



高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 フェーズIIの2002年度成果

佐賀山 豊 佐藤和二郎 前田二三男*
中井 良大 家田 芳明 船坂 英之

本社 経営企画本部 FBRサイクル開発推進部

Results of FY 2002 Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor Cycle System Phase- II

Yutaka SAGAYAMA Kazujiro SATO Fumio MAEDA*
Ryodai NAKAI Yoshiaki IEDA Hideyuki FUNASAKA

FBR Cycle System Development Office, Executive Office for the Policy Planning and Administration,
Head office

高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズIIは、フェーズIで抽出した有望なFBRシステムと燃料サイクルシステムの概念から複数の実用化候補概念を明確化すること、及びフェーズIII以降の研究計画を提示することを目標として2001年度から5ヵ年計画で開始した。フェーズII 2年目の2002年度には、主要技術の成立性見通し及び候補概念の明確化に必要なデータ取得のための要素技術の開発を実施し、主として次の成果を挙げた。FBRシステムについては、各炉の性能評価の一環として、内部転換比を高め、ブランケットを含めた炉心全体の燃焼度を高めた炉心検討を実施し、ナトリウム炉と鉛ビスマス炉では100GWd/t程度、水冷炉では50GWd/t程度を達成できる見通しを得た。また、要素技術開発では、ナトリウム冷却炉での炉容器上部プレナムの流動安定化に関する試験、鉛ビスマス冷却炉の材料腐食試験及び水冷炉での稠密炉心の熱流動試験等においてデータを取得した。燃料サイクルシステムでは、マテリアルハンドリング技術や遠隔操作・遠隔補修等を考慮したシステム設計の詳細化を進めた。また、要素技術開発では高レベル放射性物質研究施設（CPF）を用いて、直接抽出法により使用済燃料からU、Puの抽出に成功するとともに、今後の技術選択の上で重要な鍵を握る簡素化溶媒抽出法や簡素化ペレット法の技術的成立性の見通しを得た。

The Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor(FR) Cycle System Phase- II was commenced on April 1, 2001, in order to clarify a few promising concepts for commercialization from among the candidates of FR systems and fuel cycle systems that were screened out in Phase- I , and to present the outline of the onward plan for Phase-III. In FY 2002, to obtain engineering data for the feasibility assessment of principal technologies and clarification of candidate concepts for commercialization, important technologies were developed. For the FR system, the core high burn-up was studied by increasing the core conversion ratio. Burn-up of the entire core including blanket fuel was expected to be about 100GWd/t for the sodium-cooled reactor and the lead-bismuth reactor, and about 50GWd/t for the water-cooled reactor. In terms of the key technology development, the engineering data was obtained by the tests related to the flow stabilization in the upper plenum of the reactor vessel for the sodium-cooled reactor, the material corrosion for the lead-bismuth cooled reactor and the coolability of the dense core for the water-cooled reactor. With regard to the fuel cycle



佐賀山 豊

FBRサイクル開発推進部
部長
FBRサイクルの実用化戦略調査研究の取りまとめに従事



佐藤和二郎

FBRサイクル開発推進部
次長
FBRサイクルの実用化戦略調査研究の取りまとめに従事



前田二三男*

企画・調整グループリーダー
プロジェクトの基本計画の策定・調整、研究開発計画の取りまとめに従事



中井 良大

FBRサイクルシステム統合グループリーダー
FBRサイクルの評価基準及び統合評価手法の検討、実用化シナリオの検討に従事



家田 芳明

炉システムグループリーダー
炉、炉心・燃料に係るシステム概念の検討、研究開発計画の策定に従事



船坂 英之

燃料サイクルシステムグループリーダー
再処理、燃料製造に係るシステム概念の検討、研究開発計画の策定に従事
工学博士

*現在：関西電力株式会社 大阪南支店 Presently, OSAKA - MINAMI Branch Office, The KANSAI ELECTRIC POWER CO., INC.

systems, detailed system designs were created considering the material handling technologies, remote-controlled handling and repair, etc. In terms of key technology development, the extraction of U/Pu from spent fuel was verified by the direct extraction method at the CPF (hot cell) at Tokai Works. The technical feasibility of the simplified solvent extraction method and simplified pelletizing method, which is important for the technical feasibility, was confirmed.

キーワード

実用化戦略調査研究, FBR, 再処理, 燃料製造, FBRサイクルシステム, 燃料サイクルシステム, 開発目標, 総合的評価手法, 実用化候補概念, 開発計画

Feasibility Study on Commercialized FR Cycle System, Fast Reactor, Reprocessing, Fuel Fabrication, FR Cycle System, Fuel Cycle System, Development Target, Comprehensive Evaluation Methodology, Promising FR Cycle Concepts for Commercialization, Development Plan

1. はじめに

高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究は、安全性を大前提として、軽水炉サイクル及びその他の基幹電源と比肩する経済性を達成し得るよう、FBRサイクルが本来有する長所を最大限に活用した実用化像を抽出し、併せて将来の社会の多様なニーズに柔軟に対応し得る開発戦略を提示することにより、将来の主要なエネルギー供給源として確立する技術体系を整備することを目的とする。

本研究は、フェーズⅠ（1999～2000年度）及びフェーズⅡ（2001年度から5年間）と、段階に分けて実施することとし、1999年7月から、サイクル機構、電気事業者、電力中央研究所（以下「電中研」という）及び日本原子力研究所（以下「原研」という）などから成るオールジャパン体制で研究開発を開始した。さらに、その後の研究開発については、5年程度ごとにチェック・アンド・レビューを受け、ローリングプラン（柔軟な計画運用）により進め、安全性の確保を前提として競争力のあるFBRサイクル技術を2015年頃までに提示することを目指している。

フェーズⅡでは、フェーズⅠで抽出したFBRシステム及び燃料サイクルシステムに関する有望概念について、候補概念相互について可能な限り定量的な比較評価を実施できるレベルまで設計研究を深めるとともに、定量的な絞込みを実施する上で必要となる要素技術開発（データを取得する試験の実施、設計評価のための解析技術の整備等）を実施し、これらの成果を基にFBRサイクル全体の整合性に配慮しながら複数の実用化候補概念を明確化し、併せて必要な研究開発計画（ロードマップ）を策定することとしている。

フェーズⅡ 2年目の2002年度には、2003年度に予定されている中間取りまとめに向けて、各シス

テムの設計研究と要素技術開発を着実に進展させた。以下に2002年度の主な成果を示す。

2. 高速増殖炉システム

FBRシステムの検討は、フェーズⅠで抽出した候補概念に革新的技術を取り入れて概念設計を進めるとともに、主要技術の成立見通し及び必要な定量的データを取得するための要素技術開発を進めた。

2.1 ナトリウム冷却高速炉

中型モジュール炉の経済性及びシステムの成立性を見通すため、概念の具体化を進めるとともに、原子炉容器上部プレナムでの流動安定化等、主要な課題の対応策の検討を進めた。また、ナトリウム冷却炉の魅力を出すための特徴の追求と固有の課題への対応策に重点を置いた検討を進めた。フェーズⅡから開始した要素技術開発については、2003年度末までに中間的な成果を出すべく試験装置の製作等を進めた。一部の試験を開始し、その結果が得られ始めている。

中型モジュール炉のシステム設計については、電気出力75万kWe、4モジュール体系の概念について設計研究を進め、建設単価の目標（20万円/kWe）を達成できる見通しを得た。また、主要部位の構造健全性等についても検討し、その成立性を見通しを得た。

ナトリウム冷却炉の魅力を出すための特徴の追及に関しては、内部転換比を向上させ、ブランケットを含めた炉心全体の高燃焼度化（100GWd/t程度）を図り、燃料サイクル費を低減する混合酸化物（MOX）燃料炉心概念を検討した。特に、2002年度は、炉心損傷初期の即発臨界事象を防止するなどの安全性の要求と整合させることをねらった

検討を進め、その見通しを得た。

ナトリウム冷却炉固有の課題克服に対しては、ナトリウム-水反応対策として、蒸気発生器(SG)の伝熱管破損時の安全確保の観点に加えて、補修を容易にする観点から、密着2重管型SG及び単管ヘリカル型SGを選定して概念の検討を進めている。また、軽水炉と同等の保守・補修性を目指し、安全性に加えて、補修によるプラント停止期間を短くするという経済性の観点から供用期間中検査(ISI)の考え方を検討した。具体的には、検査が必要な箇所を選定し、機器の機能維持、構造健全性確保のために検知すべき破損の大きさを求め、検査間隔、試験装置の精度を暫定した。また、検査技術の広範な調査を行い、検査対象部位のISIに適用可能な技術を選定し、試験装置の実用化に向けた開発計画を策定した。

原子炉容器上部プレナムの縮尺モデル水流動試験を開始し、大型炉の設計研究と連携して、炉内構造物の工夫等により高流速条件下でも上部プレナムの流動安定化(液面でのガス巻き込み抑制等)が可能な見通しを得た(図1)。

自己作動型炉停止機構(SASS)の開発では、制御棒の誤落下等に対する運転信頼性を確認すること等を目的とした「常陽」での炉内試験の準備を

進めており、炉内装荷用のSASS試験体の製作を完了した。

2.2 ガス冷却高速炉

被覆粒子燃料型ヘリウムガス冷却炉を2001年度に選定しており、横方向流・被覆層表面直接冷却型の炉心概念(横方向流概念)の検討を継続した。また、燃料被覆層の初期欠陥等の割合を低く抑制できない場合に1次冷却系内部の汚染を防止する観点から、燃料被覆層の外側にもう1層のパウダリを備えた2重包蔵構造の燃料集合体による炉心概念の検討も実施した。

横方向流概念の検討については、炉心燃料の取出し平均燃焼度を2001年度の約100GWd/tから約150GWd/t程度にまで増加させた高燃焼度化炉心概念の検討を進めた。高燃焼度化のため燃料のPu富化度を増加させるとドブドラ係数や減圧反応度が非安全側にシフトする傾向があることが分かった。このため、燃料集合体形状の工夫による減圧反応度の低減化と、Pu富化度分布の調整による出力ピーキングの低減化方策などを取り入れた高燃焼度化炉心概念案を構築し検討を進めた。(図2左)この概念については圧力損失の特性等について更なる成立性検討が必要であるが、予備的な評

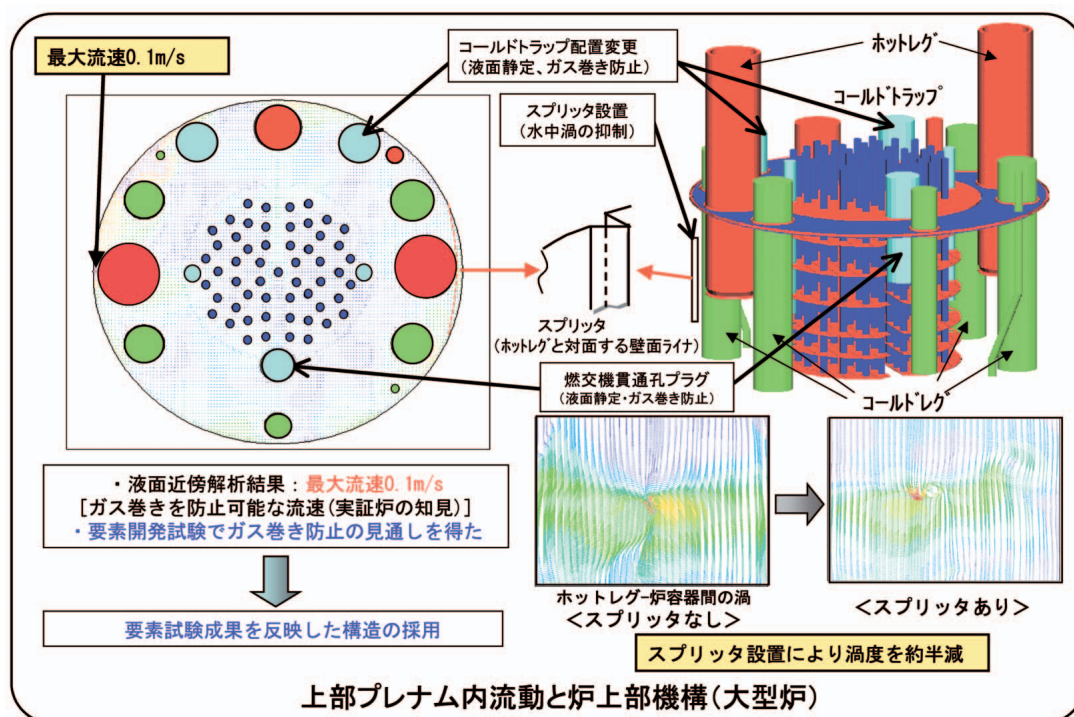


図1 ナトリウム冷却炉の技術開発状況

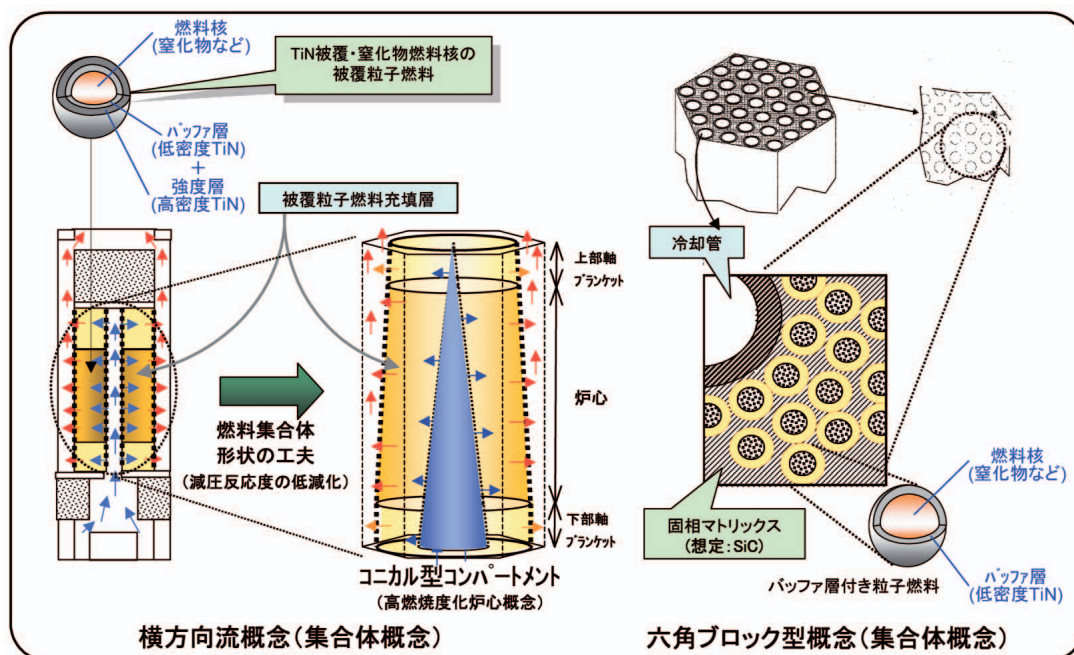


図2 ガス冷却炉の技術開発状況

価結果によれば、過酷事故（減圧事故＋スクラム失敗＋強制循環冷却機能喪失）に対しても固有の安全特性と自然循環除熱により炉心損傷防止が達成できる見通しである。

六角ブロック型縦方向流炉心概念（六角ブロック型概念）の検討については、2重包蔵構造燃料による炉心概念として、種々の形態を比較評価した結果、冷却チャンネルを有する六角ブロック型容器（SiC製）内に被覆燃料粒子（バッファ層付き粒子燃料）を充填し、燃料粒子間をSiCの固相マトリックスとする燃料集合体概念を選定した。（図2右）この炉心概念では、ブランケット量を増やすことで横方向流概念と同等の増殖比1.15程度が可能である。過酷事故（減圧事故＋スクラム失敗＋強制循環冷却機能喪失）に対しては、事象開始後約30分後までに作動するような緩慢型の受動的炉停止機構の導入により炉心損傷防止が可能な見込みである。

また、炉心損傷時の事故推移の検討を行い、再臨界を回避しつつ、損傷した炉心を保持し冷却性能を確保できる可能性のあるシナリオを摘出するとともに、このシナリオに適合し得る炉外コアキャッチャ設備概念の具体化を行った。さらに、耐高温構造対策として炉容器内部構造の熱遮へい体構造等の具体化検討を進めた。

2.3 鉛ビスマス冷却高速炉

自然循環及び強制循環方式のプラント概念について、耐震性等の主要な課題についての検討を実施した。また、窒化物炉心概念について、燃料集合体ダクト間の相互作用（DDI）防止等の観点から成立性を評価するとともに、開発リスクの低減や炉心燃料の柔軟性向上等を目的にMOX燃料を用いた炉心概念を構築し、その特性評価を実施した。

要素技術開発では、鉛ビスマス中の腐食特性試験を継続して実施し、材料腐食機構、腐食抑制機構等についての知見を深めた。

高比重の冷却材の採用に伴って耐震性の裕度が小さいこと、また、今後の耐震設計の動向を勘案し、強地震条件による耐震性の評価を実施した。評価の結果、強制循環方式及び自然循環方式のいずれも強地震条件では炉上部機構（UIS）と炉心の相対変位が大きくなり制御棒挿入性が確保できないことが分かった。このため、UISの剛性を強化するとともにUISと炉心を結合することにより、強地震条件においても耐震成立性を確保し得る見通しを得た。

窒化物燃料炉心設計では、2001年度に構築した炉心仕様を、照射制限やDDI防止の観点から見直し、炉心性能がやや低下するものの、設計要求をほぼ達成できる見通しを得た。また、内部転換比

を高め、ブランケットを含めた炉心全体の燃焼度を約100GWd/tに高める炉心を構築し、燃料サイクル費の低減が可能である見通しを得た。

MOX燃料を用いた炉心概念の検討の結果、自然循環炉心では燃料体積比が小さく、高い増殖性能の達成は困難であるが、強制循環炉心では、平均燃焼度の低下はあるものの、増殖性能等について設計要求をほぼ達成する可能性を有することが分かった。

炉心・構造材料については、2001年度からドイツ・カールスルーエ研究所（FZK）で鉛ビスマス停留環境下での試験を進めている。浸漬時間800～10,000時間、試験温度500～650℃の耐食性確認試験を完了し、今後10,000時間試験後の試料の分析を進める予定である。2,000時間までの試験結果によると、550℃では、気中で見られる粗な酸化層の形成は見られず、Fe-Cr-O層による一定の防食効果が期待できる。しかし、600℃以上では酸化皮膜の形成状況は大きく異なり層状の酸化皮膜は認められず、耐食性低下の懸念があることが分かった（図3）。また、鉛ビスマス流動環境下での耐食性確認試験にも着手した。

2.4 水冷却高速炉

BWR型高速炉については、原研で検討が進めら

れており、超臨界圧軽水冷却高速増殖炉（SCFBR）については、安全性に関する検討を継続して実施した。

(1) BWR型高速炉の設計研究及び要素技術開発（原研の成果）

高燃焼度化をねらった炉心設計検討を行い、ブランケットを含む炉心全体の燃焼度で50GWd/tを達成できることを確認した。

要素技術開発では、7本ピンバンドルの稠密炉心試験体を用いた限界出力試験を継続実施し、設計式の稠密炉心体系への拡張性を確認した（図4）。被覆管材料の開発では、耐久性、安全性、製造性等の観点からの検討を行い、25Cr-35Ni-0.2Ti系安定オーステナイトステンレス鋼を候補材に選定した。高速臨界実験装置（FCA）を用いた臨界実験では、ウラン燃料体系で中性子エネルギースペクトルを模擬した実験によって、解析手法の精度を評価した。

(2) BWR型高速炉の技術課題に関する検討（サイクル機構、原研の共同検討）

燃料サイクルを含めた経済性、水冷却炉導入のシナリオ、技術開発課題（水冷却炉の環境に適合する被覆管材料、稠密燃料集合体の熱流動及び機械的成立性、炉心損傷時の影響緩和対策等）について、課題を整理するとともに、課題解決のため

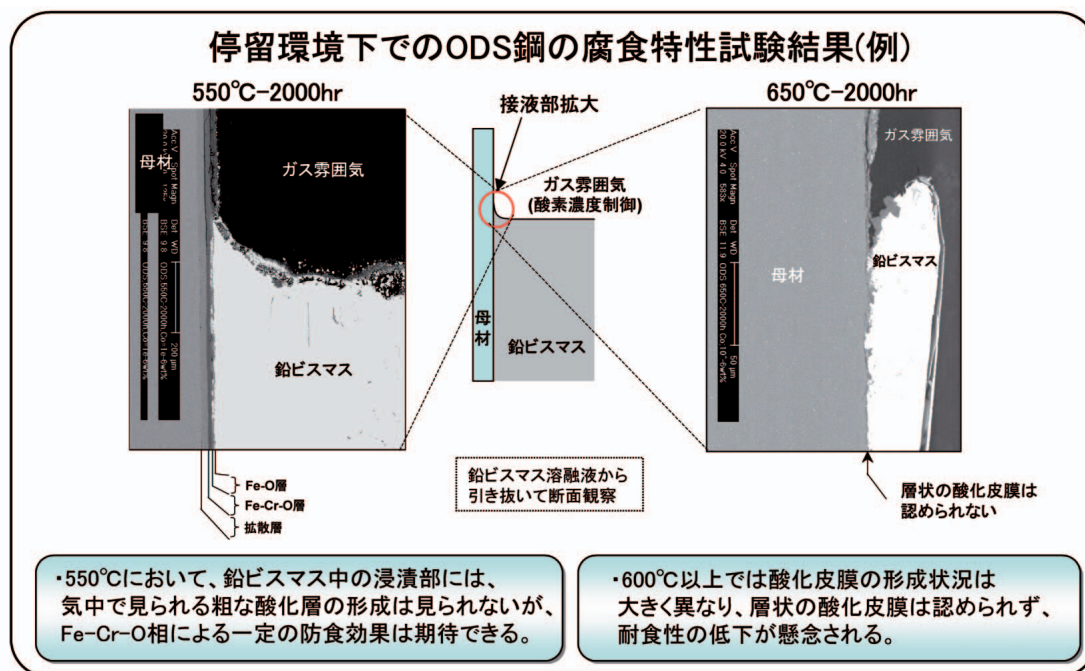


図3 鉛ビスマス冷却炉の技術開発状況

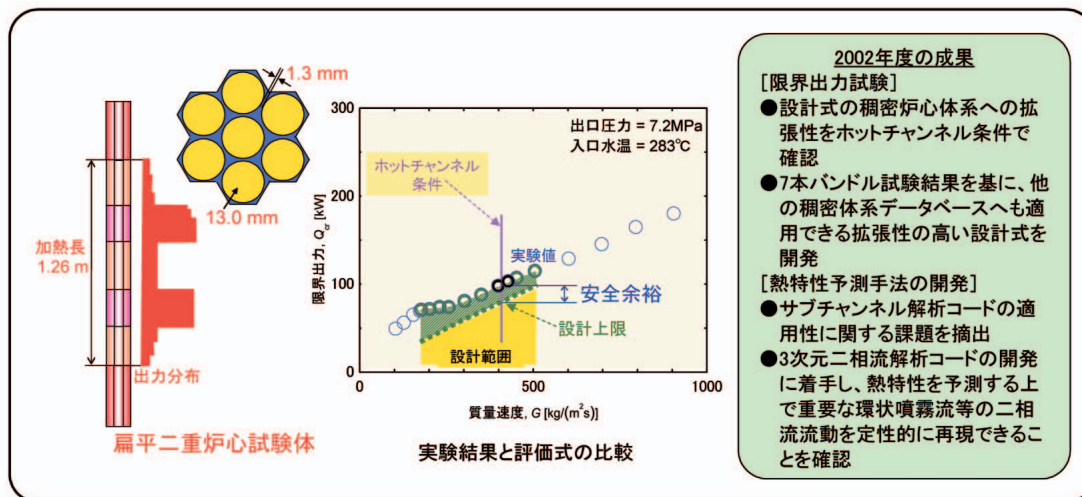


図4 水冷却炉（BWR型高速炉）の技術開発状況（原研の成果より）

に必要な研究計画の作成に着手した。

(3) SCFBRの検討

東京大学において提案された概念であるSCFBRに関しては、2001年度に引き続きドイツFZKで炉心損傷事象の推移と影響緩和対策についての検討を進めた。軸方向ブランケットの削除によって炉心からの溶融燃料の排出挙動が改善される可能性がある一方、コンパクトな原子炉容器設計を行っていることから損傷炉心物質の原子炉容器内保持は困難な見通しであることが明らかとなった。また、格納容器内での損傷炉心の保持・冷却のために、現状のSCFBR概念に適用可能性のあるコアキャッチャの概念を摘出した。

2.5 小型高速炉

2001年度に引き続きナトリウム冷却炉と鉛ビスマス冷却炉の概念検討を進めるとともに、小型炉の多目的利用に関する調査として、水素製造への活用に関する検討を行った。

ナトリウム冷却小型炉（出力15万kWe）については、金属燃料を採用した「反射体制御・強制循環方式」、「制御棒制御・強制循環方式」及び「制御棒制御・自然循環方式」の3概念について、炉心検討及びプラント概念の構築を実施した。安全解析を行った結果、3概念とも、過渡変化時のスクラム不作動事象（ATWS）時に炉心損傷が発生せず、高温静定できる可能性をもつことが明らかとなった。

多目的利用に関する検討については、メタング

スの水蒸気改質法による水素製造プラントを対象として、水素製造プラントの配置計画などを行った。二酸化炭素の固定化費用を含む概略の水素製造単価は約19円/Nm³であり、今後、水蒸気改質器のコンパクト化によりさらに低減できる可能性がある。

2.6 その他共通要素技術開発

高性能被覆管（ODS鋼）の開発については、ロシアBOR60炉でのODS鋼被覆燃料ピン先行照射試験のため、上部端栓付の照射用ODS鋼被覆管がロシア原子炉科学研究所（RIAR）に到着している。今後、照射用燃料ピンの製造を経て、2003年6月末から照射開始を予定している。

高速炉の安全性試験計画（EAGLEプロジェクト）については、再臨界回避概念の成立性を見通すためにカザフスタンで実施している試験研究の炉外試験において、ナトリウムを用いない条件で、高周波誘導加熱によって溶融した燃料がスチール製ダクトを溶融させて、その内部に侵入し、ダクト内を通過して排出されることを確認した（図5）。

3次元免震技術の開発に関しては、「建屋全体3次元免震方式」について、2002年度は、2003年度上期に実施予定の性能試験に向けて試験体を製作した。また、「建屋水平免震／機器上下免震組合せ方式」については、免震要素である実規模の皿ばねの試験体を製作し、性能試験を実施している。

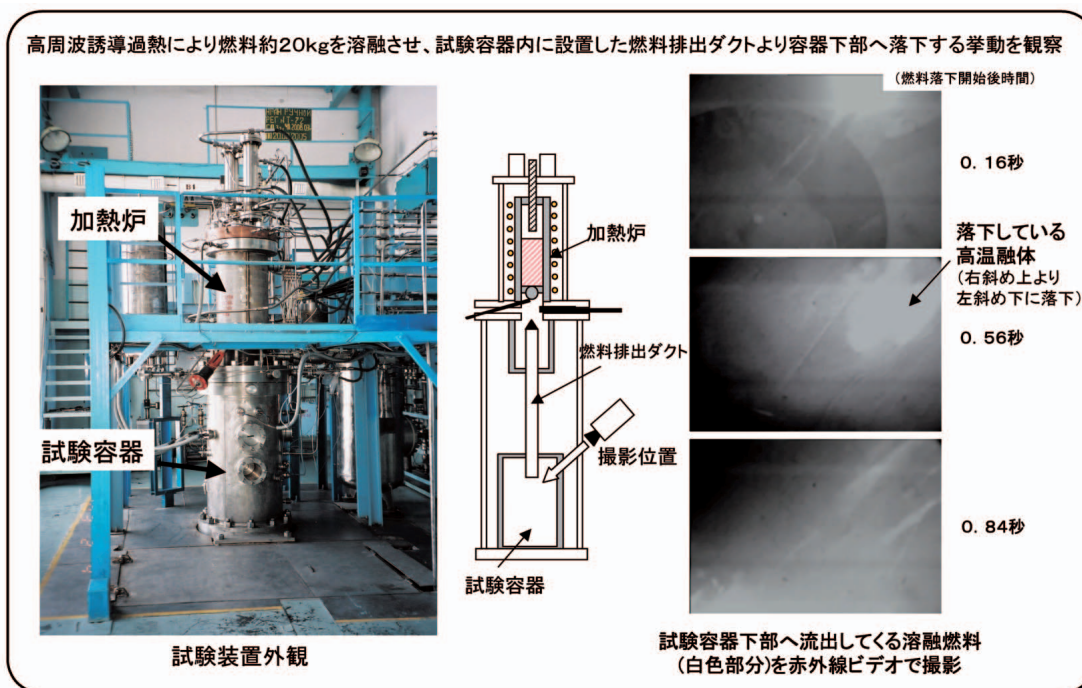


図5 EAGLE試験（炉外試験）の状況

3. 燃料サイクルシステム

燃料サイクルシステム（再処理システムと燃料製造システムをいう）におけるフェーズⅡの検討では、フェーズⅠで抽出した候補概念に革新的技術を取り入れて概念設計を進めるとともに、主要技術の成立見通し及び候補概念の明確化に必要な定量的データを取得するための要素技術試験を実施している。また、従来の「必要なものを取り出してサイクルに戻してその他のものは廃棄する」から「サイクルに邪魔なもののみを除去してその他のものはサイクル内に閉じ込める」へと発想を転換し、環境への負荷を最小化することをねらった新しいサイクル概念の基礎的検討も行っている。

3.1 再処理システム

フェーズⅡでは、設計精度を高めるために必要な要素試験を進め、それに基づくシステム設計を実施する。2002年度は、システム設計に関しては、先進湿式法に係るプラント設計及び代替技術適用可能性についての検討並びに乾式プラントの機器配置設計を進めるとともに、システム設計に反映するための要素技術開発を継続した。

(1) 先進湿式法

周辺工程等システム全体設計の詳細化を進める

とともに、技術的成立性の見通しを得るために代替・補完技術を含めた要素技術開発を進めた。

プラント設計においては、周辺工程に関する設計の詳細化を進め、プロセスの見直しを行った。また、フェーズⅠで課題となっていた廃棄物発生量の増大に関しては、要素技術開発の成果を踏まえ、ガラス固化体発生量を大幅に減らせる見通しを得た。代替・補完技術については超臨界直接抽出法による小型プラント(50t/年)の設計を行い、再処理コストと廃棄物発生量を大幅に削減できる見通しを得た。イオン交換法とアミン抽出法についてはコールド試験結果に基づくプロセス物質収支により、経済的なマイナーアクチニド(MA)回収設備として技術的に成立する見通しを得た。

要素技術開発では、模擬低除染燃料を用いた晶析試験により、共存元素がUの晶析開始温度に与える影響等プロセス制御に関するデータを取得した(図6左)。簡素化溶媒抽出技術については実使用済燃料を用いたホット試験により、U、Pu、Npの回収率を実験的に確認し、システム設計成立の裏付けを得た。代替・補完技術である直接抽出法に関しては、固体状の使用済燃料からU、Puを直接、有機溶媒(TBP)に抽出することに成功した(図6右)。イオン交換法については吸着材の耐酸性、耐放射線性等特に問題がないことを確認し、アミ

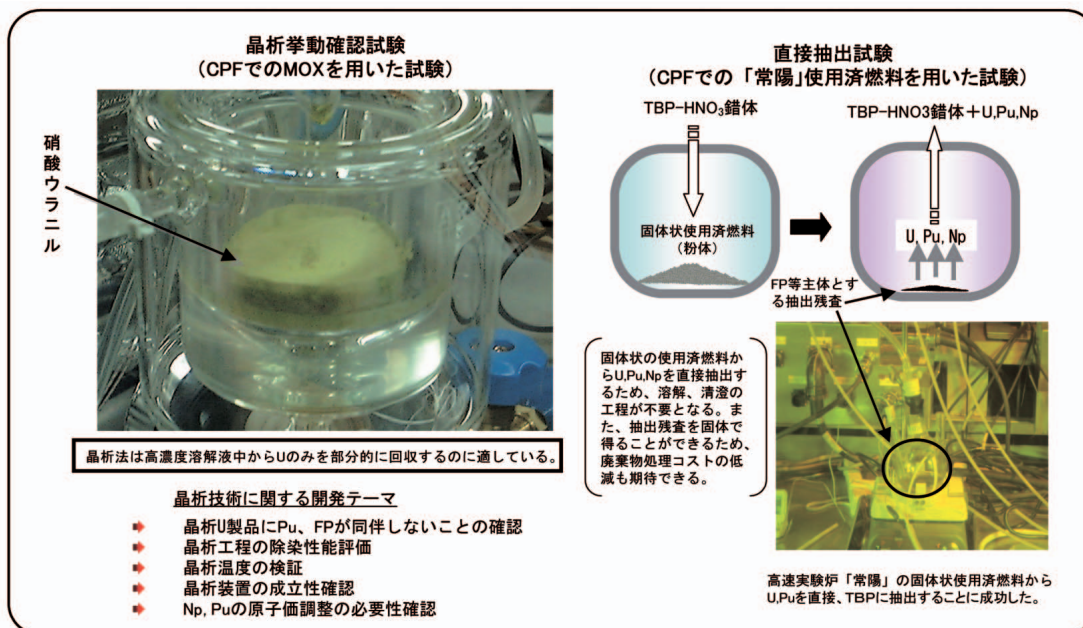


図6 先進湿式法の技術開発状況

ン抽出法については廃溶媒の処理技術の見通しを得た。

(2) 酸化物電解法

マテリアルハンドリング等の物質移動を取り入れたシステム設計を進めるとともに、MOX電解共析や電解槽の長寿命化のためのコールドクルーシブル (CCIM) 技術*等の要素技術開発を継続した。

システム設計については、これまでの合理化方策の検討結果や要素技術開発成果を踏まえて基本プロセスを構築した。遠隔自動運転、マテリアルハンドリングによる物質移動を適用した作業システムを具体化するとともに主要機器、付帯機器の

*誘導加熱で、るつぼの内容物を熔融させるとともに、壁面を冷却することにより析出物で壁面を覆い、るつぼの長寿命化を図る技術

概念設計を進め、セル内機器配置の設計を進めた。

MOX電解共析は高除染MOXに適用した実績は多いが、実使用済燃料に対しての適用例が少ないため、ロシアRIARにおいて腐食生成物、核分裂生成物 (FP) の存在下での試験を実施し、Pu富化度30%以上のMOXを得ることができることを(図7)、また、条件によってはPuO₂を主成分とする沈殿物が発生することが分かった。CCIM電解槽については、コールドでの試験結果を基に電極形状等の見直しを行った。

(3) 金属電解法

システム設計においては、高温融体の移送などを考慮したプロセス設計を進め、要素技術開発では、U-Pu-Zrの三元合金を用いた電解精製試験や



図7 酸化物電解法の技術開発状況

Puを用いたCd陰極でのPu回収の基礎的なデータを取得した。

システム設計では乾式特有の作業である溶融塩、溶融金属の工程間移送をバッチ式で行う方法を考案し、これを反映したプロセスの見直しを行った。これに基づきマテリアルハンドリング、運転・保守等を考慮した機器の概念設計、セル内の合理的機器配置の検討を進めた。また、乾式法に適した臨界管理／計量管理法を考案した。

電中研とのプロセス開発に関する共同研究については高レベル放射性物質研究施設（CPF）に設置した金属電解法Pu試験設備のコード試験を実施し、機能・操作性の確認を行うとともに装置の調整を進めた（図8左）。

電中研が欧州連合の超ウラン元素研究所（ITU）との共同研究として実施している小規模プロセス実証試験ではMA、希土類元素（RE）含有U-Pu-Zr三元合金燃料（未照射）の電解精製試験においてその溶解挙動を把握した結果、MA、REを含まない三元合金と変わらない挙動を示すことが分かった（図8右）。また、電中研と原研との基礎技術に関する共同研究では、液体Cd陰極の運転条件把握のためU、Puの回収試験を実施し、Puを回収するには塩中のU：Puの濃度比が1：2以上必要であることが分かった。

3.2 燃料製造システム

燃料製造システムについては、再処理システムとの整合を図りつつ、簡素化ペレット法、振動充てん法及び鑄造法について、高発熱、高放射線量の低除染のTRU燃料を考慮した主要設備機器等の概念設計を進めるとともに、要素技術試験を実施した。

(1) 簡素化ペレット法

概要機器の要素技術開発成果、遠隔製造試験での知見等に基づき合理的なセル内機器配置の検討を進めるとともに、模擬低除染TRUペレットの試作等の要素技術開発を行った。

システム設計では組立、検査、保守・補修等にマテリアルハンドリング技術、遠隔操作・自動化技術の採用を前提とした具体的な運転手順を明確にし、ペレット製造機器・設備の設計結果に基づくライン構成の最適化及び合理的なセル内機器配置の検討を行った。

実験室規模ではあるが、国内で初めてのAm（3％）含有MOXペレットの遠隔製造に成功した。また、直接成型、粉末調整、気流搬送などの基礎技術に関する試験結果に基づき、簡素化ペレット法でも高密度かつ均質なペレットを製造できる見通しを得た（図9）。さらに、Np/Amと模擬FPを含有する模擬低除染TRUペレットを試作し、焼結性及相安定性に関する基礎

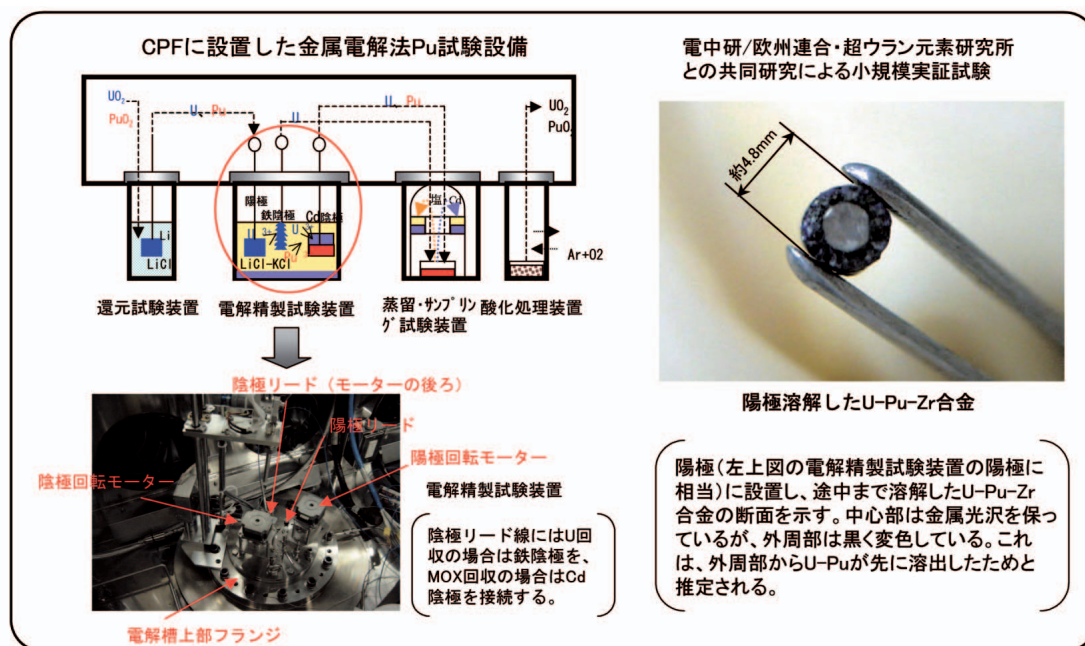


図8 金属電解法の技術開発状況

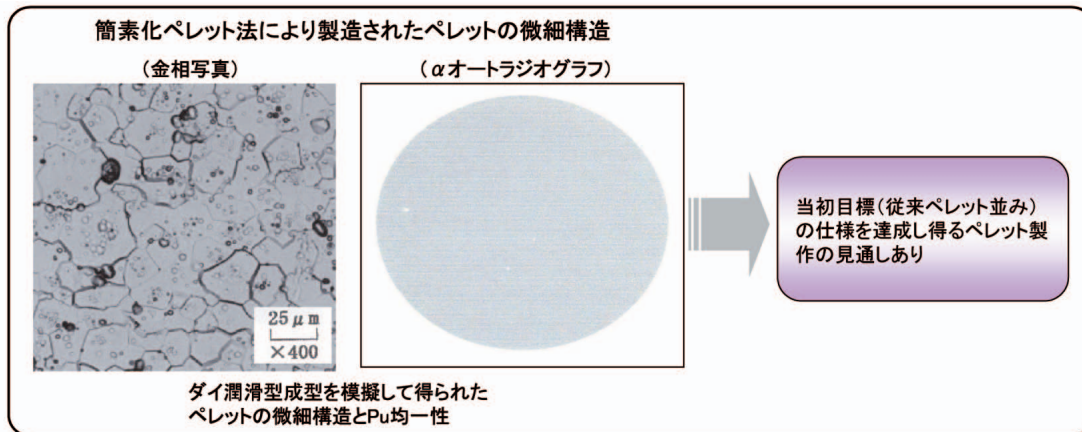


図9 簡素化ペレット法の技術開発状況

特性の評価を行った。

(2) 振動充てん法

システム設計ではセル内機器配置の検討及び製造システムの臨界管理の検討を進めるとともに、充てん燃料の照射試験用の燃料製造に着手した。また、マテリアルハンドリングや遠隔保守補修に対応したセル内機器配置の検討を進めるとともに、遠隔自動化システムでの物流の明確化、作業時間の積み上げによる保守補修時間の評価及び機器・部品更新に伴う廃棄物発生量の評価を行った。このほか、湿式再処理対応の振動充てん燃料製造システムの臨界管理の検討を行った。

要素技術開発では、粒子製造のためのゲル化U試験装置の設置を完了した。透明なアクリル管やX線断層撮影装置を用いたバイバック燃料ピンの内部構造観察及び充てん挙動データの取得などの各種の試験を行い、球状粗粒と不定型細粒を用いるハイブリッド法に関しては500 μm以下の小さ

な粗粒を用いても80.8%の高充てん率が得られることが分かった。また、振動充てん燃料の照射挙動確認のためのスフェア、バイバック、比較用ペレットの各照射試験用燃料製造を開始した(図10)。バイバック用の顆粒及び比較用ペレットの製造は完了し、スフェア燃料についても顆粒の製造がほぼ完了した。

(3) 鑄造法

システム設計では、計量管理や臨界管理の検討を行い、製造技術に関しては、金属燃料ピンの「常陽」照射試験に向けた燃料製造装置の開発を開始した。

まず、システム設計では計量管理、臨界管理のためのサンプリング・分析方法の検討を行った。使用済燃料中のFP核種の同位体比は燃料のPu富化度によって大きく異なるため、サンプリング分析による同位体比を用いた計量管理、臨界安全管理は困難であることが分かった。このため、核物

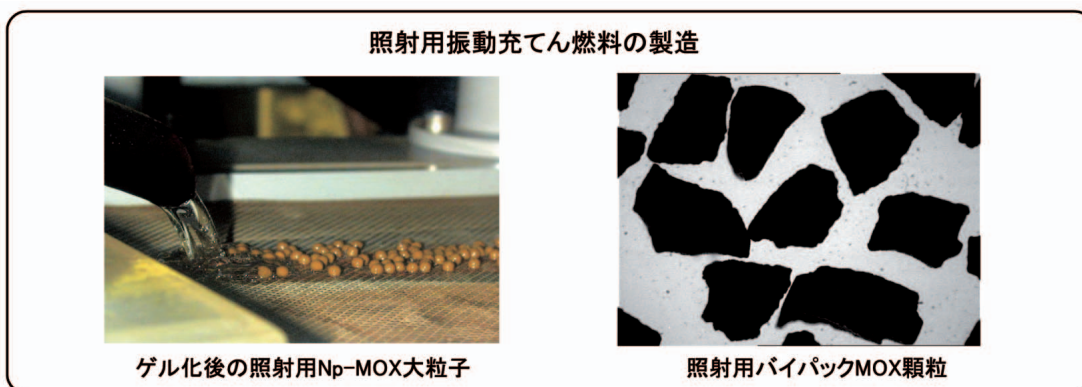


図10 振動充てん法の技術開発状況

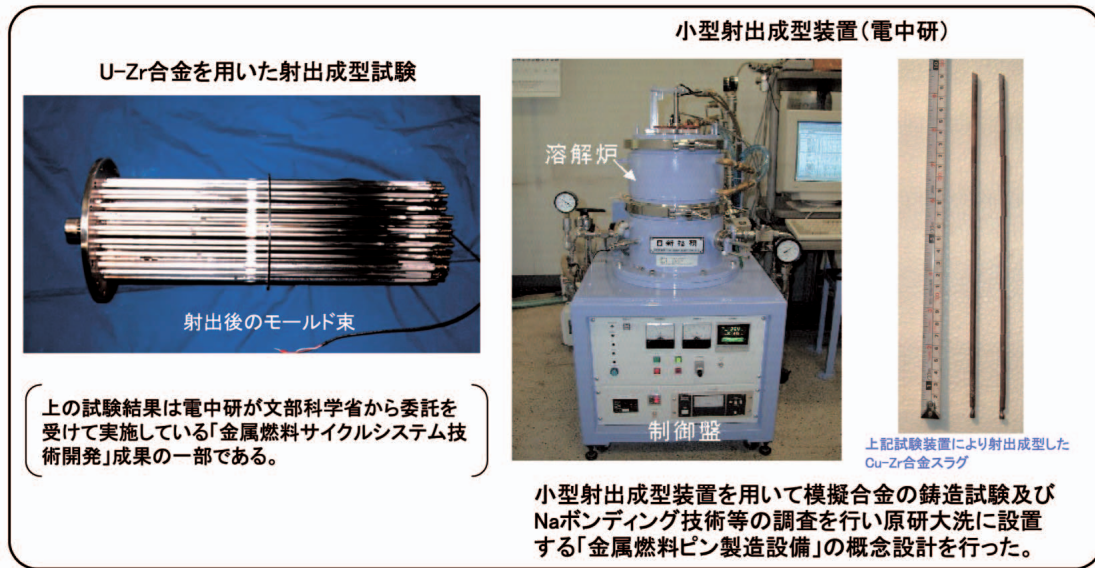


図11 鑄造法の技術開発状況

質の受入れ量管理（質量管理）と化学形態の管理を組み合わせた乾式に適した管理手法を新たに考案した。

次に、「常陽」における金属燃料ピン照射に向けた研究では、「小型射出成型装置」を用いて、模擬合金（Cu-Zr）の鑄造試験を行い、鑄型内面コーティングや溶解するつば回りの構造上の工夫など、U-Pu-Zr合金の製造試験に向けてのノウハウを取得した。（図11）また、2004年度までに原研の大洗研究所に設置予定の「金属燃料ピン製造設備」の概念設計を行い、使用施設の設置変更許可申請を行った。

4. 総合的な評価手法

フェーズIIにおけるFBRサイクルの総合評価では、5つの開発目標に「技術的実現性」と「社会的受容性」を加えた7つの視点から多面的な評価を行い、FBRサイクル実用化概念の明確化のための判断情報を提供することとしている。2002年度は以下の項目の検討を行った。

- FBRサイクルの多面的評価に関して、候補概念の開発目標等の達成度を評価するために評価指標及び達成基準（効用関数）の見直しを行った。また、FBRサイクル導入シナリオの予備的評価を行い、サイクル諸量の視点から、炉型ごとの設計とFBRクローズドサイクルへの移行期間の関係を把握した。
- 社会的受容性については、社会的受容性検討準

備会を立ち上げ、原子力に関する広報活動状況を調査し、課題を抽出した。今後、FBRサイクルの社会的受容性向上のためのアクションプランを構築する。

- また、総合評価のための設計情報等の技術情報データベースについては、エンジニア検討支援機能の高度化等の改良整備を実施した。

5. まとめ

2002年度には、主要技術の成立性見通し及び候補概念の明確化に必要なデータ取得のための要素技術の開発に着手し、主として次の成果を挙げた。

- ① FBRシステムについては、各炉の性能評価の一環として、内部転換比を高め、ブランケットを含めた炉心全体の燃焼度を高めた炉心検討を実施し、ナトリウム炉と鉛ビスマス炉では100GWd/t程度、水冷却炉では50GWd/t程度を達成できる見通しを得た。
また、要素技術開発では、ナトリウム冷却炉での炉容器上部プレナムの流動安定化に関する試験、鉛ビスマス冷却炉の材料腐食試験及び水冷却炉での稠密炉心の熱流動試験等においてデータを取得した。
- ② 燃料サイクルシステムでは、マテリアルハンドリング技術や遠隔操作・遠隔補修等を考慮したシステム設計の詳細化を進めた。また、要素技術開発では改修工事を終えたCPFを用いて、直接抽出法による使用済燃料からのU、Puの抽

出に成功するとともに、今後の技術選択の上で重要な鍵を握る簡素化溶媒抽出法や簡素化ペレット法の技術的成立性を見通しを得た。

今後の展開として、設備面においては、MK-III炉心に改造した「常陽」での高性能被覆管の開発及びMA燃焼などの燃料開発への活用や、CPFなどを活用した湿式及び乾式再処理の枢要技術にかかわる試験を進める。

さらに、国際的な協力に関しては、従来からの

2国間の協力を推進するとともに、GEN-IVでの多国間協力の枠組みを活用しつつ、本研究を効率的に推進していく。

参考文献

- 1) JNC TN1340 2001-008 サイクル機構技報No.12別冊：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究の概要”，2001年9月発行
- 2) JNC TN1340 2002-002 サイクル機構技報No.16：“高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズIIの2001年度成果”，2002年9月発行