UF}_6\text{量} / \text{流入 UF}_6\text{量}) \times 100\%$$

ら

劣化ウラン（減損物）

核燃料として有効成分であるウラン 235 の同位体存在比が天然のもの（0.71%）よりも少なくなったウラン。同位体分離の過程あるいは使用済み燃料の再処理において生じる。

これを核分裂生成物とともに廃棄するのは不経済であるし、将来の増殖炉の燃料親物質として使用できるので、その回収がはかられている。なお、Depleted uranium は日本語で減損ウランとも訳されるが、これは主として核燃料として使用された場合、ウラン 235 のもとの含有率が（天然のものであれ、濃縮されたものであれ）核分裂のために減少したものをさし、劣化ウランと区別して用いられている。

略

AF : Availability Factor（ホット稼働率）

DOP-1 : Demonstration Operation Plant Unit 1（ウラン濃縮原型プラント第1運転単位）

DOP-2 : Demonstration Operation Plant Unit 2（ウラン濃縮原型プラント第2運転単位）

DU : Depleted Uranium（劣化ウラン（減損物））

EU : Enriched Uranium（濃縮ウラン）

GCF : Gas Centrifuge（遠心分離機）

IAEA : International Atomic Energy Agency（国際原子力機関）

INFCE : International Nuclear Fuel Cycle Evaluation（国際核燃料サイクル評価）

NU : Natural Uranium（天然ウラン）

OP-1 : Operation Plant Unit 1（ウラン濃縮パイロットプラント第1運転単位）

OP-2 : Operation Plant Unit 2（ウラン濃縮パイロットプラント第2運転単位）

P : Product（製品）

RU : Recovered Uranium (回収ウラン)
SWU : Separetive Work Unit (分離作業量)
W : Waste (廃品)

参 考 資 料 5

ウラン濃縮技術開発
(OHP資料)

参考資料 5 (OHP 資料) 目次

表紙 (ウラン濃縮技術開発)	1
報告内容	2
1. 研究開発の意義	3
2. 研究開発目的	4
3. 研究開発計画及び成果	5
ウラン濃縮技術の開発経緯	6
3. 1 金属胂遠心機開発期	7
(1) 開発計画	8
(2) 開発体制	9
(3) 開発成果	
遠心分離機開発に係る技術体系	10
回転技術の確立	11
目標分離性能の達成	12
金属胂遠心機性能の推移	13
3. 2 パイロットプラント	14
(1) パイロットプラントの計画	15
(2) パイロットプラントの開発体制	16
(3) パイロットプラントの成果	
① 運転実績	17
② 核燃料サイクル確立に果たした役割	18
3. 3 原型プラント	19
濃縮プラント建設・運転に係わる技術体系	20
(1) 原型プラントの計画	21
(2) 原型プラントの開発体制	22
(3) 原型プラントの成果	
① 原型プラントの運転実績	23
② 高稼働率の達成	24
③ DOP-2 遠心分離機の運転実績	25
④ 設備、機器の大型化及び合理化	26

⑤ 回収ウラン原料による運転実績	2 7
⑥ 原型プラントの役務生産コスト実績	2 8
⑦ 役務生産コストの試算	2 9
3. 4 新素材胴遠心機	3 0
新素材胴遠心機の開発	3 1
新素材胴遠心機	3 2
(1) 新素材胴遠心機の開発目標	3 3
(2) 新素材胴遠心機の開発計画 (1/3)	
新素材高性能機の開発工程	3 4
(2) 新素材胴遠心機の開発計画 (2/3)	
高度化機の開発工程	3 5
(2) 新素材胴遠心機の開発計画 (3/3)	
先導機の開発計画	3 6
(3) 新素材胴遠心機の開発体制	3 7
(4) 新素材胴遠心機の開発成果	
① 実用規模カスケード試験の成果	3 8
② 新素材胴遠心機性能の推移	3 9
4. 開発費用と人員	4 0
5. 得られた成果の普及	4 1
(1) 原燃への技術移転	4 2
(2) 外部発表及び工業所有権	4 3
6. まとめ	
原型プラントの達成度の評価	4 4

【研究開発課題説明用OHP資料】

ウラン濃縮技術開発

平成13年6月

(平成13年9月改訂)

核燃料サイクル開発機構

ウラン濃縮技術開発 — 報告内容 —

1. 研究開発の意義
2. 研究開発目的
3. 研究開発計画及び成果
 - 3.1 金属胴遠心機開発期
 - 3.2 パイロットプラント
 - 3.3 原型プラント
 - 3.4 新素材胴遠心機
4. 開発費用と人員
5. 得られた成果の普及
6. まとめ

1. 研究開発の意義

○濃縮ウランの国産化

- ・自主的な核燃料サイクルの確立
- ・エネルギーセキュリティの確保
- ・濃縮ウランの安定供給

○国際的に機微な技術⇒

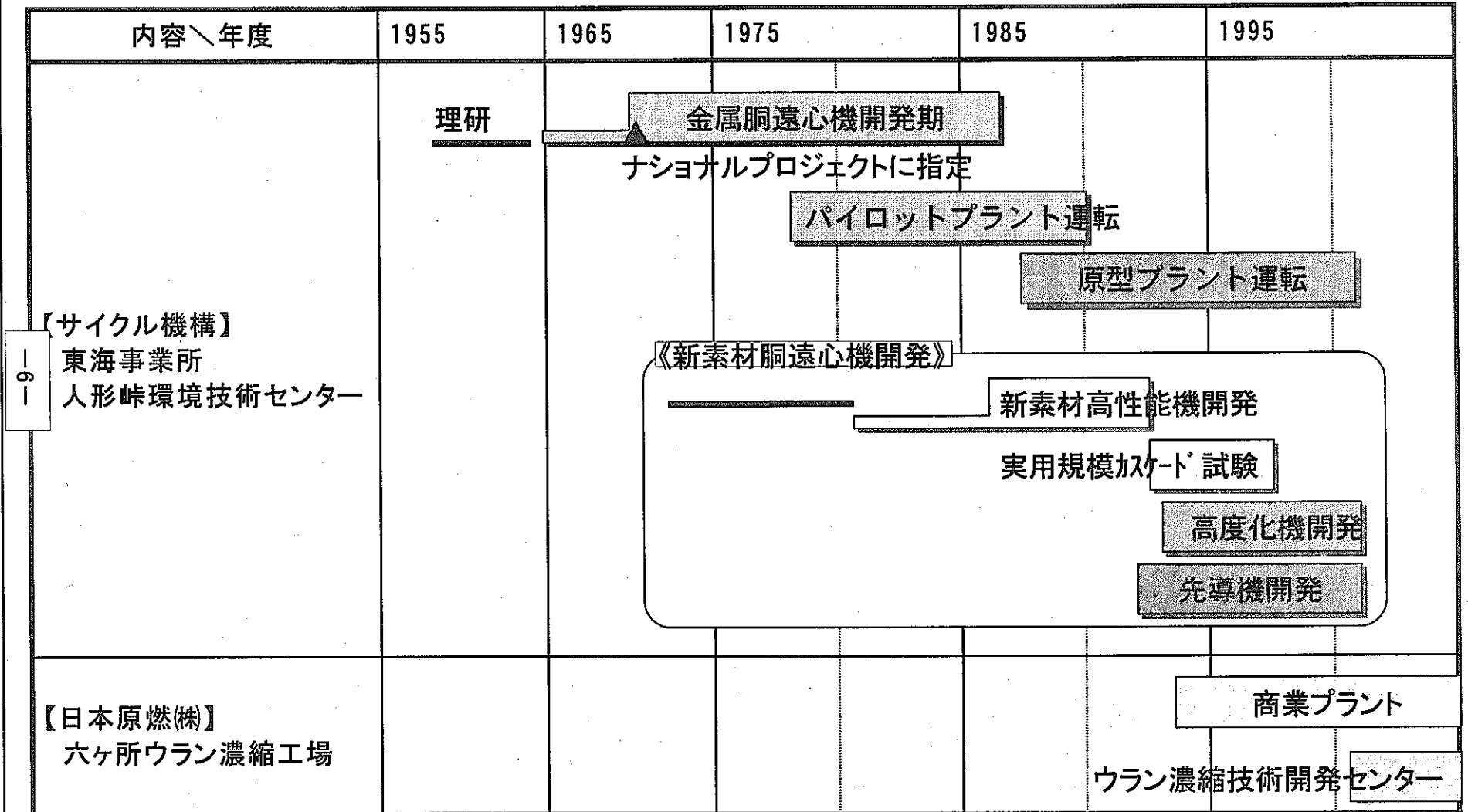
ナショナルプロジェクトとして自主開発

2. 研究開発目的

- 事業化が可能なウラン濃縮技術を開発
- 原型プラントまでの建設及び運転で得られた技術成果を原燃に技術移転
- 原燃に対する技術及び人的支援

3. 研究開発計画及び成果

ウラン濃縮技術の開発経緯



3. 1 金属胴遠心機開発期

(1) 開発計画

(2) 開発体制

(3) 開発成果

(1) 開発計画

① 目標《実用性の高い遠心分離機及びプラント技術の開発》

○ 実用性の高い遠心分離機の開発
(長期信頼性, 分離性能, 量産性 他)

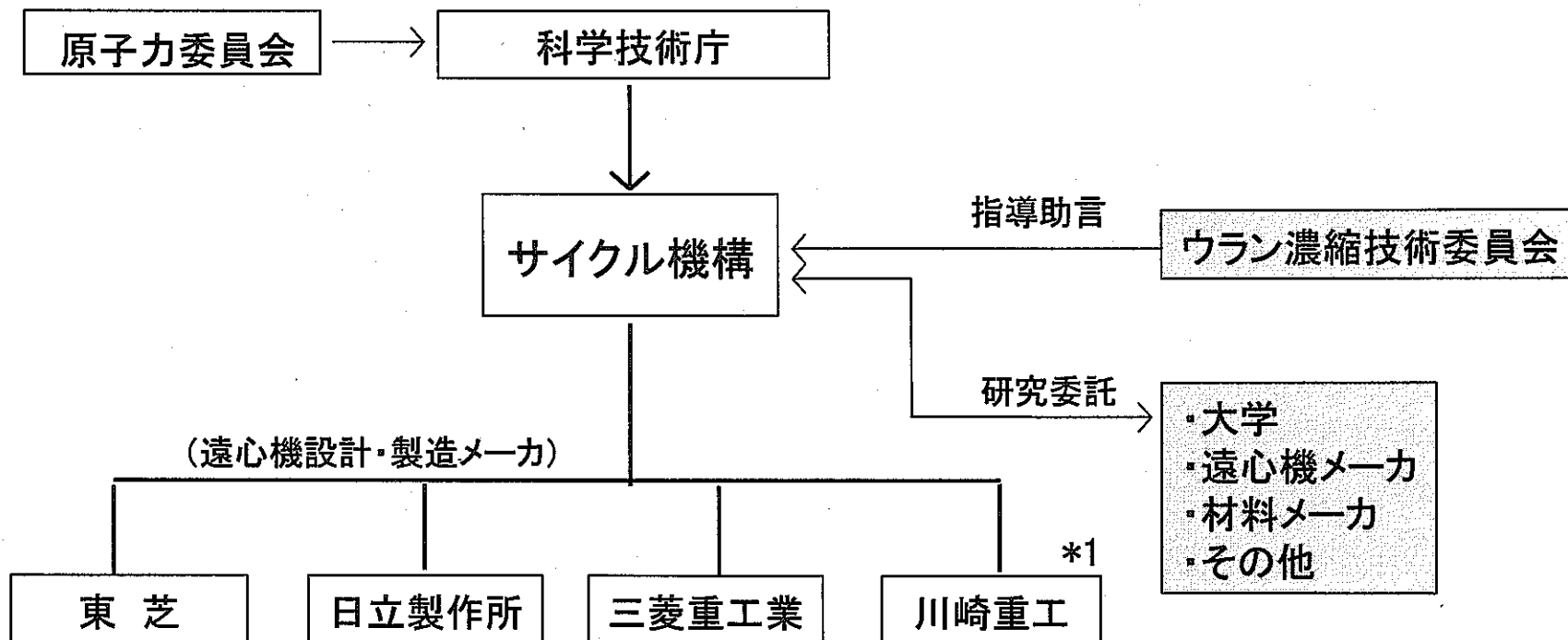
○カスケードシステムの開発

○プラントに必要な周辺機器の開発

② 基本計画

○1976年頃にパイロットプラント建設の総合評価

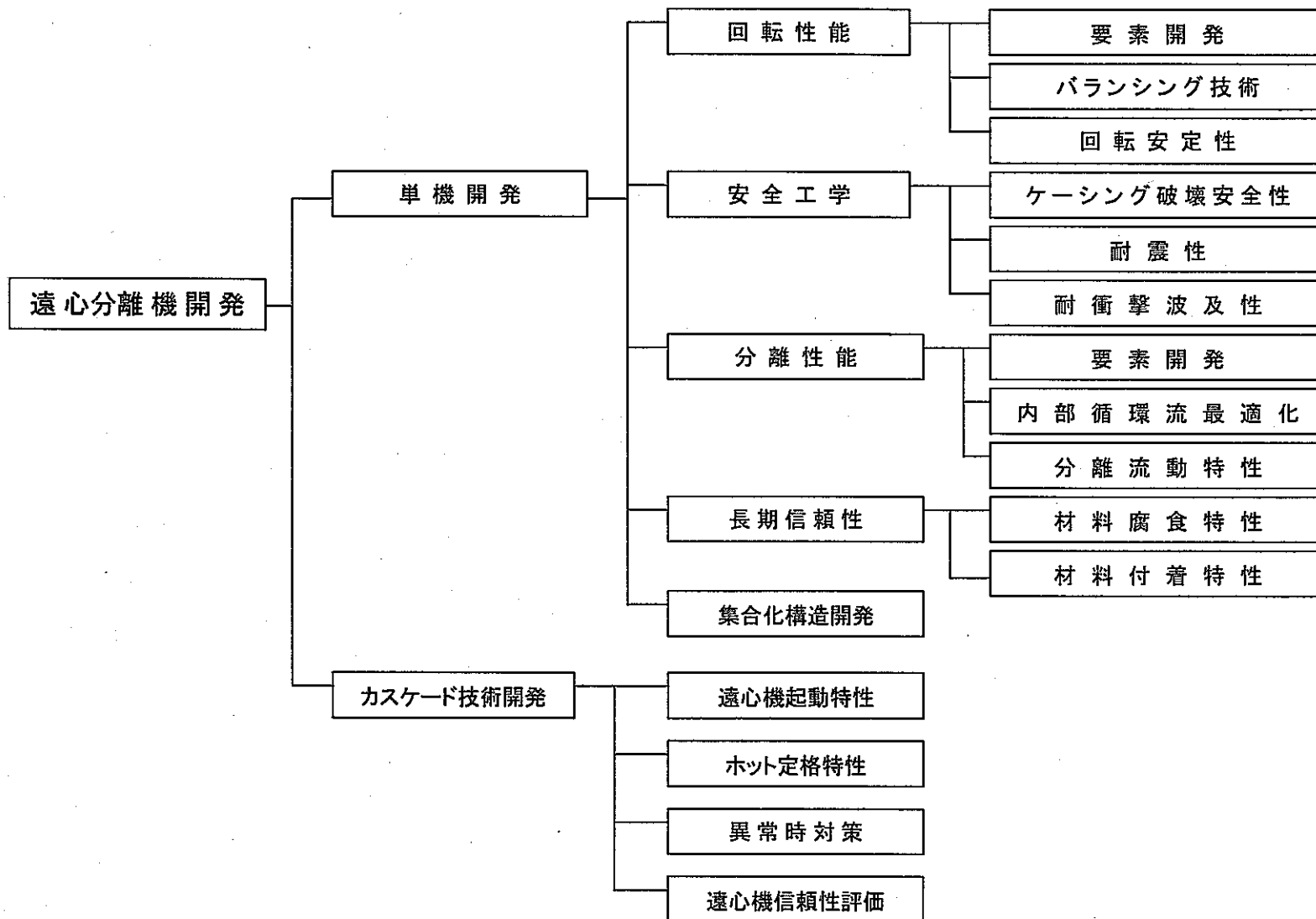
(2) 開発体制



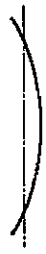
*1 ただし、川崎重工は1976年まで

(3) 開発成果

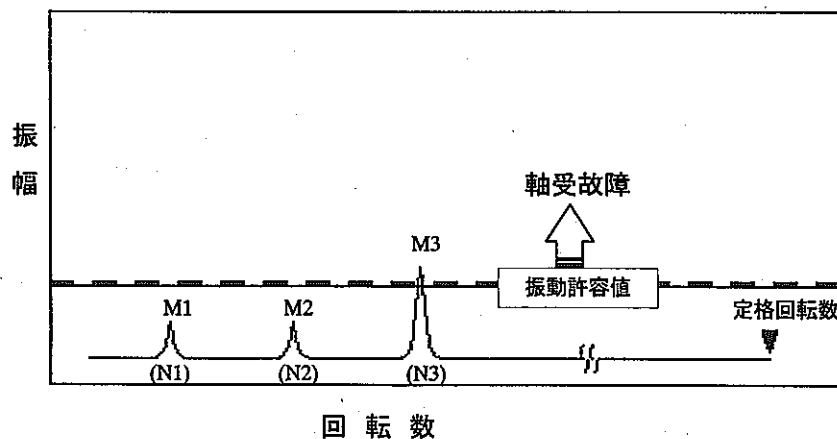
遠心分離機開発に係る技術体系



回転技術の確立

共振点				
振動モード	曲げ1次M1	曲げ2次M2	曲げ3次M3	Mn
				...
回転数	n1	n2	n3	nx

高回転数



高周速化、長寿命達成

回転技術の確立

回転胴設計

〔共振点低下技術〕
強度設計

軸受の高性能化

(高耐力化)

回転胴製作精度向上

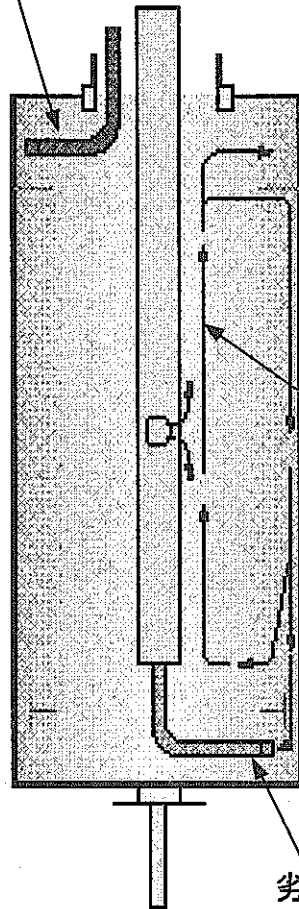
(アンバランス量の低減化)

ハランシング技術の高度化

(バランス工数の低減化)

目標分離性能の達成

濃縮ウラン抽出管



内部循環流

劣化ウラン抽出管

目標分離性能達成

内部循環流の最適化

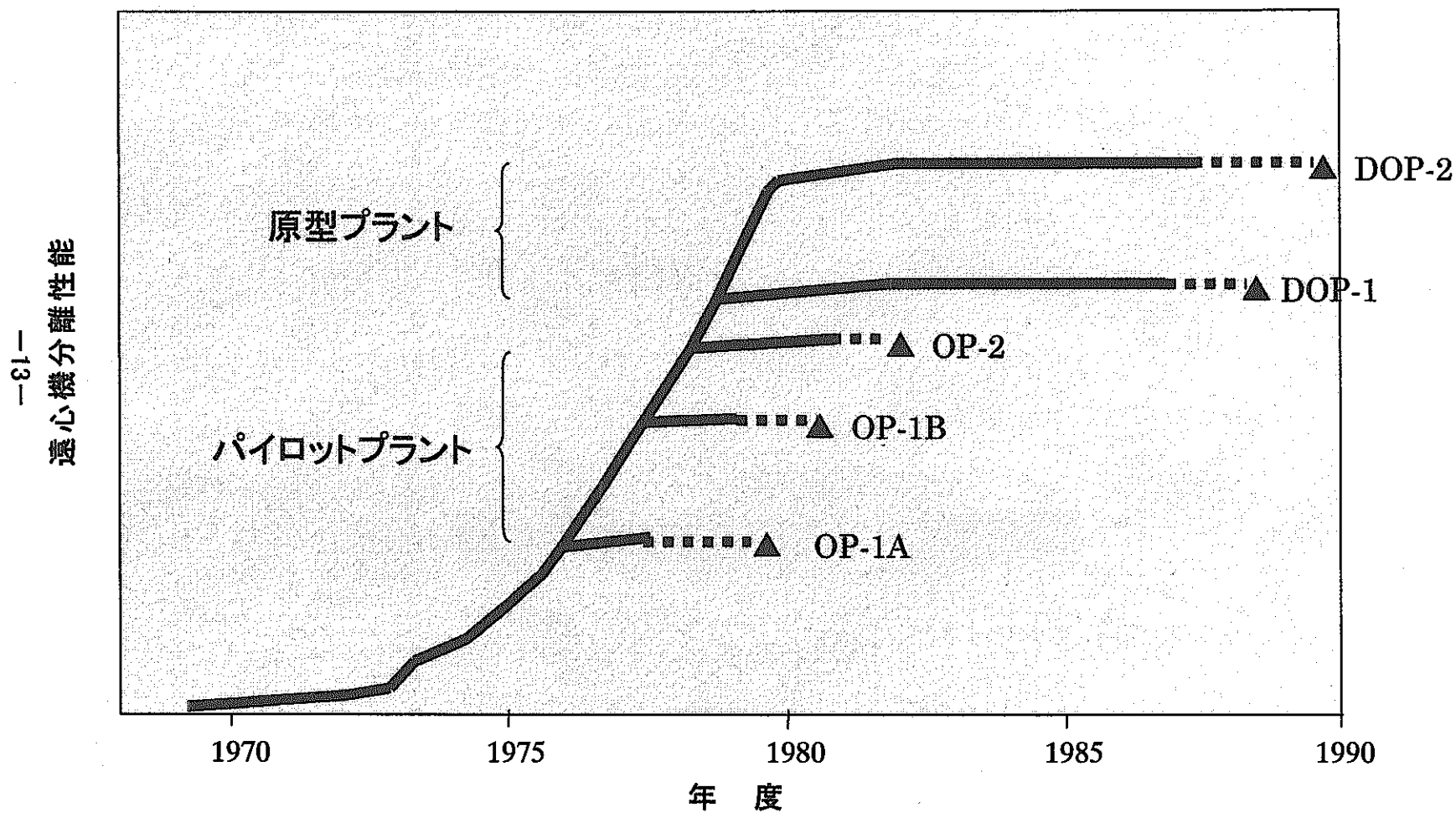
分離流動解析

回転筒温度分布の最適化

回転筒内圧力の最適化

抽出管形状の最適化

金属洞遠心機性能の推移



3. 2 パイロットプラント

- (1)パイロットプラントの計画
- (2)パイロットプラント開発体制
- (3)パイロットプラントの成果

(1) パイロットプラントの計画

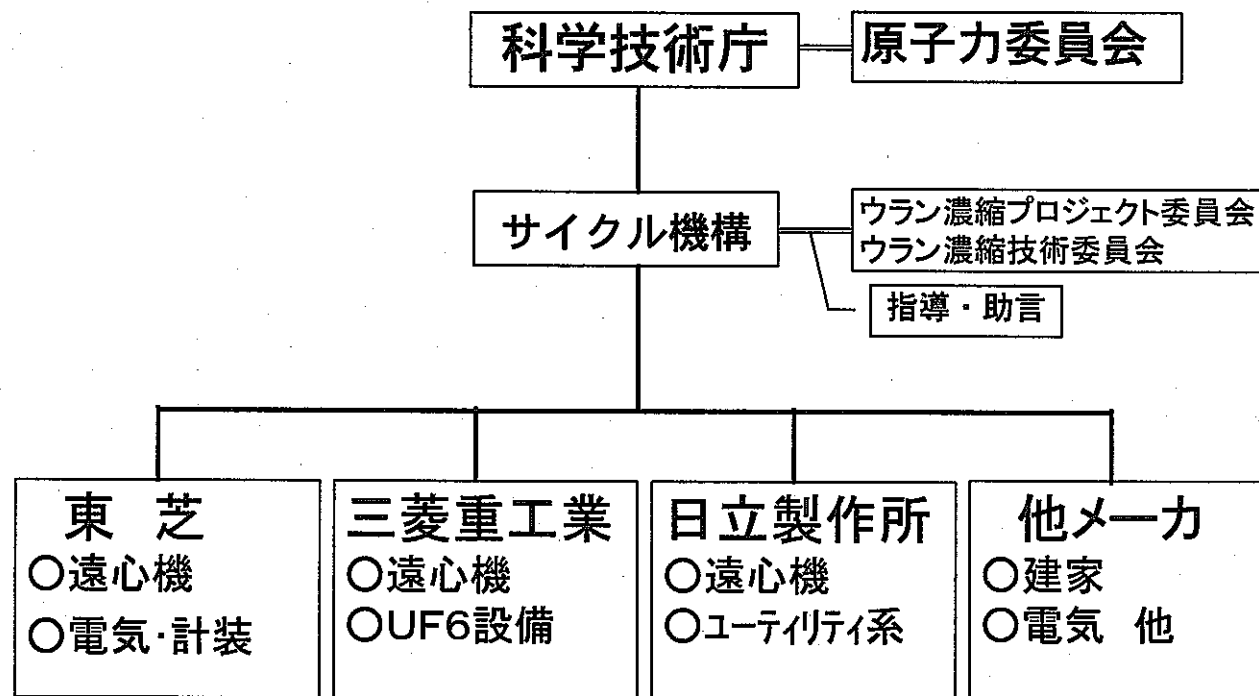
① 目 標 《プラント規模での技術的基盤の確立》

- 遠心分離機性能の確認
- 遠心分離機及びカスケードの信頼性の確認
- プラント運転条件の確立
- 遠心分離機量産技術の見通しを得る

② 基本計画

- スケジュール：1977年に建設着工
- 運転単位：2 運転単位構成
- プラント規模：約 50 tSWU/y以上

(2) パイロットプラント開発体制



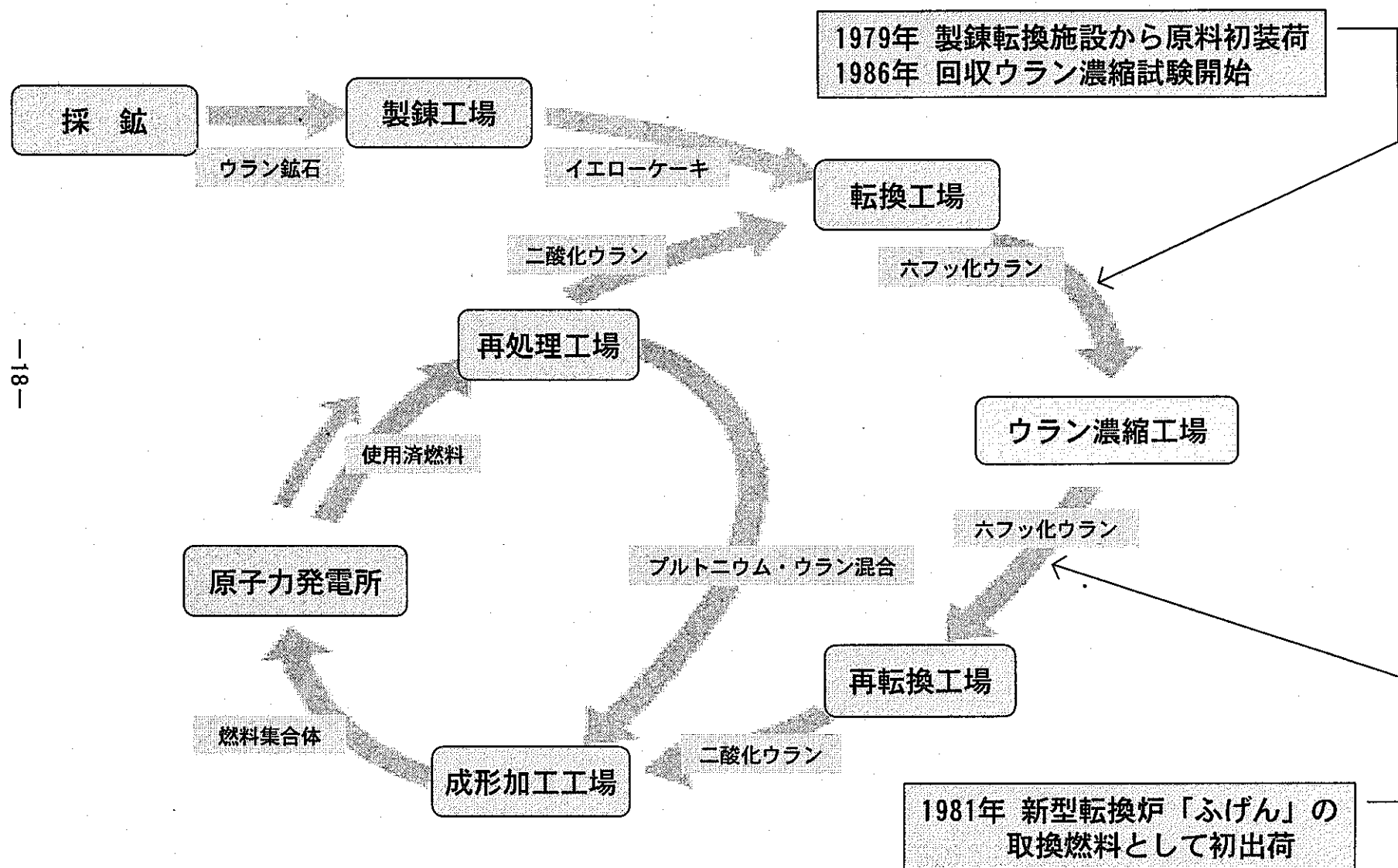
(3) パイロットプラントの成果

① 運転実績

内容\年度	1979	1980	1981	1982	～	1986	1987	1988	1989
OP-1									
OP-2									
【各種試験】									
1) カスケード起動試験									
2) ホット定格試験									
3) 非定常特性試験									
4) 回収ウラン再濃縮試験									

- 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51tU 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地歩を固めた

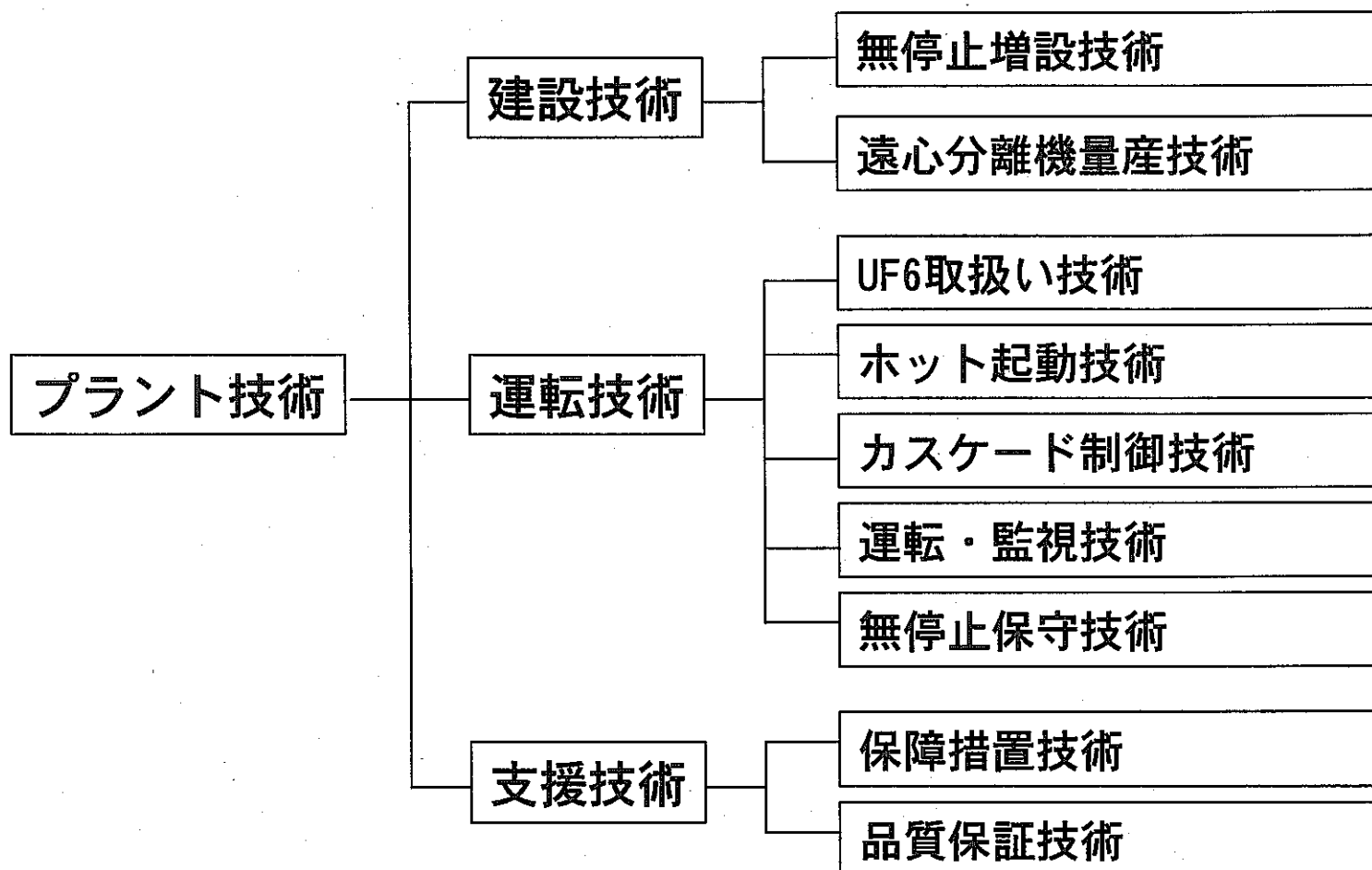
② 核燃料サイクル確立に果たした役割



3. 3 原型プラント

- (1) 原型プラントの計画
- (2) 原型プラント開発体制
- (3) 原型プラントの成果

濃縮プラント建設・運転に係わる技術体系



(1) 原型プラントの計画

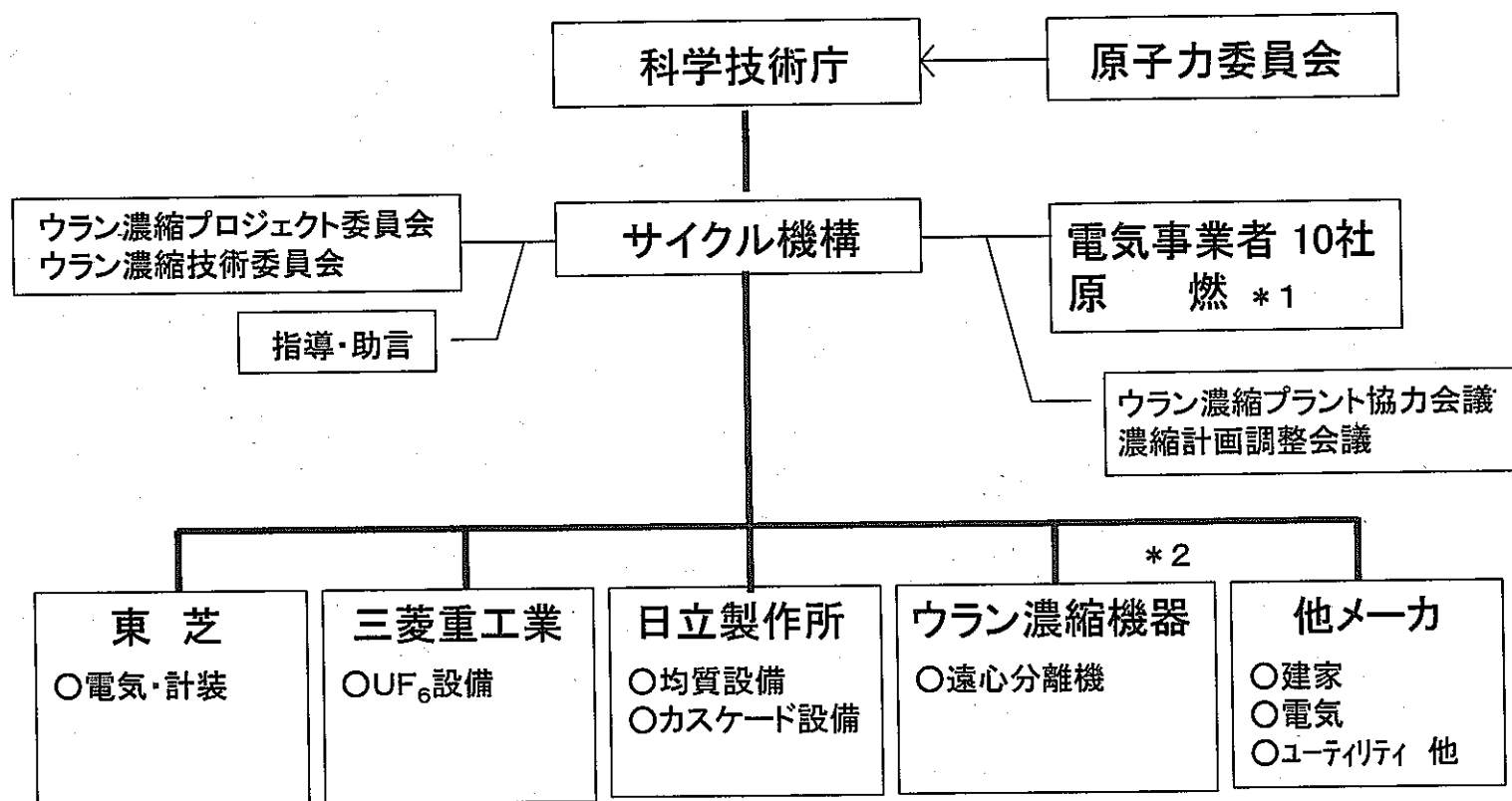
① 目 標《技術, 経済性の実証》

- 遠心分離機量産技術の確立
- プラント設備, 機器の大型化及び合理化
- プラント建設及び運転システムの確立
- 民間への技術移転

② 基本計画

- プラント能力 約200tSWU/y
 - ▽ 第1期(DOP-1): 約100tSWU/y (1987年運転開始)
 - ▽ 第2期(DOP-2): 約100tSWU/y (1988年運転開始)
- 国が民間の協力を得て計画を推進

(2) 原型プラント開発体制

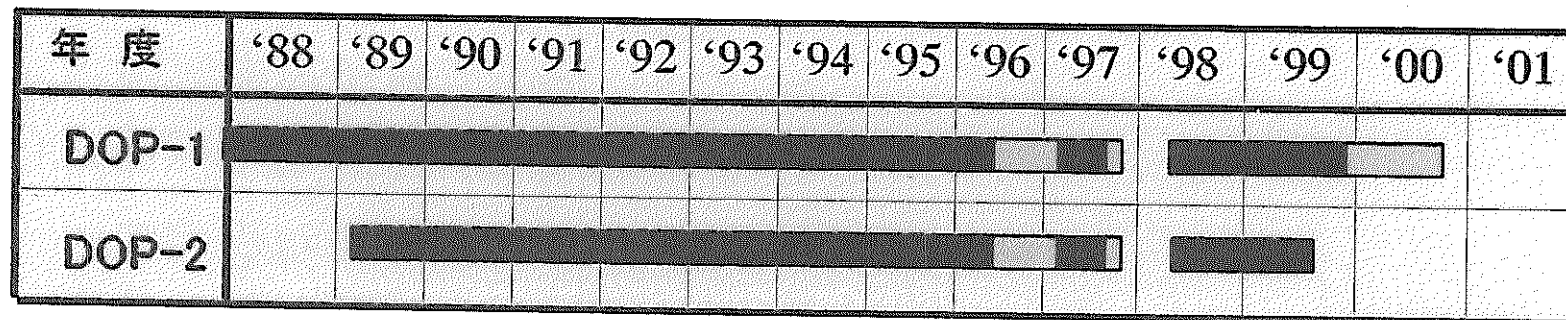


注) *1 「ウラン濃縮施設の建設, 運転等に関する技術協力基本協定」及び
「技術協力の実施に関する協定」を締結 (1985)

*2 遠心機メーカ3社により設立

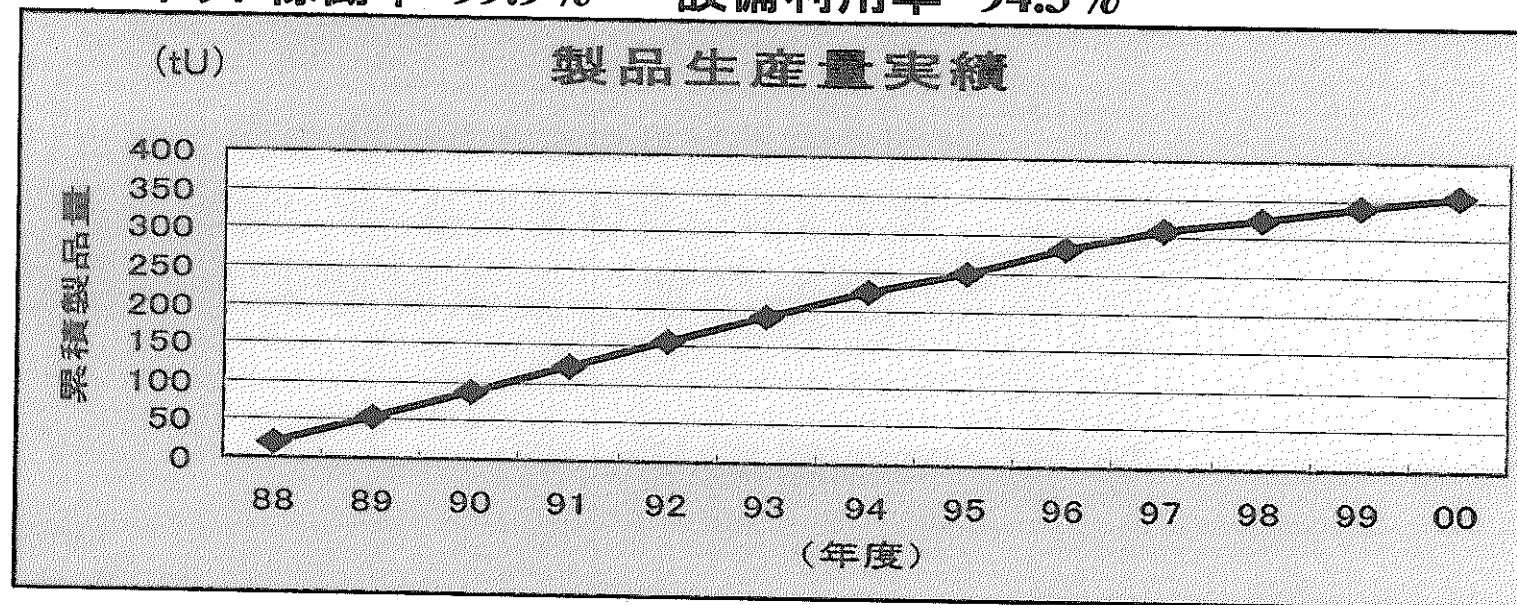
(3) 原型プラントの成果

① 原型プラントの運転実績



■ 天然ウラン原料
■ 回収ウラン原料

ホット稼働率 99.9% 設備利用率 94.3%



② 高稼働率の達成

○遠心分離機製造要領書の作成

- ▽各試験により要領書の妥当性を実証
- ▽経済性の観点からプロセス管理を採用

○プラント無停止増設の実証

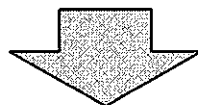
- ▽DOP-1生産運転を継続させながらDOP-2を増設

○無停止保守点検技術の実証

- ▽生産運転を継続しながら保守点検を実施

○プラント監視技術の高度化

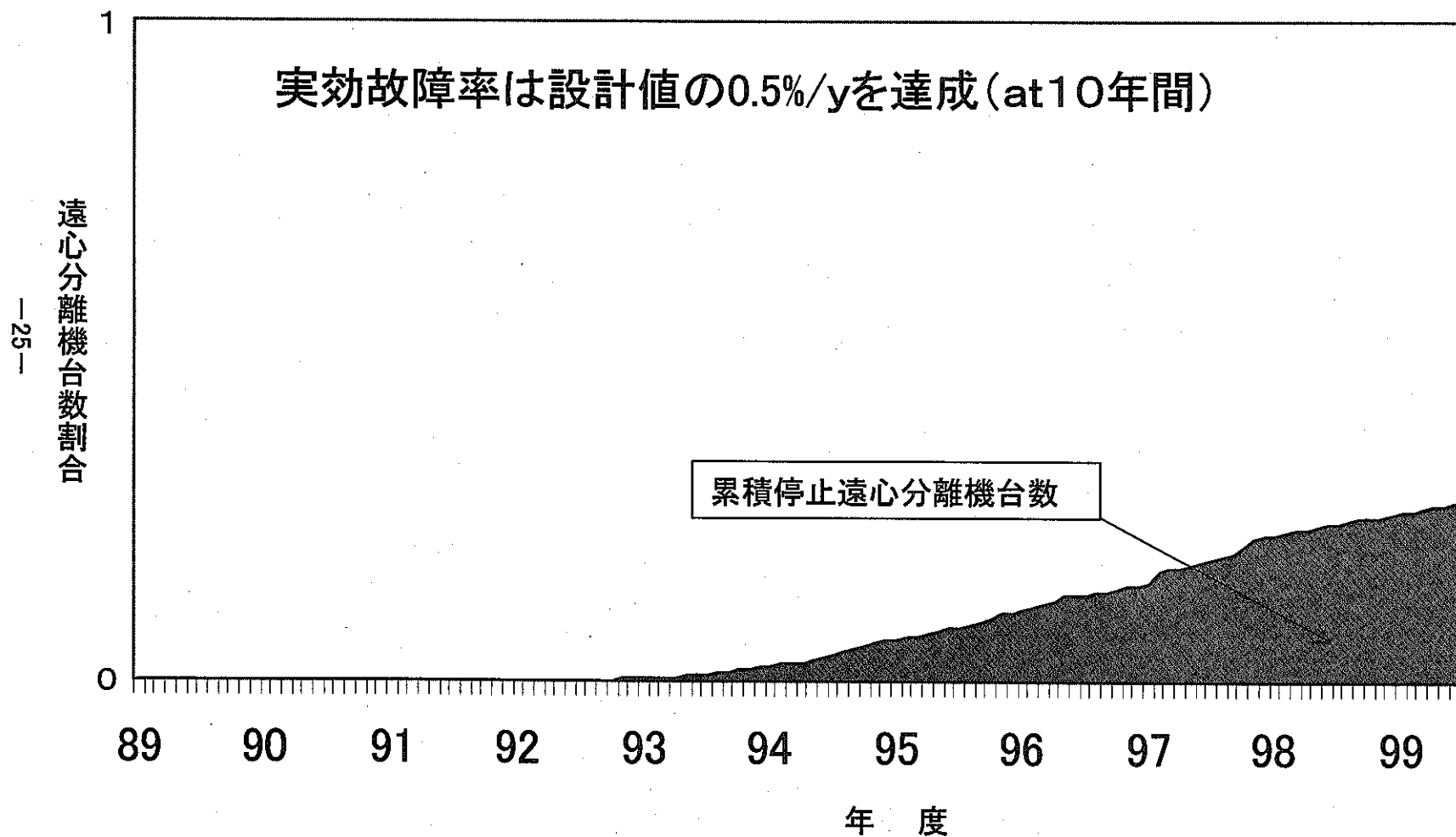
- ▽異常事象の早期検知



○13年間ノートラブルで連続運転を達成

○六ヶ所ウラン濃縮工場へ反映

③ DOP-2遠心分離機の運転実績



④ 設備、機器の大型化及び合理化

○経済性の向上

○大型プラントへの実証

内 容		パイロットプラント		原型プラント
大型化	原料・廃品シリンダ	30B(2. 1tUF ₆)	約6倍	48Y(12tUF ₆)
	製品コールドトラップ	0. 2tUF ₆	約10倍	2 tUF ₆
	廃品コールドトラップ	2 tUF ₆	約3倍	6 tUF ₆
合理化	ウランの回収方式	コールドトラップ方式		直接回収方式(シリンダ回収方式)
	遠心機駆動方式	起動用+定格用		起動用と定格用を兼用
	コールドトラップ冷却装置	集中型(全コールドトラップ)		分散型(コールドトラップ毎)
	機器運転操作場所	中央操作室、現場操作室、機側		中央操作室、機側



UF ₆ 取扱いエリア	54m ² /tSWU/y	約1/5	10m ² /tSWU/y
建設費	11. 6億円/tSWU/y	約1/4	2. 8億円/tSWU/y

⑤ 回収ウラン原料による運転実績

内 容		天然ウラン原料使用時	回収ウラン原料使用時
被ばく量 ^{*1}	0.1mSv／3ヶ月以上の検出者	4人／16人中	11人／16人中
	検出者の平均線量	0.38mSv／3ヶ月	1.56mSv／3ヶ月
空間線量 ^{*2}	発生回収室エリア	0.45～0.88μSv／h	0.9～1.3μSv／h
運転制御方法		—	○多成分コードの構築 (U ²³² ・ ²³⁴ ・ ²³⁵ ・ ²³⁶ ・ ²³⁸) ○原料濃縮度の変化に対応した制御方法の確立
被ばく管理方法		—	○シリンダ槽廻りの作業者をローテーション化して被ばく量を低減化

*1 年間許容被ばく量

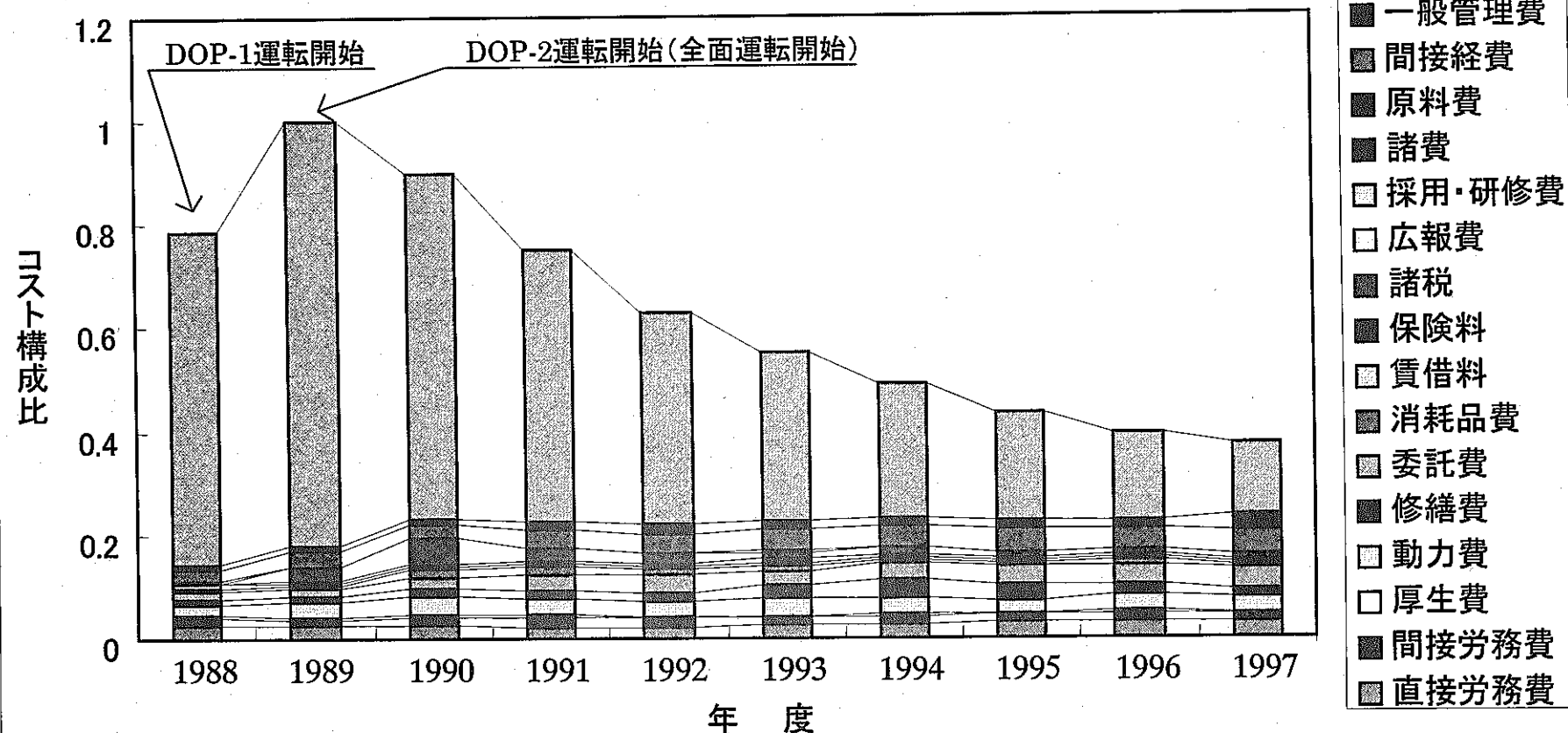
50mSv／y

*2 作業環境管理基準

5.95μSv／h

⑥ 原型プラントの役務生産コスト実績

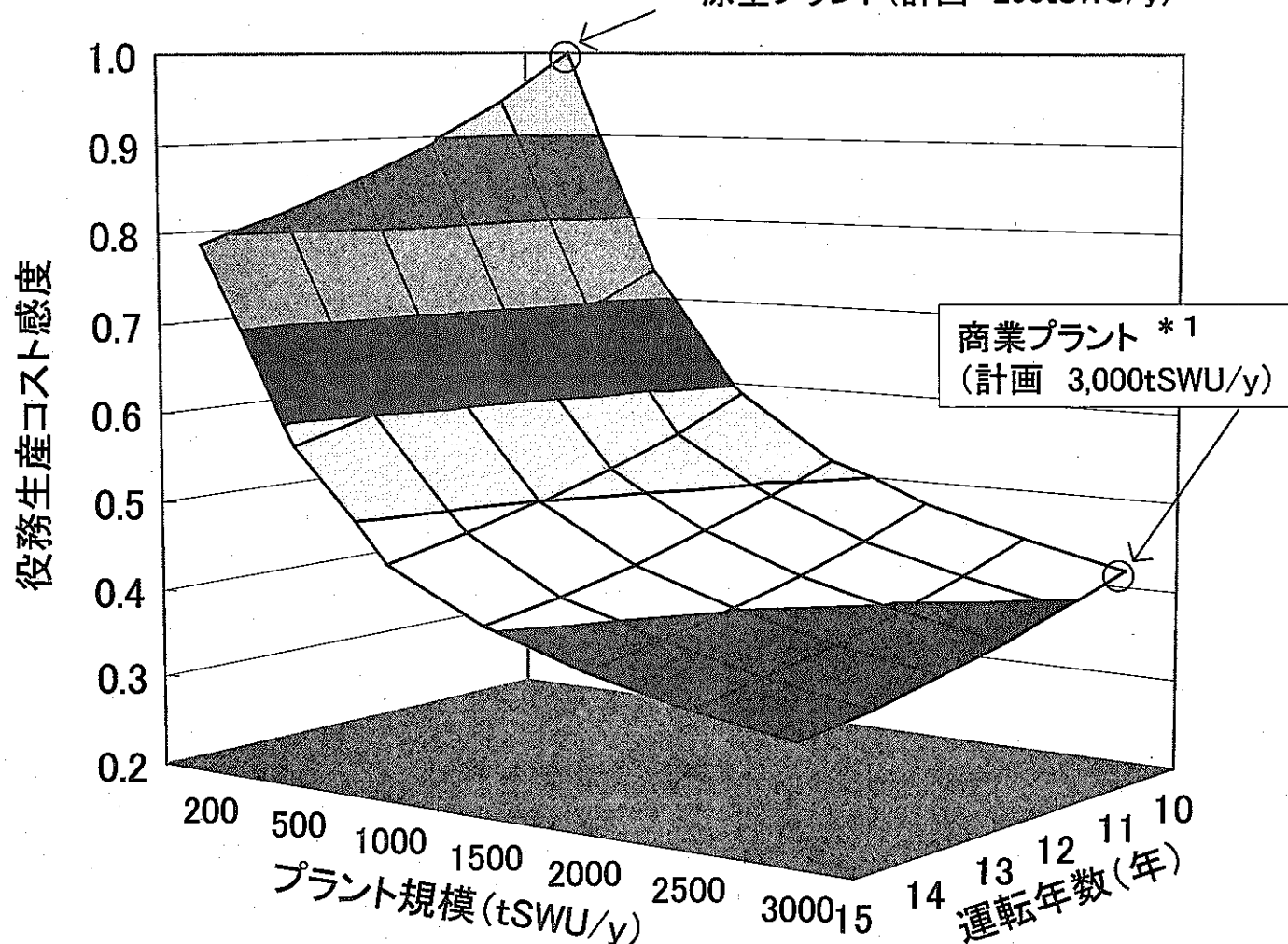
減価償却費が全体の約7割



注) 原型プラントが全面運転開始した1989年度を1とした場合の比率で表した。

⑦ 役務生産コストの試算

原型プラント(計画 200tSWU/y)



商業プラント *1
(計画 3,000tSWU/y)

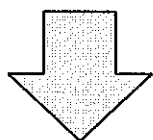
*1 1981年ウラン濃縮懇談会報告における
将来の商業プラント規模計画値

3. 4 新素材胴遠心機

- (1) 開発目標
- (2) 開発計画
- (3) 開発体制
- (4) 開発成果

新素材胴遠心機の開発

- 国際的な濃縮ウランの供給過剰及びウラン濃縮事業者の多様化
- 為替レートの円高傾向

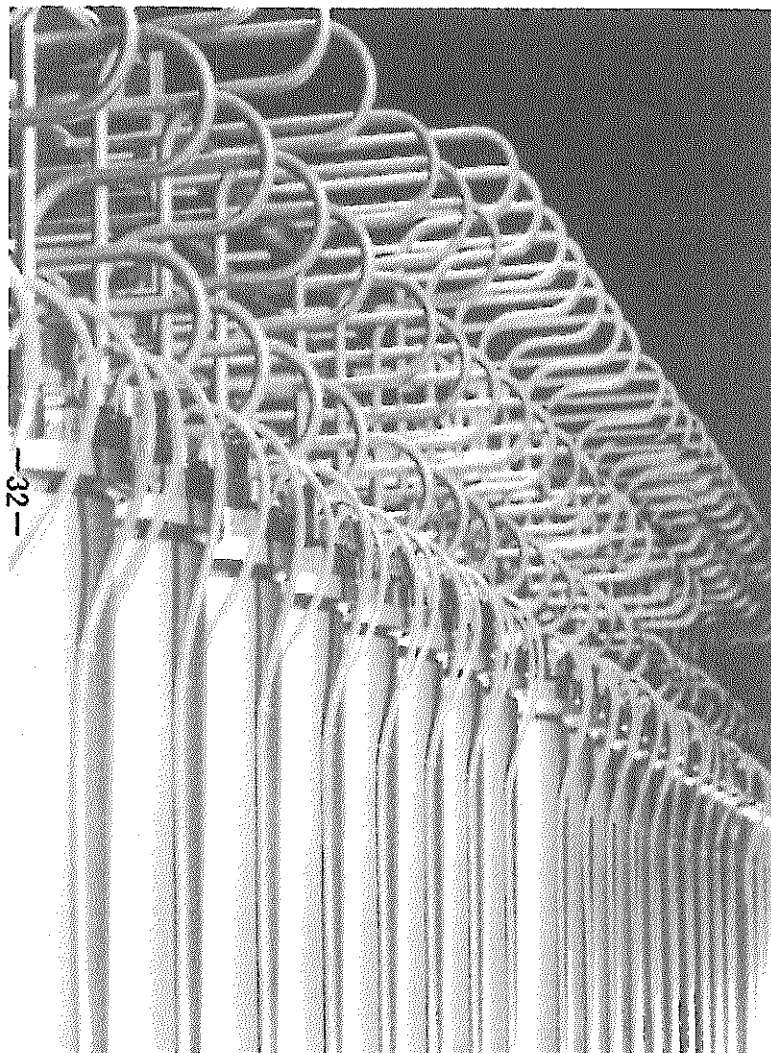


濃縮役務価格の低下

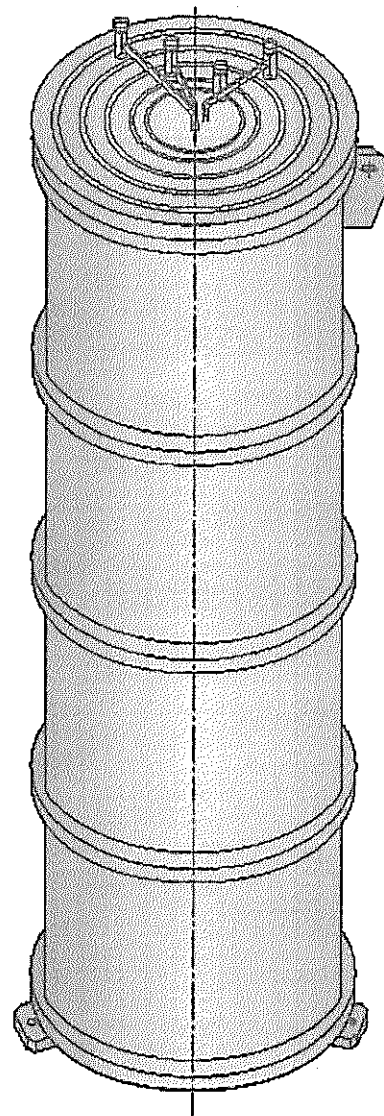
国際競争力のある遠心分離機の開発 高周速化が可能な新素材

機 種	強度	比重	限界周速
金属胴	1	1	1
新素材胴	≒ 1	≒ 1/5	≒ 2.2

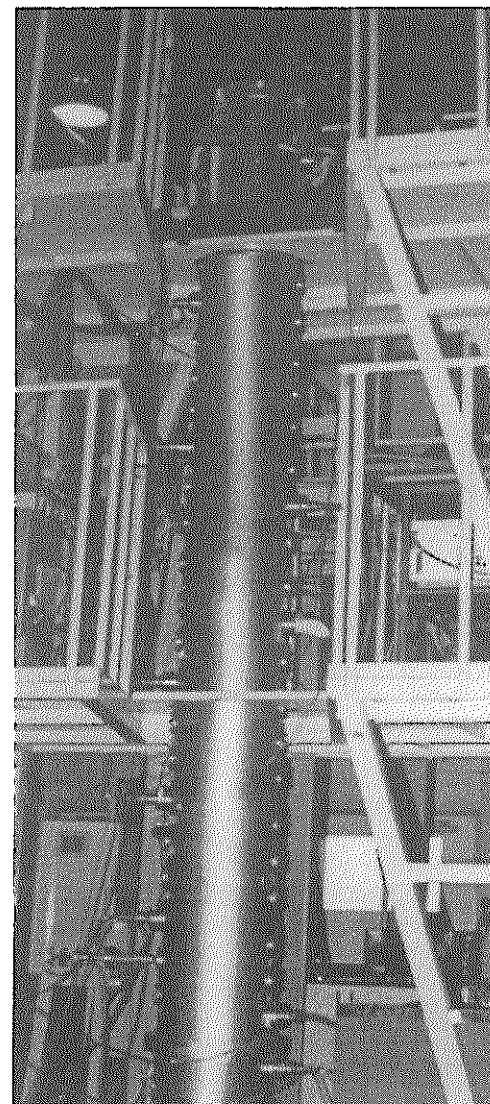
新素材胴遠心機



新素材高性能機
(実用規模カスケード試験装置)



高度化機



先導機

(1)新素材胴遠心機の開発目標

内 容	新素材高性能機	高度化機	先 導 機
目 的	新素材胴遠心機について、材料の特性を把握すると共に、高回転領域における振動特性、分離特性等の技術確立し、実用化の見通しを得る。	六ヶ所ウラン濃縮工場の取替え機として経済性を向上させるため、回転胴構造の単純化、長胴化、高周速化により性能向上を図る。	国際競争力のある遠心分離機開発に必要な基礎的データ、情報を蓄積する。
目 標	○金属胴遠心機の約1.5倍の性能 ○ブロック試験(約50台のカスケード)及び実用規模カスケード(約1,000台)による性能の実証	・新素材高性能機の1.5～2倍の性能 ・2003年にプラント導入	・100ドル/kgSWUの達成 ・新素材高性能機の約3倍の性能
開発時期	1986～1996年度 (電力共同研究)	1993～2000年度 (電力共同研究)	1992～2000年度

(2)新素材胴遠心機の開発計画(1/3)

新素材高性能機の開発工程

内容\年度	'81~	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97
(1) 要素開発	軸受, モーター, その他												
(2) 回転性能	耐アンバランス性能, 回転安定性												
(3) 安全工学	耐震試験, 遠心機破壊試験												
(4) 分離流動	基本特性の把握						プラント適合化						
(5) ブロック試験				構造最適化 基本特性試験			カスケード特性試験						
(6) 実用規模カスケード試験								起動試験, ホット定格試験, 非定常特性試験					
共同研究													

(2) 新素材胴遠心機の開発計画(2/3)

高度化機の開発工程

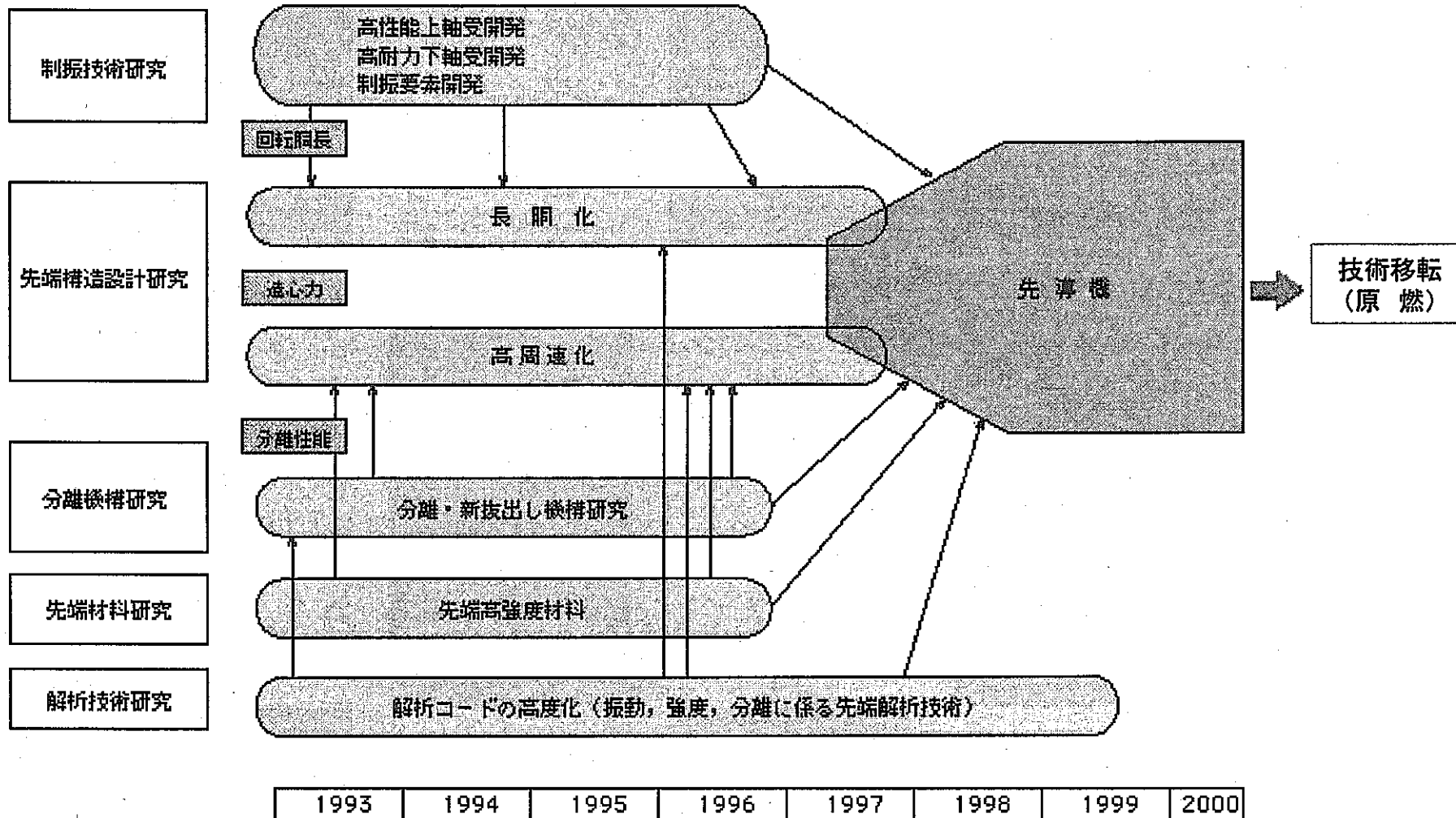
内容\年度	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01
(1) 要素開発		軸受、モータ、その他								
(2) 回転性能		耐アンバランス性能、回転安定性								
(3) 安全工学		耐震試験								
					遠心機破壊試験					
(4) 分離流動		基本特性の把握		構造最適化		プラント適合化		基盤技術研究		

共同研究

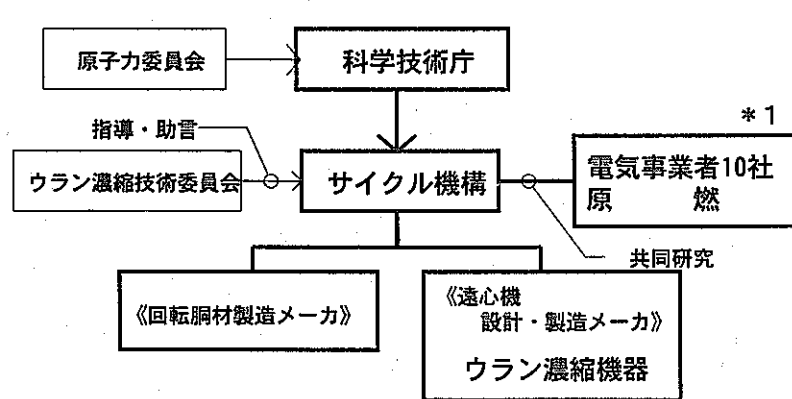
(2)新素材胴遠心機の開発計画(3/3)

先導機の開発計画

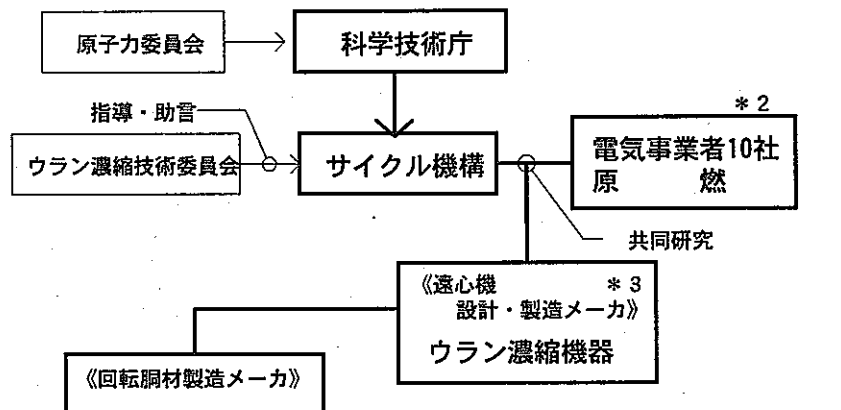
▽高次曲げ危険速度① ▽高次曲げ危険速度②



(3) 新素材遠心機の開発体制



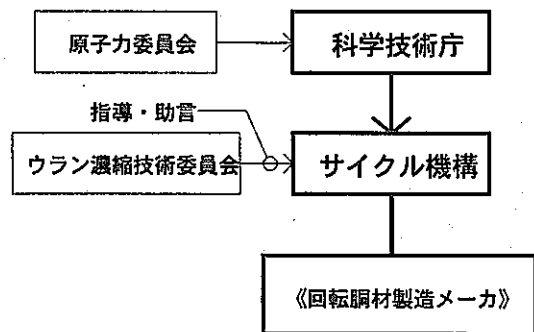
* 1 「遠心分離法ウラン濃縮技術の研究協力に関する協定」を締結（1986年）



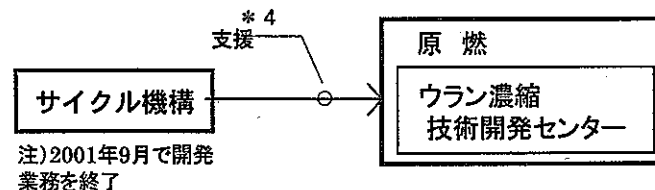
* 2 「遠心分離法ウラン濃縮技術の研究協力に関する協定」を締結（1993年）

* 3 日本原燃関も資本参加して原燃マシナリーに改組（1998年）

④ 新素材高性能機の開発体制



⑤ 高度化機の開発体制



注)2001年9月で開発業務を終了

* 4 「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」を締結（2000年）

⑥ 先導機の開発体制

⑦ 新型遠心機の開発体制

(4) 新素材胴遠心機の開発成果

① 実用規模カスケード試験の成果

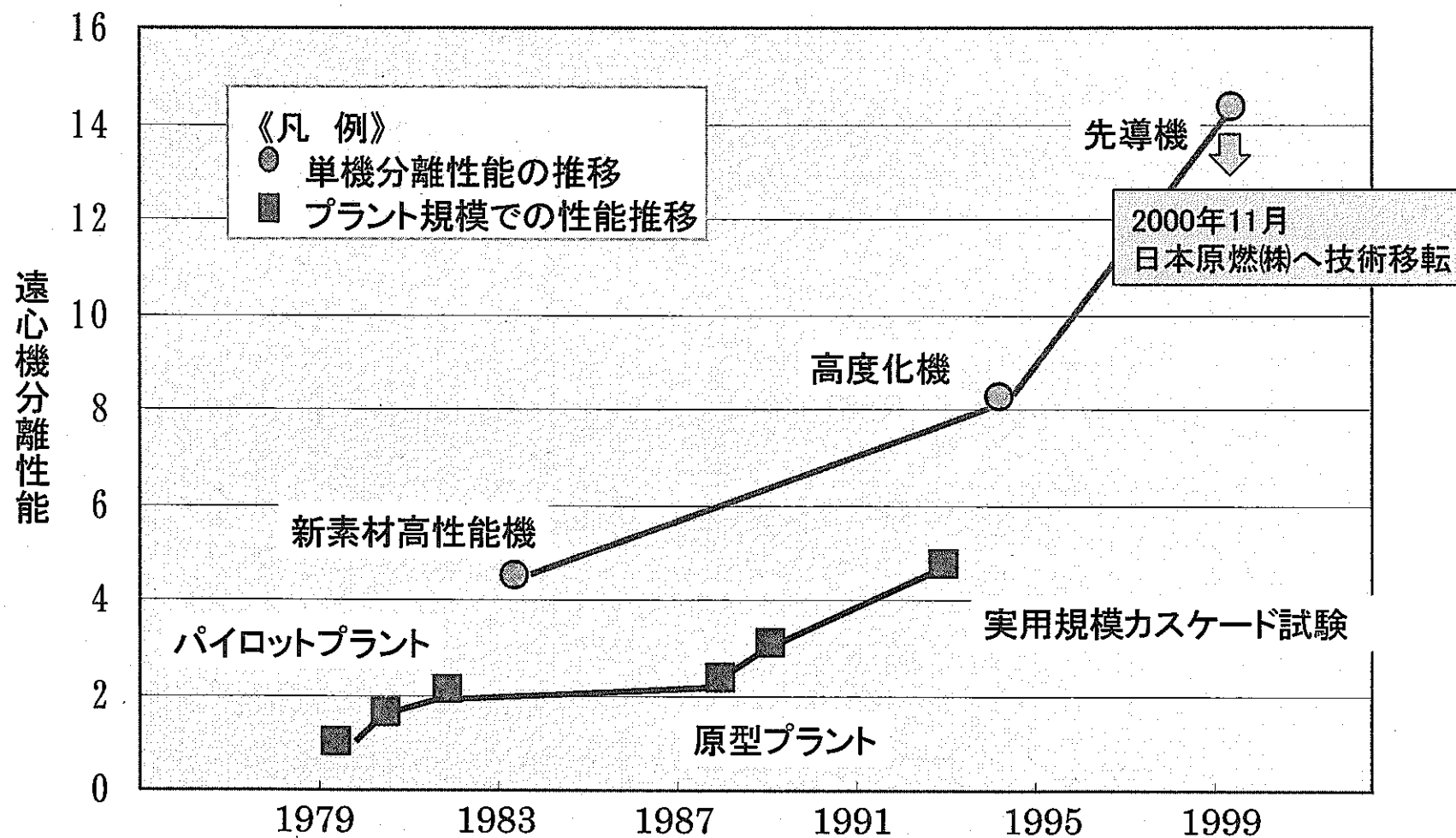
内容\年度	1992	1993	1994	1995	1996
実用規模カスケード 試験装置の運転					
【各種試験】					
1) カスケード起動試験	初期真空排気試験	遠心機起動試験 カスケード起動試験			
2) ホット定格試験		○定格濃縮試験 ○濃度安定性試験 ○制御性試験 ○分離最適化試験 ○省電力試験 ○信頼性確認試験 ○環境温度試験 ○性能向上試験			
3) 非定常特性試験		(プラント異常を模擬した各種回避試験)			
4) 総合評価					
5) 分解点検					

○新素材高性能機の長期信頼性を実証

○カスケード起動試験, ホット定格試験及び非定常特性試験により,
カスケード運転技術の実証

○ホット運転時間実績 約2年間で故障台数 0台

② 新素材胴遠心機性能の推移



注) 遠心分離機分離性能はパイロットプラントのOP-1Aを1とした場合の比率で表した。

4. 開発費用と人員

	金属胴遠心機の開 発	パイロット・原型 プラント技術開発	新素材胴遠心機 の開 発	合 計
開発費	約710億円	約2,030億円	約510億円	約3,250億円
人 員	約1,300人年 (平均90人／年)	約3,000人年 (平均130人／年)	約1,100人年 (平均70人／年)	約5,400人年 (平均180人／年)

5. 得られた成果の普及

(1) 原燃への技術移転

(2) 外部発表及び工業所有権

(1) 原燃への技術移転

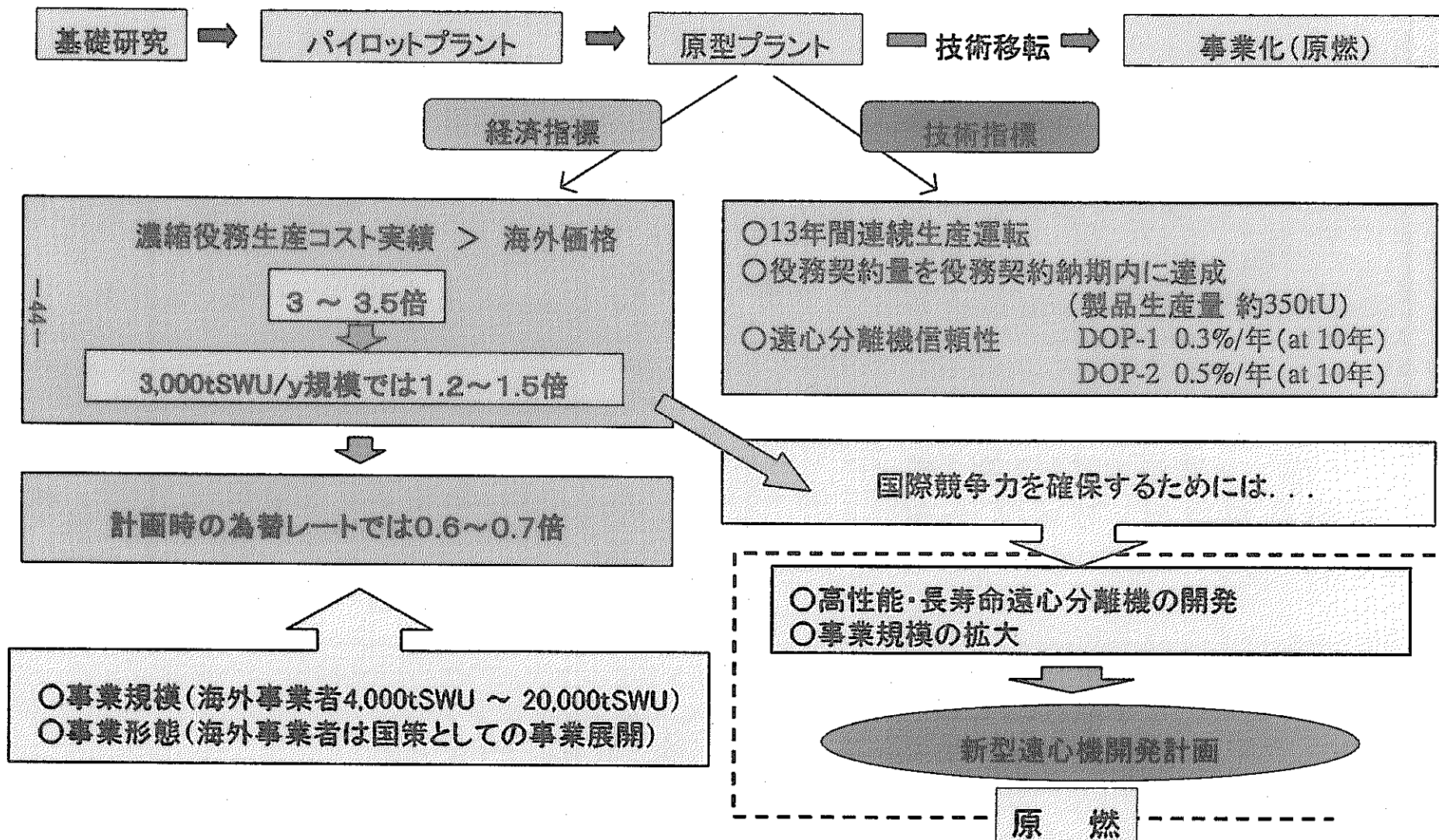
項 目	件 数 及 び 内 容
(1) 出向・派遣	延べ 68 名(累計 338 人年)
(2) 移 籍	20 名
(3) 研修生の受入れ	累計 187 人年
(4) 技術資料の開示	約 22,500 件 ○原型プラント設計図書 ○品質管理要領書 ○先導機開発資料 他
(5) 支援, 受託件数	348 件 ○設計支援(RE-1 プラント詳細設計の支援) ○建設, 運転, 準備支援(保障措置, 許認可申請 他) ○運転支援
(6) 共同研究	○新素材銅高性能機の開発 ○高度化機の開発 ○滞留ウラン除去及び回収技術の開発 他

(2) 外部発表及び工業所有権

項 目	件 数	備 考
(1) 国内学会発表等	122 件	原子力学会, 核物質管理学会, 報告と公演の会 他
(2) 国際学会発表等	55 件	IAEA との開発発表を含む
(3) 投稿, 寄稿	78 件	原子力年鑑, 原子力eye 電気評論 他
(4) 表彰等	23 件	科学技術庁長官賞 日本原子力学会賞 理事長表彰
(5) 社内技術資料	約 145,000 件	
(6) 工業所有権	国内 143 件 国外 13 件	特許及び実用新案

6. まとめ

原型プラントの達成度の評価



参 考 資 料 6

ウラン濃縮技術開発

自己評価書

ウラン濃縮技術開発 自己評価書

1. 研究開発の目的・意義

エネルギー資源に乏しい我が国では、昭和 30 年代初頭から、準国産エネルギーとなりうる可能性のある、原子力の利用を目指した研究・開発を国策として行ってきた。

国の開発方針は、原子力委員会により、その時代の技術レベルや社会環境を踏まえて検討が行われ、原子力開発利用長期計画（以下、原子力長計という）等として随時示された。

ウラン濃縮技術開発は、1961 年に出された原子力長計で初めてその位置づけが示されて以降、一環して『ウラン濃縮技術の実用化（*1 事業展開が可能な状況）による核燃料サイクルの自主性の確保』という意義が与えられてきた。その一方で、技術開発の目的は『基礎研究から基礎技術の開発へ、そしてパイロットプラント、原型プラントを経て事業化、経済的合理性の確保や事業としての定着』へと、技術開発の進捗に併せて変化した。

このように、ウラン濃縮技術開発は、国の原子力利用計画の基で開発が行われてきており、目的や意義は常に明確に示されていた。以下に、技術的側面からの代表的な開発目的・意義を示す。

- ① ウラン濃縮技術は、原子炉の燃料となる低濃縮ウランを生産する技術であり、この技術を保有しているか否かは、核燃料サイクルの完結性やバーゲニングパワー等から、原子力発電全体の経済性を左右する重要な要因であり、実用的（*1 と同じ）なウラン濃縮技術を保有することは、核燃料サイクルの自主的確立を目指す我が国においては意義がある。
- ② ウラン濃縮技術開発は核兵器製造技術への転用の恐れがあることから、国際的に機微技術として扱われており、海外からの情報や技術導入は一切考えられない。このため、ウラン濃縮技術を保有するためには、自主技術により開発する以外にない。また、海外のウラン濃縮事業者の例を見ても、ウラン濃縮の実用化（*1 と同じ）には多大な投資と技術の集約が必要であることから、民間主体の技術開発は困難であり、国のプロジェクトとして推進する意義がある。
- ③ ガス拡散法による既存施設の老朽化、及び次世代ウラン濃縮技術と目されていたレーザ法は開発の行き詰まりから、各国とも技術開発から撤退しており、ここ当面、遠心分離法が実用的（*1 と同じ）ウラン濃縮技術の中心のなるものと考えられることから、経済的合理性を追求した、新素材胴遠心分離機の開発は意義がある。

以上のように、ウラン濃縮技術開発の目的・意義は明確であり、核燃料サイクル

の自主的確立を目指す我が国にあっては、不可欠な技術開発であったと考える。

2. 研究開発目標

技術開発の成果を踏まえ、次の段階に確実かつ合理的に進むことができるよう、技術開発の各段階において、以下の目標を設定した。

金属胴遠心分離機の開発では、実用性（商用化が可能）の高い遠心分離機の基本構造の確立と周辺システムの技術確立及び小規模カスケード試験装置によるプラントとしての特性把握を目標とした。これは、実用化（商用化）に向けての次のステップであるパイロットプラントを実現するための技術的見極めに適切に答えるものであり、妥当なものとする。

パイロットプラントでは、数千台規模のカスケードにより濃縮ウランが生産できることの技術実証を主な目標とした。これは、これまでに開発してきた遠心分離機や周辺システムという要素技術で、最終目標である濃縮事業に用いるプラントができるか否かの技術見極めに適切に答えるものであり、妥当なものとする。

原型プラントでは、これまでのような要素技術の開発ではなく、ウラン濃縮プラント及びウラン濃縮事業というシステムのエンジニアリングや運転・運営ノウハウの確立といったソフト的な技術蓄積を目標とした。これは、商業プラントをスムーズに立ち上げるためのノウハウの取得という原型プラントの役割に適切に答えるものであり、妥当なものとする。

新素材胴遠心機の開発では、金属胴とは異なる特性を有した新素材胴遠心分離機の運転技術の確立と、新素材の特性を生かした分離性能の飛躍的向上を実現するための遠心機構造の確立を目標とした。これは、新素材胴遠心分離機が、ウラン濃縮事業の経済性を向上させるための、実現性が高く、かつ実用性（商用化遠心機）のある次世代技術となりうるか否かの技術的見極めに適切に答えるものであり、妥当なものとする。

3. 研究開発計画

ウラン濃縮技術開発は、基礎研究から始まり、ナショナルプロジェクトを経て、最終的には民間への技術移転による事業化までの約 40 年にも及ぶプロジェクトである。この間、ウラン濃縮技術の実用化（商用化）という最終目標に確実に到達し、かつ効率的な技術開発が行えるよう、技術開発の各段階において、以下の計画を設定した。

金属胴遠心分離機の開発では、参画したメーカーの特徴を生かした開発から、早い段階で遠心分離機の基本仕様を統一し、その中で、克服すべき技術技術の体系化を行い、これを基に、遠心分離機の基本構造が確立した。金属胴機で開発された基本構造は、最新の遠心分離機にも共通する枢要技術となっている。

また、遠心分離機の基本仕様を統一したことにより、ウラン濃縮プラントを構成する、周辺システムの検討も具体的に行うことができた。

パイロットプラントでは、OP-1A、OP-1B、OP-2 の 3 期に分けて建設・運転を行った。このような計画としたことで、この時期に急速に性能を向上させていた遠心分離機の開発と整合を取り、最新の遠心分離機や周辺システムにより、実用性（商用化）の確認に不可欠なカスケード試験を行うことができた。

原型プラントでは、技術的、経済的目標の確認は無論、民間への技術移転を意識し、設計、建設及びプラント運転の各段階において、技術移転先である原燃の建設及び運転要員への教育を行った。このような計画としたことで、プラントの建設や運転に関する技術移転がスムーズに行われた。

新素材高性能機の開発では、回転体の材質が、これまでの金属から新素材に変わった点に着目し、この点に的を絞った試験計画とした。また、基本特性把握と実用性（プラント用遠心機）の実証を同時に行うことができるよう、1,000 台規模のカスケード試験装置により必要な試験や技術実証を行う計画とした。このことにより、短期間で基本特性把握から実用性の検証及び運転技術の確立までを行うことができた。

六ヶ所ウラン濃縮工場の取替え機を目指した高度化機の開発では、原燃が開発の主体となり、サイクル機構が必要な協力を行う体制とした。また、これまでの遠心分離機の集合化構造を継承し、高周速化と長胴化により性能向上を図る計画とした。この結果、短期間で新素材胴遠心分離機と比べ約 1.5 倍の分離性能を達成した。反面、長期信頼性の課題が発生し、この課題を解決するには更なる開発期間を要することが判明した。一方、高度化機と並行して開発が進められてきた先導機の開発に見通しが出てきたことから、原燃は先導機の成果を反映した新型機の開発に移行することとした。

先導機の開発に当たっては、国際競争力を有する遠心分離機の基本仕様を明らかにし、これを達成するため、遠心分離機の高周速化と長胴化に着目し、個々の要素技術の開発を行い、その成果を集約し、遠心分離機を構成する計画とした。このような開発方法を採用したことで、短期間に従前とは大きく異なる構造の遠心分離機の実用性（商用機への可能性）に関する見通しを得ることができた。

4. 研究実施体制

ウラン濃縮技術開発の特徴は、基礎研究から始まり、最終目標がウラン濃縮の事業化（商業プラントの操業）という、技術的なギャップが大きく、目標達成に長時間を要するプロジェクトであったということができる。

事実、この約 30 年に及ぶウラン濃縮技術開発には、約 5,400 人年が直接従事し、約 3,250 億円の開発費用が投じられた。

しかも、ウラン濃縮技術開発は、核不拡散政策上の厳しい情報管理の制約を受けた中で行わなければならなかった。

このようなプロジェクトを確実に推進するには、技術資源や技術力を、目的に向かって効率よく集約することが重要となるが、そのためには、必要とされる技術を主体的に選択し、目標に向かってインテグレートするための技術の調整を行う中核組織が必要となる。また、インテグレートの過程では、技術の見極めのための試験等を自ら行い結果を評価できる技術力が求められる。

ウラン濃縮技術の実用化（商用化）を達成した要因の一つは、外部の評価委員会や大学等の助言や協力を得つつ、サイクル機構が一貫してこの技術の選択・調整を行う中核組織として機能したことを挙げることができると思う。

約 30 年に渡るウラン濃縮技術開発の過程では、技術開発の目標が、基礎研究から機器開発、プラント設計・建設、プラント運用へと変化してきており、中核組織であるサイクル機構が、この開発目標の変化に対応して、組織の機能を変化させてきたことも重要な要因であると思う。

また、実用化の見通しが得られた、パイロットプラントの後期以降は、技術の移転先である、原燃や電気事業者と協力し、人員の相互交流等を積極的に行うなどの技術移転に備えた体制を整えた。

さらに、新素材高性能機及び高度化機の開発に当たっては、電気事業者との共同研究とした。技術開発においても民間が主体となって進めるとの原子力委員会の取り纏めを受け、高度化機の開発ではサイクル機構がその開発を支援するとの体制で技術開発を行った。

5. 研究成果

ウラン濃縮技術開発では、1972 年に始まる基礎研究・技術開発期、パイロットプラント、原型プラントを経て民間へ技術移転を行った。1992 年 4 月に原燃による、六ヶ所ウラン濃縮工場が操業を開始したことにより、燃料サイクルの重要な要素である、ウラン濃縮を事業として確立した。この間、1979 年にはパイロットプラントの運転により、国際的にもウラン濃縮技術保有国としての地歩を固めた。

技術移転後は、国内濃縮事業の経済的合理性の向上を目的とした、新素材胴遠心分離機の開発を行い、技術的見通しを得ると共に、これらの技術も民間に技術移転した。

ウラン濃縮技術開発により、核燃料サイクルの輪を閉じるための重要な要素が実用化（商用化）されたことは、核燃料サイクルの自主的確立を目指す我が国においては大きな成果であったと思う。

また、ウラン濃縮技術開発がナショナルプロジェクトに指定され、その開発がようやく本格化した時期に出された、1972 年の原子力長計に述べられている『1980

年代には国内需要の一部を生産する』という目標に対して、1988年4月に200tSWU/年という小規模ではあるが、原型プラントが操業を開始した。

このことは、遠心分離機によりウラン同位体分離に初めて成功したのが、1969年であることを考えると、十分に評価できるものであると考える。

以下に実用化（商用化）まで至ったウラン濃縮技術開発成果を評価する上で、特に重要と考える、技術の達成度、技術移転、組織・開発体制の視点からの評価結果を述べる。

5. 1 技術の達成度

ウラン濃縮事業は、その事業内容が役務の提供であることから、品質や機能サービス等での個別評価が難しく、技術の達成度は、その技術を用いてどの程度のコストを実現できるかという、経済性が評価指標となる。

原型プラントの運転実績に基づく役務生産コストは、現時点において海外の代表的なウラン濃縮事業者と比較して約3～3.5倍程度となっているものと推定される。この値は役務生産コストが事業規模に依存するというウラン濃縮事業の特徴を考慮すれば、原型プラント段階の実績としては十分に評価できるものとする。仮に、原型プラントの技術を用いて事業規模を3,000tSWU/年にした場合、役務生産コストは現状の約30～40%になると推定される。

これらの結果から、原型プラント段階でウラン濃縮の事業化を見通すための必要最低限の技術レベルは達成したものであると考える。

一方、国際市場での濃縮役務の取引価格に対して、国内濃縮事業の経済的合理性を確保するためには、昭和60年代後半の急激な円高等に代表される、経済環境の大きな変化の影響もあり、原型プラント段階の技術では不十分となっている。そこで、海外事業者の市場戦略や技術進歩等に対応できる、より経済性の高い技術の継続的な導入が必要である。この点についても、新素材胴遠心機を使つての実用性（プラント用遠心機）の実証や先導機の開発により、大幅な性能向上の技術的見通しが得られたものと評価できる。

5. 2 技術移転

ウラン濃縮技術は、1985年に原燃との間で交わされた、ウラン濃縮技術協力基本協定に基づき、技術資料の提供や人的交流等を中心とした技術移転方式により、サイクル機構から原燃への移転が行われてきた。その結果、1992年には六ヶ所濃縮工場が操業を開始し、現在1,050tSWU/年まで設備規模の拡大が図られている。

一方、ウラン濃縮事業各国においては、経済性を追求して技術開発が継続的に進められており、国際競争力を維持・確保してゆくためには、開発成果を円滑に事業化に結びつけることが肝要である。従つて、従来までの開発者と事業者の2元的体

制から、事業者である原燃の中に昨年 11 月にウラン濃縮開発センターが設立され、サイクル機構の開発要員も参画した一元的な新型遠心機の開発体制が構築されたことは評価される。

5. 3 組織・開発体制（サイクル機構の果たした役割）

技術開発の初期を除くと、ウラン濃縮技術開発は、様々な技術を取捨選択し、遠心分離機及びウラン濃縮プラントにインテグレートして行く過程であると考えることができる。

このインテグレートして行く過程では、様々な要素技術を開発し、取捨選択しなければならないが、ウラン濃縮技術開発のようなインテグレートすべき技術の範囲が広く、かつ長期間に渡るプロジェクトでは、開発目的の設定や取捨選択の判断がどのように行われたかがプロジェクトの正否を決定する。

ウラン濃縮技術開発では、インテグレートして行く過程の全ての意志決定を、サイクル機構が自ら責任を持って行ってきた。このように、自ら試験設備を持ち、自ら試験を行い、その結果から得られた知識や経験に裏付けられた技術により、全ての意志決定を主体的に行い得たことが、ウラン濃縮技術開発の実用化（商用技術としての展開）を達成した要因になっていると考える。このような、プロジェクトを推進するための組織の在り方を示した点も、ウラン濃縮技術開発の成果として上げることができると思う。

6. 総合評価

ウラン濃縮技術開発は、核燃料サイクルの自主性の確立という、我が国の原子力政策を進める上での重要な技術課題の一つである、ウラン濃縮技術を自主技術により確立し、核燃料サイクルの輪を閉じるという、明確な目的・目標の下に実施してきた。

約 30 年に及ぶウラン濃縮技術開発には、約 5,400 人年が直接従事し、約 3,250 億円の開発費用が投じられたが、核燃料サイクルの自主性を確保する上で最も重要な、ウラン濃縮技術を商業レベルで実用化（商用化）し、ウラン濃縮技術の保有国として国際的な地歩を固めたことは大きな意義があった。

このような長期に渡る技術開発を計画的に行うことができた背景には、ナショナルプロジェクトとして、産・学・官の協力の下、サイクル機構がプロジェクトの全期間を通じて、一貫して、技術の調整を行う中核組織として機能したことを上げることができる。

また、この間に開発した技術は、事業化を行うための必要最低限のレベルには達していたものの、急激な円高等、この間の経済環境の変化等により、国際市場での濃縮役務の取引価格に対して、十分な価格競争量を持つまでには至っていなかった。

このため、海外事業者の市場戦略や技術進歩等に対応できる、より経済性が高くかつ短期間で実現できる見通しのある、新素材を使った遠心分離機の開発を行い、大幅な性能向上の技術的見通しが得られている。

ウラン濃縮事業は、現在国際的に非常に大きな変革期を迎えている。米国のガス拡散工場に代表される第一世代のプラントが老朽化やコスト高により、施設の更新を考えなければならない状況にあって、次世代ウラン濃縮技術の有力な候補と目されていたレーザ法は開発の行き詰まりから、各国とも技術開発から撤退している。その結果、ここ当面ウラン濃縮技術は遠心分離法に集約されることになるものと予測される。

このような状況の中で、遠心分離法によるウラン濃縮技術を保有しているのは、日本以外では、URENCO(イギリス、ドイツ、オランダ)、ロシア、米国等僅かである。

国内では、安定操業や経済的合理性の確保が課題になっているが、このような国際情勢も踏まえ、長期的及び国際的な戦略の基で、ウラン濃縮事業と新技術の開発が効率的に行われることが望まれる。