

# 平成12年度研究開発課題評価(事後評価)報告書

評価課題「回収ウラン転換技術開発」

平成13年3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12年度研究開発課題評価（事後評価）報告書  
評価課題「回収ウラン転換技術開発」

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、「回収ウラン転換技術開発」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.....	26

### 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 回収ウラン転換技術開発（課題説明資料）

参考資料 5 回収ウラン転換技術開発（OHP資料）

## 1. 概要

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、「回収ウラン転換技術開発」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	慶應義塾大学経済学部教授、経済学部長
	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
	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12年10月30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12年12月4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1月30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

- ・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。
- ・上記と異なる意見がある場合には、答申書にその意見を併記する。

#### 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

○実用化のために必要な技術開発課題は何か。

##### 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、課題の選定や目的・目標、進め方等の妥当性を総合的に判断する。



5. 評価結果（答申書）

平成13年1月30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[12 サイクル機構（企）067]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「回収ウラン転換技術開発」

以上

## 高速炉・燃料サイクル課題評価委員会報告書 「回収ウラン転換技術開発」の評価結果（事後評価）

### 評価結果の概要

回収ウラン転換技術開発（以下、「本技術開発」という。）は、国内における自主的な軽水炉核燃料サイクルの確立を目指し、回収ウランリサイクルの実証と民間再処理工場と整合のとれた回収ウラン転換工場の建設に必要とされる技術及び経済性を見通しを得ることを目的として、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。）が人形峠環境技術センター（旧人形峠事業所。以下、「人形峠センター」という。）を中心に実施したものである。

本技術開発は、原子力長期計画の基に、適切な目標と計画で遂行され、当初目標である回収ウランリサイクルが達成でき、かつ将来の商用転換工場に繋がる貴重な技術を成果として得ることができたことは高く評価できる。現時点では、天然ウランの供給が安定している状況から回収ウランリサイクルが直ちに商用化される状況にはないことから開発を終了したことは適切である。

再処理によって発生する回収ウランを再濃縮して再利用可能とすることは、ウランの有効利用を目指す核燃料サイクルを成立させる上で重要なテーマであり、ウラン資源の乏しい我が国にとって必要不可欠である。本技術開発は、回収ウランの特性を踏まえてUF<sub>6</sub>ガスへの転換を安全かつ経済的に実現させるための可能性を追求するものであり、その目的・意義は明確であった。

研究開発の目標として、回収ウランと天然ウランの物性や不純物の相違を考慮して回収ウランを商用規模で転換する技術の見通しを得ることを設定した点は適切である。この目標の下に、回収ウランの反応性改善、運転プロセス及び連続運転条件の把握、転換工程における超ウラン元素や核分裂生成物（以下、「TRU」や「FP」という。）等の不純物核種挙動、廃棄物の低減化、長期信頼性評価等、開発項目も明確にされていた。

研究開発計画の観点から、転換プロセスの開発、転換に係る安全性、放射性不純物核種の挙動評価、放射性廃棄物の評価、商用転換施設の評価と要点を押さえた開発計画となっていた。その内容は、商用化に向けてのコスト検討を除き具体的かつ妥当であった。

その進め方についても、小規模試験、中規模試験、実用化試験と段階を踏んで着実に進めた点は適切であった。

研究開発体制については、天然ウラン転換に係る既存施設や技術者を有し、かつ後工程のウラン濃縮施設を有する人形峠センターで研究開発が進められたことは適切であり、また電気事業者等との協力・連携も適切であった。このような進め方を通じて民間への技術移転が円滑に進むと考えられる。このような協力の結果、サイクル機構として投入した資金・人員も適正な規模であった。

研究開発成果については、回収ウランの反応性改善のための方法や条件の確立、TRUやFPの除去プロセスの確立、回収ウランの取り扱いに係る安全性確保、放射性不純物核種の挙動評価のための分析技術の開発等、得られた成果は高く評価できる。さらに、商用転換施設の技術的条件を見通せるまでの運転実績を上げており、その成立性の可能性を示すという最終目標を達成している。

本技術成果を踏まえた将来の商用化に向けての留意点は以下のとおりである。

- ・本技術開発では、商用転換施設の経済性検討の基礎となるデータが得られているが、将来の商用化に向けては、商用規模への拡大を適切に評価するためのスケールファクターの検討、さらに再処理、濃縮、加工等を含めたサイクル全体の検討が必要である。将来、商用転換施設が具体化した時点で、核燃料サイクル全体を含めた検討を行い、より詳細な経済性評価を行う必要がある。
- ・将来、回収ウラン利用の必要性が生じた時点で、本技術開発で蓄積したノウハウ等が活用できるよう、サイクル機構は、データベースの構築、技術の体系化及び維持を行うべきである。
- ・本技術開発で得られた成果は、必要に応じ関連機関に技術移転や成果の開示などを行うべきである。
- ・本技術開発で蓄積されたノウハウは、乾式再処理プロセス等にも反映が期待されることから、成果の普及、積極的な活用が望まれる。

## 評価結果

### (1)研究開発の目的・意義

1)天然ウランを産しない日本は、それを輸入に頼っている。低濃縮ウランを軽水炉で燃料として使用した後に、燃料中に残存しているウランは再処理によって回収することができる。この回収ウランは $^{235}\text{U}$ の濃度が約1%と天然ウラン中の $^{235}\text{U}$ より濃縮度が高く、それを転換再濃縮して用いると、天然ウラン輸入量や濃縮役務の軽減を図ることができる。ウラン資源に乏しい我が国にとって、回収ウランの利用は研究開発が始まった昭和50年代には必要不可欠と考えられていた。天然ウランの価格が安定している現在においても、長期的視点にたてば、回収ウランの利用は必ず将来必要になると考えられる。

これらの点より、本研究開発の目的・意義は明確で、社会的・経済的ニーズもあり、長期的に見て重要性も高いと考えられる。国の計画・方針とも合致しており、サイクル機構が実施すべき課題であった。

2)再処理によって発生する回収ウランを再濃縮して再利用可能とすることは、原子燃料サイクルを成立させる上で重要なテーマであり、回収ウランの特性を踏まえて、転換を安全かつ経済的に実現させるための可能性を追求するという目的・意義は明確かつ的確であった。原子力長期計画等国の方針とも合致しており、民間側のニーズにも応えたものである。

また、ウラン転換施設が国内ではサイクル機構・人形峠センターの施設のみという現実を踏まえると、サイクル機構が実施すべき研究開発課題として適切であった。

3)使用済み核燃料の再処理によって回収されるウランを再び核燃料として使うことは、ウラン資源の乏しい我が国にとって、必要不可欠である。このために、核燃料サイクルの一環として、再処理からの回収ウランを転換・再濃縮して、燃料として再利用するための回収ウラン転換技術を確立しておくことは、軽水炉を中心とした我が国の原子力利用の現状から充分意義がある。したがって、本技術開発の目的・意義は充分あったと判断される。

4)六ヶ所の再処理プラントが順調に稼働すると、年間800tonに近い回収ウランが生じ、その利用、処分方法が定まらない間はサイト内に保管、貯蔵することになる。

本技術開発はこの問題の解決の可能性を探る意味で大いに意義のあるものである。特に、再処理工場からのプルトニウムはプルサーマル、FBR へ、回収ウランは濃縮して軽水炉へ、という再処理を柱にしたサイクルの姿がより明確になるという意義もある。

また、平成 17 年に再処理工場運開と言う時期から見て、現時点から対応しておくべき課題であることは言うまでもないことである。

5)天然ウランと併せて、回収ウランを転換して再濃縮に供するための「回収ウラン転換技術開発」は昭和 53 年から開始されたものであり、長期にわたり色々とその時その時に社会的意義、重要性は変化しているものの現在まで通しても、十分高い意義目標を持った技術開発であった。

6)「回収ウラン転換技術開発」の研究が、回収ウランの再利用のための必要技術として、原子力長期計画における我が国の再処理体制の早急の確立に必要な技術開発研究として進められたことは、国の計画・方針との整合性をもち、長期的及び将来に備えた課題として、また開始当時の社会的・経済的ニーズにも対応した開発研究であったと評価する。

また、天然ウラン転換の施設と技術者を有し、かつダウン工程のウラン濃縮施設を持つ核燃料サイクル開発機構（人形峠環境技術センター）が開発研究を担当したことも妥当である。

7)原子力長期計画において、国内で再処理を行うことを原則とする方針が示されており、研究開発の目的と意義については異論の余地がない。

8)本研究開発の目的は、軽水炉燃料として使用されるウラン資源の再利用技術の自主開発を目指すことである。原子力発電システムのなかでもウラン資源を燃料とする軽水炉に大きく依存していること、さらにはウラン資源に乏しい我が国の現状に鑑み、本研究開発の目的は明確であり、その意義も大きい。加えて、天然ウランの UF<sub>6</sub> 転換工程と濃縮技術に関して実績のある人形峠センターにおいて、回収ウランに関わる本研究開発が行われたことは、先行研究（濃縮工程）の技術的知見と実績を応用できるという点でも大きな意義がある。

9)再処理から回収されたウランの再利用は、地味ではあるが資源の有効利用、廃棄物低減の観点から燃料サイクル上の重要課題と考える。昭和53年当時の原子力長期計画策定時とは違い、昨今のウラン価格の低迷により経済的、緊急的なニーズは現況では大きくないが、将来の燃料サイクルに必要な要件と考えられ、いずれは技術確立しなければならない課題と考える。

再処理技術の国内における研究開発主体として、再処理と密接に関連した本課題はサイクル機構が実施するにふさわしいと考える。

国外の関連技術動向の把握に関しては、説明時に海外の開発技術その現状について、あまり触れられなかったため、判断できない。

10)核燃料サイクルの確立を目指している日本としては、サイクルの完結、ウラン燃料の有効利用という点からも「回収ウラン転換技術」の開発は必要であり、妥当なものとする。国の方針との整合性もある。

経済性のニーズについては、海外での転換コストの方が見掛け上安いですが、輸送にかかわる手間や費用を考えると、国内での実用化を念頭においた技術確立の必要性はあったと思われる。

重要性、緊急性はそれほど高くはないと考えられるが、核燃料サイクル確立には長期間かかることを考えると、必要な技術の開発・技術上の問題点の見極め、経済性の検討などを早い段階でしておくことは必要であった。また、すでに天然ウランの転換・濃縮など関連技術・施設を有していたサイクル機構が手がける意味もあった。

11)回収ウランの再利用は、国の基本方針として、昭和53年の原子力長期計画において打ち出されている。日本には天然ウラン埋蔵量が希薄であり、また当時はその価格も遠からず上昇すると考えられていたのでこの方針は妥当であった。これを受けて、国の開発機関である現サイクル機構が回収ウランの転換技術の開発計画を立て、人形峠センターにおいて開発事業を進めたのは国の方針に沿ったものであり妥当であった。

また、その目的、意義も明確であった。緊急性は必ずしも無かったと思われるが、長期的には重要な技術になると予想されており、その商用的見通しを明確にするには相当の期間を要することから、昭和50年代半ばに着手したことは理解できる。

本研究開発の意義については、開始時に比べ平成に入ってから段々と変わってきた。現時点ではそのコストから考え、当面回収ウランを再利用することは考え

にくい。新原子力長期計画においても具体的な商用化計画は示されなかった。将来具体化される時点では技術も相当変わっていることも想定できる。平成3年度から始まった実用化試験は共同研究として行われており、資金の大部分は民間から拠出されているので本研究評価の対象としてはウエイトは小さいと考える。

- 12)本テーマは、使用済み燃料中のウランを回収し有効利用する技術の開発である。この技術の開発意義は主として昭和53年の原子力長期計画を根拠としている。しかしながら現時点で評価しなおしてみると、この技術を急いで開発する意義は当初に比較すると低くなった。その背景には、現在ウランは低価格で安定しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利であるとの状況がある。この技術が利用されるのは天然ウランの価格が現在よりも上昇した場合か、回収ウランの大量保有を原子力事業者が避けるべき情勢が生じた場合であろう。

開発意義の低下はウラン価格低迷という社会情勢の変化により生じたものであり、予察調査や小規模試験の段階では十分意義が認められるものであったと推察する。実用化試験計画段階では技術開発意義は低下したが、プロジェクトを中止した場合、再開に際し残る課題に新たに対処する必要があることと比較し、試験継続の場合は既設設備や人的資源が有効活用できる等のメリットがある。また、本技術が実用化された後の受け皿である産業界が主として資金を提供しており、実用化試験はそれまでに開発された技術の産業界への技術移転としてなされた側面もある本プロジェクトは一定の意義があったと評価できる。

## (2)研究開発の目標の設定

- 1)回収ウランの商用規模で転換する技術的見通しを得る技術開発を行うため、小規模試験、中規模試験、実用化試験と、段階を踏んで着実に進めるという目標の設定は適切であった。

回収ウランのUF<sub>6</sub>転換施設に係る国外の関連技術の動向も把握されており、回収ウランの反応性改善、運転プロセス条件の把握、連続運転性、転換工程における超ウラン元素や核分裂生成物等の不純物核種挙動、廃棄物の低減化等、ブレイクスルーすべき点も明確にされていたと評価できる。

- 2) 回収ウラン転換の実用化技術の開発という目的は、研究開発の意義から適切な目標設定と考える。

- 3) 諸外国における実例、資料も乏しい中で、予察試験による経験を積み、小規模、中規模、実用化の3段階の試験を設定し、その中で研究目標をいずれも明確に設定しており、またブレークスルーのポイントも適切に指摘されており、全体として妥当であり適切であると評価する。
- 4) 評価者が理解するところ、回収ウラン ( $UO_3$ ) の  $UF_6$  転換には、前処理として回収ウランの化学反応性改善が必要であり、回収ウランに含まれる放射性不純物 (FP、TRU) の除去技術の開発のためには、含有放射性不純物の挙動把握が必要である。この前処理工程に関わる基礎研究から得られた知見に基づいて、化学反応性改善技術としての水和処理工程が開発され、回収ウラン転換工程の主要な部分を構成する。さらに水和処理工程を組み込んだ転換プロセスでは、 $H_2$ 還元、 $HF$ フッ化、 $F_2$ フッ化などの工程における運転条件の把握が必要となる。特に、大量連続運転の条件に関わる問題として、腐食性の強い  $HF$  ガスや  $F_2$  ガスの安全な取り扱いと耐久性の高い装置の開発問題が挙げられる。これらの研究開発目標に照らして、開発スケジュールを「小規模試験」「中規模試験」「実用化試験」の3段階にわけて設定したことは、適切であり妥当である。
- 5) 天然ウランの  $UF_6$  への転換に係わる実績を基に、回収ウランと天然ウランとの物性や含有する不純物の異なりを考慮して、回収ウランを商用規模で  $UF_6$  へ転換する技術の技術的見通しをうることを目標としていることについては適切であったと判断される。なお、当初の回収ウランの性状の仕様と実際の回収ウランの性状に差異があったことに対しても、適切に見直しが行われ、回収ウランに含まれている不純物のプロセス内挙動を明らかにすることができたことから、当初の目標の設定を変更するに至らなかったと思われる。
- 6) 目標は妥当であった。海外の関連技術情報もほぼ把握している。  
不純物の除去、連続運転法の確立が目標の一つになったと思われるが、実際に利用した原料中の不純物濃度が当初の想定以下であり、不純物の除去の狙いが十分に検討されたかどうかやや不明確に感じる。
- 7) 「安定した稼働の実現のための連続プロセスの開発」、「回収ウランに含まれている不純物核種の除染の目途付け」、「生成廃棄物の特性評価」等目標の設定は適切と考える。



再処理製品が非常に不純物量が小さいという状況も踏まえて、後工程の再濃縮・加工も考慮した回収ウラン転換施設のあるべき姿の追求という観点からの目標設定または目標追加について若干不足の感がした。

- 8)回収ウランを UF<sub>6</sub> に転換出来るウラン技術の見通しを得る目標は妥当であるが、FP、TRU 等の一番、懸念される不純物の含有量、挙動の解明が転換工程の中だけで終わっているのは不十分で、濃縮工程の中でどのように悪さをするのかまでを、解明して欲しかった。

特に、含有量が微少であることが判明した後は、転換工程で除去工程を省いた場合の転換リサイクル全体の経済性評価がどうなるかを、もっと追求できるような柔軟な目標設定が望まれる。

また、天然ウランの転換施設を転用したという性格上、海外での技術動向に柔軟に対応できにくい点があったのは仕方がなかったが、今回の現地調査では、そこいらへんのサイクル機構の苦勞の説明をもう少し聴きたかったところである。

廃棄物低減計画についても、同様である。

- 9)研究開発を約5年単位で区切り、その期間の目標を順次基礎、基盤的技術から実証規模へと目標を設定していったのは妥当である。海外の実例の資料が乏しい中では、立てられた目標も適切であった考える。

小規模試験、中規模試験、実用化試験とステップアップした方式も納得できる。ただ、当時平行して進められていた濃縮、再処理技術の開発との技術の関連性、共通性が述べられていないこと、これらと連携した計画になっていたかどうか気になる。

実用化試験は資金的には大部分が民間から拠出されているので、実質的には民間の要求に沿ったものであろうが、最終段階としては適切な目標である。

- 10)予察調査や小規模試験の段階では目標の設定は適切であったと評価する。実用化試験では主たる目標を「技術の実用化」のための諸課題解決としており経済性の面で目標設定は不十分であったと考える。これはウランの低価格な安定などにより直ちに実用化される可能性は低くなってきたことが適宜反映されなかったためではないかと考える。ただ、技術の実用化を評価しようとした産業界にサイクル機構が一定の支援を行うのは国の機関としての役割でもあった。

### (3)研究開発計画

1)転換プロセスの開発、転換に係る安全性、放射性不純物核種の挙動評価、放射性廃棄物の評価、商用転換施設の評価と研究開発の要点を押さえた開発計画が立てられており、計画内容は具体的かつ妥当であった。

2)フィージビリティ研究のあと、小規模試験、中規模試験、実用化試験と各段階の解明事項を適切に捉え、着実に研究開発を行ってきたことが、成功につながったものと考ええる。

3)計画は概ね妥当であった。実用化への道筋に配慮され、安全性、廃棄物減量等実用化上重要と思える点も計画されていた。使用環境の厳しい装置の耐久性評価も計画されていたが、予想以上の腐食進行が認められた時点で、対応策も検討したのは適切な見直しであった。

4)小規模試験、中規模試験、実用化試験の3段階で進めた過程とかけた期間、および使用した施設・設備はほぼ妥当だったと思う。また、商業化を想定して研究開発プラントの規模を設定したことも妥当である。

この技術は実用化を念頭におかないと開発の意味はないと思うが、商業化の際の実施主体が異なることを考えると、技術がスムーズに移転されることが実用化の際に欠かせない。

5)転換プロセスの開発、安全性、不純物核種の挙動評価、等の転換技術開発の基本となる開発計画を開発目標で設定した各ステップでの研究目標に対して適切に立てられており、また各ステップでのチェックアンドレビューも組み込まれた計画となっている。これらの開発技術を実用化にもっていくための開発計画も適切に設定されている。さらに廃棄物の低減化策、商用プラントを目標とする設計検討、課題とその解決方法の提示、経済性の試算・評価についても、研究課題として計画に盛り込まれている。

ただし、開発研究が20年を越す長期間に亘るものであったことから、開発目標の3段階の試験の期間設定がバランスの良いものであったか、また要素研究の中規模試験に使われた施設、設備が、次のステップの実用化試験において適切なものであったか、また障害となるファクターがなかったのか、等の各ステップでのチェッ

クアンドレビューによる適切な見直しを具体化する機能が計画に必ずしも明確にされていないように思われる。

全体として開発研究の計画は概ね妥当と評価する。

- 6)小規模→中規模→実用化試験という段階的アプローチは適切であった。なお、実用化試験は対電力等との調整等色々な制約があったものと推察するが、結果としては相当長期間を要したかなという感がする。

使用設備は適切であった。実用化への道筋については、研究の早い段階から商用転換施設のフィジビリティスタディも検討対象に設定しており、研究の進捗・成果と連動して適切に検討されたものとする。

- 7)小課題の設定は妥当だが、各試験とも試験期間は長すぎるのではないかと。これだけ長いと、当初の目的が外部環境の変化に追従できなくなるようなことが起きる。

実用化の道筋という観点から見ると、回収ウランの性質が六ヶ所からのものはどれぐらい異なる可能性があるのかという点の詰め、経済性評価の中で、FP、TRU含有量が問題にならない位なのかどうか、もし、問題ないくらいであれば、除去工程を省略した場合の経済性、濃縮、成型加工時の被ばく評価等をもっと、踏み込んでやる必要がある。

- 8)事後評価の視点で見た場合、核燃料サイクル全体の進展度合いや余剰プルトニウム保有に対する国際世論の動向を見ながら、実用化試験段階の実施計画は見直すべきであったと考える。

個別のテーマで言えば、「回収ウランの反応性改善」と「水和処理の運転条件の設定」は、回収ウランの形態に強く依存するテーマであり、再処理プロセス見直しの可能性が出てきた時点で、大規模スケールでの試験計画は見直されても良かったのではないかと。

一方、その他の転換プロセスにおける「運転条件の設定」や「装置耐久性の評価」は、回収ウランの形態とはある程度切り離してその成果を利用することが可能であり、大規模スケールでの実用化試験の実施も妥当であったと考える。

「FP、TRU 除去プロセスの開発」については、回収ウラン中の不純物の濃度が測定限界下限以下であることが判明した時点で、その必要性を含めて見直されるべきであったと考える。ただし、このテーマが転換プロセスにおける不純物の挙動解析を主眼とするものであるなら、逆に、具体的な不純物の許容限界値を数値目標と

して設定し、各種濃度のトレーサーを用いた解析を行うべきであったと考える。

- 9) 研究開発計画のなかで、「回収ウラン転換に関わる安全性」を担保する研究開発課題として、(1)回収ウランの取り扱い、(2)HFガス、F<sub>2</sub>ガスの取り扱い、(3)回収ウラン輸送、の3点に着目したことは妥当である。ただし、「安全に取扱う方法」の検討および実証が計画されているが、特に商用転換施設レベルでの「取扱い実務」に関わる従事者の安全性を担保するための具体的な方法にまでは言及されていない。商用転換施設の設計に関して、施設によるプロセス運転と運転実務者が関わる作業部分を峻別した上で、実務者による人的作業レベルの安全性についても検討すべきである。
- 10) 回収ウラン転換技術実証に係わる課題を整理し、各課題について開発項目を設定していることから、研究開発計画そのものは妥当なものと判断される。なお、転換工程における不純物の挙動解明のための微量分析技術の開発が必要になり、計画の見直しが計られたようである。また、使用する施設・設備は既存のものを利用せざるを得なかったようであるが、事後評価では、当初の計画に対しての変更等が判るような記述がどこかに示されることが必要と思われる。
- 11) 本プロジェクトは技術の実用化の諸課題解決を目標として、資金は主として産業界から出されたものである。その部分を除いて考えるならば、計画の内容やスケジュール、資金計画等は妥当なものであったといえる。ただ、今後は、このように産業界が希望する技術開発に対しサイクル機構としてどのように支援体制をとっていくべきかの議論を別途する必要があるだろう。

#### (4)研究開発体制

- 1) 天然ウラン転換に係る既存施設や技術者を有し、次工程であるウラン濃縮施設を有する人形峠センターで研究開発が行われていたことは適切である。電気事業者等との協力・連携も適切であった。
- 2) 天然ウラン転換技術、人材、さらにその製錬転換施設を活用できたこと、また電気事業者との協力のもとで開発研究が進められており、20年余の長期の研究開発期間全体を通して、適切であると評価する。

3)プロパーの人員が 20-30 人／年というのは、妥当な体制と思える。本技術開発は中規模試験から民間との協力の下に進め、人員もそれに応じて外部の人員を増やしていったのは妥当であろう。年度毎に成果の評価を得て計画に反映する方式も共同研究にかなっている。この様な進め方を通じて技術の民間への移転がスムーズに進むと思える。

4)妥当であった。

5)産業界と連携して実施してきたこと、サイクル機構として投入した資金、人員はそれほど大規模なものでないことから、研究実施体制は適切であったといえる。

6)研究開発体制として当初は旧動力炉・核燃料開発事業団が実施し、その後、電気事業者等との共同研究契約の基で進められたことから、回収ウランを商業規模で転換する技術の技術的見通しを得ることの目標に対して良かったと判断できる。ただし、基礎データの取得等の観点からの大学等の他機関との共同研究が必要ではなかったのではないか。また、設備・機器についても、全工程を連結し、連続運転試験を実施しているが、予算の都合で、思うように機器配置できなかったようで、必要なデータが十分取れたのか疑問がある。

7)本研究開発の実施主体は、(現)サイクル機構・人形峠センターであるが、「中規模試験」および「実用化試験」に関して電気事業者等との共同研究体制がとられている。本研究開発が、回収ウランの商用転換施設の実用的設計までも開発課題に含んでいることからすれば、必要な研究体制である。この共同研究体制の実施に際して、研究開発にかかる費用および研究開発人員が、サイクル機構と電気事業者等との間でどのように分担されたのか、できるかぎり明示しておくべきであると思われる。説明資料の「6. 研究開発費用及び要員」には、電気事業者等の分担分が含まれているのかどうか、定かではない。

8) 使用施設・設備は適切であった。

しかしながら、スタート時点から 20 年以上にわたる長期開発であることと、国の核燃料サイクル技術(再処理技術)の再評価が遅れたため、適切な開発目標(具体的にはブレイクスルーすべき点)の再設定につながる見直し、中間評価がなされてい

なく、核燃料サイクル全体と合致する転換技術の高度化には必ずしもなっていない。その意味でも実施体制(組織・人員)は適切ではあるが、他機関との協力・連携は不十分であったといえる。

そのために逆に、JNC独自の技術開発がなされ、今後、核燃料サイクル全般に影響を及ぼし、他に応用できる可能性を持つ十分な成果を挙げているものとする。

## (5)研究開発成果

### ①成果の内容について

1) 回収ウランの転換施設として、実用規模に近いレベルで実際に長期に稼動したものはフランスと本研究であり、高く評価できる。フランスのプロセスはADUを原料とするのに対し、本プロセスは反応性の低い三酸化ウランを原料としており、その反応性の改善のための方法や条件の解明、核分裂生成物や超ウラン元素の除去プロセスの確立、回収ウランの取り扱いに係る安全性確保、放射性不純物核種の挙動評価のための分析技術の開発など、達成された成果は高く評価できる。さらに、商用転換施設の経済性を評価できる運転実績を挙げており、その成立性の可能性を示すという最終目標を達成している。

回収ウラン転換技術の実証と商用転換施設に必要とされる知見の取得という2大成果を挙げており、研究成果は高く評価できる。

2) 実用化技術を開発するという所期の目的は達成されたものとする。

3) 国内初の実用規模での技術を立証したものであり十分目標は達成されている。

4) 研究開発計画で設定された課題について、3段階のステップの中で、基礎技術開発、実用化技術、安全性、不純物対応処理、廃棄物等、さらに商用プラントを想定する評価研究、いずれも適切に研究が進められている。

5) 実際の回収ウランを用いて、開発した中規模の転換プロセスを運転して $UO_3$ から $UF_6$ への転換を行い、その技術の実証を行ったことは大きな成果である。また、製品としての $UF_6$ も再び燃料に再転換され、原子炉に供給され、燃料サイクルの輪が完成されたことを実証したとのことも大きな成果と言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物も転換プロセス内でのそれらの挙動を把握でき、分離回収できるこ

とも明らかにしている。従って、実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。

6) 実用化試験の結果開発された技術は、将来の商用プラント設計の基礎データを供給するに十分なものであると評価する。計画と比較して目標はほぼ達成されたものと考ええる。

7) 成果は充分高く、今後の実用化のためのベースとして十分なものであると考える。本報告でも  $F_2$  フッ化フレーム炉反応管の減肉・アルミナ製流動媒体の頻繁な交換等技術的課題が説明されていたが、それ以外でも粉体固着等に苦勞されたのではないかと推察する。実用化の際の問題点・留意点をキチンと整理しておく必要がある。

費用対効果では効果も大だったが、費用も相当要しており、施設の規模等の観点からやむを得なかったことと考える。

800ton 商用施設の経済性評価結果は決して満足のいく水準とは考えていない。例えば天然ウランとのブレンド等を考慮すればどれだけ低コスト化できるのか、関心あり。

8) 回収ウラン ( $UO_3$ ) を安定して水和できる攪拌式水和装置が開発され、転換プロセスにおける最適水和条件が明らかにされたことは、臨界安全性の観点から、高く評価できる。同時に、この水和方法による前処理工程を含めた転換工程の運転条件の設定および連続運転性と装置耐久性に関する評価の結果も、研究開発の成果として評価できる。

研究開発成果のうち「5.2 回収ウラン転換に関わる安全性」の「(1)回収ウランの取扱い」(研究開発課題説明資料6頁)に関して「回収ウランに含まれる核種の内、外部被ばくへの直接的な寄与が大きい核種は半減期の短い  $^{234m}\text{Pa}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  であること。従って、これらの親核種の存在に留意する必要があること」の意味が不明であったが、燃焼度が増大していった場合に配慮が必要なことが理解できた。重要な点であり確実な技術移転が必要である。

「5.3 放射性不純物核種の挙動評価」および「5.4 放射性廃棄物の評価」に関する研究開発成果については、特に問題はない。

「5.5 商用転換施設の評価」のうち(2)経済性評価については、説明資料でみるかぎり、十分な成果を読み取ることができない。説明資料では、「実用化試験における本試験設備の運転実績、及び回収ウラン処理量を基に、変動費、固定費の推移とそ

の内容をまとめ、…」と記述されているが、この実用化試験における試験設備の運転実績（実験データ）から、商用転換施設で想定される年間処理量（800tU/年）の経済性（処理量単位当り費用）を推定することが可能なのか。

試験設備の年間処理量（120tU/年）の範囲内における処理量（規模）と費用（変動費+固定費）の関係（パラメター）を、そのまま商用転換施設で想定される年間処理量（800tU/年）に適用することには問題がある。従って、試算値として示されている、年間処理量（120tU/年）では単位費用約 1,100 万円/tU、年間処理量（800tU/年）では単位費用約 600 万円/tU、から商用転換施設の成立可能性を示したことにはならないと思われる。

9)各テーマに対する成果は、それぞれを個別に見た場合、いずれも評価できるものである。

ただし、「5.5 商用転換施設の評価」については、海外で開発されている各種方法との比較において、直接的コストのみならず2次廃棄物発生量やプロセスの複雑さに伴う事故・故障のリスク等も含めた、利害得失の比較が不十分であると考えられる。

10)各段階毎に立てた計画に対応した成果が出ている。最終的に実用規模の試験を行い商用規模のプラントに関する技術、経済性等の情報が得られ、初期の目的はほぼ達成された。結果として評価されたコストを見ると、現時点では魅力的といえる選択肢とは思えない。実際には装置の取り替えを4年ごとに行うとすれば稼働率は悪くなるのでコストはもっと高くなるだろう。しかし、開発の実施時点で優れた耐食性を有する材料を開発することは極めて困難であっただろう。

11)技術的な面でみる限り、目標はほぼ達成していると考えられる。実用化も可能だろう。ただ、実施した 120tU の規模から実用レベルの 800tU への経済性の推定などについてももう少し検討すべき点はあるように思われる。また、商用転換施設設計に際して必要な長期信頼性の検討結果についてももう少し詳しい説明がほしい。

12)技術的見通しが付いたことは成果であるが、商業化した場合の経済性評価はもっと現実的なベースで、詳細に行う必要があり、サイクル全体の評価も必要である。

例えば、FP、TRU 除去工程の省略がどの位効くのか、残留濃縮度が1%位あるので、天然ウランから濃縮する場合に比べ、濃縮コストの低減分、ウラン鉱石費が不要、等である。



## ②実用化との関係

- 13)回収ウランは、従来、天然ウランから濃縮した場合に比べて放射能がかなり高く、その転換や取扱いにおいて特殊な注意が必要でないかと考えられていたが、本研究開発の結果、今回のように湿式法の再処理で回収されたウランを用いた場合は、回収ウランの利用に伴う放射線被ばくは天然ウランからのものを利用する場合と比べてそう大きいものでないことも明らかになり、実用化のための重要な知見となっている。さらに、本研究の範囲ではないが、転換された回収ウランを再濃縮し、それを用いて燃料集合体を製作し、中規模試験まででも 50 体近い燃料集合体が軽水炉に装荷されている。第 3 段階の実用化試験では、その数倍の燃料集合体が作られ利用される予定で、回収ウランの利用技術の確立に貢献したと評価できる。
- 14)実用化試験における連続運転により、実用規模での回収ウラン転換を実証することに成功し、装置の耐久性のデータ取得によるプラント設計へ反映、およびノウハウの蓄積によって、十分に実用化へ繋がる成果が得られていると評価する。
- 15)実用化への見通しに関しては、社会、経済環境と天然ウラン価格に起因する因子が大きく不透明である。
- 16) 商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされてはいるが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。

## ③成果の普及、公開について

- 17)15 件の工業所有権等が申請されていることをはじめとして成果の普及公開も適切に行われている。粉体の取り扱い技術など他分野へ波及効果が期待される技術の経験も蓄積されている。
- 18)成果の普及・公開は積極的に取り組んでいるものとする。
- 19)成果の公表等はそれなりになされていると評価する。

- 20)ここで得られた成果は、技術データベースとして整理し、保存されることが望まれる。また必要に応じ、関連機関に技術移転、成果の開示などが適切になされることが望まれる。
- 21)本開発研究の成果の外部への発表については、過去の動燃の体制上の問題もあったものと思われるが、外部への公表がやはり少ないと感ずる。機密事項に属するものは別として、波及効果をもたらす可能性から社会に還元してよい技術も多々あったものと思われ、今後の公開、普及に期待したい。
- 22)成果の普及公開については、国内学会発表は行われているが、論文、レポートは少ない。これは共同研究から来る制約があったと解釈する。
- 23)本来はそれ程必要とは思えないが、FPとTRUの挙動解明と種々のトラップで吸着分離回収する技術を開発している。これは現在JNCにて行われている実用化戦略調査研究の中の乾式再処理技術候補案の1つであるフッ化物揮発法へと直接的につながる貴重な成果であり、是非ともこの成果を応用・利用すべきである。
- また、本転換技術開発で開発された極微量分析技術も貴重な成果であり、さらに乾式再処理も含めて核燃料サイクルの他の分野に応用可能な技術でもあり、成果の移転・波及に心掛けるべきであろう。

## (6)その他

- 1)粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄積が必要とされることが多いと言われている。うまくいったことだけの結果だけでなく、トラブル等うまくいっていないことの状況およびその解決策の技術の伝承が必要である。
- 成果等は良いことばかりが強調されてしまうので、その点を配慮した成果のまとめが望まれる。
- 2)本プロジェクトのうち実用化試験は主として産業界が資金を提供して実施したものである。このような場合、サイクル機構のプロジェクトとしての評価とは別に、産業界としてのプロジェクトの評価がなされることが好ましい。

## (7)総合評価

- 1) 総合して、本研究開発は高い成果を挙げたと評価できる。
- 2) 本開発研究による回収ウラン転換技術が、我が国の商用転換施設に具体化されることを期待するが、開発研究で得られたノウハウ（経験技術として極めて貴重であり、重要である）とともにその成果を保持して欲しい。

総合評価として、本開発研究は適切な目標、計画のもとに進められ、得られた成果は商用プラントへ繋がるものとして我が国の貴重な技術として、また特に他の諸外国における開発研究が中止あるいはペンディングとなっている状況の中で、本開発研究が実用化を望める技術として終結できたことを、高く評価したい。

- 3) 本研究の目的・意義の重要性と成果を見ると、価値ある研究であったと考える。
- 4) 技術面では目標をほぼ達成し、妥当なプロジェクトであった。
- 5) 本技術開発は国の方針に従って着手され、着実に開発が進められた。最終的には実用規模の装置で技術的成立性を実証した。その成果は商用転換工場に対し技術的、経済的評価を行うに足るデータを蓄積し、今後の課題も摘出したと云える。実用化試験を主に民間の資金で行ったことも適切であった。

しかし、この間に周辺の様子は大きく変わり、回収ウランの転換の必要性は当面起こらないと考えられる状況である。従って、本開発を一旦終了することは正しい判断であろう。将来、回収ウラン利用の必要性が見えてきた時点で、その時の最新の技術も取り入れて再開することもあり得るので、ノウハウ等の蓄積した成果をまとめておくことが大切である。

- 6) 実際の回収ウランを用いて、 $UO_3$ から $UF_6$ への転換、 $UF_6$ の濃縮および燃料への再転換、さらに原子炉への燃料としての供給を行い、燃料サイクルの輪の完成を実証したことの成果は大きいと言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物の転換プロセス内でのそれらの挙動を把握し、分離回収できることも明らかにした。従って、転換技術の実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。

なお、商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされて

はいるが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。さらに、粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄積が必要とされることが多いと言われていることから、技術的ノウハウを含めて技術の伝承の工夫を考えてほしい。実用化プラントへのステップがかなり先となる場合は今のうちに技術評価の中に組み込んでおいて欲しい。

7)本プロジェクトが実用化の対象として選択した転換プロセスは、旧動燃が開発した天然ウラン転換技術および関連設備の有効利用を基にしているとの説明がなされた。この選択は、プロジェクト開始当時の技術レベルや環境からは妥当なものであったと考えられる。

しかし、スケールアップの開発計画への移行は、その後の状況の変化に応じて(基本プロセスの見直しを含めて)柔軟に変更されるべきであった。

例えば、旧動燃の開発した天然ウラン転換技術は、ウラン鉱山でのオンサイト一括処理に適するとされているが、国内の商用ウラン鉱床の探査は不成功に終わっており、その時点でオンサイト一括処理の前提は消滅している。

また、先進的核燃料リサイクルの考え方が出てきた時点で、再処理のプロセスそのものや回収ウランの形態も、将来的には変わり得ることを予見した研究計画へと修正するべきであった。

この場合に有効な戦略は、各種転換プロセスの利害得失を異なった前提の下で検討し直すと共に、将来的に変わり得る再処理プロセスに依存しない技術課題のみ(存在するとすれば)を切り出して先行的に実用化試験を行うというものであろう。

今後の新たな課題の遂行においては、上述のようなプロジェクトの柔軟性を保持しつつ、これまでに培われたノウハウの中で汎用的に利用可能なものや、人的資源の維持に努めることが望まれる。

8)技術的見通しを得たことは評価できる。

今後は、現実的なサイクルに組み入れた場合の、工程、経済性評価、廃棄物量の低減を詰める必要がある。

また、人形峠センターの施設を撤去した後、我が国で将来、転換事業をする場合、

本研究開発の成果をどのように維持、引き渡しをしていくのかを考えておく必要がある。

9) 経済的なニーズは少し先であるけれども、再処理から多量に発生するウランの再利用は、これからの燃料サイクルには必要な技術であり、その実用化技術が開発されたことには大きな意義があると考えられる。しかし、本技術が実用に使われるまで、この技術をどのように活かし、技術者も含め、技術継承していくかが課題と考える。

ここで得られた乾式の技術に関するノウハウや成果、また試験設備などは、現在サイクル機構で実施中の「実用化戦略調査研究」の推進に有益となるものがあると考えられる。それらを有効に利用することも考えられたい。また、その推進に関し他機関との共同研究などによる積極的な利用も有益と考える。

10) 本プロジェクトは、所期の目標を達成し一定の成果を得て終了したものと認める。しかしながら、本技術が商業化される見通しは当面立たない。これはウランが現在低価格で安定しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利な状況にあるためである。今後本技術開発に類する研究開発が行われる場合には、外部状況の変化を適宜反映することが検討されるべきと考える。しかし、実用化した場合に事業者となる産業界が大半の経費を負担して実施しようとしたことにサイクル機構が協力して実施したことは産業界への技術移転として一定の成果があったと評価できる。

11) 実用化試験における運転実績データから商用転換施設の経済性を推定している点を除けば、研究開発の目的・意義・目標等に照らしてみると、本研究開発の成果は、ほぼ満足すべき水準にあると評価できる。

【意見1】

(1)研究開発の目的・意義

天然ウランを産しない日本は、それを輸入に頼っている。低濃縮ウランを軽水炉で燃料として使用した後に、燃料中に残存しているウランは再処理によって回収することができる。この回収ウランはU-235の濃度が約1%と天然ウラン中の<sup>235</sup>Uより濃縮度が高く、それを転換再濃縮して用いると、天然ウラン輸入量や濃縮役務の軽減を図ることができる。ウラン資源に乏しい我が国にとって、回収ウランの利用は研究開発が始まった昭和50年代には必要不可欠と考えられていた。天然ウランの価格が安定している現在においても、長期的視点にたてば、回収ウランの利用は必ず将来必要になると考えられる。

これらの点より、本研究開発の目的・意義は明確で、社会的・経済的ニーズもあり、長期的に見て重要性も高いと考えられる。国の計画・方針とも合致しており、サイクル機構が実施すべき課題であった。

(2)研究開発の目標の設定

回収ウランの商用規模で転換する技術的見通しを得る技術開発を行うため、小規模試験、中規模試験、実用化試験と、段階を踏んで着実に進めるという目標の設定も適切であった。回収ウランのUF<sub>6</sub>転換施設に係る国外の関連技術の動向も把握されており、回収ウランの反応性改善、運転プロセス条件の把握、連続運転性、転換工程における超ウラン元素や核分裂生成物等の不純物核種挙動、廃棄物の低減化等、ブレイクスルーすべき点も明確にされていたと評価できる。

(3)研究開発計画

転換プロセスの開発、転換に係る安全性、放射性不純物核種の挙動評価、放射性廃棄物の評価、商用転換施設の評価と研究開発の要点を押さえた開発計画が立てられており、計画内容は具体的かつ妥当であった。

(4)研究開発体制

天然ウラン転換に係る既存施設や技術者を有し、次工程であるウラン濃縮施設を有する人形峠技術センターで研究開発が行われていたことは適切である。電気事業者等との協力・連携も適切であった。

(5)研究開発成果

回収ウランの転換施設として、実用規模に近いレベルで実際に長期に稼動したものはフランスと本研究であり、高く評価できる。フランスのプロセスはADUを原料とするのに対し、本プロセスは反応性の低い三酸化ウランを原料としており、その反応性の改善のた

めの方法や条件の解明、核分裂生成物や超ウラン元素の除去プロセスの確立、回収ウランの取り扱いに係る安全性確保、放射性不純物核種の挙動評価のための分析技術の開発など、達成された成果は高く評価できる。さらに、商用転換施設の経済性を評価できる運転実績を挙げており、その成立性の可能性を示すという最終目標を達成している。

回収ウラン転換技術の実証と商用転換施設に必要とされる知見の取得という2大成果を挙げており、研究成果は高く評価できる。

回収ウランは、従来、天然ウランから濃縮した場合に比べて放射能がかなり高く、その転換や取扱いにおいて特殊な注意が必要でないかと考えられていたが、本研究開発の結果、今回のように湿式法の再処理で回収されたウランを用いた場合は、回収ウランの利用に伴う放射線被曝は天然ウランからのものを利用する場合と比べてそう大きいものでないことも明らかになり、実用化のための重要な知見となっている。さらに、本研究の範囲ではないが、転換された回収ウランを再濃縮し、それを用いて燃料集合体を製作し、中規模試験まででも50体近い燃料集合体が軽水炉に装荷されている。第3段階の実用化試験では、その数倍の燃料集合体が作られ利用される予定で、回収ウランの利用技術の確立に貢献したと評価できる。

15件の工業所有権等が申請されていることをはじめとして成果の普及公開も適切に行われている。粉体の取り扱い技術など他分野へ波及効果が期待される技術の経験も蓄積されている。

以上を総合して、本研究開発は高い成果を挙げたと評価できる。

## 【意見2】

### (1) 研究開発の目的、意義

- ・再処理から回収されたウランの再利用は、地味ではあるが資源の有効利用、廃棄物低減の観点から燃料サイクル上の重要課題と考える。昭和53年当時の長計策定時とは違い、昨今のウラン価格の低迷により経済的、緊急的なニーズは現況では大きくないが、将来の燃料サイクルに必要な要件と考えられ、いずれは技術確立しなければならない課題と考える。
- ・再処理技術の国内における研究開発主体として、再処理を密接に関連した本課題はサイクル機構が実施するにふさわしいと考える。
- ・国外の関連技術動向の把握に関しては、説明時に海外の開発技術その現状について、あまり触れられなかったため、判断できない。

### (2) 研究開発目標の設定

- ・回収ウラン転換の実用化技術の開発という目的は、上記に述べた意義から適切な目標

設定と考える。

### (3) 研究開発計画

- ・フィージビリティ研究のあと、小規模試験、中規模試験、実用化試験と各段階の解明事項を適切に捉え、着実に研究開発を行ってきたことが、成功につながったものとする。

### (4) 研究開発体制

- ・特に無し

### (5) 研究開発成果

- ・実用化技術を開発するという所期の目的は達成されたものとする。ここで得られた成果は、技術データベースとして整理し、保存されることが望まれる。また必要に応じ、関連機関に技術移転、成果の開示などが適切になされることが望まれる。
- ・経済性評価に関して、海外転換に比べ割高であるが、この理由は何か。また、海外費用並にすることは可能か。

### (6) その他

- ・特に無し

### (7) 総合評価

- ・経済的なニーズは少し先であるけれども、再処理から多量に発生するウランの再利用は、これからの燃料サイクルには必要な技術であり、その実用化技術が開発されたことには大きな意義があるとする。しかし、この技術が実用に使われるまで、この技術をどのように活かし、技術者も含め、技術継承していくかが課題とする。
- ・ここで得られた乾式に関する技術に関するノウハウや成果、また試験設備などは、現在貴サイクル機構で実施中の「実用化戦略調査研究」の推進に有益となるものがあると考えられる。それらを有効に利用することも考えられたい。また、その推進に関し他機関との共同研究などによる積極的な利用も有益とする。

## 【意見3】

### (1) 研究開発の目的・意義

- ・再処理によって発生する回収ウランを再濃縮して再利用可能とすることは、原子燃料サイクルを成立させる上で重要なテーマであり、回収ウランの特性を踏まえて、転換を安全かつ経済的に実現させるための可能性を追求するという目的・意義は明確かつ的確。
- ・本件は長期計画等国の方針とも合致しており、民間側のニーズにも応えたものである。
- ・ウラン転換施設が国内ではサイクル機構人形施設のみという現実を踏まえると、サイクル機構が実施すべき研究開発課題として適切。



## (2)研究開発目標の設定

- ・「安定した稼働の実現のための連続プロセスの開発」、「回収ウランに含まれている不純物核種の除染の目途付け」、「生成廃棄物の特性評価」等目標の設定は適切と考える。
- ・再処理製品が非常に不純物量が小さいという状況も踏まえて、後工程の再濃縮・加工も考慮した回収ウラン転換施設のあるべき姿の追求という観点からの目標設定または目標追加について若干不足の感がした。

## (3)研究開発計画

- ・小規模→中規模→実用化試験という段階的アプローチは適切。  
なお実用化試験は対電力等との調整等色々な制約があったものと推察するが、結果としては相当長期間を要したかなという感がする。
- ・使用設備は適切。
- ・実用化への道筋については、研究の早い段階から商用転換施設のフェージビリティスタディも検討対象に設定しており、研究の進捗・成果と連動して適切に検討されたものとする。

## (4)研究開発体制

- ・特に意見なし

## (5)研究開発成果

- ・成果は充分高く、今後の実用化のためのベースとして十分なものであると考える。  
本報告でもF2フッ化フレーム炉反応管の減肉・アルミナ製流動媒体の頻繁な交換等技術的課題が説明されていたが、それ以外でも粉体固着等に苦労されたのではないかと推察。実用化の際の問題点・留意点をキチンと整理しておくことをお願いしたい。
- ・費用対効果では効果も大だったが、費用も相当要しており、施設の規模等の観点からやむをえなかったことと考える。
- ・800トン商用施設の経済性評価結果は決して満足のいく水準とは考えていない。例えば天然ウランとのブレンド等を考慮すればどれだけ低コスト化できるのか、関心あり。
- ・成果の普及・公開は積極的に取り組んでいるものとする。

## (6)その他

- ・特になし

## (7)総合評価

- ・本研究の目的・意義の重要性と成果を見ると、価値ある研究であったと考える。
- ・今後の実用化追求のための意見・要望は2項と5項を参照のこと。

## 【意見 4】

### (1) 研究開発の目的・意義

本研究開発の目的は、軽水炉燃料として使用されるウラン資源の再利用技術の自主開発をめざすことである。原子力発電システムのなかでもウラン資源を燃料とする軽水炉に大きく依存していること、さらにはウラン資源に乏しい我が国の現状に鑑み、本研究開発の目的は明確であり、その意義も大きい。加えて、天然ウランの  $UF_6$  転換工程と濃縮技術に関して実績のある人形峠環境技術センターにおいて、回収ウランに関わる本研究開発が行われたことは、先行研究（濃縮工程）の技術的知見と実績を応用できるという点でも大きな意義がある。

### (2) 研究開発目標の設定および(3) 研究開発計画について

評価者が理解するところ、回収ウラン ( $UO_3$ ) の  $UF_6$  転換には、前処理として回収ウランの化学反応性改善が必要であり、回収ウランに含まれる放射性不純物 (FP、TRU) の、除去技術の開発のためには、含有放射性不純物の挙動把握が必要である。この前処理工程に関わる基礎研究から得られた知見に基づいて、技術としての水和処理工程が開発され、回収ウラン転換工程の主要な部分を構成する。さらに水和処理工程を組み込んだ転換プロセスでは、 $H_2$ 還元、 $HF$ フッ化、 $F_2$ フッ化などの工程における運転条件の把握が必要となる。特に、大量連続運転の条件に関わる問題として、腐食性の強い  $HF$  ガスや  $F_2$  ガスの安全な取り扱いと耐久性の高い装置の開発問題が挙げられる。これらの研究開発目標に照らして、開発スケジュールを「小規模試験」「中規模試験」「実用化試験」の3段階にわけて設定したことは、適切であり妥当である。

また、研究開発計画のなかで、「回収ウラン転換に関わる安全性」を担保する研究開発課題として、(1) 回収ウランの取り扱い、(2)  $HF$  ガス、 $F_2$  ガスの取り扱い、(3) 回収ウラン輸送、の3点に着目したことは妥当である。ただし、「安全に取扱う方法」の検討および実証が計画されているが、特に商用転換施設レベルでの「取扱い実務」に関わる従事者の安全性を担保するための具体的な方法にまでは言及されていない。商用転換施設の設計に関して、施設によるプロセス運転と運転実務者が関わる作業部分を峻別した上で、実務者による人的作業レベルの安全性についても検討すべきである。

### (4) 研究開発（実施）体制

本研究開発の実施主体は、(現)核燃料サイクル開発機構・人形峠環境技術センターであるが、「中規模試験」および「実用化試験」に関して電気事業者等との共同研究体制がとられている。本研究開発が、回収ウランの商用転換施設の実用的設計までも開発課題に含んでいることからすれば、必要な研究体制である。この共同研究体制の実施に際して、研究開発にかかる費用および研究開発人員が、核燃料サイクル開発機構と電気事業者等との間

でどのように分担されたのか、できるかぎり明示しておくべきであると思われる。説明資料の「6. 研究開発費用及び要員」には、電気事業者等の分担分が含まれているのかどうか、定かではない。

### (5) 研究開発成果

回収ウラン ( $UO_3$ ) を安定して水和できる攪拌式水和装置が開発され、転換プロセスにおける最適水和条件が明らかにされたことは、臨界安全性の観点から、高く評価できる。同時に、この水和方法による前処理工程を含めた転換工程の運転条件の設定および連続運転性と装置耐久性に関する評価の結果も、研究開発の成果として評価できる。

研究開発成果のうち「5.2 回収ウラン転換に関わる安全性」の「(1) 回収ウランの取扱い」(研究開発課題説明資料6頁)に関して「回収ウランに含まれる核種の内、外部被ばくへの直接的な寄与が大きい核種は半減期の短い  $^{234m}Pa$ ,  $^{212}Bi$ ,  $^{208}Tl$  であること。従って、これらの親核種の存在に留意する必要があることの意味が不明であったが、燃焼度が増大していった場合に配慮が必要ながことが理解できた。重要な点であり確実な技術移転が必要である。

「5.3 放射性不純物核種の挙動評価」および「5.4 放射性廃棄物の評価」に関する研究開発成果については、特に問題はない。

「5.5 商用転換施設の評価」のうち(2) 経済性評価については、説明資料でみるかぎり、十分な成果を読み取ることができない。説明資料では、「実用化試験における本試験設備の運転実績、及び回収ウラン処理量を基に、変動費、固定費の推移とその内容をまとめ、

」と記述されているが、この実用化試験における試験設備の運転実績(実験データ)から、商用転換施設で想定される年間処理量(800tU/年)の経済性(処理量単位当り費用)を推定することが可能なのか。試験設備の年間処理量(120tU/年)の範囲内における処理量(規模)と費用(変動費+固定費)の関係(パラメター)を、そのまま商用転換施設で想定される年間処理量(800tU/年)に適用することには問題がある。従って、試算値として示されている、年間処理量(120tU/年)では単位費用約1,100万円/tU、年間処理量(800tU/年)では単位費用約600万円/tU、から商用転換施設の成立可能性を示したことにはならないと思われる。

### (6) その他

上述のこと以外には、特に言及すべきことはない。

### (7) 総合評価

実用化試験における運転実績データから商用転換施設の経済性を推定している点を除けば、研究開発の目的・意義・目標等に照らしてみると、本研究開発の成果は、ほぼ満足すべき水準にあると評価できる。

## 【意見5】

### (1)研究開発の目的・意義

原子力利用長期計画において、国内で再処理を行うことを原則とする方針が示されており、研究開発の目的と意義については異論の余地がない。

### (2)研究開発目標の設定、及び(3)研究開発計画

事後評価の視点で見た場合、核燃料サイクル全体の進展度合いや余剰プルトニウム保有に対する国際世論の動向を見ながら、実用化試験段階の実施計画は見直すべきであったと考える。

個別のテーマで言えば、「回収ウランの反応性改善」と「水和処理の運転条件の設定」は、回収ウランの形態に強く依存するテーマであり、再処理プロセス見直しの可能性が出てきた時点で、大規模スケールでの試験計画は見直されても良かったのではないかと考える。

一方、その他の転換プロセスにおける「運転条件の設定」や「装置耐久性の評価」は、回収ウランの形態とはある程度切り離してその成果を利用することが可能であり、大規模スケールでの実用化試験の実施も妥当であったと考える。

「FP、TRU 除去プロセスの開発」については、回収ウラン中の不純物の濃度が測定限界下限以下であることが判明した時点で、その必要性を含めて見直されるべきであったと考える。ただし、このテーマが転換プロセスにおける不純物の挙動解析を主眼とするものであるなら、逆に、具体的な不純物の許容限界値を数値目標として設定し、各種濃度のトレーサーを用いた解析を行うべきであったと考える。

### (4)研究実施体制

特になし

### (5)研究開発成果

各テーマに対する成果は、それぞれを個別に見た場合、いずれも評価できるものである。ただし、「5.5 商用転換施設の評価」については、海外で開発されている各種方法との比較において、直接的コストのみならず2次廃棄物発生量やプロセスの複雑さに伴う事故・故障のリスク等も含めた、利害得失の比較が不十分であると考えられる。

### (6)その他

特になし

### (7)総合評価

本プロジェクトが実用化の対象として選択した転換プロセスは、旧動燃が開発した天然ウラン転換技術および関連設備の有効利用を基にしているとの説明がなされた。この選択は、プロジェクト開始当時の技術レベルや環境からは妥当なものであったと考えられる。しかし、スケールアップの開発計画への移行は、その後の状況の変化に応じて（基本プロ

セスの見直しを含めて)柔軟に変更されるべきであった。

例えば、旧動燃の開発した天然ウラン転換技術は、ウラン鉱山でのオンサイト一括処理に適するとされているが、国内の商用ウラン鉱床の探査は不成功に終わっており、その時点でオンサイト一括処理の前提は消滅している。

また、先進的核燃料リサイクルの考え方が出てきた時点で、再処理のプロセスそのものや回収ウランの形態も、将来的には変わり得ることを予見した研究計画へと修正するべきであった。

この場合に有効な戦略は、各種転換プロセスの利害得失を異なった前提の下で検討し直すと共に、将来的に変わり得る再処理プロセスに依存しない技術課題のみ(存在するとすれば)を切り出して先行的に実用化試験を行うというものであろう。

今後の新たな課題の遂行においては、上述のようなプロジェクトの柔軟性を保持しつつ、これまでに培われたノウハウの中で汎用的に利用可能なものや、人的資源の維持に努めることが望まれる。

## 【意見6】

### (1)研究開発の目的・意義

「回収ウラン転換技術開発」の研究が、回収ウランの再利用のための必要技術として、原子力開発長期計画における我が国の再処理体制の早急の確立に必要な技術開発研究として進められたことは、国の計画・方針との整合性をもち、長期的及び将来に備えた課題として、また開始当時の社会的・経済的ニーズにも対応した開発研究であったと評価する。また、天然ウラン転換の施設と技術者を有し、かつダウン工程のウラン濃縮施設を持つ核燃料サイクル開発機構(人形峠環境技術センター)が開発研究を担当したことも妥当である。

### (2)研究開発の目標の設定

諸外国における実例、資料も乏しい中で、予察試験による経験を積み、小規模、中規模、実用化の3段階の試験を設定し、その中で研究目標をいずれも明確に設定しており、またブレークスルーのポイントも適切に指摘されており、全体として妥当であり適切であると評価する。

### (3)研究開発計画

転換プロセスの開発、安全性、不純物核種の挙動評価、等の転換技術開発の基本となる開発計画を開発目標で設定した各ステップでの研究目標に対して適切に立てられており、また各ステップでのチェックアンドレビューも組み込まれた計画となっている。これらの開発技術を実用化にもっていくための開発計画も適切に設定されている。さらに廃棄物の

低減化策、商用プラントを目標とする設計検討、課題とその解決方法の提示、経済性の試算・評価についても、研究課題として計画に盛り込まれている。ただし、開発研究が20年を越す長期間に亘るものであったことから、開発目標の3段階の試験の期間設定がバランスの良いものであったか、また要素研究の中規模試験使われた施設、設備が、次のステップの実用化試験において適切なものであったか、また障害となるファクターがなかったのか、等の各ステップでのチェックアンドレビューによる適切な見直しを具体化する機能が計画に必ずしも明確にされていないように思われる。全体として開発研究の計画は概ね妥当と評価する。

#### **(4)研究開発体制**

天然ウラン転換技術、人材、さらにその製錬転換施設を活用できたこと、また電気事業者との協力のもとで開発研究が進められており、20年余の長期の研究開発期間全体を通して、適切であると評価する。

#### **(5)研究開発成果**

##### **①成果の内容について**

研究開発計画で設定された課題について、3段階のステップの中で、基礎技術開発、実用化技術、安全性、不純物対応処理、廃棄物等、さらに商用プラントを想定する評価研究、いずれも適切に研究が進められている。

##### **②実用化との関係について**

実用化試験における連続運転により、実用規模での回収ウラン転換を実証することに成功し、装置の耐久性のデータ取得によるプラント設計へ反映、およびノウハウの蓄積によって、十分に実用化へ繋がる成果が得られていると評価する。

##### **③成果の普及、公開について**

本開発研究の成果の外部への発表については、過去の動燃の体制上の問題もあったものと思われるが、外部への公表がやはり少ないと感ずる。機密事項に属するものは別として、波及効果をもたらす可能性から社会に還元してよい技術もた多々あったものと思われ。今後の公開、普及に期待したい。

#### **(6)その他**

特になし。

#### **(7)総合評価**

本開発研究による回収ウラン転換技術が、我が国の商用転換施設に具体化されることを期待するが、開発研究で得られたノウハウ（経験技術として極めて貴重であり、重要である）とともにその成果を保持して欲しい。総合評価として、本開発研究は適切な目標、計画のもとに進められ、得られた成果は商用プラントへ繋がるものとして我が国の貴重な技

術として、また特に他の諸外国における開発研究が中止あるいはペンディングとなっている状況の中で、本開発研究が実用化を望める技術として終結できたことを、高く評価したい。

## 【意見 7】

### (1) 研究開発の目的・意義

回収ウランを再利用は、国の基本方針として、昭和 53 年の原子力長期計画において打ち出されている。日本には天然ウラン埋蔵量が希薄であり、また当時はその価格も遠からず上昇すると考えられていたのでこの方針は妥当であった。これを受けて、国の開発機関である現サイクル機構が回収ウランの転換技術の開発計画を立て、人形峠事業所において開発事業を進めたのは国の方針に沿ったものであり妥当であった。

また、その目的、意義も明確であった。緊急性は必ずしも無かったと思われるが、長期的には重要な技術になると予想されており、その商用的見通しを明確にするには相当の期間を要することから、昭和 50 年代半ばに着手したことは理解できる。

本研究開発の意義については、開始時に比べ平成に入ってから段々と変わってきた。現時点ではそのコストから考え、当面回収ウランを再利用することは考えにくい。新原子力長期計画においても具体的な商用化計画は示されなかった。将来具体化される時点では技術も相当変わっていることも想定できる。平成 3 年度から始まった実用化試験は共同研究として行われており、資金の大部分は民間から拠出されているので本研究評価の対象としてはウエイトは小さいと考える。

### (2) 研究開発目標の設定

研究開発を約 5 年単位で区切り、その期間の目標を順次基礎、基盤的技術から実証規模へと目標を設定していったのは妥当である。海外の実例の資料が乏しい中では、立てられた目標も適切であったと考える。

小規模試験、中規模試験、実用化試験とステップアップした方式も納得できる。ただ当時平行して進められていた濃縮、再処理技術の開発との技術の関連性、共通性が述べられていないこと、これらと連携した計画になっていたかどうか気になる。

実用化試験は資金的には大部分が民間から拠出されているので、実質的には民間の要求に沿ったものであろうが、最終段階としては適切な目標である。

### (3) 研究開発計画

計画は概ね妥当であった。実用化への道筋に配慮され、安全性、廃棄物減量等実用化上重要と思える点も計画されていた。使用環境の厳しい装置の耐久性評価も計画されていたが、予想以上の腐食進行が認められた時点で、対応策も検討したのは適切な見直しであった。

た。

#### (4) 研究開発体制

プロパーの人員が 20-30 人／年というのは、妥当な体制と思える。本技術開発は中規模試験から民間との協力の下に進め、人員もそれに応じて外部の人員を増やしていったのは妥当であろう。年度毎に成果の評価を得て計画に反映する方式も共同研究にかなっている。このような進め方を通じて技術の民間への移転がスムーズに進むと思える。

#### (5) 研究開発成果

各段階毎に立てた計画に対応した成果が出ている。最終的に実用規模の試験を行い商用規模のプラントに関する技術、経済性等の情報が得られ、初期の目的はほぼ達成された。結果として評価されたコストを見ると、現時点では魅力的といえる選択肢とは思えない。実際には装置の取り替えを 4 年ごとに行うとすれば稼働率は悪くなるのでコストはもっと高くなる。しかし、開発の実施時点で優れた耐食性を有する材料を開発することは極めて困難であったろう。

実用化への見通しに関しては、社会、経済環境と天然ウラン価格に起因する因子が大きく不透明である。

成果の普及公開については、国内学会発表は行われているが、論文、レポートは少ない。これは共同研究から来る制約があったと解釈する。

#### (6) その他

特になし

#### (7) 総合評価

本技術開発は国の方針に従って着手され、着実に開発が進められた。最終的には実用規模の装置で技術的成立性を実証した。その成果は商用転換工場に対し技術的、経済的評価を行うに足るデータを蓄積し、今後の課題も抽出したと云える。実用化試験を主に民間の資金で行ったことも適切であった。

しかし、この間に周辺の様子は大きく変わり、回収ウランの転換の必要性は当面起こらないと考えられる状況である。従って、本開発を一旦終了することは正しい判断であろう。将来、回収ウラン利用の必要性が見えてきた時点で、その時の最新の技術も取り入れて再開することもあり得るので、ノウハウ等の蓄積した成果をまとめておくことが大切である。

### 【意見 8】

#### (1) 研究開発の目的・意義

核燃料サイクルの確立を目指している日本としては、サイクルの完結、ウラン燃料の有効利用という点からも「回収ウラン転換技術」の開発は必要であり、妥当なものと考ええる。



国の方針との整合性もある。

経済性のニーズについては、海外での転換コストの方が見掛け上安いですが、輸送にかかわる手間や費用を考えると、国内での実用化を念頭においた技術確立の必要性はあったと思われる。

重要性、緊急性はそれほど高くはないと考えられるが、核燃料サイクル確立には長期間かかることを考えると、必要な技術の開発・技術上の問題点の見極め、経済性の検討などを早い段階でやっておくことは必要であった。また、すでに天然ウランの転換・濃縮など関連技術・施設を有していたサイクル機構が手がける意味もあった。

## (2)研究開発目標の設定

目標は妥当であった。海外の関連技術情報もほぼ把握している。

不純物の除去、連続運転法の確立が目標の一つになったと思われるが、実際に利用した原料中の不純物濃度が当初の想定以下であり、不純物の除去の狙いが十分に検討されたかどうかやや不明確に感じる。

## (3)研究開発計画

小規模試験、中規模試験、実用化試験の3段階で進めた過程とかけた期間、および使用した施設・設備はほぼ妥当だったと思う。また、商業化を想定して研究開発プラントの規模を設定したことも妥当である。

この技術は実用化を念頭におかないと開発の意味はないと思うが、商業化の際の実施主体が異なることを考えると、技術がスムーズに移転されることが実用化の際に欠かせない。

## (4)実施体制

妥当であった。

## (5)研究開発成果

技術的な面のみでみれば、目標はほぼ達成していると考えられる。実用化も可能だろう。ただ、実施した120 tUの規模から実用レベルの800 tUへの経済性の推定などについてもう少し検討すべき点はあるように思われる。また、商用転換施設設計に際して必要な長期信頼性の検討結果についてももう少し詳しい説明がほしい。

## (6)その他

特になし。

## (7)総合評価

技術面では目標をほぼ達成し、妥当なプロジェクトであった。

## 【意見9】

### (1) 研究開発の目的・意義

本テーマは、使用済み燃料中のウランを回収し有効利用する技術の開発である。この技術の開発意義は主として昭和53年の原子力長期計画を根拠としている。しかしながら現時点で評価しなおしてみると、この技術を急いで開発する意義は当初に比較すると低くなった。その背景には、現在ウランは低価格で安定しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利であるとの状況がある。この技術が利用されるのは天然ウランの価格が現在よりも上昇した場合か、回収ウランの大量保有を原子力事業者が避けるべき情勢が生じた場合であろう。

開発意義の低下はウラン価格低迷という社会情勢の変化により生じたものであり、予察調査や小規模試験の段階では十分意義が認められるものであったと推察する。実用化試験計画段階では技術開発意義は低下したが、プロジェクトを中止した場合、再開に際し残る課題に新たに対処する必要があることと比較し、試験継続の場合は既設設備や人的資源が有効活用できる等のメリットがある。また、本技術が実用化された後の受け皿である産業界が主として資金を提供しており、実用化試験はそれまでに開発された技術の産業界への技術移転としてなされた側面もある本プロジェクトは一定の意義があったと評価できる。

### (2) 研究開発の目標の設定

予察調査や小規模試験の段階では目標の設定は適切であったと評価する。実用化試験では主たる目標を「技術の実用化」のための諸課題解決としており経済性の面で目標設定は不十分であったと考える。これはウランの低価格な安定などにより直ちに実用化される可能性は低くなってきたことが適宜反映されなかったためではないかと考える。ただ、技術の実用化を評価しようとした産業界にサイクル機構が一定の支援を行うのは国の機関としての役割でもあった。

### (3) 研究開発計画

本プロジェクトは技術の実用化の諸課題解決を目標として、資金は主として産業界から出されたものである。その部分を除いて考えるならば、計画の内容やスケジュール、資金計画等は妥当なものであったといえる。ただ、今後は、このように産業界が希望する技術開発に対しサイクル機構としてどのように支援体制をとっていくべきかの議論を別途する必要があるだろう。

### (4) 研究開発（実施）体制

産業界と連携して実施してきたこと、サイクル機構として投入した資金、人員はそれほど大規模なものではないことから、研究実施体制は適切であったといえる。

## (5) 研究開発成果

実用化試験の結果開発された技術は、将来の商用プラント設計の基礎データを供給するに十分なものであると評価する。

成果の公表等はそれなりになされていると評価する。

## (6) その他

本プロジェクトのうち実用化試験は主として産業界が資金を提供して実施したものである。このような場合、サイクル機構のプロジェクトとしての評価とは別に、産業界としてのプロジェクトの評価がなされることが好ましい。

## (7) 総合評価

本プロジェクトは、所期の目標を達成し一定の成果を得て終了したものと認める。しかしながら、本技術が商業化される見通しは当面立たない。これはウランが現在低価格で安定しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利な状況にあるためである。今後本技術開発に類する研究開発が行われる場合には、外部状況の変化を適宜反映することが検討されるべきと考える。しかし、実用化した場合に事業者となる産業界が大半の経費を負担して実施しようとしたことにサイクル機構が協力して実施したことは産業界への技術移転として一定の成果があったと評価できる。

### 【意見 10】

#### (1) ～(4) 目的、目標、開発計画について

天然ウランと併せて、回収ウランを転換して再濃縮に供する為の「回収ウラン転換技術開発」は昭和 53 年から開始されたものであり、長期にわたり色々とその時その時に社会的意義、重要性は変化しているものの現在まで通しても、十分高い意義目標を持った技術開発であった。また使用施設・設備は適切であった。しかしながら、スタート時点から 20 年以上にわたる長期開発であることと、国の核燃料サイクル技術（再処理技術）の再評価が遅れたため、適切な開発目標(具体的にはブレイクスルーすべき点)の再設定につながる見直し、中間評価がなされていない、核燃料サイクル全体と合致する転換技術の高度化には必ずしもなっていない。その意味でも実施体制(組織・人員)は適切ではあるが、他機関との協力・連携は不十分であったといえる。そのために逆に、(5)の研究開発成果で触れるが、JNC 独自の技術開発がなされ、今後、核燃料サイクル全般に影響を及ぼし、他に応用できる可能性を持つ十分な成果を挙げているものとする。

#### (5) 研究開発成果および総合評価について

国内初の実用規模での技術を立証したものであり十分目標は達成されている。本来はそれ程必要とは思えないが、FP と TRU の挙動解明と種々のトラップで吸着分離回収する技

術を開発している。これは現在 JNC にて行われている実用化戦略調査研究の中の乾式再処理技術候補案の 1 つであるフッ化物揮発法へと直接的につながる貴重な成果であり、是非ともこの成果を応用・利用すべきである。

また、本転換技術開発で開発された極微量分析技術も貴重な成果であり、さらに乾式再処理も含めて核燃料サイクルの他の分野に応用可能な技術でもあり、成果の移転・波及に心掛けるべきであろう。

## 【意見 11】

### (1)研究開発の目的・意義

使用済み核燃料の再処理によって回収されるウランを再び核燃料として使うことは、ウラン資源の乏しい我が国にとって、必要不可欠である。このために、核燃料サイクルの一環として、再処理からの回収ウランを転換・再濃縮して、燃料として再利用するための回収ウラン転換技術を確立しておくことは、軽水炉を中心とした我が国の原子力利用の現状から充分意義がある。したがって、本技術開発の目的・意義は充分あったと判断される。

### (2)研究開発目標の設定

天然ウランの UF6 への転換に係わる実績を基に、回収ウランと天然ウランとの物性や含有する不純物の異なりを考慮して、回収ウランを商用規模で UF6 へ転換する技術の技術的見通しをうることを目標としていることについては適切であったと判断される。なお、当初の回収ウランの性状の仕様と実際の回収ウランの性状に差異があったことに対しても、適切に見直しが行われ、回収ウランに含まれている不純物のプロセス内挙動を明らかにすることができたことから、当初の目標の設定を変更するに至らなかったと思われる。

### (3)研究開発計画

回収ウラン転換技術実証に係わる課題を整理し、各課題について開発項目を設定していることから、研究開発計画そのものは妥当なものと判断される。なお、転換工程における不純物の挙動解明のための微量分析技術の開発が必要になり、計画の見直しが計られたようである。また、使用する施設・設備は既存のものを利用せざるを得なかったようであるが、事後評価では、当初の計画に対しての変更等が判るような記述がどこかに示されることが必要と思われる。

### (4)研究開発（実施）体制

研究開発体制として当初は旧動力炉・核燃料開発事業団が実施し、その後、電気事業者等との共同研究契約の基で進められたことから、回収ウランを商業規模で転換する技術の技術的見通しを得ることの目標に対して良かったと判断できる。ただし、基礎データの取得等の観点からの大学等の他機関との共同研究が必要ではなかったのではないかと、また、

設備・機器についても、全工程を連結し、連続運転試験を実施しているが、予算の都合で、思うように機器配置できなかつたようで、必要なデータが十分取れたのでしょうか。

#### (5)研究開発成果

実際の回収ウランを用いて、開発した中規模の転換プロセスを運転して UO<sub>3</sub> から UF<sub>6</sub> への転換を行い、その技術の実証を行ったことは大きな成果である。また、製品としての UF<sub>6</sub> も再び燃料に再転換され、原子炉に供給され、燃料サイクルの輪が完成されたことを実証したとのことも大きな成果と言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物も転換プロセス内でのそれらの挙動を把握でき、分離回収できることも明らかにしている。従って、実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。なお、商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされていないが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。

#### (6)その他

粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄積が必要とされることが多いと言われている。うまくいったことだけの結果だけでなく、トラブル等うまくいっていないことの状況およびその解決策の技術の伝承が必要である。

成果等は良いことばかりが強調されてしまうので、その点を配慮した成果のまとめが望まれる。

#### (7)総合評価

実際の回収ウランを用いて、UO<sub>3</sub> から UF<sub>6</sub> への転換、UF<sub>6</sub> の濃縮および燃料への再転換、さらに原子炉への燃料としての供給を行い、燃料サイクルの輪の完成を実証したことの成果は大きいと言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物の転換プロセス内でのそれらの挙動を把握し、分離回収できることも明らかにした。従って、転換技術の実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。なお、商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされていないが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。さらに、粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄

積が必要とされることが多いと言われてることから、技術的ノウハウを含めて技術の伝承の工夫を考えてほしい。実用化プラントへのステップがかなり先となる場合は今のうちに技術評価の中に組み込んでおいて欲しい。

## 【意見 12】

### (1) 研究開発の目的、意義

六ヶ所の再処理プラントが順調に稼働すると、年間800Tに近い回収ウランが生じ、その利用、処分方法が定まらない間はサイト内に保管、貯蔵することになる。

本技術開発はこの問題の解決の可能性を探る意味で多に意義のあるものである。特に、再処理工場からのプルトニウムはプルサーマル、FBRへ、回収ウランは濃縮して軽水炉へ、という再処理を柱にしたサイクルの姿がより明確になるという意義もある。

又、H17年に再処理工場運開と言う時期から見て、現時点から対応しておくべき課題であることは言うまでもないことである。

### (2) 研究開発目標の設定

回収ウランをUF6に転換出来るウラン技術の見通しを得る目標は妥当であるが、FP、TRU等の一番、懸念される不純物の含有量、挙動の解明が転換工程の中だけで終わっているのは不十分で、濃縮工程の中でどのように悪さをするのかまでを、解明して欲しかった。特に、含有量が微少であることが判明した後は、転換工程で除去工程を省いた場合の転換リサイクル全体の経済性評価がどうなるかを、もっと追求できるような柔軟な目標設定が望まれる。

又、天然ウランの転換施設を転用したという性格上、海外での技術動向に柔軟に対応できにくい点があったのは仕方がなかったが、今回の現地調査では、そこいらへんのサイクル機構の苦勞の説明をもう少し聴きたかったところである。

廃棄物低減計画についても、同様である。

### (3) 研究開発計画

小課題の設定は妥当だが、各試験とも試験期間は長すぎるのではないか。これだけ長いと、当初の目的が外部環境の変化に追従できなくなるようなことが起きる。

実用化の道筋という観点から見ると、回収ウランの性質が六ヶ所からのものはどれぐらい異なる可能性があるのかという点の詰め、経済性評価の中で、FP、TRU含有量が問題にならない位なのかどうか、もし、問題ないくらいであれば、除去工程を省略した場合の経済性、濃縮、成型加工時の被爆評価等をもっと、踏み込んでやる必要がある。

### (4) 研究開発体制

特になし。

## (5) 開発成果

技術的見通しが着いたことは成果であるが、商業化した場合の経済性評価はもっと現実的なベースで、詳細に行う必要があり、サイクル全体の評価も必要である。

例えば、FP、TRU除去工程の省略がどの位効くのか、残留濃縮度が1%位あるので、天然ウランから濃縮する場合に比べ、濃縮コストの低減分、ウラン鉱石費が不要、等である。

## (7) 総合評価

技術的見通しを得たことは評価できる。

今後は、現実的なサイクルに組み入れた場合の、工程、経済性評価、廃棄物量の低減を詰める必要がある。

又、人形峠の施設を撤去した後、我が国で将来、転換事業をする場合、本研究開発の成果をどのように維持、引き渡しをしていくのかを考えておく必要がある。

# 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	研究開発課題の事後評価について（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（補足説明資料）	( 6)
参考資料 4	回収ウラン転換技術開発（課題説明資料）	(35)
	[研究開発課題説明資料本文]	(36)
	[用語解説]	(48)
参考資料 5	回収ウラン転換技術開発（OHP資料）	(54)

## 参 考 資 料 1

研究開発課題の事後評価について（諮問）

12サイクル機構(企)067  
平成12年10月16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。

・ 諮問事項

「回収ウラン転換技術開発」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**  
**「回収ウラン転換技術開発」の評価結果（事後評価）に対する措置**

平成13年2月15日  
核燃料サイクル開発機構

今回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「回収ウラン転換技術開発」について、国内で回収ウランリサイクルを達成し、かつ将来の商用転換工場に繋がる貴重な技術成果が得られたことなど高い評価を頂きました。

なお、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、主要なご指摘については以下の措置を講じることといたします。

1. 「本技術開発では、商用転換施設の経済性検討の基礎となるデータが得られているが、商用規模への拡大を適切に評価するためのスケールファクターの検討、さらに再処理、濃縮、加工等を含めたサイクル全体の検討が必要である。将来、商用転換施設が具体化した時点で、核燃料サイクル全体を含めた検討を行い、より詳細な経済性評価を行う必要がある。」のご指摘に対し、
  - ・ 将来、商用転換施設が具体化される段階で行われるサイクル全体の検討・評価の実施に際しては、スケールファクターの適用性の検討を行うとともに、サイクル機構がこれまで蓄積してきた使用済み燃料からのウラン回収技術、ウラン濃縮技術や評価・解析技術など核燃料サイクル全般に亘る成果・知見を最大限に活かすべく協力・支援していくことといたします。
  
2. 「将来、回収ウラン利用の必要性が生じた時点で、本技術開発で蓄積したノウハウ等が活用できるよう、サイクル機構は、データベースの構築、技術の体系化及び維持を行うべきである。」のご指摘に対し、
  - ・ 本技術開発で得られたノウハウ、トラブル情報及び改善点等を含む技術成果は、技術報告書にまとめておりますが、技術移転や技術継承に備え、活用のし易さの観点から、これらを体系化しデータベース化していくことといたします。

3. 「本技術開発で得られた成果は、必要に応じ関連機関に技術移転や成果の開示などを行うべきである。」のご指摘に対し、

- ・ 将来の技術移転に際しては、ノウハウ情報を含め技術成果を実施主体に的確に伝えます。また、まとめ上げた技術資料及び整備するデータベースをとおして、社内外への成果の普及を図っていくことといたします。さらに、技術成果は科学情報誌等にも投稿し、成果の開示・普及に努めていくことといたします。

4. 「本技術開発で、蓄積されたノウハウは、乾式再処理プロセス等にも反映が期待されることから、成果の普及、積極的な活用が望まれる。」のご指摘に対し、

- ・ フッ素及びフッ化水素の取り扱い技術をはじめ FP,TRU 等のフッ化挙動に関するデータや装置耐久性データ等は、回収ウラン転換以外にも活用ができるものであり、現在、進められている高速増殖炉サイクルシステムの実用化戦略調査研究における乾式再処理プロセス評価等に活用していくことといたします。

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)

評価意見	見解
(1)研究開発の目的・意義	
<p>1) 天然ウランを産しない日本は、それを輸入に頼っている。低濃縮ウランを軽水炉で燃料として使用した後に、燃料中に残存しているウランは再処理によって回収することができる。この回収ウランは<sup>235</sup>Uの濃度が約1%と天然ウラン中の<sup>235</sup>Uより濃縮度が高く、それを転換再濃縮して用いると、天然ウラン輸入量や濃縮役務の軽減を図ることができる。ウラン資源に乏しい我が国にとって、回収ウランの利用は研究開発が始まった昭和 50 年代には必要不可欠と考えられていた。天然ウランの価格が安定している現在においても、長期的視点にたてば、回収ウランの利用は必ず将来必要になると考えられる。</p> <p>これらの点より、本研究開発の目的・意義は明確で、社会的・経済的ニーズもあり、長期的に見て重要性も高いと考えられる。国の計画・方針とも合致しており、サイクル機構が実施すべき課題であった。</p>	1) 拝承
<p>2) 再処理によって発生する回収ウランを再濃縮して再利用可能とすることは、原子燃料サイクルを成立させる上で重要なテーマであり、回収ウランの特性を踏まえて、転換を安全かつ経済的に実現させるための可能性を追求するという目的・意義は明確かつ的確であった。長期計画等、国の方針とも合致しており、民間側のニーズにも応えたものである。</p> <p>また、ウラン転換施設が国内ではサイクル機構人形施設のみという現実を踏まえると、サイクル機構が実施すべき研究開発課題として適切であった。</p>	2) 拝承
<p>3) 使用済み核燃料の再処理によって回収されるウランを再び核燃料として使うことは、ウラン資源の乏しい我が国にとって、必要不可欠である。このために、核燃料サイクルの一環として、再処理からの回収ウランを転換・再濃縮して、燃料として再利用するための回収ウラン転換技術確立しておくことは、軽水炉を中心とした我が国の原子力利用の現状から充分意義がある。したがって、本技術開発の目的・意義は充分あったと判断される。</p>	3) 拝承
<p>4) 六ヶ所の再処理プラントが順調に稼働すると、年間 800ton に近い回収ウランが生じ、その利用、処分方法が定まらない間はサイト内に保管、貯蔵することになる。</p> <p>本技術開発はこの問題の解決の可能性を探る意味で大いに意義のあるものである。特に、再処理工場からのプルトニウムはプルサーマル、FBR へ、回収ウランは濃縮して軽水炉へ、という再処理を柱にしたサイクルの姿がより明確になるという意義もある。</p> <p>また、平成 17 年に再処理工場運開と言う時期から見て、現時点から対応しておくべき課題であることは言うまでもないことである。</p>	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 (2/28)

評価意見	見解
5) 天然ウランと併せて、回収ウランを転換して再濃縮に供する為の「回収ウラン転換技術開発」は昭和 53 年から開始されたものであり、長期にわたり色々とその時その時に社会的意義、重要性は変化しているものの現在まで通しても、十分高い意義目標を持った技術開発であった。	5) 拝承
6) 「回収ウラン転換技術開発」の研究が、回収ウランの再利用のための必要技術として、原子力開発長期計画における我が国の再処理体制の早急な確立に必要な技術開発研究として進められたことは、国の計画・方針との整合性もち、長期的及び将来に備えた課題として、また開始当時の社会的・経済的ニーズにも対応した開発研究であったと評価する。 また、天然ウラン転換の施設と技術者を有し、かつダウン工程のウラン濃縮施設を持つ核燃料サイクル開発機構（人形峠環境技術センター）が開発研究を担当したことも妥当である。	6) 拝承
7) 原子力利用長期計画において、国内で再処理を行うことを原則とする方針が示されており、研究開発の目的と意義については異論の余地がない。	7) 拝承
8) 本研究開発の目的は、軽水炉燃料として使用されるウラン資源の再利用技術の自主開発をめざすことである。原子力発電システムのなかでもウラン資源を燃料とする軽水炉に大きく依存していること、さらにはウラン資源に乏しい我が国の現状に鑑み、本研究開発の目的は明確であり、その意義も大きい。加えて、天然ウランの UF <sub>6</sub> 転換工程と濃縮技術に関して実績のある人形峠環境技術センターにおいて、回収ウランに関わる本研究開発が行われたことは、先行研究（濃縮工程）の技術的知見と実績を応用できるという点でも大きな意義がある。	8) 拝承
9) 再処理から回収されたウランの再利用は、地味ではあるが資源の有効利用、廃棄物低減の観点から燃料サイクル上の重要課題と考える。昭和 53 年当時の長計策定時とは違い、昨今のウラン価格の低迷により経済的、緊急的なニーズは現況では大きくないが、将来の燃料サイクルに必要な要件と考えられ、いずれは技術確立しなければならない課題と考える。 再処理技術の国内における研究開発主体として、再処理と密接に関連した本課題はサイクル機構が実施するにふさわしいと考える。 国外の関連技術動向の把握に関しては、説明時に海外の開発技術その現状について、あまり触れられなかったため、判断できない。	9) 拝承  実用化試験開始前に回収ウランに関する海外動向等を調査しましたが、関連技術についての詳細な情報は得られませんでした。

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 (3/28)

評価意見	見解
<p>10) 核燃料サイクルの確立を目指している日本としては、サイクルの完結、ウラン燃料の有効利用という点からも「回収ウラン転換技術」の開発は必要であり、妥当なものとする。国の方針との整合性もある。</p> <p>経済性のニーズについては、海外での転換コストの方が見掛け上安いですが、輸送にかかわる手間や費用を考えると、国内での実用化を念頭においた技術確立の必要性はあったと思われる。</p> <p>重要性、緊急性はそれほど高くはないと考えられるが、核燃料サイクル確立には長期間かかることを考えると、必要な技術の開発・技術上の問題点の見極め、経済性の検討などを早い段階でやっておくことは必要であった。また、すでに天然ウランの転換・濃縮など関連技術・施設を有していたサイクル機構が手がける意味もあった。</p>	<p>10) 拝承</p>
<p>11) 回収ウランの再利用は、国の基本方針として、昭和 53 年の原子力長期計画において打ち出されている。日本には天然ウラン埋蔵量が希薄であり、また当時はその価格も遠からず上昇すると考えられていたのでこの方針は妥当であった。これを受けて、国の開発機関である現サイクル機構が回収ウランの転換技術の開発計画を立て、人形峠事業所において開発事業を進めたのは国の方針に沿ったものであり妥当であった。</p> <p>また、その目的、意義も明確であった。緊急性は必ずしも無かったと思われるが、長期的には重要な技術になると予想されており、その商用的見通しを明確にするには相当の期間を要することから、昭和 50 年代半ばに着手したことは理解できる。</p> <p>本研究開発の意義については、開始時に比べ平成に入ってから段々と変わってきた。現時点ではそのコストから考え、当面回収ウランを再利用することは考えにくい。新原子力長期計画においても具体的な商用化計画は示されなかった。将来具体化される時点では技術も相当変わっていることも想定できる。平成 3 年度から始まった実用化試験は共同研究として行われており、資金の大部分は民間から拠出されているので本研究評価の対象としてはウエイトは小さいと考える。</p>	<p>11) 拝承</p> <p>商業化施設検討のため、経済性データの取得や信頼性・安全性データの蓄積を図る必要がありました。また、核燃料サイクルコストで見ると、現状の天然ウラン価格レベルでも両者に大きな差はないと言えます。そのため、実用化試験を行う意義がありました。</p>

## 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 (4/28)

評価意見	見解
<p>12) 本テーマは、使用済み燃料中のウランを回収し有効利用する技術の開発である。この技術の開発意義は主として昭和 53 年の原子力開発利用長期計画を根拠としている。しかしながら現時点で評価しなおしてみると、この技術を急いで開発する意義は当初に比較すると低くなった。その背景には、現在ウランは低価格で安定しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利であるとの状況がある。この技術が利用されるのは天然ウランの価格が現在よりも上昇した場合か、回収ウランの大量保有を原子力事業者が避けるべき情勢が生じた場合であろう。</p> <p>開発意義の低下はウラン価格低迷という社会情勢の変化により生じたものであり、予察調査や小規模試験の段階では十分意義が認められるものであったと推察する。実用化試験計画段階では技術開発意義は低下したが、プロジェクトを中止した場合、再開に際し残る課題に新たに対処する必要があることと比較し、試験継続の場合は既設設備や人的資源が有効活用できる等のメリットがある。また、本技術が実用化された後の受け皿である産業界が主として資金を提供しており、実用化試験はそれまでに開発された技術の産業界への技術移転としてなされた側面もある。本プロジェクトは一定の意義があったと評価できる。</p>	<p>12) 上記 11)の見解を御参照下さい。</p>

評価意見	見解
(2) 研究開発目標の設定	
<p>1) 回収ウランの商用規模で転換する技術の見通しを得る技術開発を行うため、小規模試験、中規模試験、実用化試験と、段階を踏んで着実に進めるという目標の設定は適切であった。 回収ウランの <math>UF_6</math> 転換施設に係る国外の関連技術の動向も把握されており、回収ウランの反応性改善、運転プロセス条件の把握、連続運転性、転換工程における超ウラン元素や核分裂生成物等の不純物核種挙動、廃棄物の低減化等、ブレイクスルーすべき点も明確にされていたと評価できる。</p>	1) 拝承
<p>2) 回収ウラン転換の実用化技術の開発という目的は、研究開発の意義から適切な目標設定と考える。</p>	2) 拝承
<p>3) 諸外国における事例、資料も乏しい中で、予察試験による経験を積み、小規模、中規模、実用化の3段階の試験を設定し、その中で研究目標をいずれも明確に設定しており、またブレイクスルーのポイントも適切に指摘されており、全体として妥当であり適切であると評価する。</p>	3) 拝承
<p>4) 評価者が理解するところ、回収ウラン (<math>UO_3</math>) の <math>UF_6</math> 転換には、前処理として回収ウランの化学反応性改善が必要であり、回収ウランに含まれる放射性不純物 (FP、TRU) の除去技術の開発のためには、含有放射性不純物の挙動把握が必要である。この前処理工程に関わる基礎研究から得られた知見に基づいて、化学反応性改善技術としての水和処理工程が開発され、回収ウラン転換工程の主要な部分を構成する。さらに水和処理工程を組み込んだ転換プロセスでは、<math>H_2</math> 還元、<math>HF</math> フッ化、<math>F_2</math> フッ化などの工程における運転条件の把握が必要となる。特に、大量連続運転の条件に関わる問題として、腐食性の強い <math>HF</math> ガスや <math>F_2</math> ガスの安全な取り扱いと耐久性の高い装置の開発問題が挙げられる。これらの研究開発目標に照らして、開発スケジュールを「小規模試験」「中規模試験」「実用化試験」の3段階にわけて設定したことは、適切であり妥当である。</p>	4) 拝承
<p>5) 天然ウランの <math>UF_6</math> への転換に係わる実績を基に、回収ウランと天然ウランとの物性や含有する不純物の異なりを考慮して、回収ウランを商用規模で <math>UF_6</math> へ転換する技術の技術の見通しを得ることを目標としていることについては適切であったと判断される。なお、当初の回収ウランの性状の仕様と実際の回収ウランの性状に差異があったことに対しても、適切に見直しが行われ、回収ウランに含まれている不純物のプロセス内挙動を明らかにすることができたことから、当初の目標の設定を変更するに至らなかったと思われる。</p>	5) 拝承
<p>6) 目標は妥当であった。海外の関連技術情報もほぼ把握している。 不純物の除去、連続運転法の確立が目標の一つになったと思われるが、実際に利用した原料中の不純物濃度が当初の想定以下であり、不純物の除去の狙いが十分に検討されたかどうかやや不明確に感じる。</p>	6) 当初は、再処理の製品スペックを前提にしました。不純物の除去が可能な工程は、転換工程のみであることから、除去システムを採用しました。

## 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 (6/28)

評価意見	見解
<p>7) 「安定した稼働の実現のための連続プロセスの開発」、「回収ウランに含まれている不純物核種の除染の目途付け」、「生成廃棄物の特性評価」等目標の設定は適切と考える。</p> <p>再処理製品が非常に不純物量が小さいという状況も踏まえて、後工程の再濃縮・加工も考慮した回収ウラン転換施設のあるべき姿の追求という観点からの目標設定または目標追加について若干不足の感がした。</p>	<p>7) 拝承</p> <p>商用プラントが検討される段階では本知見を踏まえ、再処理、濃縮、加工を含め、サイクル全体として総合的な評価をする必要があると考えます。</p>
<p>8) 回収ウランを UF<sub>6</sub> に転換出来るウラン技術の見通しを得る目標は妥当であるが、FP、TRU等の一番、懸念される不純物の含有量、挙動の解明が転換工程の中だけで終わっているのは不十分で、濃縮工程の中でどのように悪さをするのかまでを、解明して欲しかった。</p> <p>特に、含有量が微少であることが判明した後は、転換工程で除去工程を省いた場合の転換リサイクル全体の経済性評価がどうなるかを、もっと追求できるような柔軟な目標設定が望まれる。</p> <p>また、天然ウランの転換施設を転用したという性格上、海外での技術動向に柔軟に対応できにくい点があったのは仕方がなかったが、今回の現地調査では、そこいらへんのサイクル機構の苦勞の説明をもう少し聴きたかったところである。廃棄物低減計画についても、同様である。</p>	<p>8) 回収ウランに含まれる不純物 (FP、TRU) の濃縮工程への影響は、濃縮原料 UF<sub>6</sub> 中の不純物濃度が低かったことから、原料 UF<sub>6</sub>、製品 UF<sub>6</sub>、廃品 UF<sub>6</sub>、配管等の不純物の分析では有意な値を検出せず、本試験で使用した程度の不純物濃度では、濃縮工程に影響がないことを確認しています。また、回収ウラン特有のウラン同位体であり、被ばく及び反応度補償の観点からの注目核種である U232 及び U236 のカスケード中の挙動については、解析コードを確立しています。</p> <p>サイクル全体として、実用プラントの合理化設計の段階で、実用化規模での総合評価を検討する必要があると考えています。なお、除去システム(ケミカルトラップ)は安価であり、これを省いても経済性評価への影響は無視できます。</p>
<p>9) 研究開発を約5年単位で区切り、その期間の目標を順次基礎、基盤的技術から実証規模へと目標を設定していったのは妥当である。海外の実例の資料が乏しい中では、立てられた目標も適切であったと考える。</p> <p>小規模試験、中規模試験、実用化試験とステップアップした方式も納得できる。ただ当時平行して進められていた濃縮、再処理技術の開発との技術の関連性、共通性が述べられていないこと、これらと連携した計画になっていたかどうか気になる。</p> <p>実用化試験は資金的には大部分が民間から拠出されているので、実質的には民間の要求に沿ったものであろうが、最終段階としては適切な目標である。</p>	<p>9) 拝承</p> <p>今回の評価対象が回収ウランの転換であったため、濃縮と再処理に関し言及が十分ではありませんでしたが、濃縮工程においても安全性、運転性等の観点からの評価が行われ、再処理-転換-濃縮の各工程の連携のもと実用規模での回収ウランのリサイクルが可能となりました。</p>
<p>10) 予察調査や小規模試験の段階では目標の設定は適切であったと評価する。実用化試験では主たる目標を「技術の実用化」のための諸課題解決としており経済性の面で目標設定は不十分であったと考える。これはウランの低価格な安定などにより直ちに実用化される可能性は低くなってきたことが適宜反映されなかったためではないかと考える。ただ、技術の実用化を評価しようとした産業界にサイクル機構が一定の支援を行うのは国の機関としての役割でもあった。</p>	<p>10) 拝承</p>

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 (7/28)

評価意見	見解
(3) 研究開発計画	
<p>1) 転換プロセスの開発、転換に係る安全性、放射性不純物核種の挙動評価、放射性廃棄物の評価、商用転換施設の評価と研究開発の要点を押さえた開発計画が立てられており、計画内容は具体的かつ妥当であった。</p>	<p>1) 拝承</p>
<p>2) フィージビリティ研究のあと、小規模試験、中規模試験、実用化試験と各段階の解明事項を適切に捉え、着実に研究開発を行ってきたことが、成功につながったものとする。</p>	<p>2) 拝承</p>
<p>3) 計画は概ね適切であった。実用化への道筋に配慮され、安全性、廃棄物減量等実用化上重要と思える点も計画されていた。使用環境の厳しい装置の耐久性評価も計画されていたが、予想以上の腐食進行が認められた時点で、対応策も検討したのは適切な見直しであった。</p>	<p>3) 拝承</p>
<p>4) 小規模試験、中規模試験、実用化試験の3段階で進めた過程とかけた期間、および使用した施設・設備はほぼ妥当だったと思う。また、商業化を想定して研究開発プラントの規模を設定したことも妥当である。 この技術は実用化を念頭におかないと開発の意味はないと思うが、商業化の際の実施主体が異なることを考えると、技術がスムーズに移転されることが実用化の際に欠かせない。</p>	<p>4) 拝承</p>
<p>5) 転換プロセスの開発、安全性、不純物核種の挙動評価、等の転換技術開発の基本となる開発計画を開発目標で設定した各ステップでの研究目標に対して適切に立てられており、また各ステップでのチェックアンドレビューも組み込まれた計画となっている。これらの開発技術を実用化にもっていくための開発計画も適切に設定されている。さらに廃棄物の低減化策、商用プラントを目標とする設計検討、課題とその解決方法の提示、経済性の試算・評価についても、研究課題として計画に盛り込まれている。 ただし、開発研究が20年を越す長期間に亘るものであったことから、開発目標の3段階の試験の期間設定がバランスの良いものであったか、また要素研究の中規模試験に使われた施設、設備が、次のステップの実用化試験において適切なものであったか、また障害となるファクターがなかったのか、等の各ステップでのチェックアンドレビューによる適切な見直しを具体化する機能が計画に必ずしも明確にされていないように思われる。全体として開発研究の計画は概ね妥当と評価する。</p>	<p>5) 拝承</p> <p>小規模試験では基本プロセスの把握、中規模試験では実用規模の機器での運転条件の把握、実用化試験では連続性と商用化のための評価を目標と設定し、試験毎に、ユーザー（電力）側のニーズに沿っているかどうかのチェックアンドレビューを受けながら、開発ステップを進めてきました。</p>

## 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 (8/28)

評価意見	見解
<p>6) 小規模→中規模→実用化試験という段階的アプローチは適切であった。なお、実用化試験は対電力等との調整等色々な制約があったものと推察するが、結果としては相当長期間を要したかなという感がする。</p> <p>使用設備は適切であった。実用化への道筋については、研究の早い段階から商用転換施設のフイージビリティスタディも検討対象に設定しており、研究の進捗・成果と連動して適切に検討されたものとする。</p>	<p>6) 実用化試験は平成3年から開始しましたが、岡山県で回収ウランの受け入れを認めて頂けるまでに3年を要しました。装置耐久性など評価に長期間を要する試験を実施しており、この3年間を除けば、試験期間はおおむね妥当であったと考えています。</p>
<p>7) 小課題の設定は妥当だが、各試験とも試験期間は長すぎるのではないかと。これだけ長いと、当初の目的が外部環境の変化に追従できなくなるようなことが起きる。</p> <p>実用化の道筋という観点から見ると、回収ウランの性質が六ヶ所からのものはどれくらい異なる可能性があるのかという点の詰め、経済性評価の中で、FP、TRU含有量が問題にならない位なのかどうか、もし、問題ないくらいであれば、除去工程を省略した場合の経済性、濃縮、成型加工時の被ばく評価等をもっと、踏み込んでやる必要がある。</p>	<p>7) 実用化試験は平成3年から開始しましたが、岡山県で回収ウランの受け入れを認めて頂けるまでに3年を要しました。また、実用化試験は、長期信頼性データをとるために試験期間が必要になりました。</p> <p>六ヶ所再処理工場と東海再処理工場は、基本的には同様のプロセスになっており、反応性等の特性は同様と考えられます。なお、商用転換施設の設計時には、六ヶ所再処理工場の実績等を踏まえ、見直しが可能と考えます。また、不純物除去のための工程はケミカルトラップのみで経済性への影響は殆どないと考えます。</p> <p>(2)研究開発目標の設定の6)及び7)見解を参照ください。</p>
<p>8) 事後評価の視点で見た場合、核燃料サイクル全体の進展度合いや余剰プルトニウム保有に対する国際世論の動向を見ながら、実用化試験段階の実施計画は見直すべきであったと考える。</p> <p>個別のテーマで言えば、「回収ウランの反応性改善」と「水和処理の運転条件の設定」は、回収ウランの形態に強く依存するテーマであり、再処理プロセス見直しの可能性が出てきた時点で、大規模スケールでの試験計画は見直されても良かったのではないかと。</p> <p>一方、その他の転換プロセスにおける「運転条件の設定」や「装置耐久性の評価」は、回収ウランの形態とはある程度切り離してその成果を利用することが可能であり、大規模スケールでの実用化試験の実施も妥当であったと考える。</p> <p>「FP、TRU除去プロセスの開発」については、回収ウラン中の不純物の濃度が測定限界下限以下であることが判明した時点で、その必要性を含めて見直されるべきであったと考える。ただし、このテーマが転換プロセスにおける不純物の挙動解析を主眼とするものであるなら、逆に、具体的な不純物の許容限界値を数値目標として設定し、各種濃度のトレーサーを用いた解析を行うべきであったと考える。</p>	<p>8) 本研究では、東海及び六ヶ所再処理施設を念頭に、実用規模での回収ウランのリサイクルの実証及び商用化の見通しをつけるための技術開発を目標としました。実際の商用転換工場を検討する際には核燃料サイクル全般の見直しに合わせ、転換技術の展開を考える必要があります。</p> <p>中規模試験及び実用化試験で生産されるUF6は、再濃縮して燃料として使われるため、RIの添加は困難でした。なお、トレーサーを用いた試験は、Ruの挙動評価を目的として転換プロセス外で行った実績があり、その結果は成果に反映しています。</p>

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 (9/28)

評価意見	見解
<p>9) 研究開発計画のなかで、「回収ウラン転換に関わる安全性」を担保する研究開発課題として、(1)回収ウランの取り扱い、(2)HFガス、F<sub>2</sub>ガスの取り扱い、(3)回収ウラン輸送、の3点に着目したことは妥当である。ただし、「安全に取扱う方法」の検討および実証が計画されているが、特に商用転換施設レベルでの「取扱い実務」に関わる従事者の安全性を担保するための具体的な方法にまでは言及されていない。商用転換施設の設計に関して、施設によるプロセス運転と運転実務者が関わる作業部分を峻別した上で、実務者による人的作業レベルの安全性についても検討すべきである。</p>	<p>9) 商用施設では機器配置の最適化、遠隔運転等合理的設計が行われるため、被ばくの形態等は、人形と異なってくるものと思われませんが、機器の線量率、不純物の蓄積など設計や被ばく評価に重要なデータは取得しております。</p>
<p>10) 回収ウラン転換技術実証に係わる課題を整理し、各課題について開発項目を設定していることから、研究開発計画そのものは妥当なもの判断される。なお、転換工程における不純物の挙動解明のための微量分析技術の開発が必要になり、計画の見直しが図られたようである。</p> <p>また、使用する施設・設備は既存のものを利用せざるを得なかったようであるが、事後評価では、当初の計画に対しての変更等が判るような記述がどこかに示されることが必要と思われる。</p>	<p>10) 拝承</p> <p>課題説明資料4頁3.3(1)「微量分析技術の開発」に「小規模試験において、放射性不純物核種の量が少なく、微量分析技術の開発が必要になった」旨の文章を追加します。また、「6. 研究開発費用及び要員」に「実用化試験で使用する機器については、天然ウラン転換技術開発で使用した機器の内、利用可能な流動床炉等は転用し開発費用を低減した。」旨の文章を追加します。</p>
<p>11) 本プロジェクトは技術の実用化の諸課題解決を目標として、資金は主として産業界から出されたものである。その部分を除いて考えるならば、計画の内容やスケジュール、資金計画等は妥当なものであったといえる。ただ、今後は、このように産業界が希望する技術開発に対しサイクル機構としてどのように支援体制をとっていくべきかの議論を別途する必要がある。</p>	<p>11) 産業界がサイクル機構に要望する技術開発は、実用化に向けての技術開発であると想定されます。一般に実用化の前段階の技術開発、設備、要員の面で大規模なものとなりがちであり、サイクル機構が所有する設備、技術者は、これに応えうる我が国の基幹組織と考えます。この点を考慮し、サイクル機構法では成果の普及業務として協力できることが謳われております。</p>



## 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 (10/28)

評価意見	見解
<b>(4) 研究開発体制</b>	
1) 天然ウラン転換に係る既存施設や技術者を有し、次工程であるウラン濃縮施設を有する人形峠技術センターで研究開発が行われていたことは適切である。電気事業者等との協力・連携も適切であった。	1) 拝承
2) 天然ウラン転換技術、人材、さらにその製錬転換施設を活用できたこと、また電気事業者との協力のもとで開発研究が進められており、20年余の長期の研究開発期間全体を通して、適切であると評価する。	2) 拝承
3) プロパーの人員が20-30人/年というのは、妥当な体制と思える。本技術開発は中規模試験から民間との協力の下に進め、人員もそれに応じて外部の人員を増やしていったのは妥当であろう。年度毎に成果の評価を得て計画に反映する方式も共同研究にかなっている。この様な進め方を通じて技術の民間への移転がスムーズに進むと思える。	3) 拝承
4) 妥当であった。	4) 拝承
5) 産業界と連携して実施してきたこと、サイクル機構として投入した資金、人員はそれほど大規模なものでないことから、研究実施体制は適切であったといえる。	5) 拝承
6) 研究開発体制として当初は旧動力炉・核燃料開発事業団が実施し、その後、電気事業者等との共同研究契約の基で進められたことから、回収ウランを商業規模で転換する技術の技術的見通しを得ることの目標に対して良かったと判断できる。ただし、基礎データの取得等の観点からの大学等の他機関との共同研究が必要ではなかったのではないかと。  また、設備・機器についても、全工程を連結し、連続運転試験を実施しているが、予算の都合で、思うように機器配置できなかったようで、必要なデータが充分取れたのか疑問がある。	6) 回収ウランに含まれる不純物の中では TRU ( $\alpha$ ) (Pu, Np, Am, Cm)、FP (Ru, Tc, Zr, Nb, Cs, Ce, Sb) が注目されていた。フッ化物系の TRU ( $\alpha$ ) を取扱うことのできる施設は限られているため、不純物挙動に関して大学等他機関の活用は少なかった。プロセス機器の開発においては、国内メカである M 社、S 社の技術力を活用している。先述したように、可能な限り、既設設備を活用することにより、投資を抑えることとしたため、合理的なプロセス機器配置とはなっていないが、商用転換施設設計に必要な基本データは取得できている。
7) 本研究開発の実施主体は、(現)核燃料サイクル開発機構・人形峠環境技術センターであるが、「中規模試験」および「実用化試験」に関して電気事業者等との共同研究体制がとられている。本研究開発が、回収ウランの商用転換施設の実用的設計までも開発課題に含んでいることからすれば、必要な研究体制である。この共同研究体制の実施に際して、研究開発にかかる費用および研究開発人員が、核燃料サイクル開発機構と電気事業者等との間でどのように分担されたのか、できるかぎり明示しておくべきであると思われる。説明資料の「6.研究開発費用及び要員」には、電気事業者等の分担分が含まれているのかどうか、定かではない。	7) 説明資料の予算額は、電気事業者等の分担分を含みます。国の負担割合については、課題評価委員の質問に対する回答 (28/28 ページ) を参照下さい。

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 (11/28)

評価意見	見解
<p>8) 使用施設・設備は適切であった。</p> <p>しかしながら、スタート時点から 20 年以上にわたる長期開発であることと、国の核燃料サイクル技術（再処理技術）の再評価が送れたため、適切な開発目標（具体的にはブレイクスルーすべき点）の再設定につながる見直し、中間評価がなされていない、核燃料サイクル全体と合致する転換技術の高度化には必ずしもなっていない。その意味でも実施体制（組織・人員）は適切ではあるが、他機関との協力・連携は不十分であったといえる。</p> <p>そのために逆に、JNC 独自の技術開発がなされ、今後、核燃料サイクル全般に影響を及ぼし、他に応用できる可能性を持つ十分な成果を挙げているものとする。</p>	<p>8) 本研究では、東海及び六ヶ所再処理施設を念頭に、実用規模での回収ウランのリサイクルの実証及び商用化の見直しをつけるための技術開発を目標としました。今後の転換技術の開発は核燃料サイクル全般の見直しに合わせ、その展開を考える必要があります。</p>

## 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 (12/28)

評価意見	見解
<b>(5) 研究開発成果</b>	
<p>1) 回収ウランの転換施設として、実用規模に近いレベルで実際に長期に稼動したものはフランスと本研究であり、高く評価できる。フランスのプロセスは ADU を原料とするのに対し、本プロセスは反応性の低い三酸化ウランを原料としており、その反応性の改善のための方法や条件の解明、核分裂生成物や超ウラン元素の除去プロセスの確立、回収ウランの取り扱いに係る安全性確保、放射性不純物核種の挙動評価のための分析技術の開発など、達成された成果は高く評価できる。さらに、商用転換施設の経済性を評価できる運転実績を挙げており、その成立性の可能性を示すという最終目標を達成している。</p> <p>回収ウラン転換技術の実証と商用転換施設に必要なとされる知見の取得という2大成果を挙げており、研究成果は高く評価できる。</p>	1) 拝承
2) 実用化技術を開発するという初期の目的は達成されたものとする。	2) 拝承
3) 国内初の実用規模での技術を立証したものであり充分目標は達成されている。	3) 拝承
4) 研究開発計画で設定された課題について、3段階のステップの中で、基礎技術開発、実用化技術、安全性、不純物対応処理、廃棄物等、さらに商用プラントを想定する評価研究、いずれも適切に研究が進められている。	4) 拝承
5) 実際の回収ウランを用いて、開発した中規模の転換プロセスを運転して $UO_3$ から $UF_6$ への転換を行い、その技術の実証を行ったことは大きな成果である。また、製品としての $UF_6$ も再び燃料に再転換され、原子炉に供給され、燃料サイクルの輪が完成されたことを実証したことも大きな成果と言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物も転換プロセス内でのそれらの挙動を把握でき、分離回収できることも明らかにしている。従って、実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。	5) 拝承
6) 実用化試験の結果開発された技術は、将来の商用プラント設計の基礎データを供給するに充分なものであると評価する。計画と比較して目標はほぼ達成されたものとする。	6) 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 (13/28)

評価意見	見解
<p>7) 成果は充分高く、今後の実用化のためのベースとして十分なものであると考える。本報告でもF<sub>2</sub>フッ化フレーム炉反応管の減肉・アルミナ製流動媒体の頻繁な交換等技術的課題が説明されていたが、それ以外でも粉体固着等に苦勞されたのではないかと推察する。実用化の際の問題点・留意点をキチンと整理しておく必要がある。</p> <p>費用対効果では効果も大だったが、費用も相当要しており、施設の規模等の観点からやむをえなかったことと考える。</p> <p>800ton 商用施設の経済性評価結果は決して満足のいく水準とは考えていない。例えば天然ウランとのブレンド等を考慮すればどれだけ低コスト化できるのか、関心あり。</p>	<p>7) 運転で摘出された問題点やノウハウは貴重な成果であり、体系化して整理する必要があると考えています。</p> <p>現在 天然Uは低価格であり、直ちに回収ウランが利用されることはないかも知れませんが、天然ウランの節約、濃縮工程での濃縮役務量の低減等から、核燃料サイクルコストで見ると、現状の天然ウラン価格レベルでも両者に大きな差はないと言えます。</p>

## 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 (14/28)

評価意見	見解
<p>8) 回収ウラン (<math>UO_2</math>) を安定して水和できる攪拌式水和装置が開発され、転換プロセスにおける最適水和条件が明らかにされたことは、臨界安全性の観点から、高く評価できる。同時に、この水和方法による前処理工程を含めた転換工程の運転条件の設定および連続運転性と装置耐久性に関する評価の結果も、研究開発の成果として評価できる。</p> <p>研究開発成果のうち「5.2 回収ウラン転換に関わる安全性」の「(1)回収ウランの取扱い」(研究開発課題説明資料6頁)に関して「回収ウランに含まれる核種の内、外部被ばくへの直接的な寄与が大きい核種は半減期の短い <math>^{234m}Pa</math>, <math>^{212}Bi</math>, <math>^{208}Tl</math> であること。従って、これらの親核種の存在に留意する必要があること」の意味が不明であったが、燃焼度が増大していった場合に配慮が必要ながことが理解できた。重要な点であり確実な技術移転が必要である。</p> <p>「5.3 放射性不純物核種の挙動評価」および「5.4 放射性廃棄物の評価」に関する研究開発成果については、特に問題はない。</p> <p>「5.5 商用転換施設の評価」のうち(2)経済性評価については、説明資料でみるかぎり、十分な成果を読み取ることができない。説明資料では、「実用化試験における本試験設備の運転実績、及び回収ウラン処理量を基に、変動費、固定費の推移とその内容をまとめ、…」と記述されているが、この実用化試験における試験設備の運転実績(実験データ)から、商用転換施設で想定される年間処理量(800tU/年)の経済性(処理量単位当たり費用)を推定することが可能なのか。</p> <p>試験設備の年間処理量(120tU/年)の範囲内における処理量(規模)と費用(変動費+固定費)の関係(パラメータ)を、そのまま商用転換施設で想定される年間処理量(800tU/年)に適用することには問題がある。従って、試算値として示されている、年間処理量(120tU/年)では単位費用約1,100万円/tU、年間処理量(800tU/年)では単位費用約600万円/tU、から商用転換施設の成立可能性を示したことはないと思われる。</p>	<p>8) 拝承</p> <p>本研究で扱った回収ウランは、平均燃焼度 28,000MWD/T の使用済燃料から回収したものです。最近の傾向として燃焼度は上昇しており、高燃焼度使用済燃料から回収されたウランは、U232 濃度も増加傾向にあります。回収ウラン取扱いにおいては、被ばくに直接的に寄与するのは U232 の娘核種である Bi212、Tl208 等であるが、これらの娘核種自身の半減期は短く、減衰が早いものです。しかし、親核種である U232 が存在する限りは娘核種が生成されつづけるので、高燃焼度使用済燃料を取り扱う場合には、半減期が短い Bi、Tl 等が増加してくると考えられ、これらを含めての検討が必要であり、技術移転先には確実に申し送ることと致します。</p> <p>今回の商用規模施設の経済性の試算にあたっては、従来の実績から最も参考となると考えたキャンペーンの実績を参考にしました。プラント規模の拡大に伴う各コストの推定は必ずしも全てに裏付けがあるものではなく、商用化プラントの姿がより具体的になるプラントの設計時に、より詳細な検討が可能と考えます。</p>
<p>9) 各テーマに対する成果は、それぞれを個別に見た場合、いずれも評価できるものである。ただし、「5.5 商用転換施設の評価」については、海外で開発されている各種方法との比較において、直接的コストのみならず2次廃棄物発生量やプロセスの複雑さに伴う事故・故障のリスク等も含めた、利害得失の比較が不十分であると考えられる。</p>	<p>9) 海外での技術開発内容の詳細は見当たらず、検討を行なうことは困難でした。今回の技術開発では、現時点で可能な範囲で仮評価したものであり、商業規模におけるプラントスケールでの安全解析、あるいは PSA の導入等については今後の課題であると認識しています。</p>

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 (15/28)

評価意見	見解
<p>10) 各段階毎に立てた計画に対応した成果が出ている。最終的に実用規模の試験を行い商用規模のプラントに関する技術、経済性等の情報が得られ、初期の目的はほぼ達成された。結果として評価されたコストを見ると、現時点では魅力的といえる選択肢とは思えない。実際には装置の取り替えを4年ごとに行うとすれば稼働率は悪くなるのでコストはもっと高くなるだろう、しかし開発の実施時点で優れた耐食性を有する材料を開発することは極めて困難であっただろう。</p>	<p>10) 拝承</p>
<p>11) 技術的な面のみでみる限り、目標はほぼ達成していると考えられる。実用化も可能だろう。ただ、実施した120 tUの規模から実用レベルの800 tUへの経済性の推定などについてもう少し検討すべき点はあるよに思われる。</p> <p>また、商用転換施設設計に際して必要な長期信頼性の検討結果についてももう少し詳しい説明がほしい。</p>	<p>11) 今回の商用規模施設の経済性の試算にあたっては、従来の実績から最も参考となると考えたキャンペーンの実績を参考にしました。プラント規模の拡大に伴う各コストの推定は必ずしも全てに裏付けがあるものではなく、商用化プラントの姿がより具体的になるプラントの設計時に、より詳細な検討が可能と考えます。</p> <p>回収ウラン実用化試験において、強腐食ガスによる金属材料の腐食データを取得した。本データにより、腐食部の厚み計算による長期運転計画及び保守・補修設計に反映ができると考えています。</p>
<p>12) 技術的見通しが付いたことは成果であるが、商業化した場合の経済性評価はもっと現実的なベースで、詳細に行う必要があり、サイクル全体の評価も必要である。例えば、FP、TRU 除去工程の省略がどの位効くのか、残留濃縮度が1%位あるので、天然ウランから濃縮する場合に比べ、濃縮コストの低減分、ウラン鉱石費が不要、等である。</p>	<p>12) サイクル全体として、実用プラントの合理化設計の段階で、実用化規模での総合評価を検討する必要があると考えています。なお、除去システム(ケミカルトラップ)は安価であり、これを省いても経済性評価への影響は無視できます。</p> <p>現在 天然Uは低価格であり、直ちに回収ウランが利用されることはないかも知れませんが、天然ウランの節約、濃縮工程での濃縮役務量の低減等から、核燃料サイクルコストで見ると、現状の天然ウラン価格レベルでも両者に大きな差はないと言えます。</p>
<p>13) 回収ウランは、従来、天然ウランから濃縮した場合に比べて放射能がかなり高く、その転換や取扱いにおいて特殊な注意が必要でないかと考えられていたが、本研究開発の結果、今回のように湿式法の再処理で回収されたウランを用いた場合は、回収ウランの利用に伴う放射線被ばくは天然ウランからのものを利用する場合と比べてそう大きいものでないことも明らかになり、実用化のための重要な知見となっている。さらに、本研究の範囲ではないが、転換された回収ウランを再濃縮し、それを用いて燃料集合体を製作し、中規模試験まででも50体近い燃料集合体が軽水炉に装荷されている。第3段階の実用化試験では、その数倍の燃料集合体が作られ利用される予定で、回収ウランの利用技術の確立に貢献したと評価できる。</p>	<p>13) 拝承</p>

## 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 (16/28)

評価意見	見解
14) 実用化試験における連続運転により、実用規模での回収ウラン転換を実証することに成功し、装置の耐久性のデータ取得によるプラント設計へ反映、およびノウハウの蓄積によって、十分に実用化へ繋がる成果が得られていると評価する。	14) 拝承
15) 実用化への見通しに関しては、社会、経済環境と天然ウラン価格に起因する因子が大きく不透明である。	15) 拝承
16) 商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされてはいるが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。	16) サイクル機構では、既に発生した廃棄物及び今後発生が予想される廃棄物について、放射性廃棄物の最終処分までを考慮した場合の最も合理的な放射性廃棄物の処理・処分法を「低レベル廃棄物管理プログラム」として取りまとめ中であります。
17) 15 件の工業所有権等が申請されていることをはじめとして成果の普及公開も適切に行われている。粉体の取り扱い技術など他分野へ波及効果が期待される技術の経験も蓄積されている。	17) 拝承
18) 成果の普及・公開は積極的に取り組んでいるものと考ええる。	18) 拝承
19) 公表等はそれなりになされていると評価する。	19) 拝承
20) ここで得られた成果は、技術データベースとして整理し、保存されることが望まれる。また必要に応じ、関連機関に技術移転、成果の開示などが適切になされることが望まれる。	20) 本技術を含め、技術移転に関する要請があれば、サイクル機構として積極的に対応していきたいと考えています。また、成果は、データベース化することを考えています。
21) 本開発研究の成果の外部への発表については、過去の動燃の体制上の問題もあったものと思われるが、外部への公表がやはり少ないと感じる。機密事項に属するものは別として、波及効果をもたらす可能性から社会に還元してよい技術も多々あったものと思われ、今後の公開、普及に期待したい。	21) 拝承
22) 成果の普及公開については、国内学会発表は行われているが、論文、レポートは少ない。これは共同研究から来る制約があったと解釈する。	22) 拝承
23) 本来はそれ程必要とは思えないが、FP と TRU の挙動解明と種々のトラップで吸着分離回収する技術を開発している。これは現在 JNC にて行われている実用化戦略調査研究の中の乾式再処理技術候補案の 1 つであるフッ化物揮発法へと直接的につながる貴重な成果であり、是非ともこの成果を応用・利用すべきである。 また、本転換技術開発で開発された極微量分析技術も貴重な成果であり、さらに乾式再処理も含めて核燃料サイクルの他の分野に応用可能な技術でもあり、成果の移転・波及に心掛けるべきであろう。	23) 本技術開発においてフッ化水素のリサイクルも含め、取扱い技術は高いものがあると考えており、技術成果の社内での普及等を図っていきます。

## (6) その他

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 (17/28)

評価意見	見解
<p>1) 粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄積が必要とされることが多いと言われている。うまくいったことだけの結果だけでなく、トラブル等うまくいっていないことの状況およびその解決策の技術の伝承が必要である。成果等は良いことばかりが強調されてしまうので、その点を配慮した成果のまとめが望まれる。</p>	<p>1) 回収ウラン転換試験で得られたノウハウ、トラブル、改善点を含む技術的成果は共同研究報告書にまとめています。これらのデータベース化を考えていきます。</p>
<p>2) 本プロジェクトのうち実用化試験は主として産業界が資金を提供して実施したものである。このような場合、サイクル機構のプロジェクトとしての評価とは別に、産業界としてのプロジェクトの評価がなされることが好ましい。</p>	<p>2) 拝承</p>



## 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 (18/28)

評価意見	見解
(7) 総合評価	
1) 総合して、本研究開発は高い成果を挙げたと評価できる。	1) 拝承
2) 本開発研究による回収ウラン転換技術が、我が国の商用転換施設に具体化されることを期待するが、開発研究で得られたノウハウ（経験技術として極めて貴重であり、重要である）とともにその成果を保持して欲しい。 総合評価として、本開発研究は適切な目標、計画のもとに進められ、得られた成果は商用プラントへ繋がるものとして我が国の貴重な技術として、また特に他の諸外国における開発研究が中止あるいはペンディングとなっている状況の中で、本開発研究が実用化を望める技術として終結できたことを、高く評価したい。	2) 本技術を含め、技術移転に関する要請があれば、サイクル機構として積極的に対応していきたいと考えています。また、成果は、データベース化することを考えています。
3) 本研究の目的・意義の重要性と成果を見ると、価値ある研究であったと考える。	3) 拝承
4) 技術面では目標をほぼ達成し、妥当なプロジェクトであった。	4) 拝承
5) 本技術開発は国の方針に従って着手され、着実に開発が進められた。最終的には実用規模の装置で技術的成立性を実証した。その成果は商用転換工場に対し技術的、経済的評価を行うに足るデータを蓄積し、今後の課題も抽出したと言える。実用化試験を主に民間の資金で行ったことも適切であった。 しかし、この間に周辺の状況は大きく変わり、回収ウランの転換の必要性は当面起こらないと考えられる状況である。従って、本開発を一旦終了することは正しい判断であろう。将来、回収ウラン利用の必要性が見えてきた時点で、その時の最新の技術も取り入れて再開することもあり得るので、ノウハウ等の蓄積した成果をまとめておくことが大切である。	5) 拝承  研究開発の目的・意義の 11) 及び(5)研究開発成果の 10)を御参照下さい。サイクル全体として、実用プラントの合理化設計の段階で、実用化規模での総合評価を検討する必要があると考えています。 本技術を含め、技術移転に関する要請があれば、サイクル機構として積極的に対応していきたいと考えています。また、成果は、データベース化することを考えています。

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 (19/28)

評価意見	見解
<p>6) 実際の回収ウランを用いて、<math>UO_3</math>から<math>UF_6</math>への転換、<math>UF_6</math>の濃縮および燃料への再転換、さらに原子炉への燃料としての供給を行い、燃料サイクルの輪の完成を実証したことの成果は大きいと言える。さらに、回収ウランに含まれている不純物の転換プロセス内でのそれらの挙動を把握し、分離回収できることも明らかにした。従って、転換技術の実用化への技術的見通しを得ており、本開発研究の目的は達成されたものと判断できる。</p> <p>なお、商業規模への実用化に向けての技術的課題および経済性の検討がなされてはいるが、プロセス解析および廃棄物ミニマイゼーション等まだ検討の必要なものが残っているものと思われる。特に、フッ素を含む廃棄物を含めて廃棄物に対するさらなる検討が必要と思われる。とかく原子力のプロセス開発の研究では、そのプロセスの実証性に重点がおかれてきたが、現在では、廃棄物を含めて、トータルのプロセスとしての技術評価を行う必要がある。</p> <p>さらに、粉体を取り扱うプロセスには、そのハンドリング技術等技術的ノウハウの蓄積が必要とされることが多いと言われていることから、技術的ノウハウを含めて技術の伝承の工夫を考えてほしい。実用化プラントへのステップがかなり先となる場合は今のうちに技術評価の中に組み込んでおいて欲しい。</p>	<p>6) 拝承</p> <p>サイクル機構では、既に発生した廃棄物及び今後発生が予想される廃棄物について、放射性廃棄物の最終処分までを考慮した場合の最も合理的な放射性廃棄物の処理・処分法を「低レベル廃棄物管理プログラム」として取りまとめ中であります。</p>
<p>7) 本プロジェクトが実用化の対象として選択した転換プロセスは、旧動燃が開発した天然ウラン転換技術および関連設備の有効利用を基にしているとの説明がなされた。この選択は、プロジェクト開始当時の技術レベルや環境からは妥当なものであったと考えられる。</p> <p>しかし、スケールアップの開発計画への移行は、その後の状況の変化に応じて（基本プロセスの見直しを含めて）柔軟に変更されるべきであった。例えば、旧動燃の開発した天然ウラン転換技術は、ウラン鉱山でのオンサイト一括処理に適するとされているが、国内の商用ウラン鉱床の探査は不成功に終わっており、その時点でオンサイト一括処理の前提は消滅している。</p> <p>また、先進的核燃料リサイクルの考え方が出てきた時点で、再処理のプロセスそのものや回収ウランの形態も、将来的には変わり得ることを予見した研究計画へと修正するべきであった。この場合に有効な戦略は、各種転換プロセスの利害得失を異なった前提の下で検討し直すと共に、将来的に変わり得る再処理プロセスに依存しない技術課題のみ（存在するとすれば）を切り出して先行的に実用化試験を行うというものであろう。</p> <p>今後の新たな課題の遂行においては、上述のようなプロジェクトの柔軟性を保持しつつ、これまでに培われたノウハウの中で汎用的に利用可能なものや、人的資源の維持に努めることが望まれる。</p>	<p>7) 拝承</p> <p>本技術の反映先は、六ヶ所の再処理工場から回収されるウランの転換施設を想定しています。また、今回、サイクル機構が保有する再処理、転換、濃縮という施設を用いて、実用規模で回収ウランサイクルをクローズすることは、サイクル機構としてのミッションでもありました。なお、旧動燃の開発した天然ウラン転換技術は、海外のウラン鉱山でのオンサイト一括処理を想定して開発したものです。</p> <p>(4)研究開発体制の 8)を御参照下さい。</p> <p>これまでの技術開発で得られた知見は、FBR 戦略実用化研究や廃棄物の除染技術検討においても有用と考えており、その方向で資料の整理を行いつつあります。</p> <p>(5)研究開発成果の 20) を御参照下さい。</p>

## 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 (20/28)

評価意見	見解
<p>8) 技術的見通しを得たことは評価できる。今後は、現実的なサイクルに組み入れた場合の、工程、経済性評価、廃棄物量の低減を詰める必要がある。</p> <p>又、人形峠の施設を撤去した後、我が国で将来、転換事業をする場合、本研究開発の成果をどのように維持、引き渡しをしていくのかを考えておく必要がある。</p>	<p>8) (5)研究開発成果の 16)見解を御参照下さい。</p> <p>(5)研究開発成果の 20)、23) 見解を御参照下さい。</p>
<p>9) 経済的なニーズは少し先であるけれども、再処理から多量に発生するウランの再利用は、これからの燃料サイクルには必要な技術であり、その実用化技術が開発されたことには大きな意義があると考え。しかし、この技術が実用に使われるまで、この技術をどのように活かし、技術者も含め、技術継承していくかが課題と考える。</p> <p>ここで得られた乾式に関する技術に関するノウハウや成果、また試験設備などは、現在サイクル機構で実施中の「実用化戦略調査研究」の推進に有益となるものがあると考えられる。それらを有効に利用することも考えられたい。また、その推進に関し他機関との共同研究などによる積極的な利用も有益と考える。</p>	<p>9) (5)研究開発成果の 20)、23) 見解を御参照下さい。</p> <p>(7)総合評価の 7)見解を御参照下さい。</p>
<p>10) 本プロジェクトは所期の目標を達成し一定の成果を得て終了したものと認める。しかしながら本技術が商業化される見通しは当面立たない。これはウラン価格が現在低迷しており、回収ウランを使用するより天然ウランを使用したほうが経済的に有利なためである。この事態が予測できた最も早い時点で中止を含む厳しい見直しをすべきであったと考える。ただ本プロジェクトの最終段階の実用化試験はその大半の経費が産業界の負担で実施されており、産業界が中止を望まないならばサイクル機構としては一定の支援をせざるをえない立場であったと推察する。したがって産業界自身の評価結果と合わせて総合評価をすべきである。なお、産業界が主たる資金提供者である場合のサイクル機構のプロジェクトの評価方式については、別途議論を実施することが望まれる。</p>	<p>10) 回収ウラン転換コストは天然ウランのそれより高いが、トータルの核燃料費用という観点から見れば、天然ウランの節約及び濃縮工程での SWU 低減の効果により、回収ウランを利用する意義を見出すことができると考えています。</p>
<p>11) 実用化試験における運転実績データから商用転換施設の経済性を推定している点を除けば、研究開発の目的・意義・目標等に照らしてみると、本研究開発の成果は、ほぼ満足すべき水準にあると評価できる。</p>	<p>11) 拝承</p>

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 (21/28)

質問	回答
① 回収ウランの再濃縮及び商業炉への装荷実績量はどのくらいか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小規模試験で転換された回収ウラン 0.41tU (燃料集合体：4 体分) を、中規模試験では、約 8.2tU (燃料集合体：44 体 (PWR系：20 体分、BWR系：24 体分)) を商業炉に装荷しています。</li> <li>・ 実用化試験の回収ウランは、現在再濃縮作業中です。</li> </ul>
② 当初の目標としてどこまで除去すればよかったのか、それに対してどうだったのか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 転換工程は、原理的に不純物の除去が可能であり、不純物を除去することにより、後工程である濃縮、加工工程の負荷が軽減できます。不純物の含有量としては、当初は、東海再処理工場の製品スペック値を原料中の濃度と想定していました。このため、除去できるものは合理的な範囲で除去することとし、不純物挙動の実態の把握、不純物蓄積等による転換工程安全性への影響、後工程への影響評価、不純物除去についての定量的な把握等を開発目標としました。結果としては、原料に含まれるFP,TRU等の不純物濃度が当初の想定よりも十分低く、転換工程での除去の必要がないレベルでした。しかしながら、このような開発を行ったことで、不純物の安全性評価手法を確立し、更には、再処理の低除染化の可能性評価等にも貴重な知見を提供できるようになりました。</li> </ul>
③ 「廃棄物」に関する定義が不明である。国の「バックエンド委員会」で検討している中で、どの廃棄物として考えればよいのか、また、現在検討している「ウラン廃棄物」と何が違うのか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力委員会バックエンド対策専門部会報告書案 (H12/10/6) では、回収ウラン使用に伴って発生する廃棄物について、「対象廃棄物には、使用済燃料を再処理することによって回収された回収ウランの使用に伴って発生するものも存在する。これは、天然に存在するウラン核種以外に人工放射性核種を伴っていることから核種組成が異なるが、基本的に処理処分方策を決定づける核種がウラン核種であれば、回収ウラン以外の使用に伴って発生する対象廃棄物と同様に扱うことが可能である。」とされています。よって、本技術開発で使われた回収ウランの分析結果によるとFPやTRUをほとんど含んでいないことがわかっているため、本技術開発から発生した廃棄物は、ウラン廃棄物の範疇に入るものと考えています。</li> </ul>

## 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 (22/28)

質問	回答
<p>④ 回収ウランが不純物で汚れていると予想されるので、濃縮にかけるには何がトラブルの元になるとか、成型ではどれくらいの被ばくを考えないといけないとか、そういう観点から何か目標があったのではないかと。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人形峠の回収ウラン転換プラントで製造される UF6 中の FP,TRU 等不純物濃度は極めて低いため、回収ウランの濃縮においても天然ウランの濃縮と同様にトラブルは発生していません。ただし、回収ウランの濃縮操作においては、原料中の U235 濃度が天然ウランよりも高くその濃度は一定ではないため、運転時には濃縮度調整が必要です。</li> <li>・なお、回収ウランの取扱い時の被ばくを考える上で最も注目すべき核種である U232 は、濃縮工程で U235 とともに濃縮され製品側に移行します。U232 はトリウム系列の親核種であり、娘核種には高エネルギーの <math>\gamma</math> 線を放出する核種が存在するため、濃縮後、加工までに要する期間が長くなると娘核種のビルドアップによる被ばくに注意が必要となります。</li> <li>・実用化試験では、加工工程の受入スペックから濃縮工程の払出スペックを決定し、さらに濃縮工程での濃縮係数を用いて転換工程の払出スペックを決定しました。この値から、転換工程での不純物除去を考慮して再処理工程の払出スペックを決定しました。結果として、各工程で設定された受入スペック及び払出スペックの値を大きく下回る不純物濃度でした。</li> </ul>
<p>⑤ 連続処理を想定しているが、不純物処理、臨界管理といろいろと問題がある。プラントイメージはどのようなものか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・転換プラントの運転においては、定期的に流動媒体や化学吸着剤を交換する必要があるため、交換時にはその装置の運転を停止する必要があります。定期的に停止させる必要のある装置については、1/2 処理能力のものを 3 系列並列で持つ、或いは、フル能力の装置を 2 重系列とすること等で、工程全体としての連続的な運転を確保しながら、流動媒体や化学吸着剤の交換作業を行うイメージを考えました。</li> </ul>

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 (23/28)

質問	回答												
<p>⑥ 連続処理を前提にして、120tU 規模から 800tU 規模への推定はどのように行ったのか。特に減価償却に関する資料が乏しく、120tU 規模と 800tU 規模に関して、減価償却費（トン当たり）の算定基礎はどのくらいか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>この経済性評価は概念的に試算として検討したものです。従って、減価償却額は 120tU 及び 800tU のいずれの設備においても、設備の価格と償却年数から単純に求めています。</li> <li>120tU プラントでは実績値を示すこととし、また、試験プラントとしての性格上設備の改造や追加を随時実施してきたということもあって、下表のような、95 年度末の実際の帳簿価格(定率法で償却)を採用しました。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="1344 525 1982 729"> <thead> <tr> <th></th> <th>帳簿価格</th> <th>耐用年数</th> <th>償却率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>建物</td> <td>37,990 万円</td> <td>45 年</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>機械設備</td> <td>114,560 万円</td> <td>12 年</td> <td>0.175</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>この結果、年間の減価償却額は 21,950 万円となり、tU 当たり 183 万円となりました。</li> <li>800tU の商用転換施設では建設費は 250 億円と想定されており、この金額を設備毎に定めた償却年数で除した値 223,000 万円を年間の減価償却費とし、減価償却コストは 279 万円/tU としました。</li> </ul>		帳簿価格	耐用年数	償却率	建物	37,990 万円	45 年	0.05	機械設備	114,560 万円	12 年	0.175
	帳簿価格	耐用年数	償却率										
建物	37,990 万円	45 年	0.05										
機械設備	114,560 万円	12 年	0.175										
<p>⑦ 減肉について激しい結果がでていますが、温度条件等について検討したのか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>当時フッ素環境下でのモネルに対する腐食データが少なく、本試験と同じ条件下での腐食データは存在しませんでした。設計時には 450℃でのデータを参考としましたが、最大減肉部(内壁)の実際の温度は、測定した炉壁温度(外壁)から 500℃以上と推定され、当初設計した減肉値を上回ったと考えられます。この知見により、商用転換施設設計及び長期的な設備保守の考え方に反映できるデータを取得することができたと考えております。</li> </ul>												

## 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 (24/28)

質問	回答
⑧ 120 t U処理の規模を選定した理由。	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内で商用転換施設を所有する可能性のある機関は、日本原燃（株）であります。日本原燃（株）の再処理工場の処理能力は 800t/年で計画されているため、商用転換施設の規模は 800t/年と想定しました。一般的に、スケールアップの場合の直接的なアナロジーが可能なプラント規模は、数分の 1 程度といわれており、本件においても商用施設（800t/年）の数分の 1 である 120 t/年を選定したことは妥当であったと考えています。なお、機構は日本原燃（株）及び電気事業者と共同研究として回収ウラン転換技術開発を進めてきており、プラント規模もその中で評価し、決定してきた経緯があります。</li> </ul>
⑨ 開発された回収ウラン転換技術が実用化（商用化）される予定（計画）はあるのか。ない場合は、この技術はサイクル機構でこのまま保有することになるのか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>商用転換施設の建設主体は、日本原燃（株）であります。回収ウラン転換技術開発は、JNC と電気事業者及び日本原燃（株）との共同研究として、実施してきており、成果は共有し報告書としてまとめ、報告書はそれぞれが保有しております。</li> </ul>
⑩ 処理コストの比較をした際の「800 t U処理」は、商用規模を想定したものと思うが、実際の商用プラントはこの規模と考えてよいのか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本原燃（株）の再処理工場の処理能力は 800t/年で計画されており、この規模を商用施設と考えております。</li> </ul>
⑪ 海外で転換をした際に、技術上の問題は生じるか。	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外で転換をする場合には、海外の再処理工場で発生する回収ウランを転換する場合と国内の再処理工場で発生する回収ウランを海外に輸送し転換する場合の 2 つのケースが考えられます。前者では転換技術そのものに係る問題はありませんが、回収ウラン中の不純物仕様については検討が必要です。後者では転換プラントで受け入れられる原料形態（化学形態、物性等）が日本で製造された UO<sub>3</sub> とマッチするか否かの検討は必要ですが、転換技術の本質に係る問題は無いものと考えられます。</li> </ul>

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 (25/28)

質問	回答																					
<p>⑫ 研究開発課題説明資料の研究計画においてHFガス、F<sub>2</sub>ガスを安全に取り扱う方法の検討、実証をする、とあり、また成果の項目の中でその見通しを得たとある。人形峠では既に天然ウランからの転換、濃縮の事業が行われていたと思うが、そこでもこれらのガスを大量に取り扱っていたので、その技術は当時既にあったのではないか。それとも天然ウランとは異なる技術が必要だったのか。</p>	<p>・天然ウランはウラン鉱石からの U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> を転換しますが、この U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> は不純物が多くふくまれており、それを精製するため湿式で転換することが必要でした。回収ウランは再処理工程で不純物が除去されていること、また初期の U<sub>235</sub> 濃度が高いため臨界管理が必要な湿式は不利であることから乾式転換を採用しました。湿式と乾式では HF、F<sub>2</sub> の取扱い条件に以下に示すような違いがあり、天然ウラン転換とは異なった取扱い技術が必要でありました。</p> <table border="1" data-bbox="1305 514 2119 884"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>NU 転換</th> <th>RU 転換</th> <th>RU 転換における成果例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">HF</td> <td>形態</td> <td>液体</td> <td>気体</td> <td rowspan="2">気密保持方法 停止・分解時のパージ方法 凝結防止方法</td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>約 90℃</td> <td>420℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">F<sub>2</sub></td> <td>温度</td> <td>400℃</td> <td>420℃</td> <td rowspan="2">停止・分解時のパージ方法 フッ素ベーキング方法 F<sub>2</sub> 発生装置運転方法 F<sub>2</sub> 昇圧装置運転方法</td> </tr> <tr> <td>濃度</td> <td>30%</td> <td>～80%</td> </tr> </tbody> </table>			NU 転換	RU 転換	RU 転換における成果例	HF	形態	液体	気体	気密保持方法 停止・分解時のパージ方法 凝結防止方法	温度	約 90℃	420℃	F <sub>2</sub>	温度	400℃	420℃	停止・分解時のパージ方法 フッ素ベーキング方法 F <sub>2</sub> 発生装置運転方法 F <sub>2</sub> 昇圧装置運転方法	濃度	30%	～80%
		NU 転換	RU 転換	RU 転換における成果例																		
HF	形態	液体	気体	気密保持方法 停止・分解時のパージ方法 凝結防止方法																		
	温度	約 90℃	420℃																			
F <sub>2</sub>	温度	400℃	420℃	停止・分解時のパージ方法 フッ素ベーキング方法 F <sub>2</sub> 発生装置運転方法 F <sub>2</sub> 昇圧装置運転方法																		
	濃度	30%	～80%																			



## 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 (26/28)

質問	回答
<p>⑬ 資料2 P. 8に商用転換施設成立の可能性を示した、とあるが、コスト評価から見て、天然ウランのコストと比べれば当分は商用としては成り立たないと思えるがどうしてこのような判断を下せたのか。技術的可能性を示した、ということか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天然ウランの転換は万トンオーダーの規模で操業されています。それに対し、回収ウランの転換は数百トンから1000トン規模で操業する必要があります。この点からも回収ウランの転換コストは高くなりますが、経済性の比較においては、回収ウラン利用による天然ウラン原料及び濃縮役務量の節約等燃料サイクル総計で総合評価が行われる必要があると考えます。</li> <li>・回収ウランリサイクルを前提にしての、経済的成立性は、海外でのRU転換コスト目標との比較で評価しています。 〔海外での転換コスト目標との比較〕</li> <li>・本技術による転換コスト評価値は海外における転換コスト目標値よりも高いものです。しかし、海外への輸送コストを考慮した場合には、国内での回収ウラン転換コストが海外で転換する場合と比較し、全く不経済であると結論することは難しいものと評価しています。また、海外に役務を委託する場合は、政治的不安要素を抱え込むこととなります。 〔天然ウランコストとの比較〕</li> <li>・回収ウラン中の<sup>235</sup>U濃度1%とし、3.5%濃縮度燃料を天然ウラン単独系、回収ウラン単独系、天然ウランと回収ウランとの混合系で製造する場合のコスト試算では、回収ウラン単独系が最も経済的であり、天然ウラン精鉱価格が約10\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>程度で混合系と天然ウラン系は釣り合うという結果が得られています。</li> </ul>
<p>⑭ 不純物に関して、FP, TRUの除去方法の開発を計画したが、実際に東海の再処理施設から来た回収ウランでは非常に少なくて検出できなかった。とあるが、東海の施設では回収ウランの成分分析は行っていないのか。また、これらの微量分析技術も東海にはなかったのか。少し不思議に思うが。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収ウラン中の不純物分析は、東海再処理工場でも行っていますが、その分析の目的は、電力殿との契約により定められた仕様値を上回っていないことを判定するためのものです。</li> </ul>

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 (27/28)

質問	回答
<p>⑮ 成果の中の「投稿技術資料」はどのようなものか。公開されたものか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・投稿技術資料は、サイクル技報（動燃技報）及び動燃 20 年誌等に投稿したもので、公開です。 <ul style="list-style-type: none"> <li>「再処理回収ウラン転換試験の概要」 1984/3</li> <li>「製錬転換パイロットプラントの運転実績」 1986/3</li> <li>「ウラン転換における固体廃棄物発生低減化技術開発について」 1987/12</li> <li>「動燃 20 年誌 第 2 節 ウランの製錬転換技術開発」 1988/10</li> <li>「核燃料技術開発報告 回収ウラン利用技術開発」 1990/12</li> <li>「回収ウラン転換技術開発」 1996/12</li> <li>「動燃 20 年誌 第 2 節 ウラン転換技術の開発」 1998/7</li> <li>「回収ウラン転換技術開発-回収ウラン輸送-」 1999/9</li> </ul> </li> <li>・なお、その他の成果及び公表は以下のとおりです。 <ul style="list-style-type: none"> <li>国内学会：日本原子力学会（29 件）</li> <li>国際学会：PATRAM'98（1 件）</li> <li>工業所有権：特許取得（10 件）、特許出願中（4 件）、実用新案取得（1 件）</li> </ul> </li> </ul>

## 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 (28/28)

質問	回答																	
<p>⑩ 研究開発費用について、国と民間（電気事業者）との割合はおよそどの程度であったのか。</p>	<p>・小規模試験までは、全額を国の予算で実施しました。中規模及び実用化試験における研究開発は、電気事業者等との共同研究で実施し、費用の分担は、官民折半でありました。開発費用に占める国の予算を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="1366 407 2016 556"> <thead> <tr> <th>[試験]</th> <th>[開発費用]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>小規模試験</td> <td>24 億円（全て国の予算）</td> </tr> <tr> <td>中規模試験</td> <td>14 億円（約半分が国の予算）</td> </tr> <tr> <td>実用化試験</td> <td>111 億円（約1割が国の予算）</td> </tr> </tbody> </table> <p>・なお、共同研究の位置付け及び内容については以下の通りです。</p> <table border="1" data-bbox="1310 658 2128 1183"> <thead> <tr> <th></th> <th>位置付け</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>中規模試験</td> <td>実用規模の機器での運転条件の把握</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・回収ウランの特性評価</li> <li>・輸送及び転換工程における安全性評価</li> <li>・分析・測定に関する調査・計画</li> <li>・運転条件</li> <li>・不純物挙動評価等</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>実用化試験</td> <td>連続性と商用化のための評価</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>・連続プロセス設計</li> <li>・連続運転条件</li> <li>・連続運転性</li> <li>・UO<sub>3</sub>・UF<sub>6</sub>のサンプリングと分析</li> <li>・不純物核種の挙動評価</li> <li>・放射性廃棄物評価</li> <li>・装置耐久性評価等</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	[試験]	[開発費用]	小規模試験	24 億円（全て国の予算）	中規模試験	14 億円（約半分が国の予算）	実用化試験	111 億円（約1割が国の予算）		位置付け	内容	中規模試験	実用規模の機器での運転条件の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収ウランの特性評価</li> <li>・輸送及び転換工程における安全性評価</li> <li>・分析・測定に関する調査・計画</li> <li>・運転条件</li> <li>・不純物挙動評価等</li> </ul>	実用化試験	連続性と商用化のための評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続プロセス設計</li> <li>・連続運転条件</li> <li>・連続運転性</li> <li>・UO<sub>3</sub>・UF<sub>6</sub>のサンプリングと分析</li> <li>・不純物核種の挙動評価</li> <li>・放射性廃棄物評価</li> <li>・装置耐久性評価等</li> </ul>
[試験]	[開発費用]																	
小規模試験	24 億円（全て国の予算）																	
中規模試験	14 億円（約半分が国の予算）																	
実用化試験	111 億円（約1割が国の予算）																	
	位置付け	内容																
中規模試験	実用規模の機器での運転条件の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回収ウランの特性評価</li> <li>・輸送及び転換工程における安全性評価</li> <li>・分析・測定に関する調査・計画</li> <li>・運転条件</li> <li>・不純物挙動評価等</li> </ul>																
実用化試験	連続性と商用化のための評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続プロセス設計</li> <li>・連続運転条件</li> <li>・連続運転性</li> <li>・UO<sub>3</sub>・UF<sub>6</sub>のサンプリングと分析</li> <li>・不純物核種の挙動評価</li> <li>・放射性廃棄物評価</li> <li>・装置耐久性評価等</li> </ul>																
<p>⑪ 経済性評価に関して、海外転換に比べ割高であるが、この理由は何か。また、海外費用並にすることは可能か。</p>	<p>・我々の評価では、現時点の試算では海外での回収ウラン転換コスト目標並にすることは困難ですが、輸送費を考慮すると国内での回収ウラン転換の成立の可能性があると考えています。いずれにせよ、商業規模の施設設計時には、最新の社会情勢や技術レベル、経済的評価手法等を用いて再評価する必要があると考えています。</p>																	

## 参 考 資 料 4

### 回収ウラン転換技術開発 (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。

# 回収ウラン転換技術開発

平成 12 年 10 月

(平成 13 年 3 月改訂)

核燃料サイクル開発機構

## 目次

1. 研究開発の目的・意義	1
2. 研究開発目標の設定	1
2.1 小規模試験	1
2.2 中規模試験	2
2.3 実用化試験	2
3. 研究開発計画	2
3.1 転換プロセスの開発	2
3.2 回収ウラン転換に関わる安全性	3
3.3 放射性不純物核種の挙動評価	4
3.4 放射性廃棄物発生量の評価	4
3.5 商用転換施設の評価	4
4. 研究開発体制	4
5. 研究開発成果	5
5.1 転換プロセスの開発	5
5.2 回収ウラン転換に関わる安全性	6
5.3 放射性不純物核種の挙動評価	7
5.4 放射性廃棄物発生量の評価	7
5.5 商用転換施設の評価	8
6. 研究開発費用及び要員	8
7. 研究成果のまとめ	9
8. 成果の普及及び公開について	9
表-1 研究開発スケジュール	10

## 1. 研究開発の目的・意義

軽水炉燃料として用いられているウランは有限であるため、将来に備え、現時点からウランの有効利用に係る方策を見出しておくことは重要なことである。即ち、天然ウランと併せて、使用済み燃料の再処理によって得られるウラン（以下、「回収ウラン」という）を転換・再濃縮して、燃料として再利用するための技術を確認していくことは、軽水炉を中心とした我が国の原子力利用の現状からは大きな意義がある。

昭和 53 年 9 月 12 日付けの原子力開発利用長期計画にも、「回収されたウランを再び核燃料として利用することは、ウラン資源に乏しい我が国にとって、必要不可欠である。このため、核燃料サイクルの一環として、再処理は国内で行うことを原則とし、我が国における再処理体制を早急に確立することとする。（抜粋）」と謳われている。

このような考えから、国内における自主的な核燃料サイクルの確立を目指し、既に計画のある民間再処理工場と整合のとれたウラン転換工場の建設に必要な技術及び経済性を見通しを得るまでの技術開発を目的として、動力炉・核燃料開発事業団（現核燃料サイクル開発機構、（以下、「サイクル機構」という）人形峠事業所（現人形峠環境技術センター、以下「人形峠センター」という）において回収ウラン転換技術開発を進めてきた。

なお、本技術開発を人形峠センターで実施したのは、天然ウラン転換に係る既存施設、及び関係技術者を有しており、ウラン転換工程の次工程であるウラン濃縮施設が同じ敷地内にある、等の利点を活かすためであった。

## 2. 研究開発目標の設定

既に天然ウランのUF<sub>6</sub>転換に係る実績はあるものの、回収ウランは天然ウランと物性や含有する不純物が異なっており、回収ウランを商用規模で転換する技術的見通しを得る技術開発を行うため、次のような3つの開発ステップを設け、それぞれに開発目標を設定して開発を進めた。研究開発スケジュールを表-1に示す。

### 2.1 小規模試験（昭和 57 年度～昭和 62 年度）

回収ウラン転換技術開発を実施するにあたり、諸外国における事例及び資料が乏しいことが判明していたことから、既に実施していた東海事業所の施設を利用した放射性不純物の挙動把握と除去に関する予察試験結果等を基に、処理能力 10 mol/h の試験設備を設計・製作し、主要プロセスの反応に係る基礎的なデータを採取するための試験（小規模試験）を実施した。小規模試験における目標は、以下に示すとおりである。

- ① 回収ウラン反応性改善
- ② 転換プロセス運転条件の把握
- ③ 転換工程における超ウラン元素（以下、「TRU」という）や核分裂生成物

(以下、「FP」という)の挙動解析

## 2.2 中規模試験(昭和63年度～平成2年度)

小規模試験の成果を基に商用転換施設の約1/5スケールとなる実用規模(140 mol/h)の設備を製作し、以下の項目を目標として試験(中規模試験)を実施した。

- ① 単体機器が設計能力を満足することの確認
- ② 水和前処理工程の自動・迅速化の確認
- ③ 回収ウランの不純物等挙動評価手法の確立
- ④ 転換施設・設備、及び施設周辺の安全性評価手法の確立
- ⑤ 回収ウラン分析技術の測定下限値の向上
- ⑥ 回収ウラン転換技術の商用化への見通し、及び検討に資するデータの収集、評価、解析

## 2.3 実用化試験(平成3年度～平成11年度)

国内における回収ウラン実用化を目指し、中規模試験で用いた試験設備を連結し、連続運転による実用規模での回収ウラン転換を実証し、最終的には「国内での回収ウラン転換技術に関わる総合的な評価」を行うことを目標とし、以下に示す項目について研究開発を進めた。

- ① 回収ウラン転換に関する信頼性・安全性・経済性に関するデータの収集
- ② 連続運転性、不純物核種の挙動、及び装置耐久性の向上に係る技術データの取得
- ③ 廃棄物の低減化に係る技術データの取得

## 3. 研究開発計画

回収ウラン転換技術実証に係る課題は、下記の3.1～3.5に示すとおりであり、各項目について開発ステップ毎にチェックアンドレビューを行いつつ、研究開発計画を推進した。

### 3.1 転換プロセスの開発

#### (1) 回収ウランの反応性改善

UO<sub>2</sub>粉体は高密度であり、比表面積が小さく、かつ粒径が大きいため、転換工程における化学反応性、特にHFフッ化工程の反応性が悪い。よって反応性を改善するための前処理技術を開発する。



## (2) 転換各工程運転条件の設定

前処理技術として選択した水和処理について、運転条件を確立する。水和処理工程を組み込んだ転換プロセスの $H_2$ 還元、HFフッ化、及び $F_2$ フッ化の各工程における運転条件の把握を行う。将来的には回収ウランを多量に取り扱うものと想定し、処理能力の増強、及び臨界設計を考慮した装置の実証を行う。

## (3) 連続運転性の評価

回収ウラン転換プロセスの運転実績に基づき、運転方法、及び機器操作条件を確立し、将来の商用転換施設の設計に資する。

## (4) 装置耐久性の評価

回収ウランの大量処理を通して、HFガス及び $F_2$ ガスとウラン化合物を高温で反応させる使用環境の厳しい反応装置（HFフッ化装置及び $F_2$ フッ化装置）について、耐久性、及び耐食性に関わるデータを取得し評価する。また、回収ウラン転換プロセスの運転実績に基づき保守の考え方を検討する。

## (5) FP, TRU 除去プロセスの開発

回収ウランに含まれるFP, TRUについて、転換プロセスで効果的に除去する方法の開発と評価を行う。

## 3.2 回収ウラン転換に関わる安全性

### (1) 回収ウランの取扱い

取扱う回収ウランの仕様を計算コード等を用いて評価し、許認可上必要とされる回収ウラン転換に係る安全性評価を行う。さらに回収ウランの取扱いにより機器等の表面線量当量率、作業環境中の放射線管理、排気・排水中の放射性物質濃度等、安全性評価に必要なデータを取得し、天然ウランとの相違を明確にして回収ウランの取扱いに関わる安全性を実証する。

### (2) HF ガス、 $F_2$ ガスの取扱い

HFフッ化工程及び $F_2$ フッ化工程では、腐食性の強いHFガス及び $F_2$ ガスを高温で多量に取り扱うことになるため、これらのガスを安全に取扱う方法を検討し、実証する。

### (3) 回収ウラン輸送

回収ウランはFP, TRU等の放射性物質を含む低濃縮ウランである。国内で回収ウランを輸送する方法について検討し、大量の回収ウランの安全、かつ合理的な陸上輸送を実証する。

## 3.3 放射性不純物核種の挙動評価

### (1) 微量分析技術の開発

小規模試験において、放射性不純物核種の量が極めて少ないことが判明したことを受けて、回収ウランに特有の放射性不純物核種 ( $^{232}\text{U}$  や FP, TRU 等) について、転換工程における挙動解明に適用できる微量分析技術を開発し、その実証を行う。

### (2) 不純物核種の挙動評価

回収ウラン特有の核種について、原料 ( $\text{UO}_3$ )、製品 ( $\text{UF}_6$ )、廃棄物等を対象に分析を行い、不純物核種の転換工程における挙動把握、及び転換工程における除染の程度を評価する。

## 3.4 放射性廃棄物発生量の評価

回収ウラン転換によって発生する流動媒体、ケミカルトラップ吸着剤等の工程廃棄物の発生量、及び放射性不純物濃度を実測データに基づき解析し、廃棄物発生量の低減化方策を検討する。

## 3.5 商用転換施設の評価

### (1) 商用転換施設設計検討

回収ウラン転換実用化試験の運転実績を基に、商用転換施設の設計・運転・保守（処理能力、稼働率等）に関する検討を行い、転換コストに関わる要因について評価する。さらに、プロセス運転で得られた知見に基づき、商用転換施設の実現に向けて解決すべき課題を摘出し、解決方法を提案する。

### (2) 経済性

回収ウラン転換実用化試験の運転結果、及びウラン処理量に基づき、機器の処理能力、工程稼働率、ユーティリティ・副原料使用量、要員数等について実績をとりまとめて、回収ウラン転換コストを試算する。また、年間 800t-U の処理能

力を持つ商用転換施設について転換コストを試算し、国内における回収ウラン転換の成立性を評価する。

#### 4. 研究開発体制

回収ウラン転換に係る技術開発は、天然ウラン転換の技術を有する旧動力炉・核燃料開発事業団の人形峠事業所資源開発部製錬課（組織改正を重ね、現在は、人形峠環境技術センター施設管理部転換施設処理課）が実施した。なお、電気事業者等との共同研究では、旧動力炉・核燃料開発事業団 核燃料サイクル技術開発部の協力を得て、研究計画をとりまとめた。

電気事業者等とは共同研究契約を締結して、中規模試験及び実用化試験を通して密接な協力関係を維持した。

回収ウラン転換技術開発に係る費用及び人員については、「6. 研究開発費用及び人員」に記載するとおりである。

#### 5. 研究開発成果

##### 5.1 転換プロセスの開発

###### (1) 回収ウランの反応性改善

予察試験等から回収ウランの反応性改善に効果的な方法として水和法を選定したが、 $UO_3$ 水和物は凝集性が強く、水の添加率や添加速度は $UO_3$ の水和度及び水和物のハンドリング性に大きく影響する。このため、臨界安全性を考慮した攪拌式水和装置を設計・製作し、水添加量、水添加速度、攪拌条件、水和反応温度等をパラメータとした試験を行い、 $UO_3$ を安定して水和できる水和条件を見出し、その有効性を転換プロセスの運転で実証した。

回収ウラン転換プロセスにおける水和条件は、 $H_2O/UO_3$ モル比： $2.1 \pm 0.1$ 、水和時の設定温度： $40 \pm 5^\circ C$ が最適であることを明らかにした。

###### (2) 転換各工程運転条件の設定

小規模試験結果を受けて設定した運転操作条件に基づき、各プロセス毎の単独運転により、各装置が設計処理能力（140 mol/h）を満足すること、及び仕様を満足する製品を製造できることを実測により確認するとともに、各工程について、最適な反応温度、反応物質供給比等の運転条件を確立した。

### (3) 連続運転性の評価

全工程を連結し、中規模試験で確立した運転操作条件を基本にした連続運転試験により、粉体物性が流動床炉の運転に及ぼす影響、及びF<sub>2</sub>フッ化炉の流動媒体交換等連続運転に係わるノウハウを蓄積するとともに実用規模での回収ウラン転換を実証した。

### (4) 装置耐久性の評価

腐食性の強いHFガス、及びF<sub>2</sub>ガスを高温で取り扱う使用環境の厳しい反応装置について、回収ウランの連続・大量処理を通して肉厚の定点測定を行い、減肉データを取得した。その結果、いずれの反応装置の減肉速度も当初の設計予測値より大きいことが判明した。これらのデータは、商用転換施設設計時の腐食代設定や保守・補修計画検討等に活用できる。

### (5) FP, TRU 除去プロセスの確立

回収ウラン原料に含まれるFP, TRUについて、フッ化物の蒸気圧の低い成分はF<sub>2</sub>フッ化炉の流動媒体へ移行させ流動媒体と共に系外に抜き出す方法及び蒸気圧の高い成分はUF<sub>6</sub>と吸着特性の異なる吸着剤(MgF<sub>2</sub>)をF<sub>2</sub>フッ化炉とUF<sub>6</sub>捕集工程の間に入れることにより吸着除去する方法を確立した。

## 5.2 回収ウラン転換に関わる安全性

### (1) 回収ウランの取扱い

回収ウラン組成、機器・容器等の表面線量当量率、作業環境、排気・排水中の放射性物質濃度、及び周辺環境試料について測定、分析を実施し、回収ウラン取扱い上の安全性評価を行った。

回収ウランに含まれる核種の内、外部被ばくへの直接的な寄与が大きい核種は半減期の短い<sup>234m</sup>Pa, <sup>212</sup>Bi, <sup>208</sup>Tlであること。従って、これらの親核種の存在に留意する必要があること；従事者の被ばく線量は天然ウラン転換時よりも増加するが、法令値を十分満足すること；FP, TRUの外部被ばくへの寄与は小さいことを確認した。また、回収ウラン転換においても、天然ウラン転換と同様に周辺環境への影響は認められないことを確認した。

## (2) HF ガス, F<sub>2</sub> ガスの取扱い

回収ウラン転換で使用する化学的毒性の大きな HF ガス, 及び F<sub>2</sub> ガスについて, 装置設計・施工や腐食耐性改善のためのフッ素ベーキング技術等に係る知見を取得した。また, 回収ウラン転換プロセス運転をとおして多量の HF ガス, 及び F<sub>2</sub> ガス処理技術を実証し, 商用転換施設で安全に取扱う見通しを得た。

## (3) 回収ウラン輸送

核燃料物質等の輸送に関する法律改正（平成3年1月1日施行）以前の輸送では, A型核分裂性輸送物として約 48 t-U の回収ウランを安全に輸送した。法律改正後は, 新たに回収ウランの輸送について安全解析を行い, 新しく設けられた IP-2 型核分裂性輸送物として, 約 299 t-U の回収ウランを安全に輸送し, 国内における回収ウランの大規模・長距離の陸上輸送の安全性を確立した。

### 5.3 放射性不純物核種の挙動評価

#### (1) 微量分析技術の開発

回収ウラン中に存在する FP, TRU 量は理論的に予想される値よりも低く, 検出下限値以下であったため, 環境分析手法等を参考に, 元素の化学的特性を考慮した溶媒抽出, イオン交換, 蒸留法等を組合わせた化学処理, 及びスペクトル解析補正方法を開発し, これまでの方法に比較して検出下限値を数桁向上させた。

本分析技術を適用することにより, 回収ウランに含まれる微量不純物核種の転換プロセスにおける挙動評価が可能となった。

#### (2) 不純物核種の挙動評価

開発した分析技術を適用して原料 (UO<sub>3</sub>), 製品 (UF<sub>6</sub>) や不純物の蓄積が予想される使用済流動媒体, ケミカルトラップ (フッ化ナトリウム (NaF), 活性アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)) 等のサンプリングと分析を行い, 主要不純物の転換プロセスにおける挙動 (不純物除去の状況, 工程内の不純物の蓄積状況) を把握した。また, 回収ウラン転換に関する製錬転換施設の安全性評価値設定の妥当性が確認できた。

### 5.4 放射性廃棄物発生量の評価

連続運転によって発生する吸着剤等の工程廃棄物の種類, 量を運転状況との関連で分類集計し, この結果を基に, 廃棄物発生量の低減化方策を検討した。

転換プロセスで発生する不燃性固体廃棄物の約 9 割は, 排気・排水系に移行するフ

ッ素の処理に起因する  $\text{CaF}_2$  と活性アルミナであるため、オフガス系に移行する  $\text{HF} \cdot \text{F}_2$  のリサイクル使用により、転換工程から発生する廃棄物の大幅な削減の見通しが得られた。

## 5.5 商用転換施設の評価

### (1) 商用転換施設設計検討

これまでの回収ウラン  $\text{UF}_6$  転換試験をとおして得られた知見，経験に基づき，商用転換施設についてはコストダウンに併せ， $\text{HF}$ ， $\text{F}_2$  ガスのリサイクル利用を図る等，廃棄物発生量の低減化を考慮した設計の必要性を明らかにした。

### (2) 経済性評価

実用化試験における本試験設備の運転実績，及び回収ウラン処理量を基に，変動費，固定費の推移とその内容をまとめ，年間処理量 120t-U で運転した場合の本設備と 800 t U/年の商用転換施設の経済性を比較評価した。特に経済性評価の前提条件を明確化し，処理コスト内容を整理分析した。

120t-U/年処理では約 1,100 万円/t-U，800t-U/年処理では約 600 万円/t-U と試算され，国内での回収ウラン商用転換施設成立の可能性を示した。

## 6. 研究開発費用及び要員

回収ウラン転換技術開発は，天然ウラン転換の技術開発を進めていた製錬転換施設を活用して行った。そのため，回収ウラン転換技術開発を進めた建屋建設費は研究開発コストに含めていない。平成2年度までは，天然ウラン転換と並行して技術開発を進めており，ユーティリティ等は共用した。また，実用化試験で使用する機器については，天然ウラン転換技術開発で使用した機器の内，利用可能な流動床炉等は転用し，開発費用を低減した。

回収ウラン転換技術開発に要した費用の合計は 149 億円，要員の合計は 961 人・年であった。小規模試験，中規模試験及び実用化試験に係る研究開発費用及び要員を以下に示す。

研究開発費用及び要員

	小規模試験	中規模試験	実用化試験	合計
予算 (億円)	24	14	111	149
要員 (人)	184	218	559	961

## 7. 研究成果のまとめ

東海再処理工場の回収ウランを用い、転換技術開発を進めた結果、以下に示すような成果を得ることができた。

### (1) 回収ウラン転換技術の実証について

- ① 国内で初めて、回収ウラン転換を実証した。
- ② 回収ウラン転換プロセスにおける反応性改善方法として攪拌式水和装置を用いた水和法を確立した。
- ③ 回収ウランに含まれる FP, TRU の挙動を解明し吸着除去プロセスを開発した。
- ④ 実用規模での転換プロセスの最適運転条件を確立した。

### (2) 国内における商用転換施設に必要とされる知見の取得について

- ① 回収ウランの安全な取扱い、及び大量の回収ウランの安全輸送に係る知見を取得した。
- ② HF ガス, F<sub>2</sub> ガスの安全な取扱いに係る知見を取得した。
- ③ 商用転換施設設計に考慮すべき事項を明らかにし、回収ウラン利用に関する技術的及び経済性について見通しが得られた。

## 8. 成果の普及及び公開について

回収ウラン転換技術に関わる技術資料、外部発表件数等は、以下に示すとおりである。

・国内学会発表	29 件
・国際学会発表	1 件
・社内技術資料	76 件
・投稿技術資料	8 件
・工業所有権等申請	15 件

表-1 研究開発スケジュール

年度	昭和													平成															
	36	~	50	1	2	3	4	55	56	57	58	59	60	61	62	63	H1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
回収・転換技術開発					予察調査				小規模試験					中規模試験				実用化試験											
					【基礎特性把握】 ・物性 ・反応性				【小型機器試験】 ・反応性改善 ・反応条件の評価 ・FP, TRU挙動解明					【単体機器試験】 ・水和技術の確立 ・微量分析技術開発 ・不純物挙動評価 ・安全性の評価				【連続プロセス試験】 ・運転条件の確立 ・装置耐久性 ・廃棄物の低減化 ・経済性 ・総合評価											
原子力長計	昭和36年 ・使用済燃料の再処理及び劣化ウランの再利用に関する技術開発の進行				昭和53年 PUとRU有効利用必要不可欠									昭和62年 ・一時貯蔵しながら用途について検討 ・MOX ・再濃縮 ・ブレンドイング								平成6年 U再濃縮リサイクルについて検討				平成12年 Pu, RU等の有効利用が国の基本的考え方			
トピック	△ 東海再処理運転開始(9月)													△ ウラン濃縮原型プラント運転開始(4月)															



## 用語解説

あ

### IP-2 型核分裂性輸送物

IP 型とは、IAEA 規則 1985 年版において新たに規定された産業用輸送物 (Industrial Package) のこと。IP 型輸送物は、低比放射性物質 (LSA=Low Specific Activity) と表面汚染物 (SCO=Surface Contaminated Object) を収納した輸送物のことで、収納物の特性と放射能濃度により IP-1, IP-2, IP-3 の 3 種類に分類される。収納物の  $^{235}\text{U}$  等核分裂性物質の量或いは濃度が規定値を超えるものは、核分裂性輸送物となる。

### イオン交換法

不溶性、多孔性のイオン交換樹脂を用いて目的とする成分を分離・濃縮する方法。回収ウラン中に存在する FP, TRU 量は極微量であるので、分析上検出を容易とするため、FP, TRU 元素濃度を高くするための前処理法 (化学処理) として本方法も適用した

### HF フッ化装置

二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) を四フッ化ウラン ( $\text{UF}_4$ ) にする装置のこと。人形峠の回収ウラン転換プロセスでは、二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) を四フッ化ウラン ( $\text{UF}_4$ ) にフッ化する工程で流動床型反応炉を採用している。二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) 粉体を連続的に供給する流動床の下部から、反応ガスとして HF を、流動ガスとして  $\text{N}_2$  をそれぞれ供給し、反応生成物である  $\text{UF}_4$  を連続的に抜き出す方式である。反応式は、 $\text{UO}_2$  (固) +  $4\text{HF}$  (気)  $\rightarrow$   $\text{UF}_4$  (固) +  $2\text{H}_2\text{O}$  (気) である。

### HF ガス

フッ化水素ガスのこと。人形峠の回収ウラン転換プロセスでは、二酸化ウラン ( $\text{UO}_2$ ) を四フッ化ウラン ( $\text{UF}_4$ ) にフッ化する工程において、フッ化反応を行わせるための反応ガスとして、無水フッ酸を気化させて得られるフッ化水素 (HF) ガスを使用している。

### $\text{F}_2$ フッ化装置

四フッ化ウラン ( $\text{UF}_4$ ) を六フッ化ウラン ( $\text{UF}_6$ ) にする装置のこと。人形峠の回収ウラン転換プロセスでは、四フッ化ウラン ( $\text{UF}_4$ ) を六フッ化ウラン ( $\text{UF}_6$ ) にフッ化する工程で流動床型反応炉及びフレーム型反応炉を採用している。流動床型反応炉は、焼結アルミナを流動媒体とする流動床に  $\text{UF}_4$  粉体を連続的に供給し、下部から反応ガスとしてフッ素ガス ( $\text{F}_2$ ) を、流動ガスとして窒素ガス ( $\text{N}_2$ ) をそれぞれ供給し、反応

生成物として六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) ガスを得る方式である。フレーム型反応炉は、炉上部から四フッ化ウラン ( $UF_4$ ) 粉体と、窒素ガス ( $N_2$ ) で若干希釈したフッ素ガス ( $F_2$ ) ガスを供給し、粉体が炉内を分散落下していく間にフッ化反応を行わせ、炉下部から六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) ガスを得る方式である。反応式は、 $UF_4$  (固) +  $F_2$  (気)  $\rightarrow$   $UF_6$  (気) である。

## F<sub>2</sub>ガス

フッ素ガスのこと。化学反応性が高い。人形峠の回収ウラン転換プロセスでは、四フッ化ウラン ( $UF_4$ ) を六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) にフッ化する工程において、フッ化反応を行わせるための反応ガスとして、無水フッ酸 (HF) とフッ化カリウム (KF) の混合物を電解して得られるフッ素ガス ( $F_2$ ) を使用している。

## FP

Fission Productsの略称。核分裂生成物のこと。

## A型核分裂性輸送物

規定量を超えない量の放射能を有する核燃料物質等であって、危険性が極めて少ないものとして定められたものでない核燃料物質等はA型輸送物として区分される。<sup>235</sup>U等核分裂性物質の量或いは濃度が規定値を超えるものは、核分裂性輸送物に区分される。

か

## 回収ウラン

使用済燃料を化学処理して取り出されたウランのこと。回収ウラン転換技術開発では、サイクル機構東海再処理工場で回収された濃縮度1%前後の回収ウラン (化学形： $UO_3$ ) を使用した。

## 核燃料サイクル

原子力発電所では核燃料物質を鉱石より製錬して濃縮し、成型加工により核燃料の形にして、これを原子炉で使用している。また、原子炉の使用済燃料を再処理して取り出したPu及びUは、濃縮、加工等の工程を経て再び原子炉に使用することができる。このような核燃料の一連の循環過程を一般に核燃料サイクルという。

## 核分裂生成物

<sup>235</sup>U等の核分裂によって生じた核種の総称。大部分が放射性で、半減期は短いもの

が多く、 $\beta$ 崩壊を数回以上続けて安定化するものが多い。

### 軽水炉燃料

軽水を減速材・冷却材とする動力炉で使用される燃料。濃縮度3～5%程度の二酸化ウラン ( $UO_2$ ) 粉体を焼結したセラミック燃料ペレットを、ジルカロイの被覆管に詰め、燃料集合体として組み立てたものを原子炉に装荷している。

### ケミカルトラップ

選択的吸着特性を有する吸着物質を用いることにより、主として液体、気体中の特定成分を化学的・（及び物理的）に捕捉するものこと。回収ウラン転換技術開発において、 $F_2$ フッ化反応によって得られた六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) ガスはコールドトラップにて捕集されるが、 $F_2$ ふっ化装置とコールドトラップとの間にフッ化マグネシウム ( $MgF_2$ ) ペレットを充填したケミカルトラップを設置し、不純物除去を図っている。

さ

### 再処理

原子炉から取り出した使用済燃料から、FP、TRU等を分離し、PuやUを得る操作。サイクル機構東海再処理工場や六ヶ所村に建設中の再処理工場では、PUREX法という溶媒抽出法が採用されている。

### 三酸化ウラン ( $UO_3$ )

ウラン1原子に対して酸素が3原子結びついた化合物。回収ウラン転換技術開発において、東海再処理工場からの回収ウランを原料としていた。この回収ウランの化学形態は $UO_3$ であり、オレンジ色の固体（粉粒体）である。

### 蒸留法

液体を加熱し、一旦蒸気として目的成分の濃度を高くする方法。回収ウラン中に存在するFP、TRU量は極微量であるので、分析上検出を容易とするため、FPのうちのルテニウム (Ru)、テクネチウム (Tc) について、前処理法（化学処理）として本法を適用した。

### 水和処理

回収ウラン転換技術開発で原料として使用したサイクル機構東海再処理工場産の回収ウラン（化学形： $UO_3$ ）は、球状で緻密であり化学的活性が低いという性質があった。そこで、 $UO_3$ の粉体に水を加え、 $UO_3$ と水を反応（水和反応）させることにより化学反

応性の改善を図った。

### スペクトル解析補正方法

エネルギースペクトル上で重畳する他の核種からの影響を、別のエネルギー領域におけるスペクトル或いは放射平衡関係等の情報を利用して補正する方法。

た

### 超ウラン元素

原子番号92のUより大きな原子番号を持つ元素。いずれも人工の放射性核種で、核燃料サイクルにおいて特に問題となるのは、Np、Pu、Am、Cmである。

### 転換

天然ウランを軽水炉燃料に加工する工程において、ウラン鉱石を製錬して得られたイエローケーキを出発原料として濃縮工程の原料物質である六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) を得る工程をいう。また、回収ウラン転換技術開発においては、再処理工場で回収されたウラン (回収ウラン) は  $UO_2$  という形態であったが、これを濃縮工程の原料物質である  $UF_6$  に転化する一連の工程を転換と呼ぶ。

### TRU

Transuranic elements の略。原子番号が93番以上の元素 (超ウラン元素) のこと。

な

### 濃縮

天然ウラン中の $^{235}U$ の濃度は0.711%であり、これを軽水炉で燃料として使用できる3~5%程度まで、U中の $^{235}U$ 同位体濃度を高める操作のことを濃縮という。回収ウラン転換技術開発で転換した六フッ化ウラン ( $UF_6$ ) は、サイクル機構の濃縮施設で濃縮された。

は

### フッ素ベーキング

転換工程のフッ素 ( $F_2$ ) による腐食が想定される機器において、運転前に予めフッ素ガス ( $F_2$ ) と接触させ、接触面にフッ化物皮膜を生成させることにより、耐腐食性を高める操作をいう。

## フレイム型反応炉

F<sub>2</sub>フッ化装置参照。

## UF<sub>6</sub>転換

回収ウラン転換技術開発において、原料 UO<sub>3</sub> を六フッ化ウラン (UF<sub>6</sub>) にフッ化するための一連の工程のうち、四フッ化ウラン (UF<sub>4</sub>) を六フッ化ウラン (UF<sub>6</sub>) に F<sub>2</sub> フッ化する工程 (F<sub>2</sub> フッ化工程) における操作のことを、特に六フッ化ウラン (UF<sub>6</sub>) 転換と呼ぶ。

## UO<sub>3</sub>

三酸化ウランのこと。回収ウラン転換技術開発において、東海再処理工場からの回収ウランを原料としていたが、この回収ウランの化学形態はUO<sub>3</sub>である。

## UO<sub>2</sub>

二酸化ウランのこと。回収ウラン転換技術開発において、原料のUO<sub>3</sub>を水和処理後、水素 (H<sub>2</sub>) ガスによって還元して二酸化ウラン (UO<sub>2</sub>) を得る。

## UF<sub>6</sub>

六フッ化ウランのこと。回収ウラン転換技術開発において、原料の UO<sub>3</sub> をフッ化して得られる最終製品であり、これは濃縮工場の原料となる。

## 溶媒抽出法

溶液の特定成分をある種の有機溶媒 (キシレン等) に接触させ、抽出する方法。回収ウラン中に存在するFP, TRU量は極微量であるので、分析を容易とするため、FP, TRU 元素濃度を高くするための前処理法 (化学処理) として本方法を適用した。

ら

## 臨界設計

臨界状態にならないように、機器のサイズ、配置や量、濃度等を制限できるように設計すること。

## 流動媒体

回収ウラン転換技術開発において、F<sub>2</sub>フッ化装置のうち流動床型反応炉で流動層の差圧を一定に保ち、マイルドな化学反応を維持する目的で使用している。人形転換プロセスでは、焼結アルミナ粒を用いている。不揮発性のフッ化物等の蓄積があるため、

定期的に交換される。

### 流動床炉

回収ウラン転換技術開発における $F_2$ フッ化装置として採用された反応炉。 $UF_4$ 粉体を $F_2$ ガスと反応させて連続的に $UF_6$ ガスを得る。反応の原料が固体であるのに対し、生成物が気体であるため、流動層の差圧維持のために流動媒体を必要とする。

## 参 考 資 料 5

回収ウラン転換技術開発  
(OHP資料)

# 回収ウラン転換技術開発

平成12年10月

(平成13年3月改訂)

核燃料サイクル開発機構

人形峠環境技術センター



# 回収ウラン転換技術開発

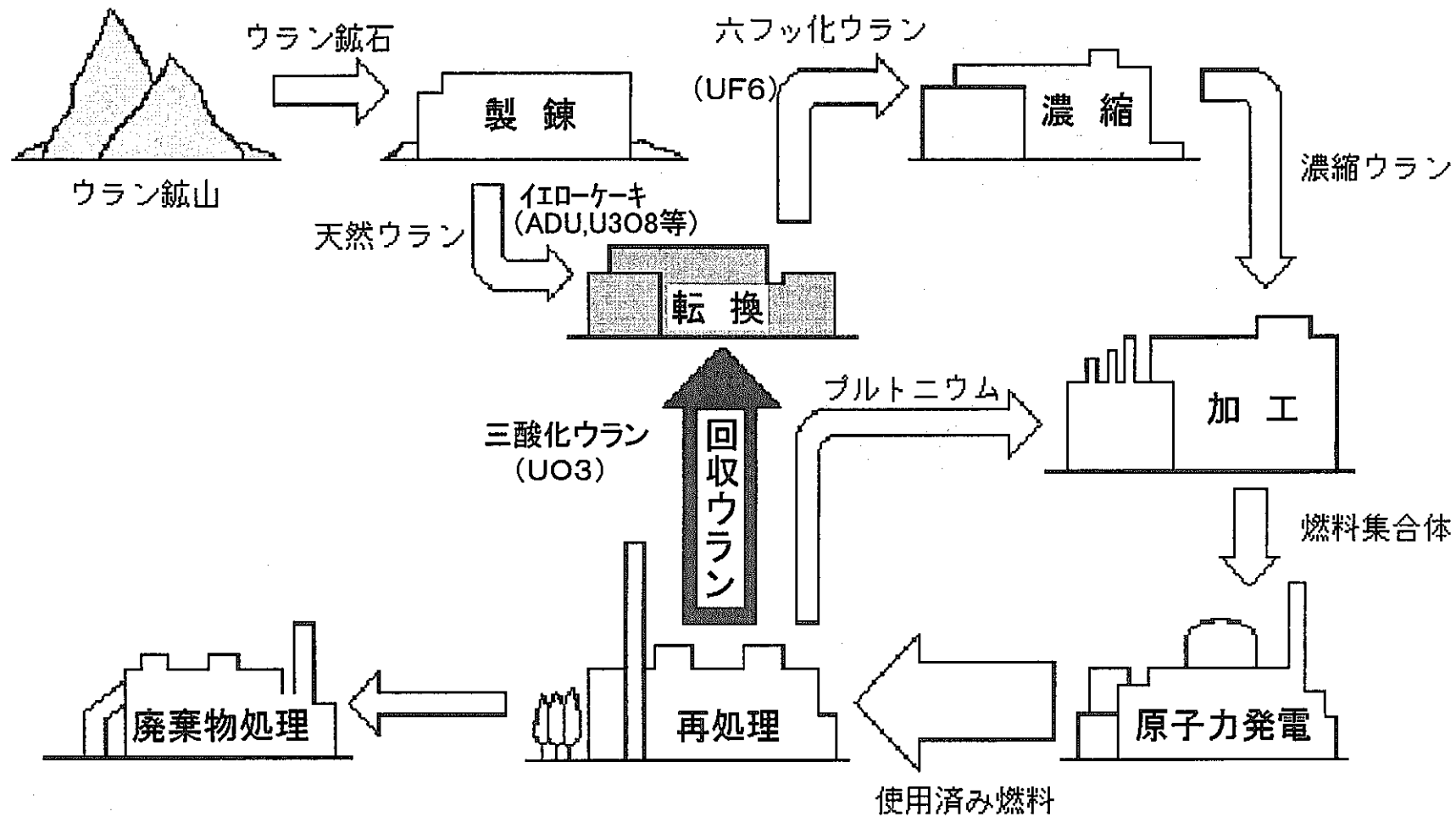
## — 報告内容 —

1. 開発の意義
2. 開発の目的と目標
3. 開発計画
4. 開発成果
5. 開発の進め方と体制
6. まとめ

# 1. 開発の意義

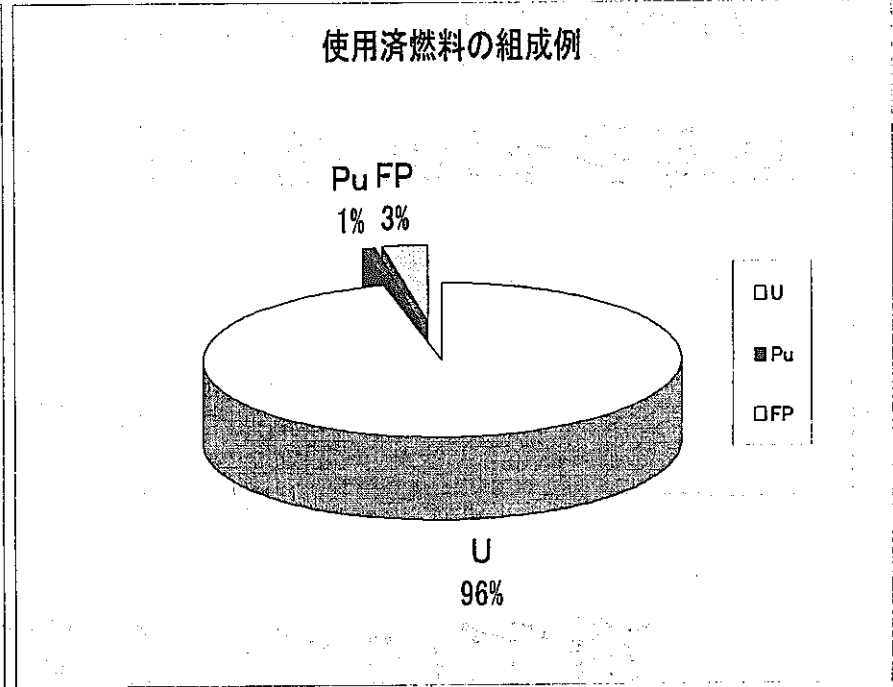
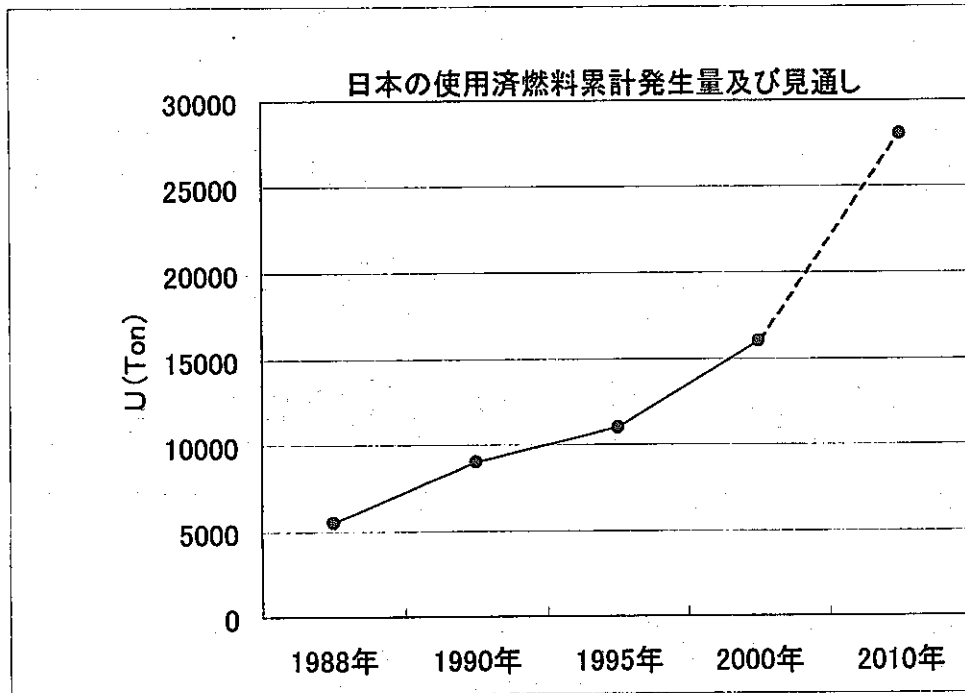
核燃料サイクルにおける  
回収ウランの有効利用

# 核燃料サイクルと回収ウランの転換



# 回収ウランの価値

- ・ 準国産エネルギー資源
- ・ 約25%の天然ウラン節約



出典：(社)日本原子力産業会議 刊  
「原子力ポケットブック(2000年版)」



## 回収ウランと天然ウランの比較

1. 濃縮度が高い (約1% vs 0.7%)  
⇒ 臨界管理が必要
2. 回収ウラン特有な比放射能が高い物質を含有  
(U232、核分裂生成物(FP)、超ウラン元素(TRU))  
⇒ 被ばく・環境への影響・プラント運転の検討
3. 化学的に不活性な原料物質(UO<sub>3</sub>粉末)  
⇒ 化学反応性の改善

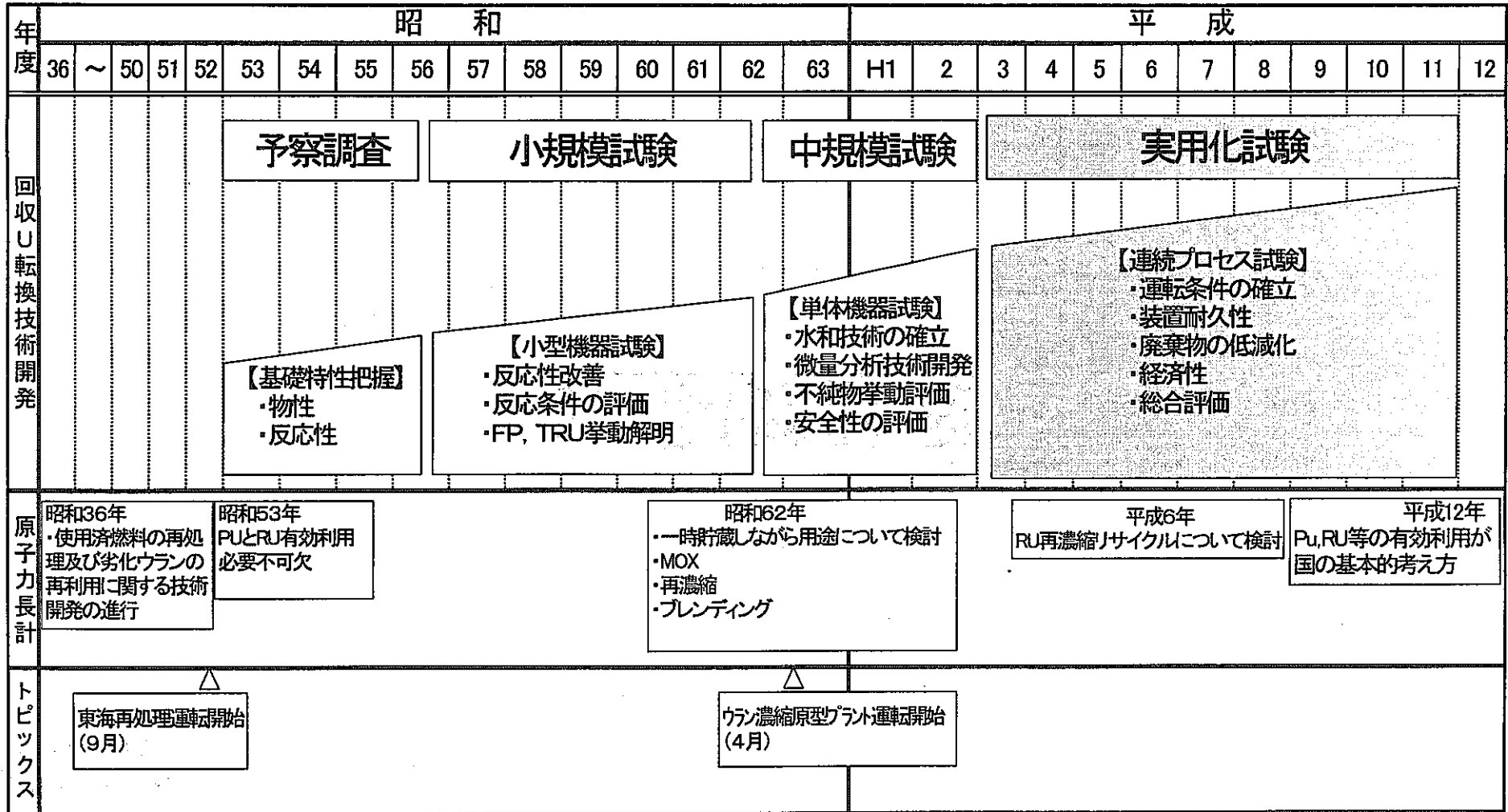
## 2. 開発の目的と目標

## 開発目的

- ・ 国内における商用転換施設の技術的及び  
経済性を見通しを得るための技術開発

# 研究開発ステップ

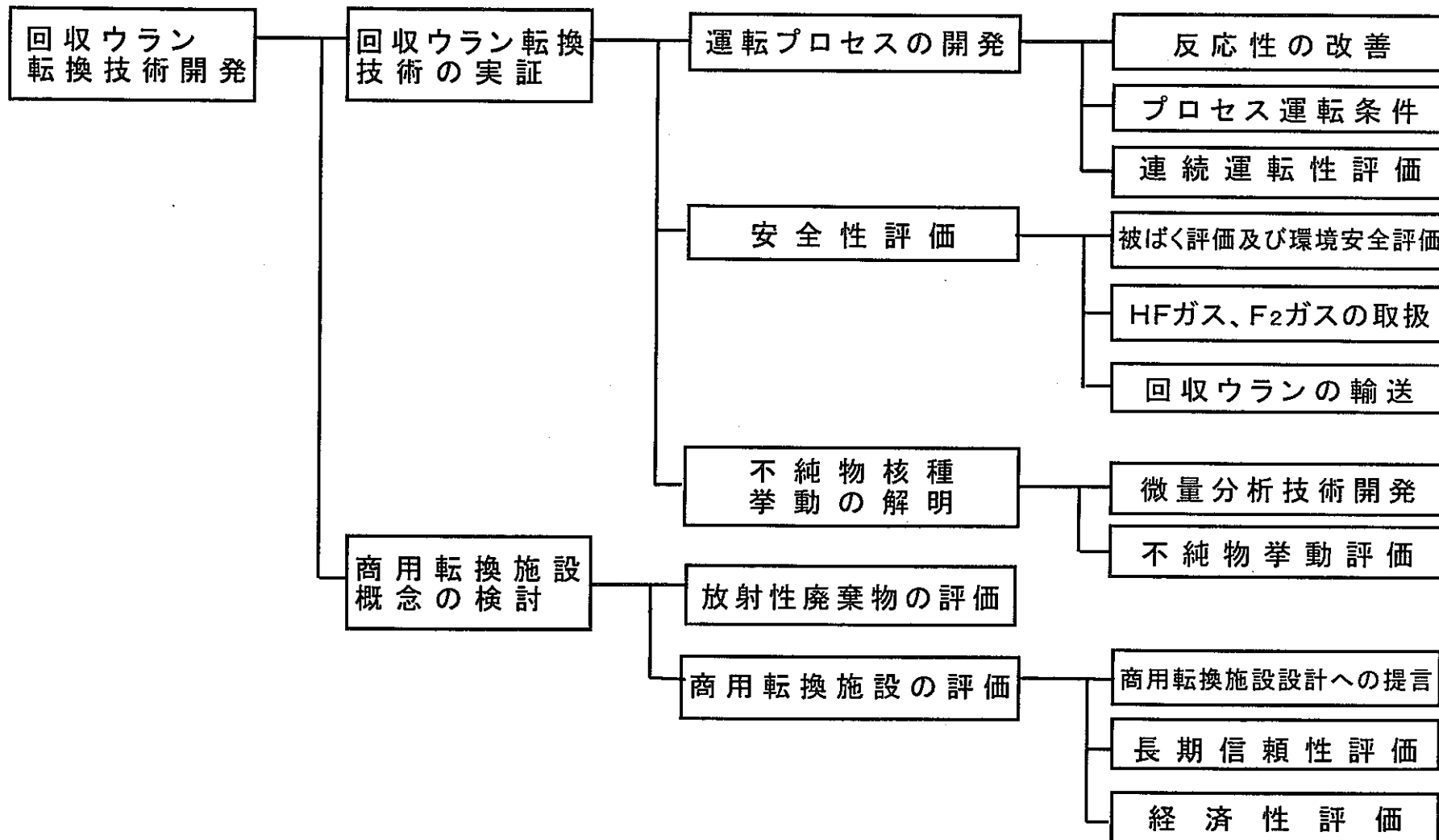
(核燃料サイクルの確立に資するための回収ウラン転換技術開発)





# 3. 開発計画

# 研究開発課題の技術系統図



# 4. 開発成果

# 研究開発項目

## (1) 転換プロセスの開発

- ① 反応性改善
- ② プロセス運転条件
- ③ 連続運転性評価

## (2) 安全性評価

- ① 被ばく評価及び環境安全性評価
- ② HFガス, F<sub>2</sub>ガスの取扱い
- ③ 回収ウランの輸送

## (3) 不純物核種挙動の解明

- ① 微量分析技術開発
- ② 不純物挙動評価

## (4) 放射性廃棄物の評価

## (5) 商用転換施設の評価

- ① 商用転換施設設計への提言
- ② 長期信頼性評価
- ③ 経済性評価



## (1) 転換プロセスの開発

- ① 反応性改善
- ② プロセス運転条件
- ③ 連続運転性評価

## (1)－①反応性改善(1)

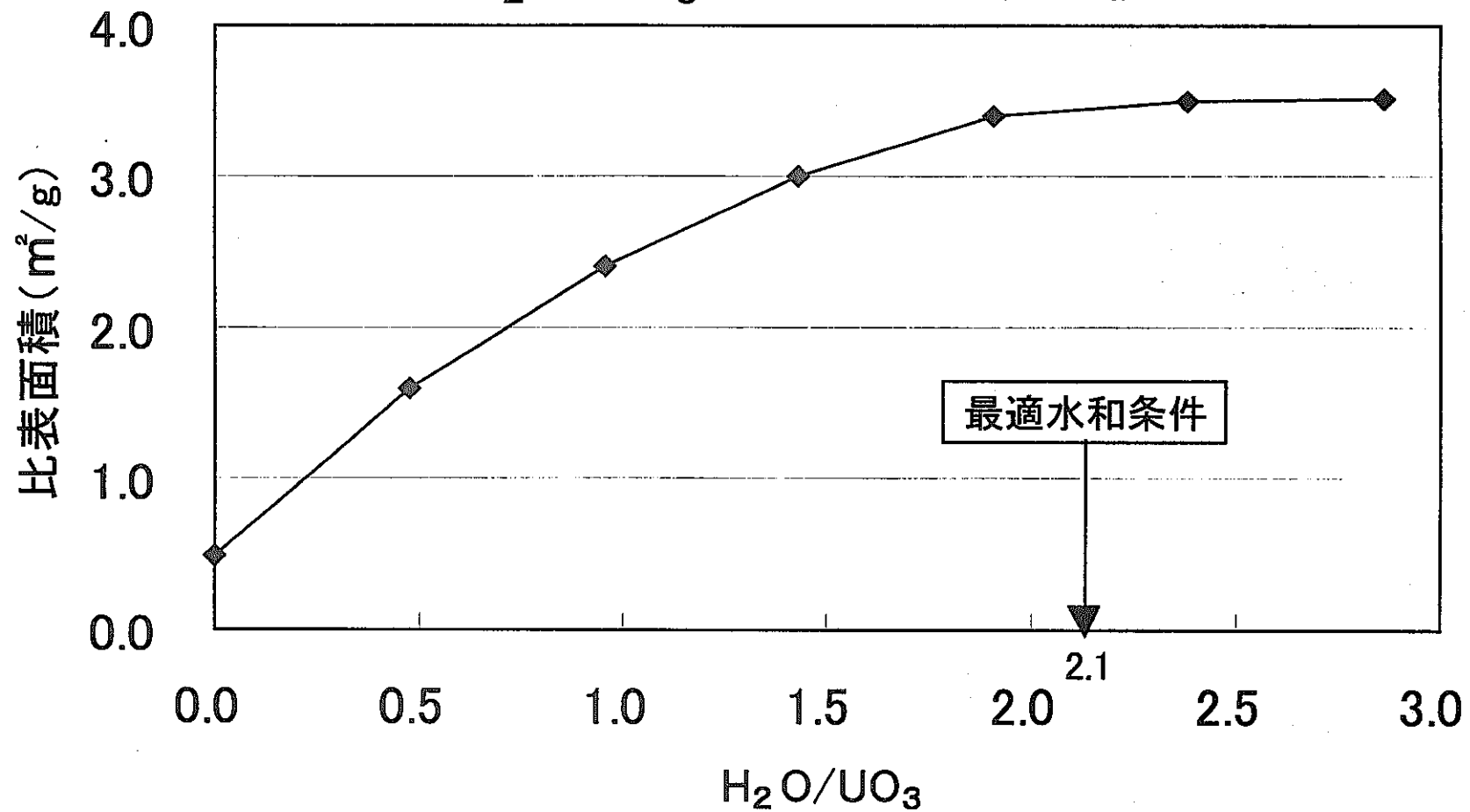
- 課 題

- 原料 $UO_3$ は、緻密、球状であり化学的に不活性

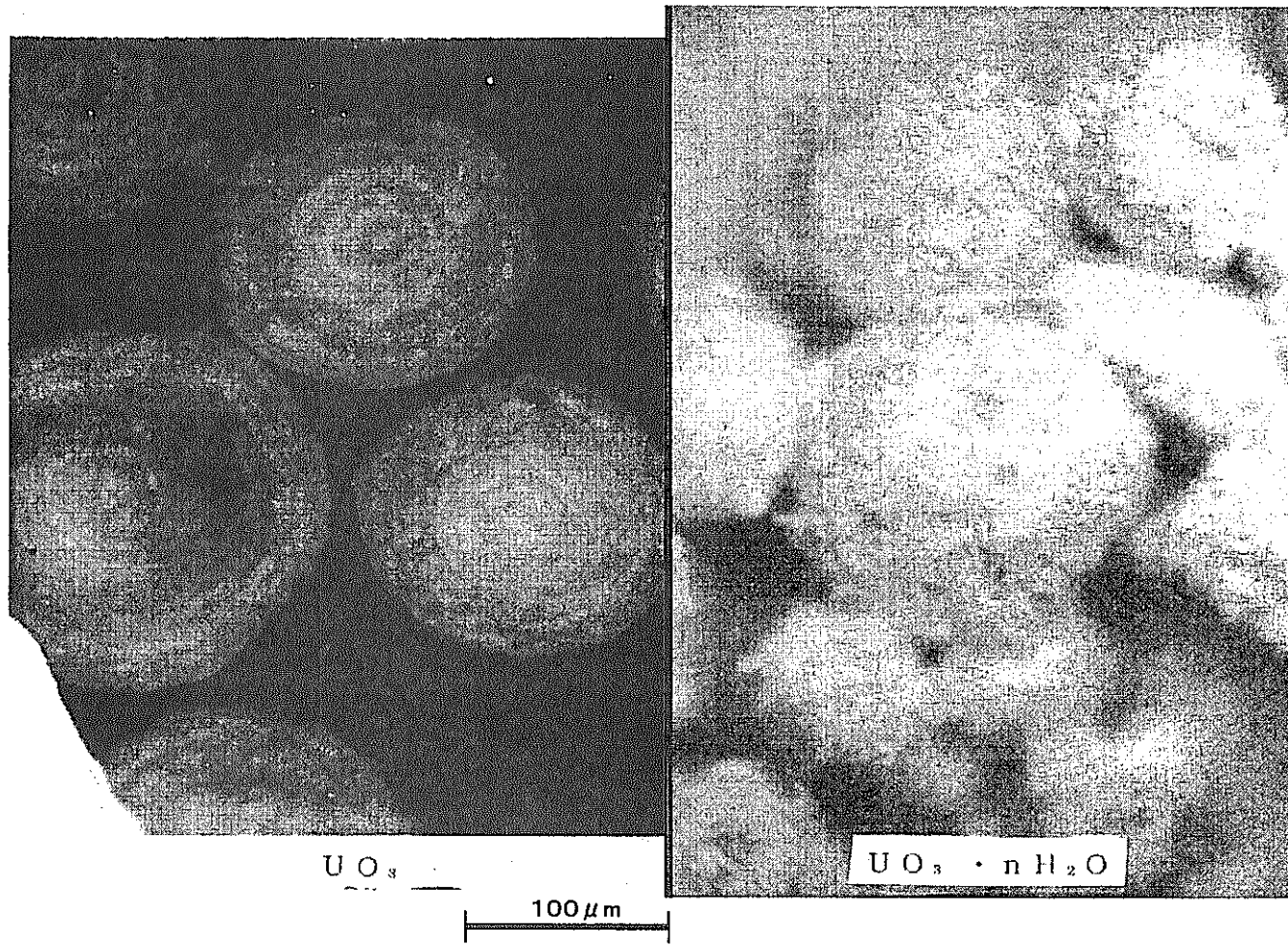
- 目 標

- 反応性改善の方法について開発

## 反応性改善(2)

H<sub>2</sub>O/UO<sub>3</sub>モル比 vs 比表面積

# 反応性改善(3)



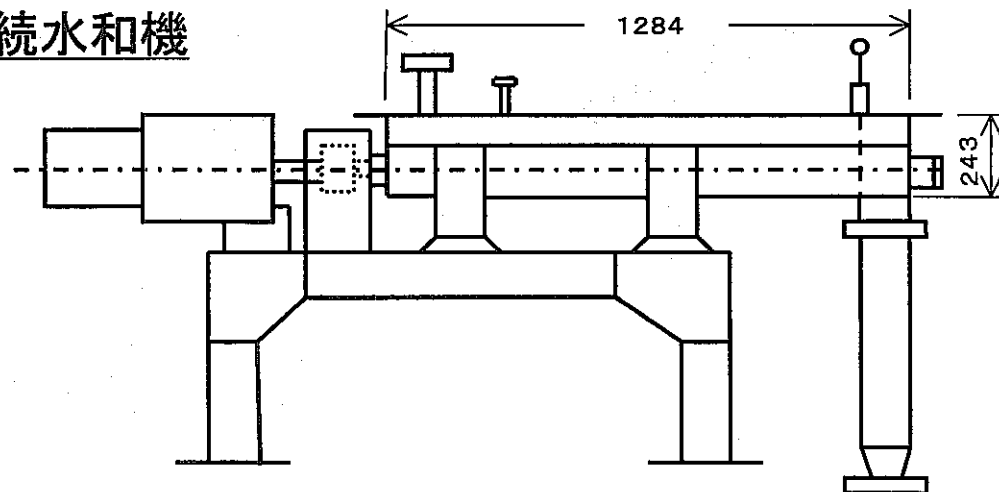
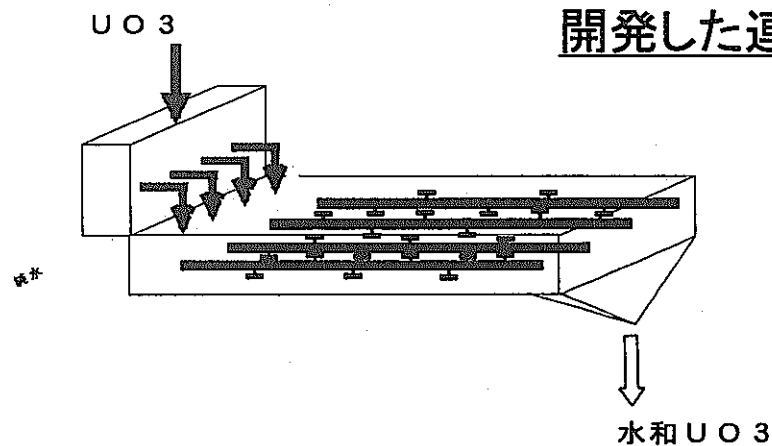
原料UO<sub>3</sub>

水和UO<sub>3</sub>



# 反応性改善(4)

開発した連続水和機



概略仕様

形式	パグミサ-型
材質	SUS
外形寸法	縦 1284mm
	横 879mm
	高さ 243mm

最適水和条件

設定温度	: 40 ± 5 °C
純水供給比	: 2.1 ± 0.1 (H <sub>2</sub> O/UO <sub>3</sub> )
ベッド量	: 150 kg (UO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O)

## (1)－②プロセス運転条件(1)

- 課題

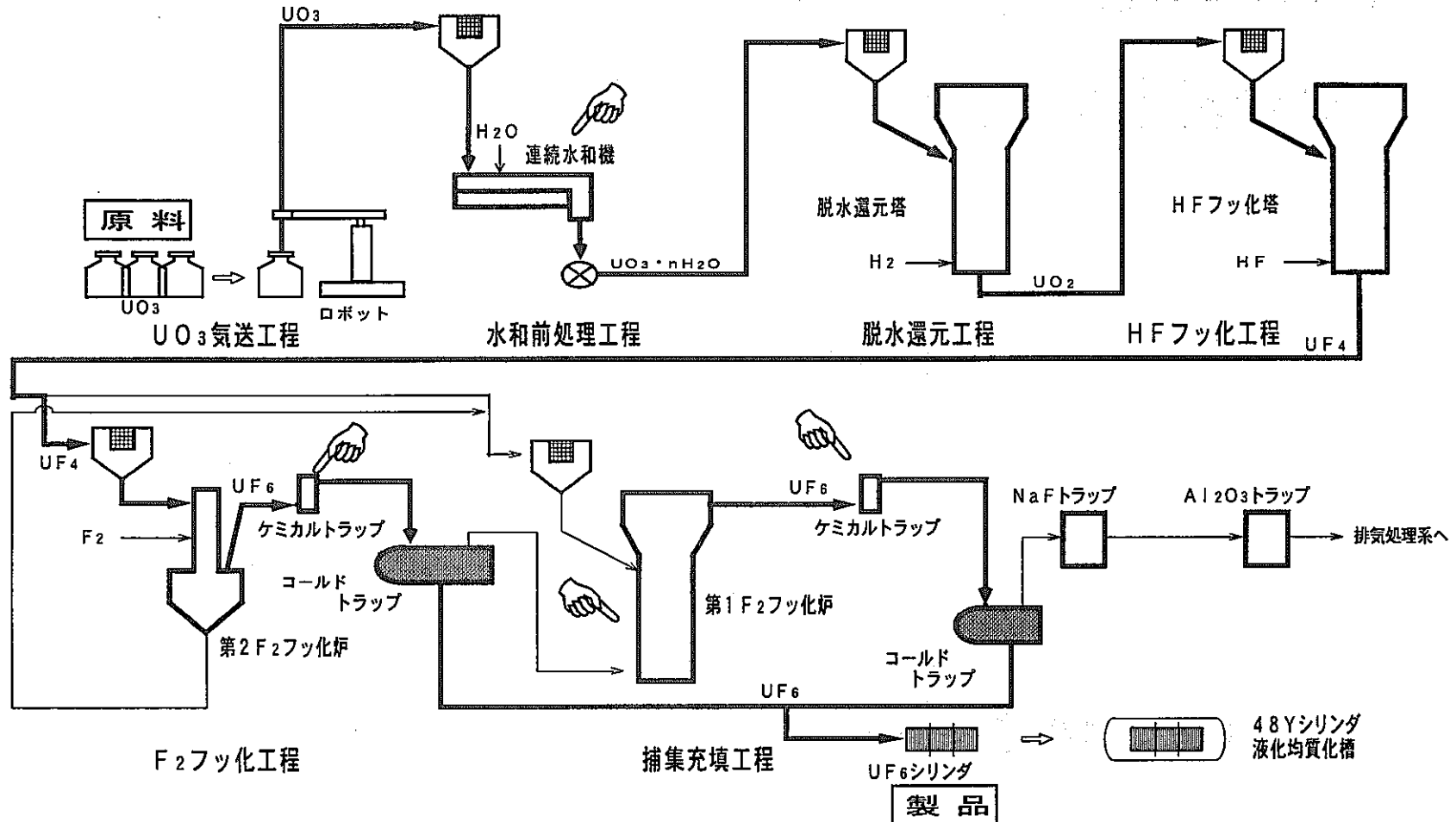
- 転換各工程の運転条件が未確立

- 目標

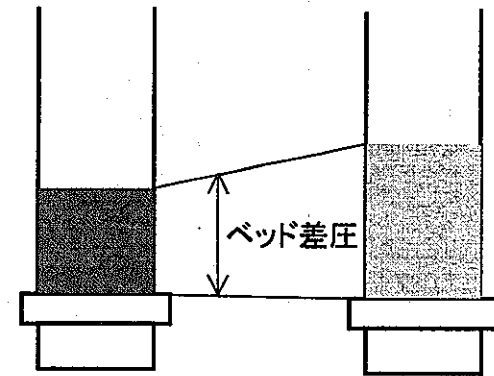
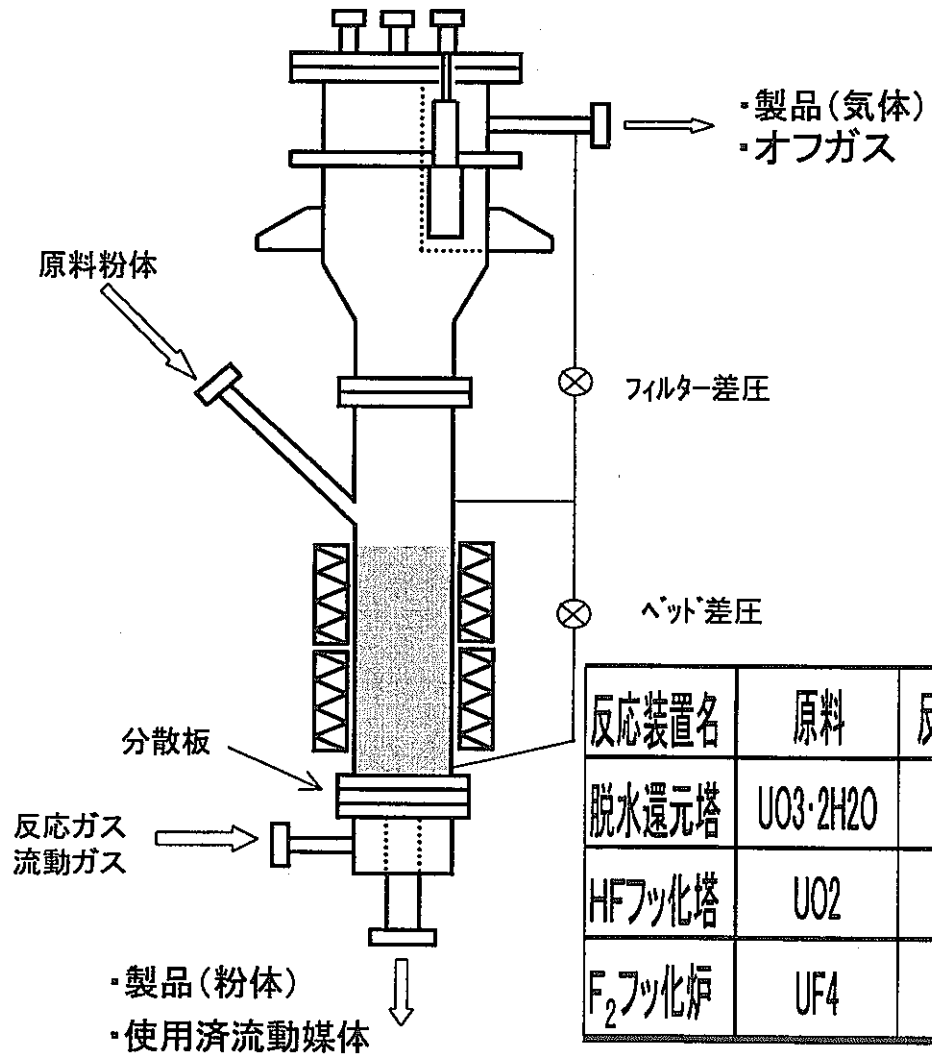
- 反応性改善のための水和前処理工程を組み込んだ転換プロセスの最適運転条件の確立



# プロセス運転条件(2) (回収ウラン転換プロセス)



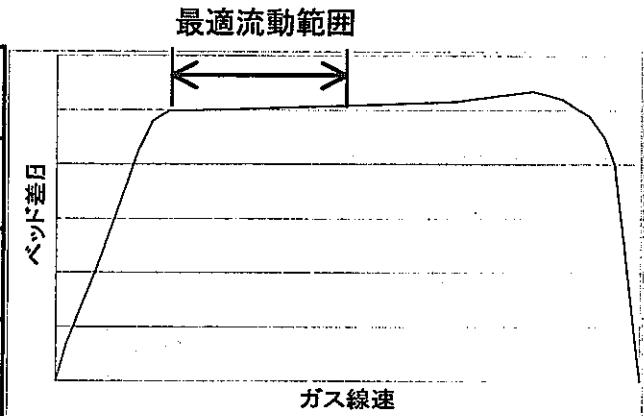
# 流動床炉



流動前

最適流動状態

反応装置名	原料	反応ガス	製品
脱水還元塔	UO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub> (固)
HFフッ化塔	UO <sub>2</sub>	HF	UF <sub>4</sub> (固)
F <sub>2</sub> フッ化炉	UF <sub>4</sub>	F <sub>2</sub>	UF <sub>6</sub> (気)

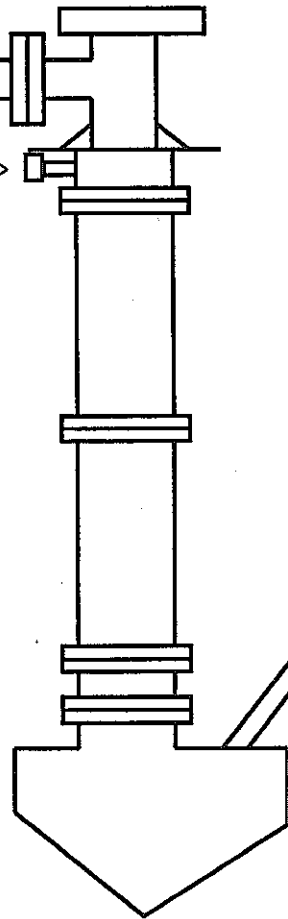


サイクル  
機構

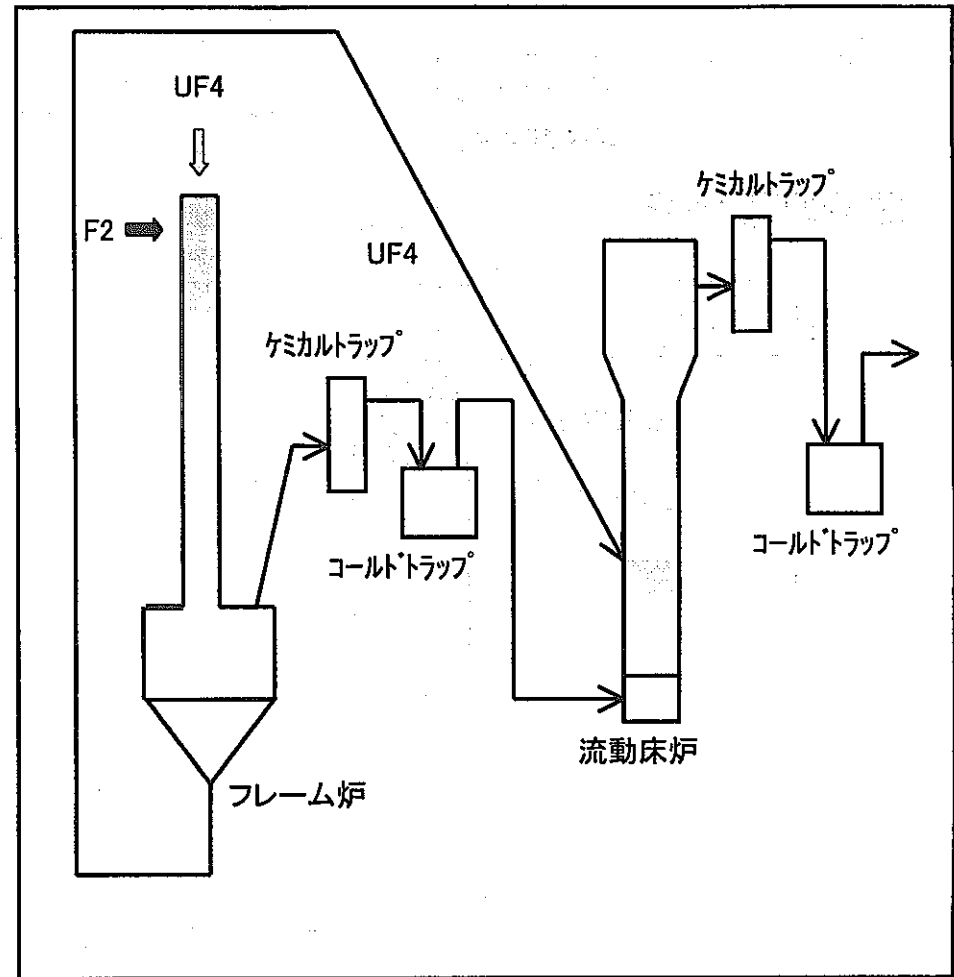
# F<sub>2</sub> フッ化フレイム炉

UF<sub>4</sub> 粉体

F<sub>2</sub> ガス



UF<sub>6</sub> ガス  
(コールドトラップへ)



# プロセス運転条件(3)

## 確立した工程運転条件

工程 \ 項目	反応装置	設定温度 ℃	ベッド量 Kg	反応ガス等供給比 (モル比)	平均滞留時間 *1
水和前処理	パグミキサー型	40	150	2.1 ± 0.1 (H <sub>2</sub> O/U)	3.3hr
脱水還元	流動床型	550	180	2.0 (H <sub>2</sub> /U)	4.7hr
HFフッ化	流動床型	400	350	1.1 (4HF/U)	8hr
F <sub>2</sub> フッ化	フレーム型	430	—	1.2 (F <sub>2</sub> /U)	約0.4sec (反応部落下時間)
	流動床型	430	100 *2	1.0 (F <sub>2</sub> /U)	—

\*1 平均滞留時間 = ベッド量 / 拔出量

\*2 焼結アルミナ



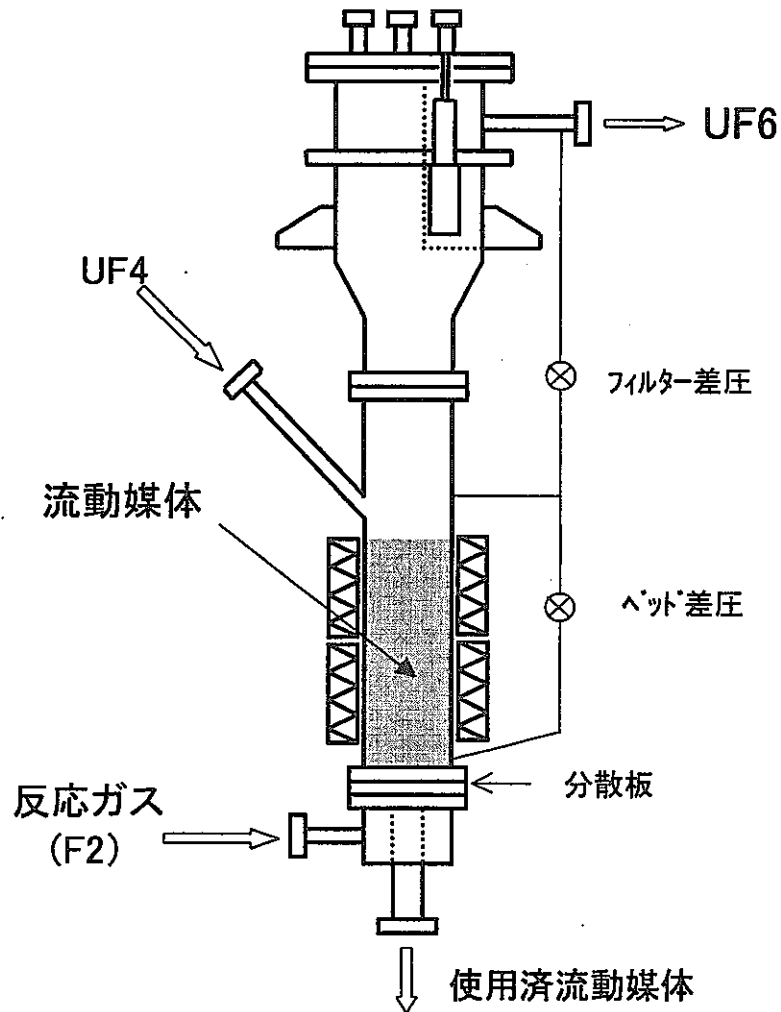
## (1) - ③ 連続運転性評価(1)

### 粉体物性の違いによるプロセスへの影響

	主な現象	運転への影響
粗粉	(F <sub>2</sub> フッ化炉) 未反応粉体増	処理速度の低下 流動媒体交換
	(HF・F <sub>2</sub> フッ化炉) 未反応ガス増大	(HF)廃液処理負荷の増大 (F <sub>2</sub> )ケミカルトラップ交換頻度の増加
微粉	(HFフッ化炉) ベッド差圧の乱れ 粉体閉塞	流動床部への N <sub>2</sub> ブロー頻度の増加

注: 最適粒径60~200 μm

## 連続運転性評価(2)



- F<sub>2</sub>ふっ化炉の連続運転上の課題

- 蒸気圧の低い物質の蓄積  
(機器表面線量当量率の増加)

- 未反応物の蓄積  
(流動媒体の流動性低下)



- 約8tU処理で流動媒体を交換





## 連続運転性評価(3)

### ・ 成 果

- 実用規模(140mol/h)での連続運転を実証
- 粉体物性の連続運転性への影響を把握
- 転換プロセス運転条件と流動媒体交換頻度の関係を把握

## (2) 安全性評価

- ① 被ばく評価及び環境安全性評価
- ② HFガス及びF<sub>2</sub>ガスの取扱い
- ③ 回収ウランの輸送



(2) - ①被ばく評価及び環境安全性評価(1)  
(空間線量当量率と従事者被ばく)

空間線量当量率  
( $\mu\text{Sv/h}$ )

従事者被ばく  
( $\text{mSv/人}\cdot\text{年}$ )

工 程	NU	RU
還 元	~3.2	~5.1
F <sub>2</sub> フツ化	~2.2	~19
捕 集	~1.0	~1.3

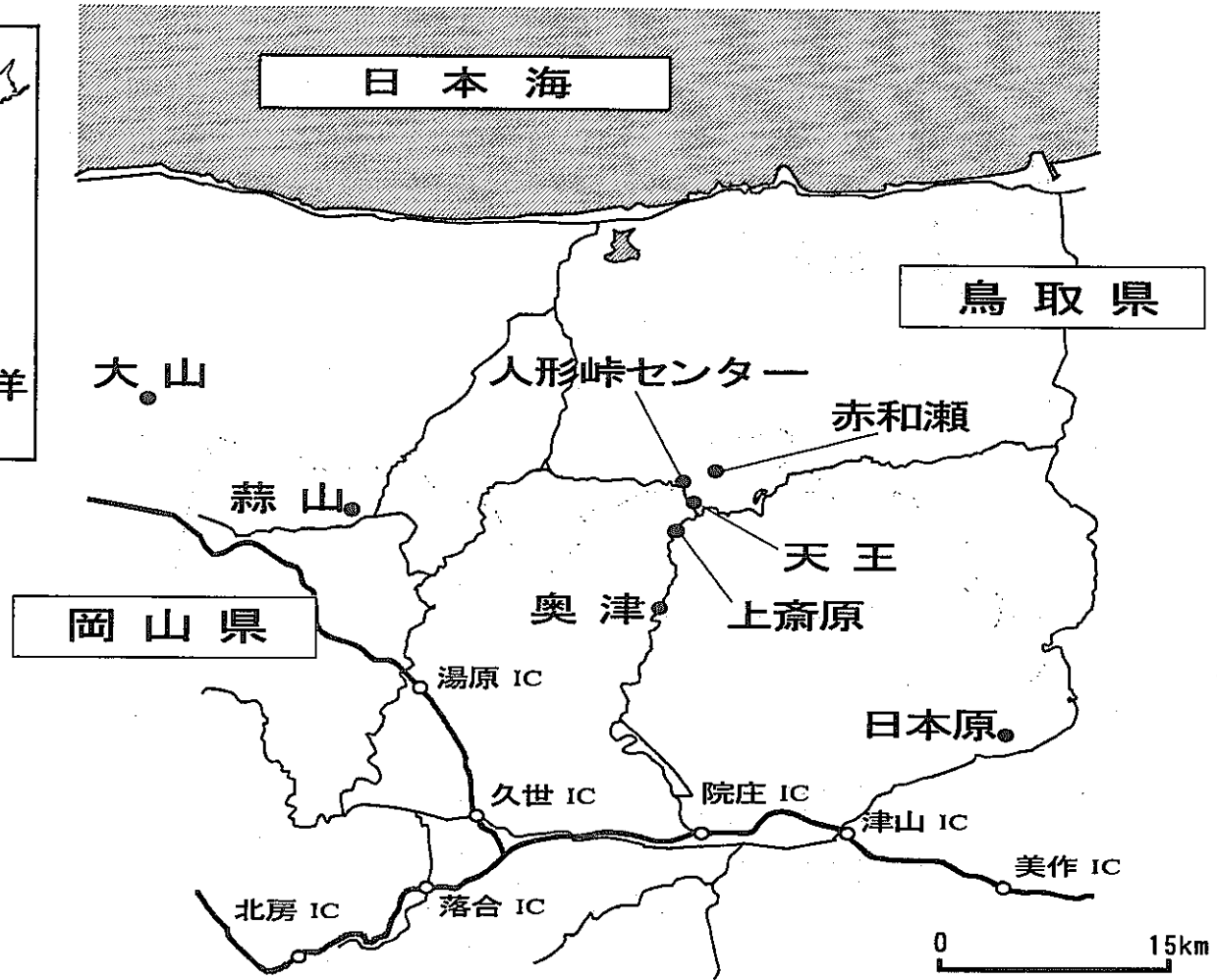
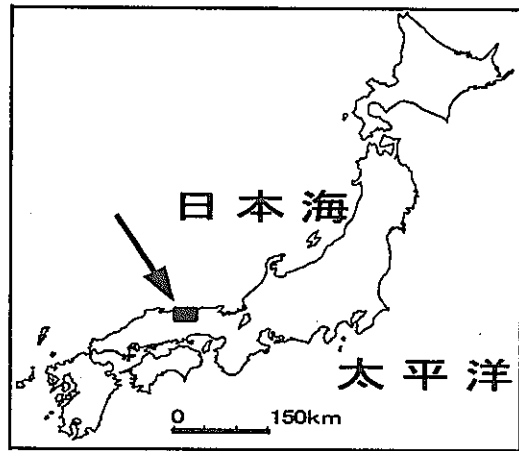
NU 約0.5

RU 約1.5

RU/NU比  $\doteq$  3

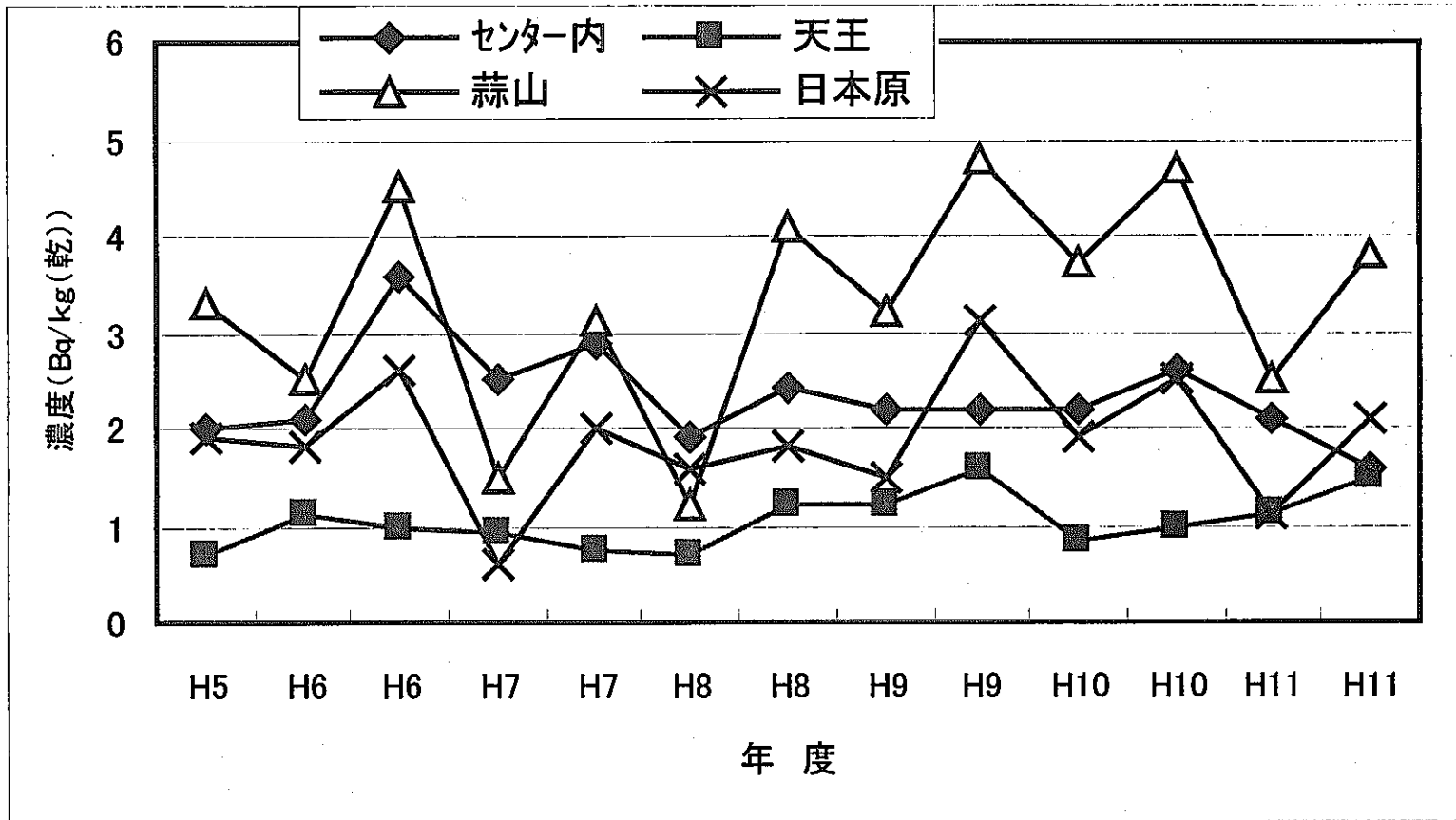
(従事者の法令限度値 50mSv/年  
より十分小さい)

# 環境試料サンプリングポイント





# 被ばく評価及び環境安全性評価(2) (未耕土中のPu239+240濃度)



## (2)一②HFガス・F<sub>2</sub>ガスの取扱い(1)

- 目 標
  - 腐食性の強いHFガス・F<sub>2</sub>ガスの安全な取扱いの実証
- 取扱い上の注意点
  - HF : 強い腐食性, 刺激臭, 毒物
  - F<sub>2</sub> : 有毒で腐食性大, 支燃剤



## HFガス・F<sub>2</sub>ガスの取扱い(2)

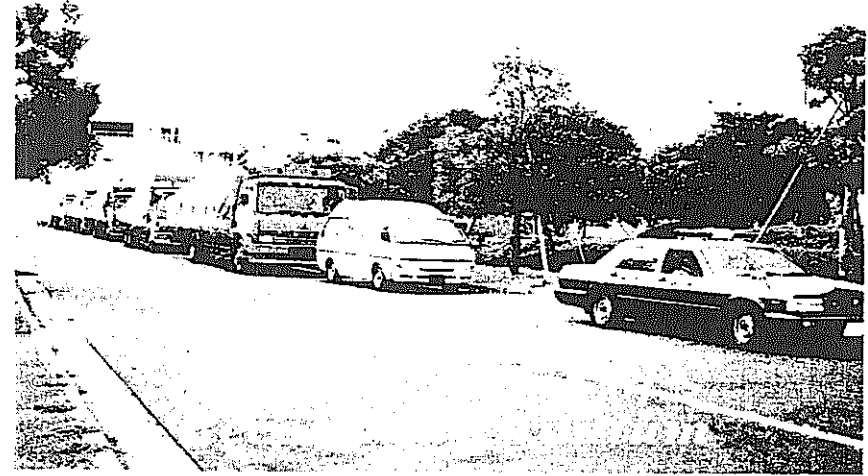
### ・ 成 果

- ・ HFガス,F<sub>2</sub>ガス系パーズング方法を確立
- ・ 材料耐久性改善のためのフッ素ベーキング技術を開発
- ・ 実用規模による安全な取扱を実証

(取扱実績 HF:約120トン F<sub>2</sub>:約70トン)

## (2) - ③回収ウランの輸送

- 輸送準備
- 隊列輸送
- 輸送時の安全確認
- 専門家の同行



隊列輸送(例)

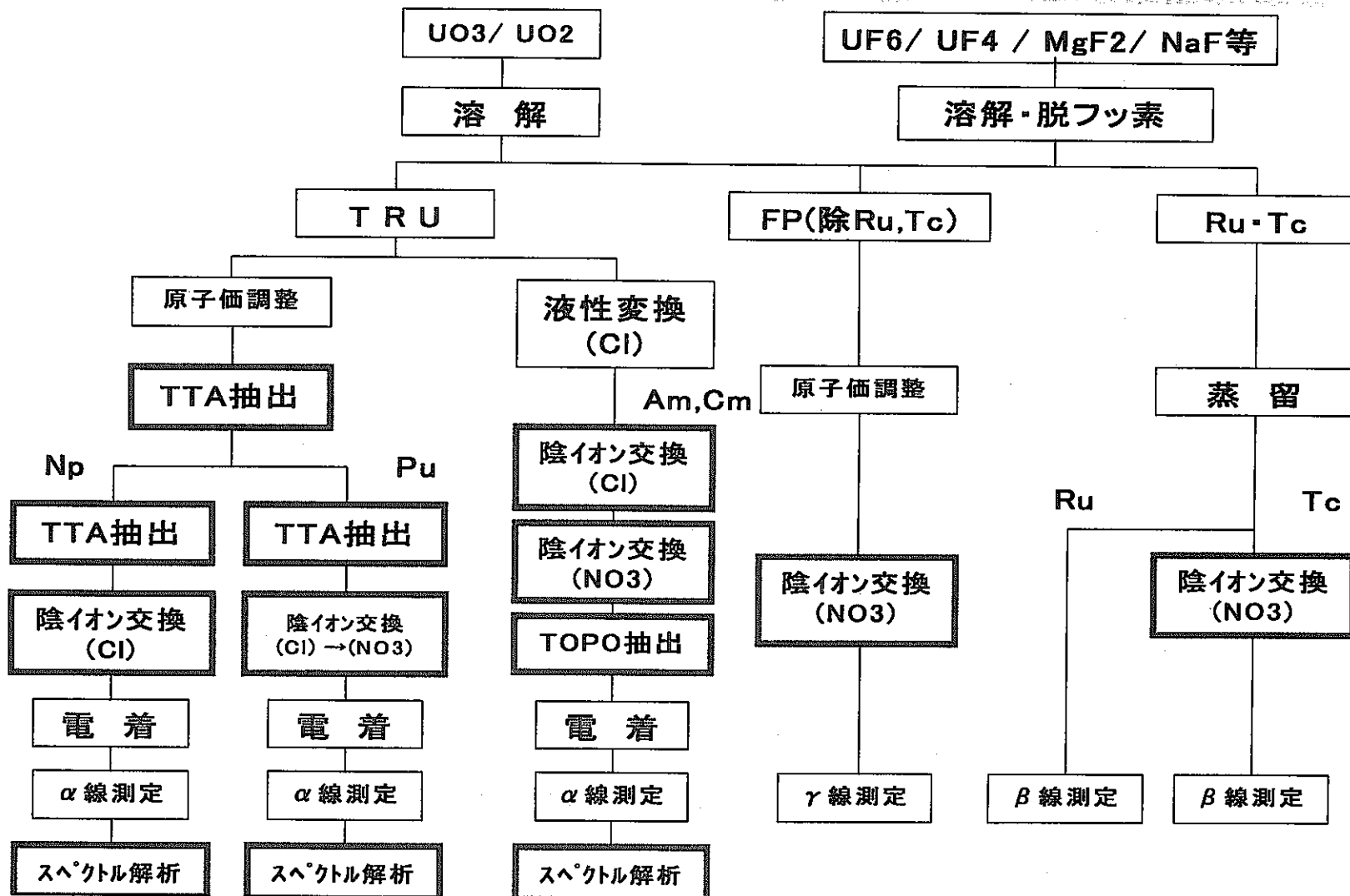


## (3) 不純物核種挙動の解明

① 微量分析技術開発

② 不純物挙動評価

# (3) - ① 微量分析技術開発(1) (分析方法)

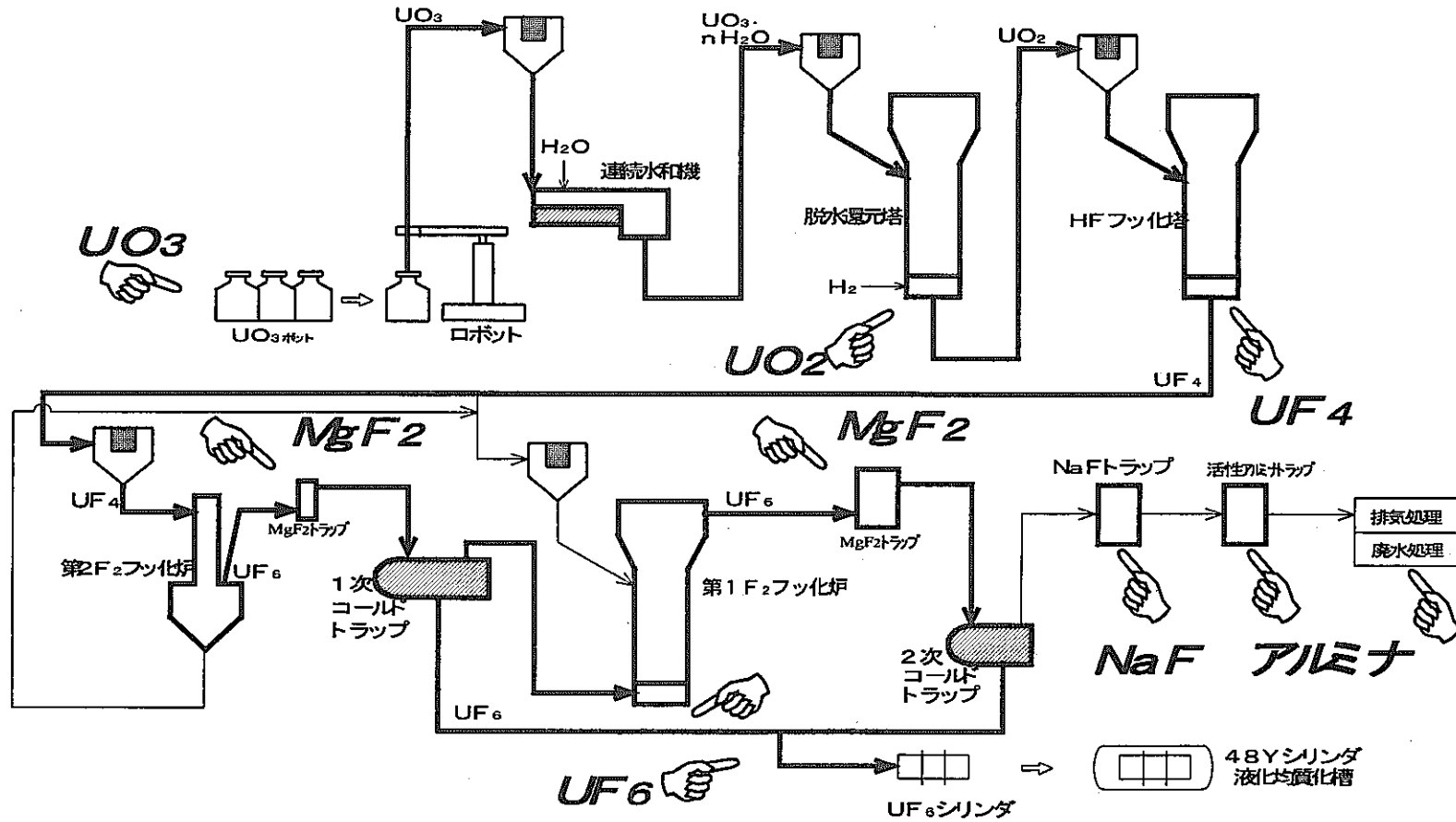


## 微量分析技術開発(2)

### (新分析法による検出下限値)

分析対象	検出下限値 (Bq/gU)
$^{237}\text{Np}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
$^{238}\text{Pu}$ $^{239+240}\text{Pu}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
$^{241}\text{Am}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
$^{244}\text{Cm}$	$10^{-4} \sim 10^{-5}$
$^{99}\text{Tc}$	$10^{-2}$
$^{106}\text{Ru}$	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
$^{95}\text{Nb}$ , $^{95}\text{Zr}$ , $^{125}\text{Sb}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{144}\text{Ce}$	$10^{-1} \sim 10^{-2}$

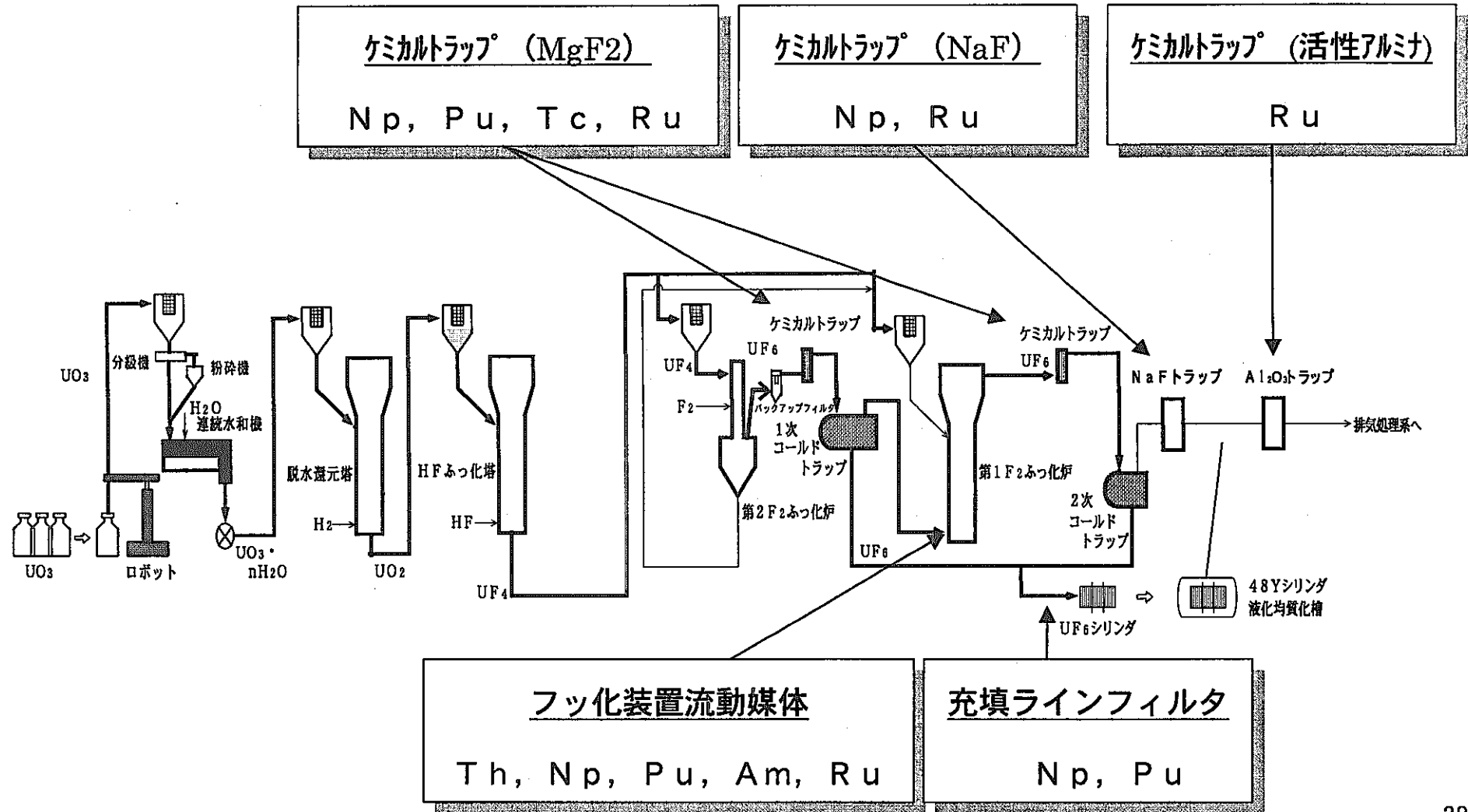
### (3) - ② 不純物挙動評価(1)



転換工程のサンプリングポイント



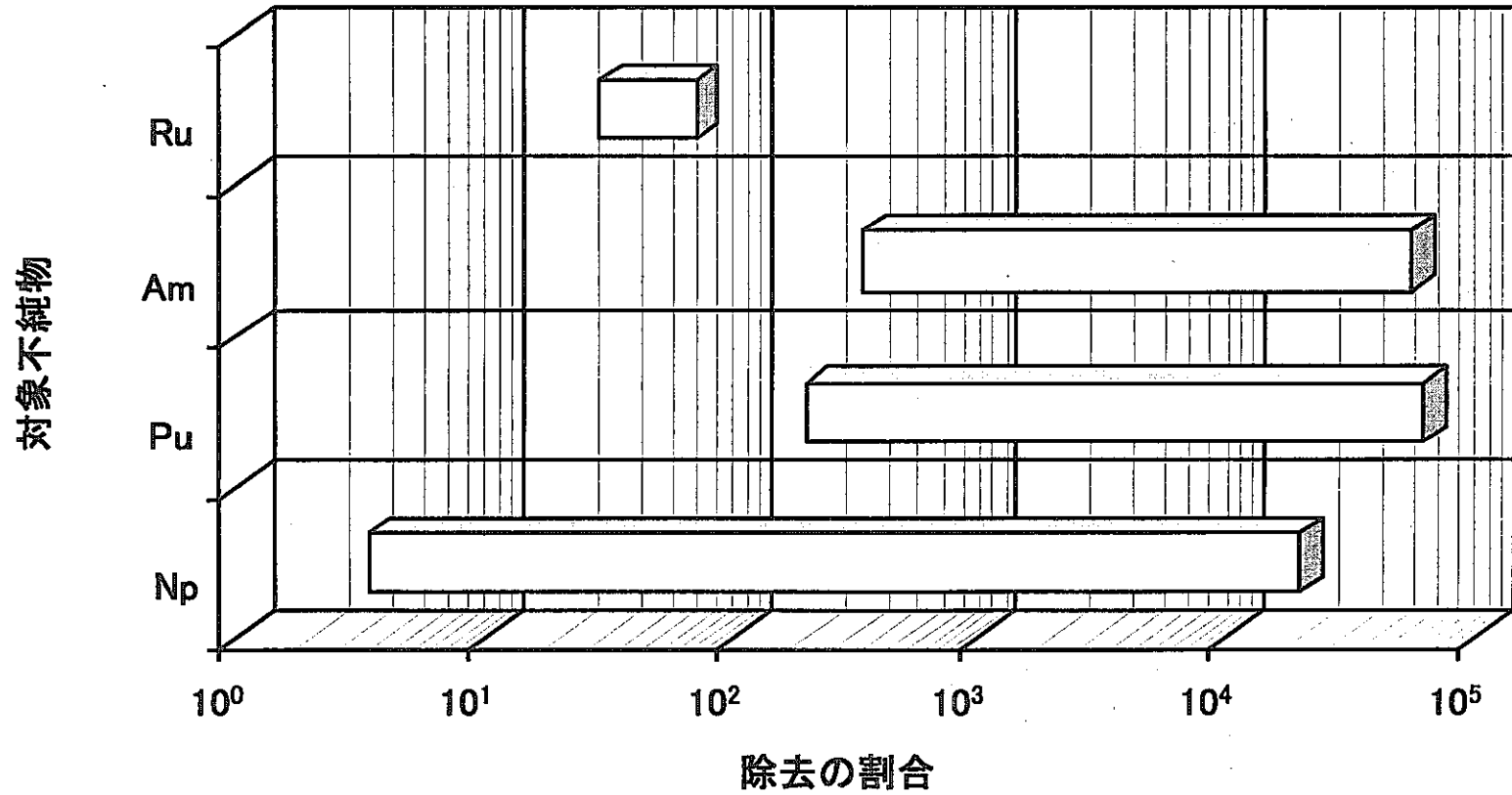
# 不純物挙動評価(2) (転換工程における不純物の分布)



# 不純物挙動評価(3)

(転換工程における不純物の除去)

除去の割合 = 原料UO<sub>3</sub>中の不純物濃度 / 製品UF<sub>6</sub>中の不純物濃度



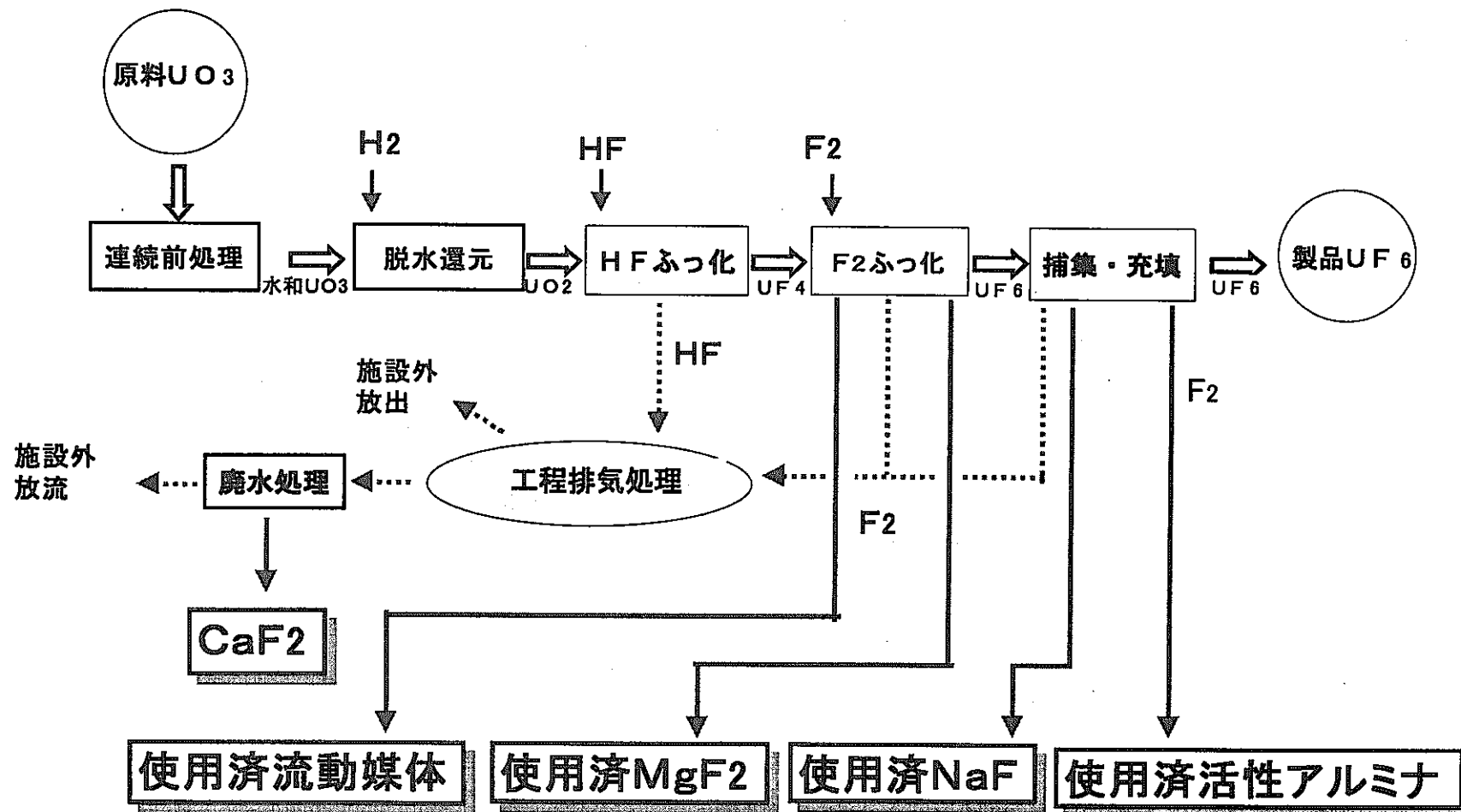


## (4) 放射性廃棄物評価

### ・ 目 標

- ・ 回収ウラン転換工程の運転によって発生するケミカル  
トラップ吸着剤等の工程廃棄物の発生量及び放射性  
不純物含有量の把握と特性評価
- ・ 廃棄物発生量の低減化方策を提言

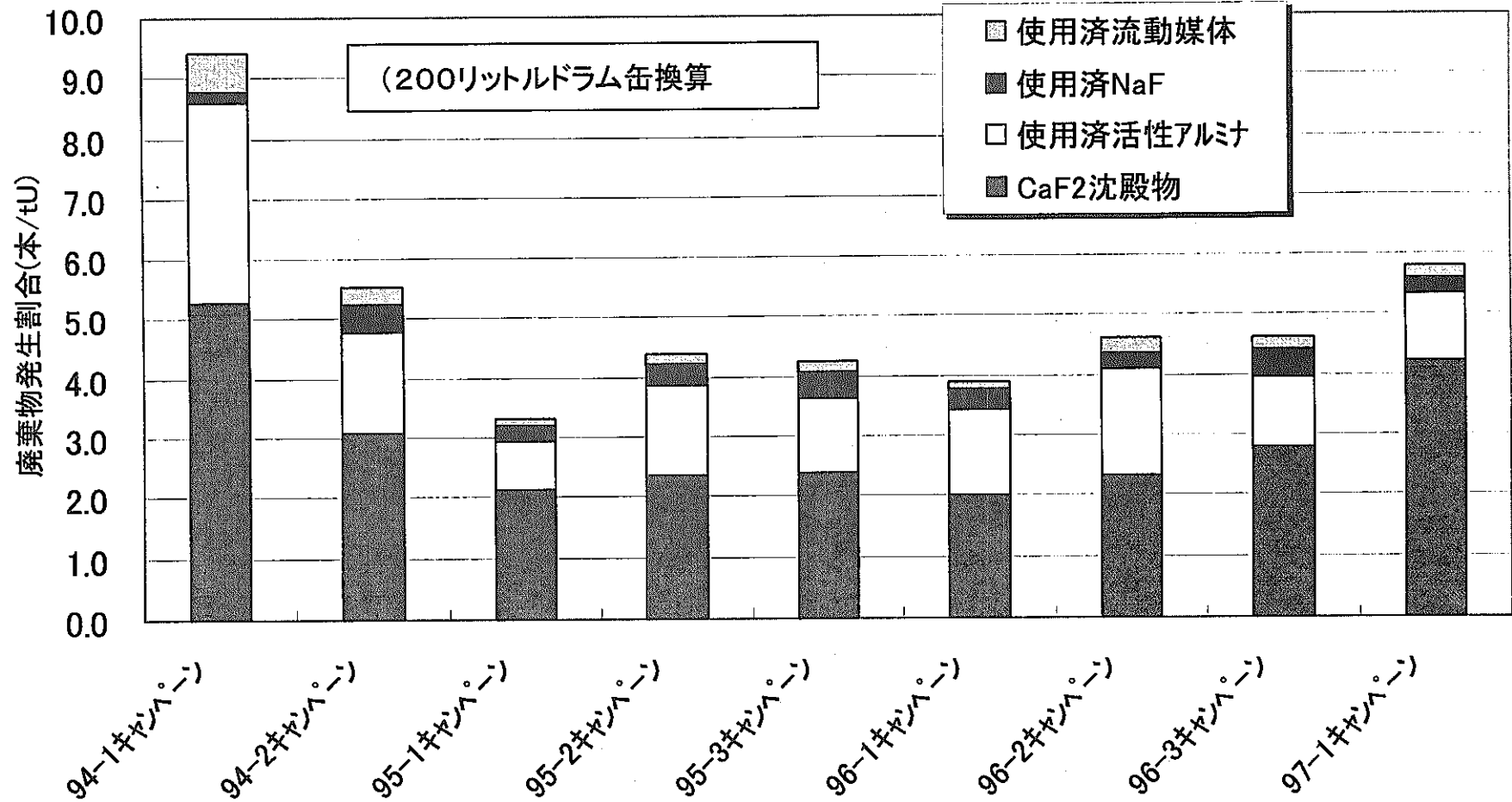
# (4) 放射性廃棄物評価(1) (廃棄物の内容)







# 放射性廃棄物評価(2) (廃棄物発生実績)

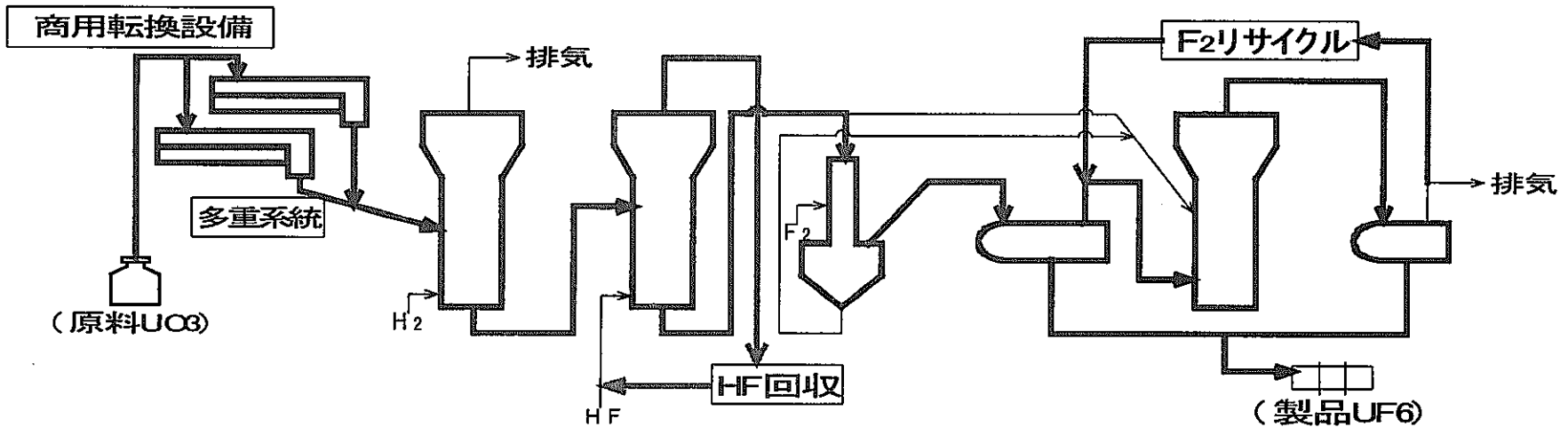
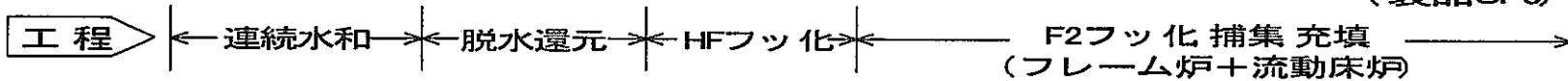
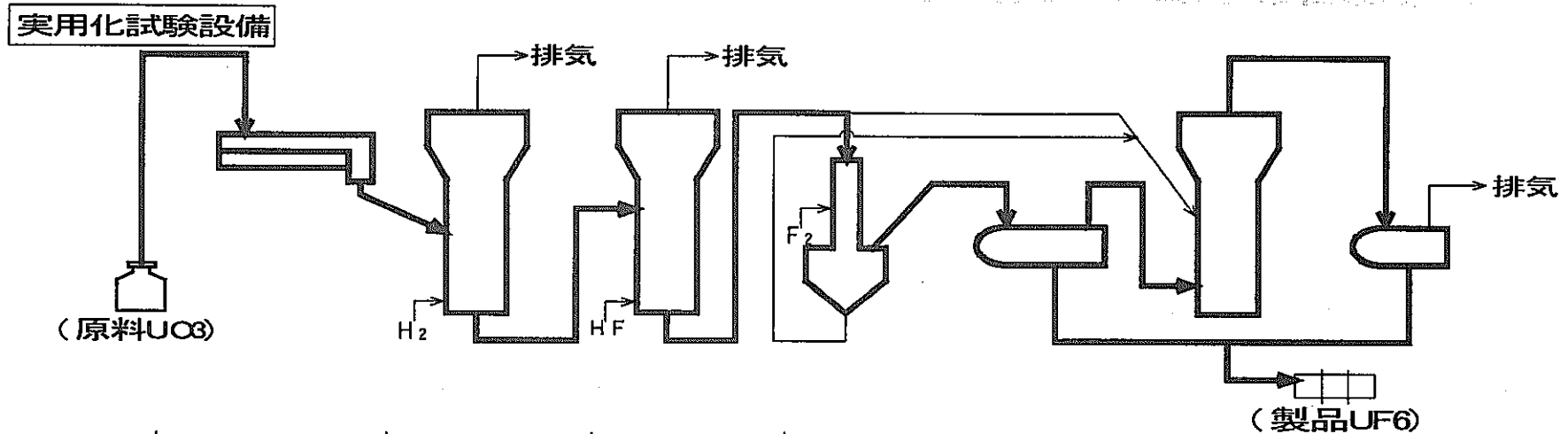


## (5) 商用転換施設評価

- ① 商用転換施設設計への提言
- ② 長期信頼性評価
- ③ 経済性評価



# (5) - ① 商用転換施設設計への提言(1) (商用転換施設の反応設備構成)



## 商用転換施設設計への提言(2)

- 水和前処理装置の多重化  
(保守, 補修性容易化)
- HFリサイクル化  
(廃棄物・化学材料低減化)
- F<sub>2</sub>リサイクル化  
(廃棄物・化学材料低減化)

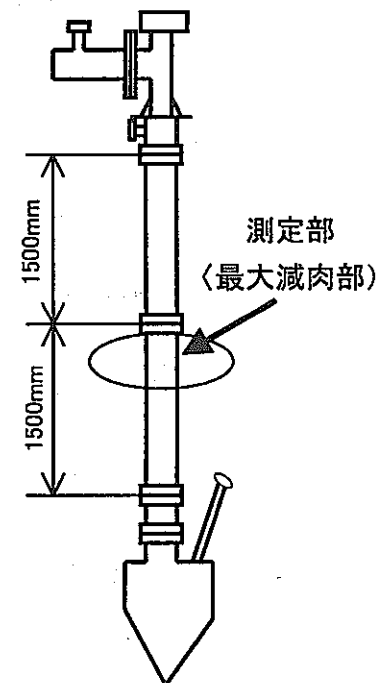
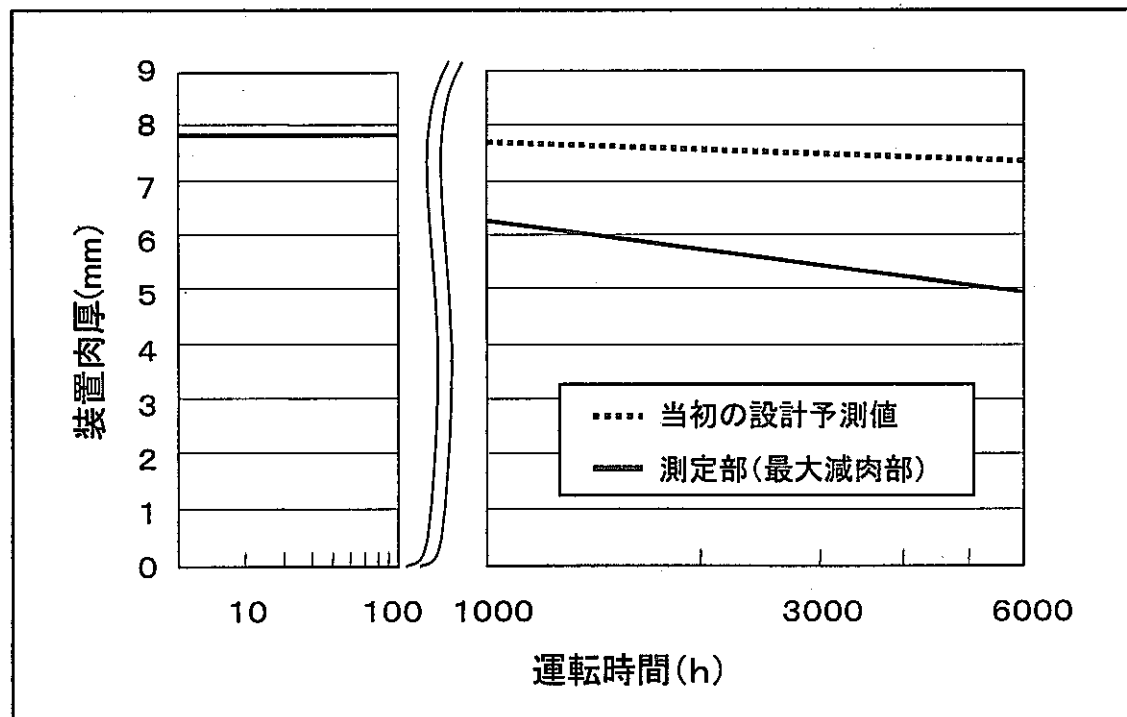


## (5)－②長期信頼性評価

### ・ 目 標

- ・ 回収ウランの大量処理を通じて、HFガス及びF<sub>2</sub>ガスを高温で反応させる使用環境の厳しい装置について、耐久性に関するデータを取得、今後の設計に反映
- ・ 取得した腐食データに基づいて保守・設計における装置耐久性の考え方を提言

# F<sub>2</sub>フッ化フレーム炉反応管肉厚測定結果



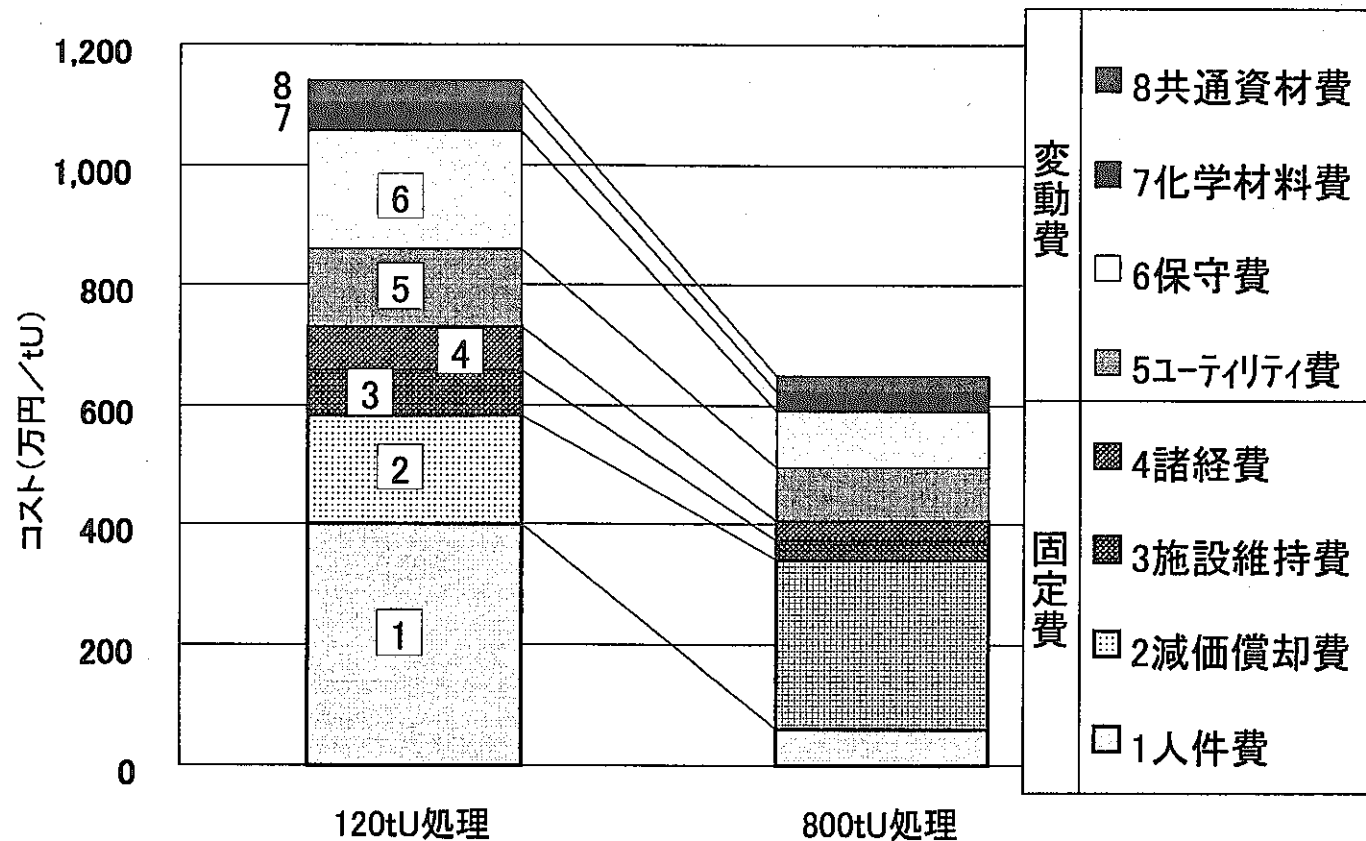
※文献値

出典:「化学装置便覧」丸善1970

条件:温度:450°C、F<sub>2</sub>ガス濃度:100%、腐食速度:0.456mm/年



# (5) - ③ 商用転換施設の経済性評価(1) (800tU処理コスト試算)



(製錬転換施設フル稼働の場合)

## 経済性評価(2)

### ・ 成 果

- 120tU処理                      約1,100 万円/tU
- 800tU処理                      約 600 万円/tU
- 海外転換コスト                約 400 万円/tU\*1
- 欧州への輸送コストを考慮すると、国内での回収ウラン商用  
転換施設成立の可能性が示された。

---

\* 1: 出典「THE REPROCESSED URANIUM FUEL ROUTE」BNFL Fuel Group, Springfield, Preston, PR4 OXJ, UK  
(Global' 97, Oct 5-10, 1997)





## 5. 開発の進め方と体制

## 5. 開発体制

### 1. 電力・日本原燃殿との共同研究体制

- ・ 開発ステップ及び年度毎に成果を報告し、評価を得て計画に反映

### 2. 既存の設備及び技術者の活用

### 3. 予算及び要員

小規模試験	24億円	184人・年
中規模試験	14億円	218人・年
実用化試験	111億円	559人・年
計	149億円	961人・年

## 成果, 公表等

- 国内学会発表 29件
- 国際学会発表 1件
- 社内技術資料 76件
- 投稿技術資料 8件
- 工業所有権等申請 15件

## 6. まとめ



## 6. まとめ(1)

### 1. 開発の意義

- 核燃料サイクルにおける回収ウランの有効利用

### 2. 開発の目的

- 商用転換施設の見通しを得るための技術開発

## 6. まとめ(2)

### 3. 開発の進め方

- 3つの開発ステップ、目標を設定し段階的に開発
- 電力等の評価を適宜受けながら開発
- 既存施設と技術者の活用

## 6. まとめ(3)

### 4. 開発成果

- ① 回収ウラン転換技術の実証
  - 国内初の実用規模での技術実証
  - 反応性改善方法として水和法を確立
  - FP,TRUの挙動の解明と吸着プロセスの実証
  - 実用規模での転換プロセスの最適運転条件を確立

## 6. まとめ(4)

### 4. 開発成果

- ② 国内における商用転換施設の検討
  - 商用転換施設設計への提言
  - 経済性、長期信頼性について評価