

## 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT プロジェクト)

－フェーズⅠ中間取りまとめ－

Fast Reactor Cycle Technology Development Project (FaCT Project)  
- Phase I (Interim Report) -

次世代原子力システム研究開発部門  
日本原子力発電株式会社 研究開発室

Advanced Nuclear System Research and Development Directorate  
Research and Development Department, The Japan Atomic Power Company

# 抜粋版

本報告書は日本原子力研究開発機構のホームページからダウンロードできます。

原子力機構ホームページ  
<http://www.jaea.go.jp/>

トップ  
データベース  
研究開発成果検索・閲覧システム (JOPSS)

『FaCTプロジェクト』等で検索

July 2009

## 概要

## 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 2008 年中間取りまとめ

日本原子力研究開発機構

日本原子力発電株式会社

FBR サイクル実用化研究開発 (FaCT プロジェクト) では、2006 年 3 月に終了した高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究 (FS) に引続き、主概念として選定したナトリウム冷却炉 (MOX 燃料)、先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の組合せを中心に革新的技術の要素技術開発を進め、その成果を適宜反映し設計研究等を実施している。これまで、研究開発体制の整備、研究開発管理の仕組み作り、関係各署との連携を図りながら、原子力委員会及び総合科学技術会議からの指摘事項も踏まえて、研究開発を着実に進めてきた。2010 年度に革新的技術の採否判断を行う予定であるが、2008 年度時点において研究開発は新たな課題対応のため修正をかけつつ、概ね計画通り進捗している。

## 1. FaCT プロジェクトの全体概要

原子力機構が日本原電と協力して実施した「高速増殖炉 (FBR) サイクルの実用化戦略調査研究 (FS)」(2006 年 3 月まで実施) の成果については、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究開発・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会において評価され、文部科学省は「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」(2006 年 11 月) をまとめた。また、経済産業省が取りまとめた原子力立国計画では「実証炉と関連する燃料サイクル施設に関する 2025 年の実現及び商業炉の 2050 年より前の開発」という技術の実証・実用化のステップが明記されている。これを受けて FaCT プロジェクトでは、2010 年に革新的な技術の採否を判断し、2015 年に開発目標を達成できる高速増殖炉サイクルの実証施設と実用施設の概念設計、及び実用化に至るまでの研究開発計画を提示することとなっている (図 1)。具体的には、炉システムに係る 13 の革新的技術及び燃料サイクルシステムに係る 12 の革新的技術についての研究開発を進め、その成果を適宜取込んで設計として取りまとめる。

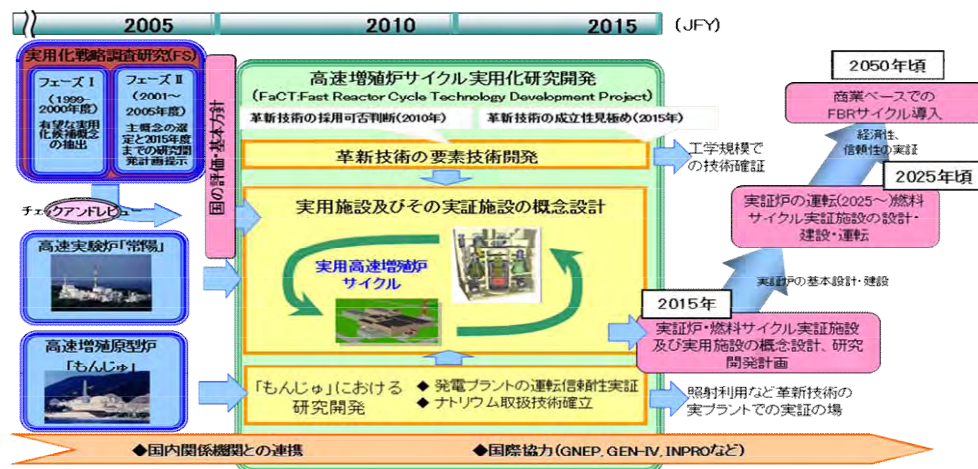


図 1 FBR 実用化までのステップと FaCT プロジェクトの概要

## 2. FaCT プロジェクトの進め方

プロジェクトの推進のため、2006年7月には、経済産業省、文部科学省、電気事業者、製造事業者、原子力機構による「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」（五者協議会）が設置された。ここでは、研究開発に対する電気事業者側の要求、国際協力のあり方、開発計画と実証ステップのあり方、軽水炉からFBRへの燃料サイクル側（再処理・燃料製造）の移行シナリオなどが検討され、五者の合意に基づき研究開発や関連する検討が進められている。炉システムについては実用化に向けた実証ステップとそれに至るまでに研究開発方針を共有し、その中で比較的早い時期に実施すべき項目として、「機器開発試験・システム試験、部分構造試作」と、「電気出力50～75万kWeの実証炉の概念検討」が合意された。そして2010年と2015年に判断すべき論点を考慮しながら、FaCTプロジェクトのFBR研究開発を進めている。燃料サイクルの研究開発では、軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期間とその時期における燃料製造・再処理量に関する評価や、第二再処理工場で採用すべきプロセスの選定のために再処理技術の調査等を実施した。そして、これらの結果に基づき施設概念の設計研究や開発ロードマップの検討などを関係者と協力して実施し、2010年頃からの国の検討に対して科学的知見を提供することとしている。

一方、原子力機構内においては理事長を本部長とする一元的な推進体制を構築し、効果的・効率的に研究開発活動を行なえるよう、次世代原子力システム研究開発部門の組織再編、他部門との連携強化を図った（図2）。また、研究開発活動・成果の品質向上のため、大学や産業界の専門家との情報交換を継続的に行うと共に、研究計画は外部評価によって妥当性が確認されており、研究開発の進捗に応じてその成果も評価される予定である。さらに、国民への説明責任を果たすことを含め、様々な媒体を用いて外部へ情報発信を行っている。

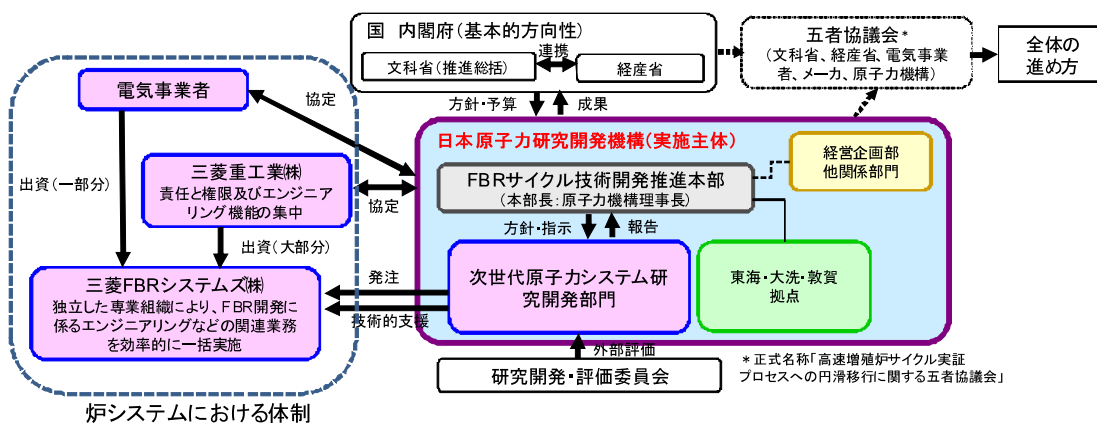


図2 FBR サイクル開発の推進体制

国際協力では、効率的な開発、開発リスクの低減、及び世界標準技術の確立を目的として多様な協力体制を構築している。FBR については、日仏米三カ国（JAEA/DOE/CEA）によるナトリウム冷却高速実証炉の開発に関する協定を締結してこれを基軸とし、さらに、GIF（第4世代原子力システム国際フォーラム）、GNEP（国際原子力エネルギーパートナーシップ）、INPRO（革新的原子炉及び燃料サイクルに関する国際プロジェクト）と言った多国間協力の枠組みも活用して研究開発を進めている。また2008年9月には、日本の高速炉および燃料サイクルシステムの技術開発の方向性、進め方等について世界の有識者からの助言やコメントを得ることを目的として、第1回国際コンサルティング会議を開催した。

原子力機構の既存施設の有効利用として、原型炉「もんじゅ」については性能試験や保守・補修性などの成果を順次 FaCT プロジェクトへ反映していくとともに、プルトニウム燃料技術開発センターでは燃料製造に係る課題など、技術の実証・実用化に向けた研究開発を進める。

FBR サイクル全体としてより合理的なシステムを追求する観点から、FBR と燃料サイクルの各々で進める研究開発においては、効率的な取合条件について 2010 年までに検討を進める。

### 3. 開発目標

FaCT プロジェクトでは、2050 年頃の FBR 本格導入時に向けて、FBR サイクル技術仕様の目標理念を示すための開発目標を設定している。この開発目標は「安全性及び信頼性」、「持続可能性」、「経済性」、「核不拡散性」の 4 つの観点について定めたものであり、さらに「持続可能性」の下には「環境保全性」、「廃棄物管理性」及び「資源有効利用性」の 3 つの指標を組み込んだ。表 1 に FaCT プロジェクトにおける開発目標の具体的内容を示す。

この開発目標の設定においては、FBR サイクルシステムの主概念を対象として将来社会に対して魅力があり且つ柔軟に対応できること、世界標準を目指すと共に国際協力プログラムとの整合性をとること、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行を踏まえた開発シナリオであること、及び代替技術も考慮した革新的技術の選択が行えることなどを考慮している。また、開発目標を定量化した設計要求を設定するとともに、2010 年の革新的技術の採否判断、及び 2015 年の概念設計提示の目安となる達成すべき成果目標（クライテリア）も定め、研究開発を進めている。

なお、開発目標は、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展等により適宜見直されるべきものであり、設計要求や成果目標（クライテリア）についても、開発目標と同調して修正していく必要がある。

## 4. 研究開発の実施状況

### 4.1 炉システム

#### 4.1.1 設計要求の設定

炉システムの開発にあたり、前述の開発目標を踏まえ、以下に示す設計要求を設定した。

##### a. 安全性及び信頼性

周辺公衆へ著しい被ばくリスクを与えないこと、敷地外緊急事態発生防止、リスク目標（炉心損傷頻度 $10^{-6}$ /炉・年以下等）及び、保守・補修方針を作成し、これが可能な設計概念とすることにより、次世代軽水炉と同等の信頼性を有すること 等。

##### b. 持続可能性

環境保全性の観点から、通常時環境放出放射能が次世代軽水炉を下回ること。廃棄物管理性の観点では、燃料のMA含有率を1～5%程度として燃焼できること。また、資源有効利用性の観点から増殖比を低増殖炉心(1.0～1.1)、高増殖炉心(1.2)に設定 等。

##### c. 経済性

発電単価（2円/kWh※）、建設費（12万円/kWe※）、連続運転期間（24ヶ月以上）、炉心取出平均燃焼度（15万MWd/t） 等。

※ 2005年時点物価に基づき、物量をベース（革新機器・設備については特殊性を一部考慮）に算定。習熟効果を考慮するとともにオーバーナイトコスト（建中利子不含）で表示。



表 1 FaCTの開発目標

開発目標の指標		開発目標
安全性及び信頼性		<p><u>次世代軽水炉及び関連する燃料サイクル施設と同等の安全性の確保</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・公衆の信頼感・安心感の醸成に資する観点から次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の安全性の達成を目標とする</li> </ul> <p><u>次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の確保</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施設の運転・保守・補修性の向上及び放射線作業従事者の被ばく低減の観点から次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の達成を目標とする</li> </ul>
持続可能性	環境保全性	<p><u>平常時の放射線の影響</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルの運転にともなう単位発電量当りの放射性気体及び液体廃棄物の環境への実効線量が、国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設を下回る FBR サイクルとすること</li> </ul> <p><u>環境移行物質の抑制</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ライフサイクルを通じた環境移行物質の影響を安全な範囲に抑制できる FBR サイクルとすること</li> </ul>
	廃棄物管理性	<p><u>廃棄物の発生量の低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルの運転・保守及び廃止措置から生じる放射性廃棄物の発生量を国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と比較して低減できる FBR サイクルとすること</li> </ul> <p><u>廃棄物の質の向上</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルの運転・保守及び廃止措置から生じる放射性廃棄物の質を国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と比較して同等以上と向上できる FBR サイクルとすること</li> </ul> <p><u>潜在的有害度の低減</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルの運転・保守及び廃止措置から生じる放射性廃棄物の潜在的有害度を、将来世代へ過度な負担とならないように国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と比較して低減できる FBR サイクルとすること</li> </ul>
	資源有効利用性	<p><u>増殖比</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・長期にわたるエネルギーの安定供給を確保するため、高速増殖炉サイクルの導入後は、新規に軽水炉を建設することなく高速増殖炉へ移行可能な性能を備え、かつ、持続的に核燃料生産が可能であること</li> <li>・エネルギー需給や資源の不確かさに加えて、海外導入も視野に入れ、低増殖から高増殖まで柔軟に対応可能なこと</li> </ul>
経済性		<p><u>発電原価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ライフサイクルにおける不確実性を考慮して、FBR による発電原価が国内外の次世代軽水炉等の競合する電源と匹敵すること</li> </ul> <p><u>投資リスク</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と比較して、大きな投資リスクがないこと</li> </ul> <p><u>外部コスト</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内外の次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と比較して、大きな外部コストがないこと</li> </ul>
核不拡散性		<p><u>核不拡散</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルにおける核拡散抵抗性を高める技術と核不拡散を担保できる制度を適用した FBR サイクルとすること</li> </ul> <p><u>核物質防護のシステム設計と技術開発</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FBR サイクルの技術的特徴を踏まえ、核物質等の盗取と施設の妨害破壊行為を抑止できる核物質防護システムを持つ FBR サイクルシステムとすること</li> </ul>

#### 4.1.2 革新技术

前述の設計要求を達成するために、図3に示すような、原子炉容器のコンパクト化や配管短縮のための高クロム鋼の開発などの革新技术を採用できるよう技術開発を進めている。また、これら革新技术の幾つかは、2010年の設計判断に必要な情報を確実に提供するため、設計オプションとしての代替技術についても検討している。

#### 4.1.3 検討スケジュール

実用炉の設計研究については、2010年までに概念設計を実施し、その後、最適化設計を実施する。実証炉の設計研究については、2010年までに概念検討を実施し、サイズと基数を暫定し、その後、概念設計を実施する。また革新技术開発については、2010年の採否判断に向け、製作性情報も含め各種データを収集・準備する。さらに機器開発試験等の準備を並行して進め、実証プロセスへの円滑な移行を実現できる計画としている。検討スケジュールを図4に示す。

#### 4.1.4 計画の進捗状況

革新技术の進捗状況を表2に示す。これまでのところ、要素技術開発については、試験体の製作等の準備段階のものから、試験・解析の一部を実施したものまで、進捗フェーズは様々であるが、概ね順調に進捗しており、設計研究作業についても同様である。また、要素技術開発及び設計研究では、後述するように課題が生じてきているが、検討方法を見直したり、代替設計検討を追加したりする等の対応を行い、2010年の概念設計の提示や革新技术の採否判断に支障が出ないように対応を図っている。

#### 4.1.5 検討結果の概要

##### (1) 検討条件の設定

##### a. プラント仕様

設計検討を行うにあたり、表3に示すプラント主要仕様を設定した。

##### b. 耐震検討条件

FSフェーズⅡまでは、国内サイト平均の地震動を用いていたが、中越沖地震の発生を考慮し、暫定地震動として、より厳しい条件の地震動を設定し検討を進めている。今後、国内の設計地震動の見直しを反映して、適宜見直す方針である。

##### (2) 主要な検討結果

##### a. 安全設計（関連する革新技术：図3 ⑪、⑫、⑬）

採用革新技术及び最新知見に基づいた安全設計・評価方針の表現見直し、並びに自己作動型炉停止系（SASS）に関する炉内試験及び自然循環の挙動評価のための試験装置製作を行った。再臨界回避の検討については、実施中のEAGLE試験等の結果に基づいて事故シナリオの評価手法を整備するとともに設計へ反映する予定である。

##### b. 高温構造設計（関連する革新技术：図3 ①、④、⑨）

SUS316FR及び高Cr鋼に関する材料強度基準、高温構造設計基準及びLBB評価指針の整備を進めている。高Cr鋼については、実証炉では改良9Crを採用する方向で検討を進め、当初採用を検討していた12Cr鋼は、実用炉に向け、更なる向上が期待できることから、当面基礎的な研究を継続し、2010年の判断に資するデータを蓄積することとした。

また、炉容器のSUS316FR鋼大型リング鍛鋼品、蒸気発生器管板用大型鍛鋼品、蒸気発生器2重伝熱管及び冷却系配管用薄肉大口徑配管・エルボの実規模試作試験の実施が困難となったことや、高Cr鋼（改良9Cr鋼）の強度に関する課題が生じたことから、検討方法を見直した。

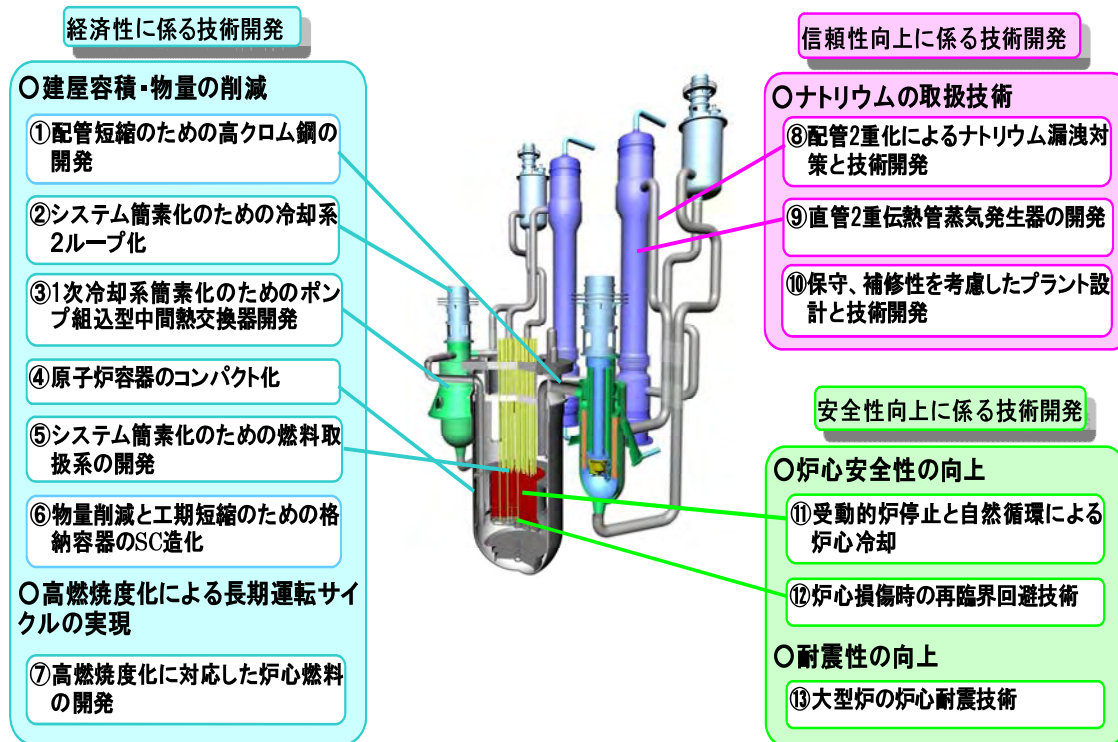


図3 炉システムの革新技術

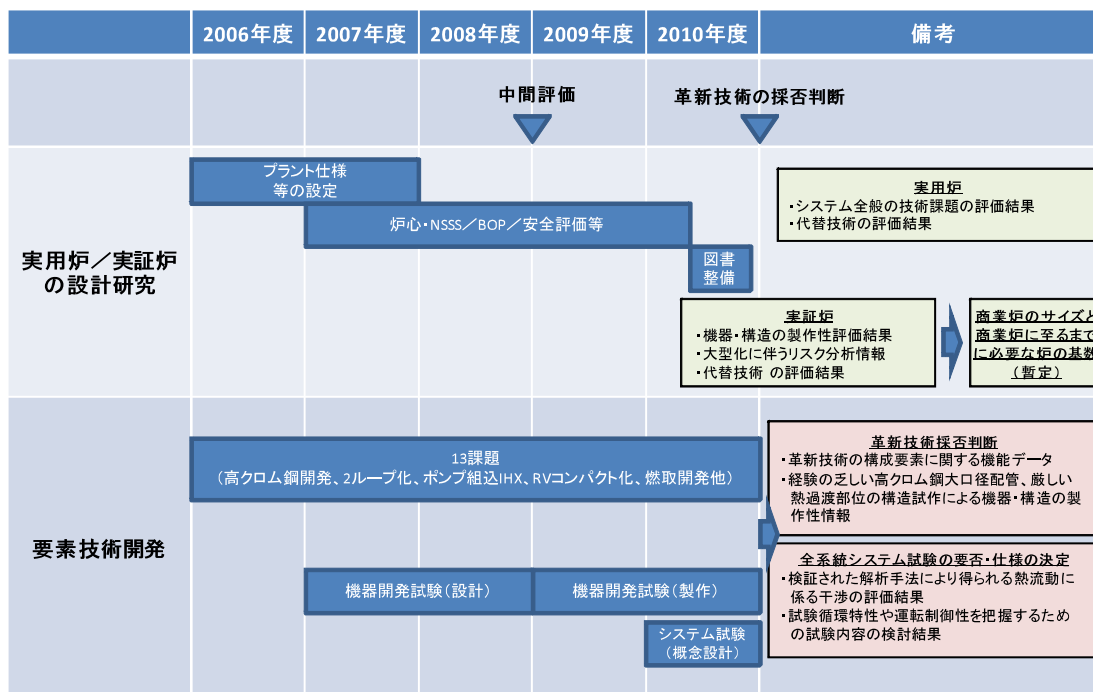


図4 炉システムの検討スケジュール

表2 高速増殖炉システムの革新技術に関する研究開発状況

革新技術		検討状況と今後の見通し
①	配管短縮のための高クロム鋼の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・技術成熟性から改良 9Cr 鋼を志向し、同鋼により経済目標を満たす範囲で配管短縮や熱交換器コンパクト化を実現できる見通し。</li> <li>・溶接部 TYPE-IV 亀裂の発生懸念については、試験データの充実とともに、関係研究機関との連携・協力を進める。</li> <li>・1 2Cr 鋼については 2010 年の判断に向けて基本材料特性データを取得中。</li> </ul>
②	システム簡素化のための冷却系 2 ループ化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホットレグ配管エルボ内の流動状況について、入口整流条件の 1/3 スケール試験を実施し、実機流速 (9.2m/sec) で定格 Re 数のほぼ 1/5 の範囲まで安定した流況であることを明らかにした。</li> <li>・実機条件を模擬した入口乱れ条件での試験、コールドレグを模擬した多段エルボの体系での試験、スケール則を把握するために 1/10 スケール等の試験及び解析により、実機条件での健全性見通しを 2010 年までに得る。</li> </ul>
③	1 次冷却系ポンプ組込型 IHX 開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポンプ振動の IHX 伝熱管への伝達防止方策について、1/4 スケール試験と解析により、伝熱管に有害な振動モードを排除できる見通しを得た。</li> <li>・この他、ポンプの静圧軸受け、水力部、流況最適化等の要素技術開発を進め、2010 年の採否判断に備える。</li> </ul>
④	原子炉容器のコンパクト化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液面でのガス巻き込みやホットレグ配管吸込部付近での液中渦の発生を抑制する対策の有効性を試験及び解析で確認。</li> <li>・ホットベッセルの成立性評価のために、非弾性設計解析技術等の評価方法の検討、試験に着手。</li> <li>・中越沖地震による耐震設計条件の見直しにより原子炉容器の板厚を大幅に増加させる必要が生じたことや、適用を検討している大型リング鍛鋼品に製作限界が見込まれることから、並行して壁冷構造の検討を開始し、2010 年の採否判断に備える。</li> </ul>
⑤	システム簡素化のための燃料取扱系の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切込付 UIS の狭隘なスリット部に適合する伸縮式燃料交換機概念検討を進め、UIS と干渉することなく、要求された位置決め精度達成の確認に向け、実規模試験の準備中。</li> <li>・燃料交換時間を短縮するための 2 集合体移送ポット、液体廃棄物量を低減できる乾式洗浄設備、発熱を伴う TRU 新燃料輸送キャスクについて設計検討や試験を実施中であり、これらの成立性について 2010 年までに判断できる見通し。</li> </ul>
⑥	物量削減と工期短縮のための格納容器の SC 造化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Na 漏洩を想定した高温鋼板パネル試験、面外曲げ試験等の部材特性試験や水蒸気逃がし試験を実施し、高速炉格納容器用 SC (鋼板コンクリート) 構造の特性データを取得。</li> <li>・上記試験データに基づき評価手法を開発し、SC 構造の格納容器成立性を 2010 年までに見通す。</li> </ul>
⑦	高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低除染 TRU/MOX 燃料による経済性要求(燃焼度、連続運転期間等)等、全ての設計要求を達成する種々の炉心設計を提示。</li> <li>・高燃焼度を達成できる ODS 被覆管に関してロシアの BOR-60 での照射試験を実施中。2010 年に得られる 15 万 MWD/t までの照射ピンの内面腐食量により採否判断を行う。</li> <li>・この他、2 サイクルの連続運転が可能な長寿命制御棒、遮へい領域を 1 層で対応できる Zr-H 高性能遮蔽体、内部ダクト付き燃料集合体の開発を進めている。</li> </ul>
⑧	配管 2 重化による Na 漏洩対策と技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主配管との間隙部でのナトリウム漏えいを早期に検知するために、各種連続漏えい検出計を設置する設計を進めている。</li> <li>・早期検出を実現できる微小漏えい検出系として、レーザ・ブレイクダウン蛍光発光法の要素技術開発を進めており、低酸素濃度雰囲気中ナトリウムエアロゾルの検出特性評価中、検出器要素の成立見通しを得た。</li> </ul>
⑨	直管 2 重伝熱管蒸気発生器の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・改良 9Cr 鋼製密着 2 重伝熱管、厚肉管板、管-管板継手、熱膨張吸収構造の試作を中心とした開発を実施中。</li> <li>・伝熱流動評価法については、FBR 蒸気発生器流動安定性試験に基づき、十分な評価精度を持つ設計ツールを整備中。</li> <li>・長尺密着二重管の製作技術実現に対する懸念から、並行して市販伝熱管で破損伝播を抑制できる代替概念の検討を開始し 2010 年の採否判断に備える。</li> </ul>

⑩	保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アクセス性確保を念頭にナトリウム中の重要な機器・構造部位の設計検討及び健全性を確認できる検査技術を開発中。</li> <li>・ナトリウム中での目視あるいは体積検査可能な自己遊泳式の超音波探傷センサ、改良 9 Cr 鋼の SG 伝熱管のリモートフィールド渦電流探傷(ECT)、ガイドウェーブセンサについて基礎試験を実施中。</li> </ul>
⑪	受動的炉停止と自然循環による炉心冷却	<ul style="list-style-type: none"> <li>・受動的な炉停止機構(SASS)は、常陽での単体照射及び材料照射を完了。過去に実施、蓄積してきた炉外試験と解析による有効性評価と併せ実機適合性を確認。今後、実証炉の設計条件に合わせて SASS の最適化を進める。</li> <li>・自然循環による炉心冷却は、実機体系を模擬したシステム水試験を含むこれまでの試験データと解析手法の整備により基本的な性能を確認。今後、上記の水試験や崩壊熱除去系に関する部分ナトリウム試験、もんじゅでの関連試験結果により、性能評価と解析コード検証を行う予定。</li> </ul>
⑫	炉心損傷時の再臨界回避技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・再臨界回避を実現できる内部ダクト付き燃料集合体の有効性についてカザフ IGR 炉内試験及び炉外試験で確認するとともに実機評価を行い、機械エネルギー放出に至るような再臨界発生を防止できる見通しを得た。</li> <li>・今後、日米仏の規制当局との会合を進めるとともに、将来の安全審査で炉心損傷時の再臨界回避が認められるよう、CDA シナリオの構築と必要な根拠整備を進めていく。</li> </ul>
⑬	大型炉の炉心耐震技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炉心仕様の検討、入力地震動の作成及び解析評価手法の基本構成を構築し、評価データ取得のための各種試験体を製作した。今後、試験を遂行し、試験データを用いて解析手法を整備する予定。</li> </ul>

表 3 プラント主要仕様

炉型式	ナトリウム冷却ループ型炉
炉心・燃料型式	均質 2 領域炉心 (MOX 燃料高内部転換型炉心)
ヒートバランス	1 次系 : 550℃/395℃、 2 次系 : 520℃/335℃
ループ数	2 ループ
崩壊熱除去系	DRACS (直接炉心冷却系) ×1 系統 +PRACS (1 次系共用型炉心冷却系) ×2 系統
1 次系配管方式	上部流出入方式
主循環ポンプ及び中間熱交換器	1 次系ポンプ組込型 IHX
SG 型式	一体貫流型縦置有液面直管型 2 重管式 (密着 2 重管式)
NSSS 材料	原子炉容器 : SUS316FR 鋼、 冷却系機器 : 改良 9Cr 鋼
燃料交換方式	単回転プラグ+切込型 UIS+パンタグラフ式燃料交換機
燃料貯蔵方式	EVST (炉外燃料貯蔵槽) 貯蔵方式
原子炉建屋、格納容器構造方式	SC 造、矩形 SCCV
建屋免震方式	水平免震
再臨界回避方策	改良内部ダクト型集合体の採用、炉心設計条件の制約 (ボイド反応度制限等)

**c. 炉心・燃料**（関連する革新技術：図3 ⑦）

高速炉平衡期のTRU組成を従来の暫定組成からFaCTレファレンス炉心の組成に変更し、また核特性評価手法をより精緻な手法に変更した評価を実施して、炉心特性がFSフェーズⅡの評価結果と同等であることを確認した。軽水炉から高速炉への移行期については、導入期TRU組成例を用いた予備的炉心検討を進め、導入期には燃焼反応度が大きくなり運転サイクル長さが短くなる可能性があることが判った。副概念である金属燃料炉心については、FSフェーズⅡの代表炉心の安全特性に着目した追加検討を進め、成立が見込める燃料仕様の範囲と評価の詳細化が必要な範囲を明らかにした。また、燃料開発に不可欠な「常陽」照射試験は同原子炉の再起動見込み検討に合わせて、今後検討していく。

**d. 原子炉構造**（関連する革新技術：図3 ④）

狭隘部や、要求精度の厳しい部位の製作性を確認し原子炉構造を具体化した。耐震検討条件の見直しに伴い起動時の原子炉容器液面近傍の熱応力が増加し、許容応力範囲で起動するには起動日数を従来の1日から3日へ延長する必要があることが判った。今後、起動日数短縮のため、炉壁保護構造に関する代替設計も検討することとした。

**e. 1次・2次主冷却系**（関連する革新技術：図3 ①、②、③、⑧、⑨）

系統仕様を設定した。また、強度評価を踏まえた配管構造を設定した。ポンプ組込IHXについては、振動抑制について検討しポンプ軸受け構造を、設定するとともに、共振回避について検討し伝熱管仕様を設定した。前述の改良9Cr鋼に関する課題、プラント過渡運転時の蒸気発生器管板の健全性に関する課題及び2重伝熱管の製作性に関する課題について対応方針を定めた。

**f. 電気・計装**

母線運用計画、全体単線結線図、計装全体構成図、電気計装盤等の配置計画図等を作成した。また、1次/2次主循環ポンプ用電源装置の物量が多く、建屋配置に影響しているため、今後、物量削減検討を実施することとしている。

**g. BOP**（関連する革新技術：図3 ⑤）

系統設計を実施し主要設備の構成・仕様を設定した。また、MA含有燃料の発熱量を暫定して燃料取扱い設備容量を暫定したが、その後発熱量等の条件設定に変更が生じたので継続検討を行うこととした。

**h. 建屋・配置**（関連する革新技術：図3 ⑥）

耐震性検討の結果、水平免震装置の上下振動数を10Hz以下とする必要があることが判ったので、今後の水平免震装置の構造概念検討に反映することとした。また、建屋配置計画を検討したところ、設備設計進捗に伴い物量が増加傾向を示しているため、今後、合理的な配置について検討を進めることとした。

**i. 保守・補修**（関連する革新技術：図3 ⑩）

機器毎に保守・補修内容を設定するとともに、超音波を用いた可視化や伝熱管検査技術の開発に着手し、一部の技術について欠陥検出性に関するデータを取得した。また、現状機器構造では、アクセスできない箇所が複数存在するので、今後アクセス性確保に関する検討を行うこととした。



#### 4.1.6 革新技術に関する成果目標の達成見通しについて

技術開発にあたっては、開発テーマ毎に「評価手法を確立する」、「機器の健全性見通しを示す」、「評価のためのデータを取得する」等の成果目標を定めて開発を実施している。これまでの検討結果に基づいて革新技術の成立性を見通すまでには至っていないが、前述の課題を踏まえても現時点で成立が困難との判断に至るものではなく、研究及び設計検討を継続する必要がある。

#### 4.1.7 五者協議における論点に関する検討状況について

2007年4月に関係五者により、①実証炉のサイズ及び基数、②採用する革新技術、③全系統システム試験の要否、④国際協力のありかたの4つの論点を整理した。

・「①実証炉のサイズ及び基数」及び「②採用する革新技術」を判断するために、実用炉の概念設計、実証炉の概念検討、各革新技術に関する要素技術開発を進めて判断のためのデータを取得するとともに、実証炉の出力を 75 万 kWe、50 万 kWe とした場合について、技術実証性の観点から定性的な比較評価を実施している。①については、今後、設計及び革新技術の研究開発状況を踏まえ、技術的実証性のリスク等の観点も考慮して比較評価を実施していく方針である。

・「③全系統システム試験の要否」を判断するためには、原子炉容器とこれに接続する機器との熱流動に係る干渉の程度を評価する必要があるので、炉容器と冷却系配管を接続した可視化試験、熱流動解析及び熱的な非対称性が生じやすい自然循環条件に関するナトリウム試験等によりデータを取得して評価することとした。現在、これら試験等の計画検討を進めている。また、信頼性の実証に関しても他の方法による確認可否について検討を進めている。

・「④国際協力のありかた」については、2008 年 1 月に日米仏の 3 カ国の研究機関により、「ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉に向けた技術開発協力に関する覚書」を締結し、共同開発に関する計画を取りまとめるために、日米仏三国の間で、当該炉に対して設けるべき設計要求、炉型、燃料種類に加え、各国の関心事項、二カ国間及び三カ国間の協力の特性及び我が国の国益などを踏まえた上での米国及び仏国との協力範囲、日本側の実施体制、スケジュールなどについて協議を実施しているところである。

#### 4.1.8 今後の計画について

これまで研究及び設計検討作業は概ね計画通り進捗しており、新たな課題が生じているものについては、技術開発方法の見直しや設計検討の追加等必要な対応を図っている。2010 年時点で「革新技術の採否判断」に必要な情報を提示するため、今後も革新技術に関する要素技術開発及び炉システムの設計研究を計画的に検討を進める必要がある。また、2015 年には、基本設計に着手するために概念設計を提示することが必要であり、実証炉のサイズと商業炉に至るまでに必要な炉の基数を確定し、機器・構造実寸試作の要否・仕様を決定するための情報を整備することも求められている。このため、2010 年以降についても引き続き要素技術開発や主要機器単体の機能や設計成立性を評価するための機器開発試験を継続実施するとともに、冷却系の縮尺モデルにより主要系統の特性評価を行うシステム試験に着手する計画としている。

また、「もんじゅ」運転再開後に得られるプラント動特性等に関する解析手法検証のためのデータやナトリウム取扱いに関する運転・保守経験を研究開発に反映していく予定である。

## 4.2 燃料サイクルシステム

### 4.2.1 設計要求の設定

実用施設概念の設計研究において前述した燃料サイクルシステムの開発目標を実現するために、以下に示す設計要求を設定した。

#### a. 安全性及び信頼性

周辺公衆へ著しい被ばくリスクを与えないこと、敷地外緊急事態の発生を防止すること、保守・補修方針を作成してこれが可能な設計概念とすることにより、現行燃料サイクル施設と同等以上の「安全性及び信頼性」を有すること。

#### b. 持続可能性

通常運転時の環境放出放射能による影響を現行燃料サイクル施設以下とすることで「環境保全性」を有すること。地層処分、管理型処分対象となる廃棄物発生量を現行燃料サイクル施設の 1/2～1/5 とするとともに、U 回収率 99.9%以上、TRU 回収率 99.9%以上とすることで「廃棄物管理性」を有すること。炉外サイクル時間を 5 年程度とした場合の発熱量 3kW/体の使用済燃料の取扱いを可能とすることで「資源有効利用性」を有すること。

#### c. 経済性

燃料サイクル単価として 34 万円/kg・HM（再処理単価：18 万円/kgHM、燃料製造単価 16 万円/kg・HM）以下とすること。

#### d. 核不拡散性

FBR サイクル固有の特徴を考慮し、核物質の転用及び施設の不正利用に対して、国内外の現行燃料サイクル施設と同等以上の核不拡散性を持つこと。

### 4.2.2 革新技術

前述の設計要求を達成するために、図 5 に示す革新技術を導入した先進湿式法再処理システムと簡素化ペレット法燃料製造システムについて検討している。

### 4.2.3 検討スケジュール

設計研究については、安全設計や保守・補修、セル・建家概念といったプラント全体に共通する分野について合理化方策を検討した上で、要素技術開発の成果を反映した実用施設の概念検討を 2010 年までに実施する。要素技術開発については、2010 年に革新技術の採否判断に向けて技術的成立性を明らかにするための研究開発に関して特に重点をおいて進めている。

また、2010 年に第二再処理施設に関する国での議論が始まることから、関係者と連携しつつ、軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期における再処理施設のあり方についての検討及び技術情報の整理を進めている。（図 6）

### 4.2.4 計画の進捗状況

革新技術の研究開発進捗状況を表 5 に示す。これまでのところ、再処理技術開発においては、プロセス開発を主眼とした小規模試験（ウラン～ホット試験）及び機器開発のための部分的な工学規模試験（コールド～ウラン試験）を実施中であり、システムや装置全体を対象とする規模の大きな工学規模試験（コールド～ウラン試験）については試験設備の設計、整備が進められおり、新たな課題への対応の為の修正をかけつつ、全体としては 2010 年に向けて計画通りに進捗している。燃料製造技術開発においては、燃料基礎物性の研究や小規模工学試験を実施中であり、小規模 MOX 試験を行うための設備整備も進めた。しかしながら、実証炉燃料製造へ早期に反映すべき技術の整備等燃料製造技術開発の優先順位を見直す必要性が生じていることから、今後の計画について検討を行っている。

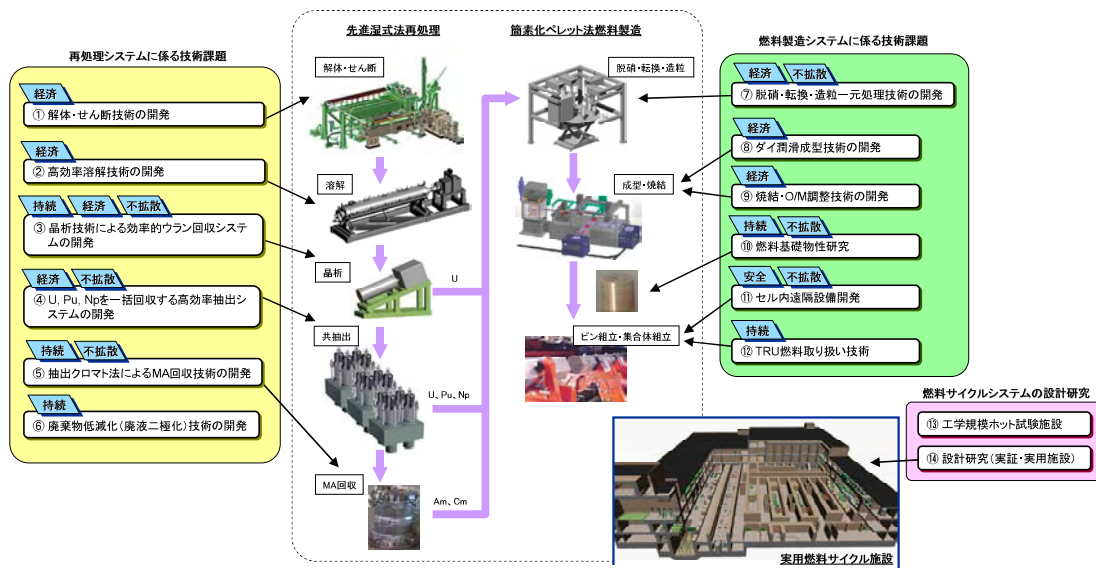


図5 検討する革新技術

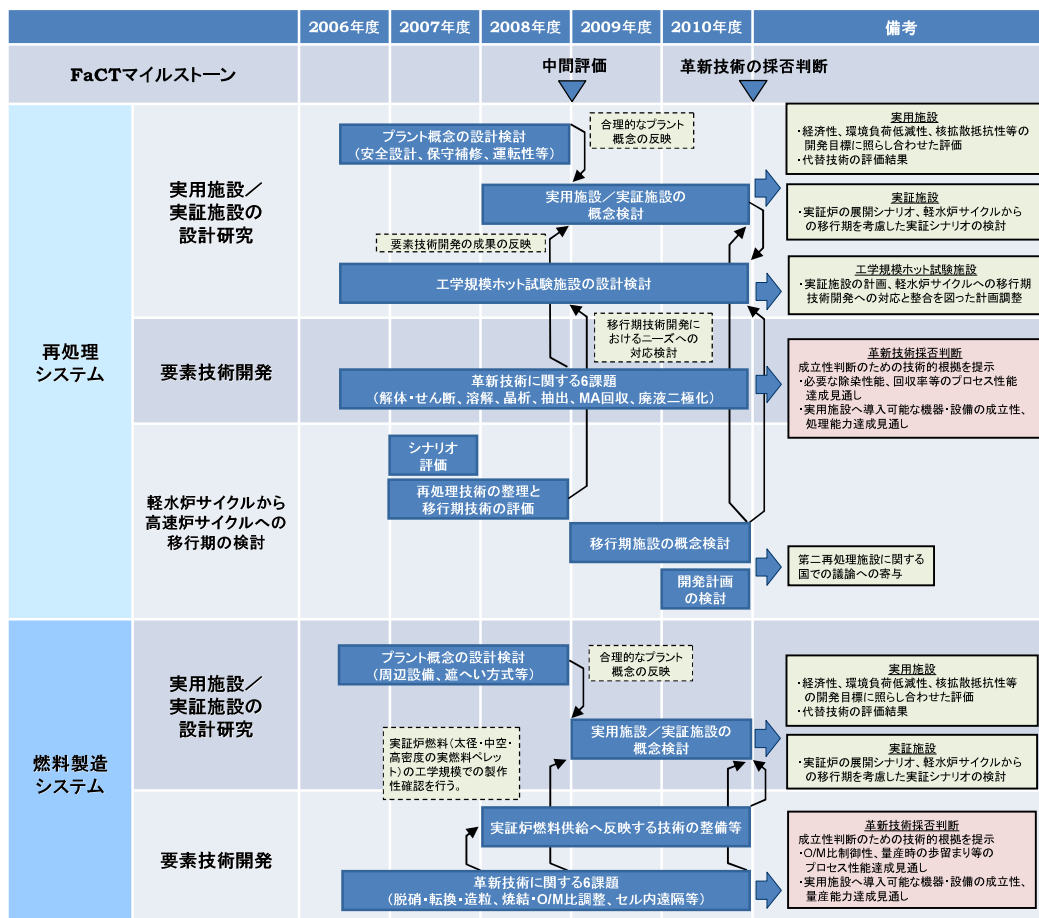


図6 検討スケジュール

#### 4.2.5 検討結果の概要

##### (1) 再処理システムに関する主要な検討結果

###### a. プロセス

###### ① 解体・せん断 （関連する革新技术：図 5 ①）

解体技術開発として、候補となる機械式切断工具について PNC-FMS 鋼及び ODS 鋼の切断試験を実施し、工具の寿命及び切断時間を評価した。解体システム試験装置については装置製作を完了し、基本的な作動確認より一連の解体手順を問題なく実施できることを確認した（図 7）。短尺せん断技術開発として、パラメータ試験用の簡易マガジンと既存のせん断試験装置を使用し模擬燃料ピンのせん断試験を実施し、燃料ピンを 1cm 程度の間隔で切断する方法とその操作条件を取得した。今後、これらの試験結果に基づくシステム試験を行い、制御技術、集合体及び燃料ピンハンドリング技術に関するデータの充実に図る。



図7 解体システム試験装置

###### ② 溶解 （関連する革新技术：図 5 ②）

粉化燃料を模擬したウラン燃料を用いてパラメータ試験を実施し、安定的な溶解を行うための温度、硝酸濃度等のプロセス条件を評価した。さらに、使用済燃料片を粉碎して得られた粉末燃料を使用して溶解試験（小規模ホット試験）を行い、燃料粉粒度が溶解速度に及ぼす影響を評価した。連続溶解槽開発について、化学的及び物理的因子に基づくスケールアップ性の検討や軸受耐久性、材料腐食性の評価を行った。今後、ホット試験を積み重ねてデータの充実に図ると共に、U 試験装置の製作・試験を通して装置仕様の具体化を進める。

###### ③ 清澄 （関連する革新技术：図 5 ②）

清澄後に再析出し工程に悪影響を及ぼすと懸念されている二次スラッジについて、その代表的なものと考えられているモリブデン酸ジルコニウムに関する基礎化学的な試験を行い、生成条件を明らかにした。

###### ④ 晶析 （関連する革新技术：図 5 ③）

目標とする U 回収率、DF を達成するため、溶解液からのウラン晶析時における不純物の同伴挙動について小規模ホット試験を行い、晶析条件の最適化に必要なデータを取得した。一部 FP について目標とする除染係数を達成できる見通しを得るまでには至っていないため、今後更にデータ取得を継続すると共に FP 同伴挙動に関するより詳細な評価を行い、解決策を検討する。晶析装置開発として、既存の小型工学規模連続晶析試験装置を用いたウラン試験にて安定運転性能・非定常時挙動等の装置特性を把握した（図 8）。さらに、軸受構造、冷却システム、計装制御システム、遠隔保守方法及び臨界設計について検討した。今後、その検討結果について要素試験を行い、有効性を確認する。



図8 小型工学規模連続晶析装置

### ⑤ 抽出（関連する革新技術：図 5 ④）

使用済燃料溶解液を使用した小規模ホット試験を行い、HM 回収率、除染性能の確認及び Np 挙動の評価をし、目標とする性能の達成見通しを確認した。今後、ホット試験を積み重ねてデータの充実を図る。遠心抽出器を多段に組んだ工学規模ウラン試験設備を使用して抽出、逆抽出、溶媒洗浄の試験を行い、運転特性データを取得した。遠心抽出器の耐久性向上を目的とした、磁気軸受の開発及び耐久性試験を実施し、コールド環境（硝酸環境）において 5000 時間の耐久性試験を実施した。今後、その結果から部品毎の劣化具合を評価して最終的な耐久寿命の予測を行い、耐久性目標（10 年以上）についての見通しを立てる。

### ⑥ 溶媒洗浄（関連する革新技術：図 5 ⑥）

ソルトフリー試薬の分解生成物に関する挙動評価や、分解生成物による装置構造材腐食性検討を行い、分解生成物による安全上の重大な問題はないことを確認した。

### ⑦ MA 回収（関連する革新技術：図 5 ⑤）

候補となっている吸着材を対象として分離性能の比較・評価を行い、吸着材の選定に資するデータを取得した。

また、耐酸性・耐 $\gamma$ 線性評価試験、吸着材劣化物の熱的安定性評価試験や耐 $\alpha$ 線性評価試験等を行い、吸着材の安全性に資する基礎データを取得したが、吸着材を決定するには至っていない。今後もデータの充実を図ると共に、有望な吸着材の探索にも努める。工学規模の抽出クロマト要素試験により装置内流動特性や、安全性に係わる温度特性（熱物性）を取得し、定常運転時における運転温度を供給液用加熱ヒータや温度調整ジャケットにより安定に確保する方法を確認した（図 9）。今後は、異常時を想定した安全性試験や耐久性試験を行い、システムの成立性確認を行う。



図 9 抽出クロマト要素試験装置

### ⑧ 付帯設備

工程管理、計量管理に必要な分析設備について、自動化等による合理化を考慮した概念設計を実施し、分析設備の配置に必要な面積を算出した。FS フェーズⅡの実用施設概念では建設費低減を目的に貯槽類をコンパクト化したために頻繁なサンプリング及び分析が必要となり、その結果分析設備の負荷が高くなっていることが明らかとなった。

#### b. 安全

各プロセスの合理的な臨界安全設計についての検討を実施し、採用可能性な方策（燃焼度クレジットの採用やインライン計装による核物質濃度の管理等による機器設計条件の緩和、運転手順の迅速化など）を抽出し、技術的課題や施設設計に与える影響について整理した。

#### c. 保守・補修

稼働率向上の観点から、設備毎に稼働率に影響をおよぼす箇所を抽出し、多系列・多重化が必要となる工程・設備を洗い出し、多系列・多重化の考え方を取りまとめた。多系列化・多重化の考え方を取り入れた場合、建家容積は 4%程度、建設コストは 12%程度それぞれ増加すると見積もられた。

#### d. 建家

合理的な建家設計を目的として、FS フェーズⅡで採用した一体型建家との比較を行うために、



建家の耐震強度や建設費等を考慮した機能別建家について検討し、建家構成と設備の物量・配置の関係を整理した。建設コストの概算から一体型に比べて 10%程度のコスト増となることが分かった。

#### e. 工学規模ホット試験施設の設計検討

先進湿式法再処理の工学規模ホット試験施設として、建設中断中の RETF を改造して工学規模ホット試験施設を整備する場合の設計検討を実施し、試験機器の配置成立性 (図 10)、オフガス処理設備

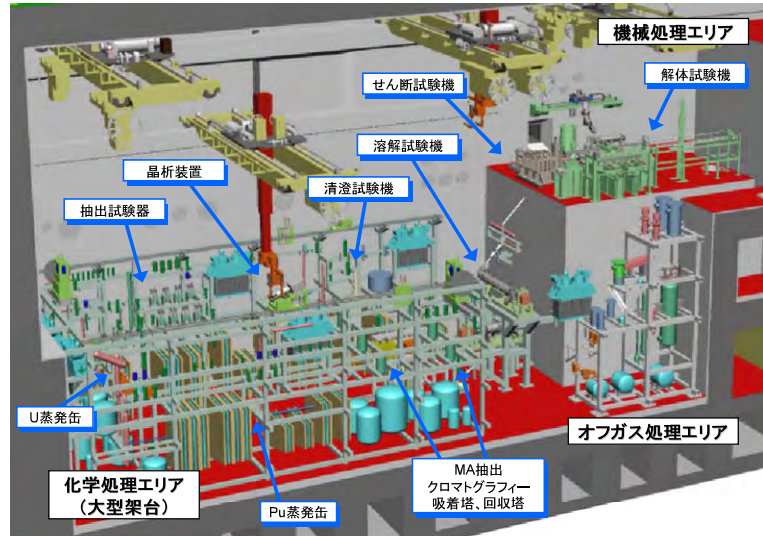


図 10 工学規模ホット試験施設 試験セル全体設備配置

等の周辺設備の負荷増大やセル貫通部増加に対する評価を行い、施設成立の条件を明らかにした。

### (2) 燃料製造システムに関する主要な検討結果

#### a. プロセス

##### ① 脱硝・転換・造粒 (関連する革新技术：図 5 ⑦)

これまでの実験室規模試験からスケールアップした小規模工学試験を実施し、プロセスの工学規模成立性見通しを得るために、小規模 MOX 試験の準備を進めている。また、量産設備の脱硝容器を選定するため、FS フェーズⅡ概念の円筒容器について、マイクロ波加熱時の沸騰挙動、処理時間、得られる粉末の品質等を比較する小規模のウラン試験を実施し、従来型の浅皿容器が有望との評価を得ている。設計検討の実施を含め試験結果を総合し、2010 年に見通しを得る。

転動造粒方式による造粒条件の検討については、小規模のコールド試験やウラン試験を実施し (図 11)、微粉末の飛散防止に有効な粉末の移し替えを必要としない脱硝容器と造粒容器の共用化に見通しを得ることができた。設計検討成、試験結果を総合し、2010 年に量産設備の見通しを得る。



図11 造粒試験結果

##### ② ペレット成型 (関連する革新技术：図 5 ⑧)

小規模 MOX 試験のために試験エリアの整備を実施している。さらに、「もんじゅ」燃料製造ラインを活用して工学規模環境下での遠隔保守概念成立性確認試験及びダイ潤滑プロセス確認試験を行うために、遠隔保守機構を一部採用したダイ潤滑成型試験の準備を行っている。これらの試験結果を総合し、2010 年に量産設備の見通しを得る。

##### ③ 焼結・O/M 調整 (関連する革新技术：図 5 ⑨)

焼結特性、O/M 調整に必要な固体の化学反応データ取得を目的とした小規模 MOX 試験を実施するため、試験エリアの整備を実施している。量産設備の検討は、臨界安全形状に基づく大型の焼結炉及び O/M 調整炉については開発見通しが困難と判明したため、質量管理による小型設備の検討を実施した。今後、詳細な経済性影響を評価し設備方式を選定する。また、低 O/M 維持に配慮



した保管対策及び量産技術開発の代替技術として、O/M 調整用のゲッター材（Zr、Ti）及び装荷方法（ペレット間にディスクを挿入する方式と、ライニング方式）の検討を行った。

#### ④ 集合体組立・新燃料貯蔵（関連する革新技術：図 5 ⑪、⑫）

除熱システム開発のため、燃料バンドルフルモックアップ試験装置を製作し、バンドル内温度分布データを取得した。また、熱流動解析に基づく評価ツールの整備を実施し、ピン・ワイヤ周りの解析結果が実験計測値と良く一致することを確認した。今後、除熱試験と空冷喪失時の温度上昇挙動を確認する。

#### ⑤ 付帯設備

工程管理、計量管理に必要な分析について、分析項目・分析頻度・分析方法の検討を行い分析設備の構成を明らかにしそれらを配置するのに必要な面積を算出した。また、一部の分析設備について、遠隔保守・自動運転対応を考慮した概念設計を実施した。

#### b. 保守・補修（関連する革新技術：図 5 ⑪）

モジュール交換方式によるペレット成型設備の概念設計を実施して設備概念を構築した。また、ペレット成型設備、ペレット寸法・外観・密度検査装置及び原料粉末の物性粉末分析装置について、コールド試験用の試作モジュールの設計を実施した（図 12）。セル内の保守用ハンドリング設備開発として、モジュール交換を行うための遠隔保守マニプレータ・システム及びペレット移送時のスタックトラブル等に対応するための保守用ロボットアーム・システム等の開発を実施した。

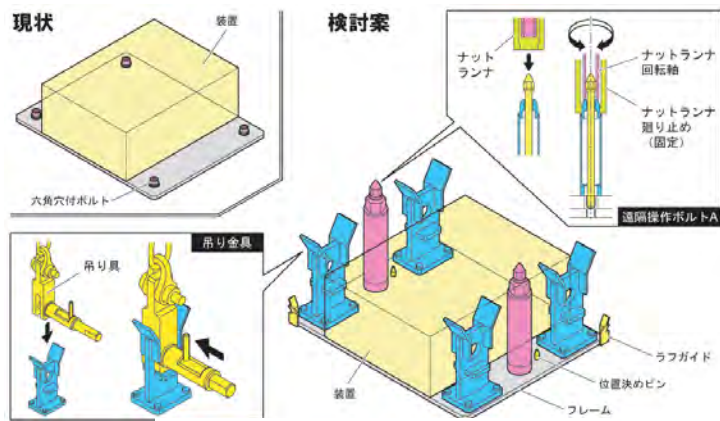


図12 モジュール構造の基本概念

#### c. 建家

施設遮へい設計等設備の多様性採用による遠隔保守プラント概念への影響を評価するため、小型セル+インナーボックス方式を採用したプラントの概念検討を行った。

#### d. 燃料基礎物性の研究（関連する革新技術：図 5 ⑩）

Np、Am 含有 MOX 燃料の融点、熱伝導率、酸素ポテンシャル等の基礎物性データの取得を行った。特に融点測定については新しい測定技術を開発し、得られたデータに基づき状態図を改訂し、燃料設計に精度のよいデータを取得できた。

#### (3) 軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期に関する検討

軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期間とその時期における燃料製造・再処理量に関する評価や、第二再処理工場で採用すべきプロセスの選定に向けた再処理技術の調査等を実施した。今後、これらの結果に基づいた施設概念の設計研究や開発ロードマップの検討などを関係者と協力しつつ実施し、2010 年頃からの国の検討に対して科学的知見を提供する。

#### (4) 副概念の技術開発状況（※）

##### a. 金属電解法（金属燃料再処理技術）

プロセス開発としては、U、Pu、Am を使用した試験により全体工程の物質収支の測定及び回収率を実測した。また、Phenix 照射済金属燃料を用いた電解精製試験の準備を進めている。機

器開発としては、電解精製装置、陰極処理装置及び抽出装置の工学規模の試験装置を開発し、U 及び模擬物質による試験を実施した結果、必要な処理能力等を有していることを確認した。

#### b. 射出鑄造法(金属燃料製造技術)

「常陽」照射試験に供する U-Pu-Zr 燃料スラグの小規模射出鑄造試験を実施し、U-Pu-Zr 合金燃料の均一性を確認するとともに、照射試験用の燃料スラグを製造する技術確立した。また、均質なMA含有燃料の製造可能性については、U-Pu-Np-Am-Zr 合金の組織観察や状態図評価を実施した結果、熔融時の相互溶解度などが解明されつつある。Np は U と類似した挙動を示すこと、Pu が共存すると U-Am の混合性が格段に向上することなどを確認した。2010 年度には均質なMA含有金属燃料の製造可能性を確認する予定である。

(※) 「独立行政法人日本原子力研究開発機構と財団法人電力中央研究所との高速増殖炉サイクル実用化研究開発に関する研究協力覚書」に基づく電力中央研究所からの開示技術情報及び共同研究の成果を含む。

#### 4.2.6 革新技術に関する成果目標の達成見通しについて

技術開発にあたっては、開発テーマ毎に 2010 年における革新技術の採否の為の成果目標を定め、それに向けた開発を実施している。現時点までに実施した検討・試験結果から幾つかの課題が明らかになったが、全体としてその目標達成が明白に困難であるとの判断に至っているものはない。今後とも計画に沿った研究を継続するとともに、その技術開発成果を反映して実用施設の概念検討を行い、技術開発成果が開発目標に与える影響について定量的な評価を行う。

#### 4.2.7 今後の計画について

##### (1) 再処理システム

要素技術開発については 2010 年の革新技術の採否判断に向けて計画通りに進める。設計研究については、要素技術開発の成果を反映させた実用施設の概念検討を 2009 年度から開始する。工学規模ホット試験については、利活用を考えていた施設のある東海再処理センターの耐震性確認作業（設計基準地震動の確定に必要な地盤調査等）の影響から、試験開始時期が 2015 年以降に遅れる見通しであるが、試験施設の設計検討成果は 2015 年の技術体系整備に反映できるものと考えている。なお、工学規模ホット試験計画については移行期に必要な技術の開発も考慮して今後の検討を進める。2010 年以降については、2015 年に向けて革新技術の採否判断結果に基づいた実用施設の概念設計を進めるとともに、それに必要となる要素技術開発についても継続する。

##### (2) 燃料製造システム

2010 年の革新技術の採否判断に向け当初計画に基づいて要素技術開発を進めていくが、2025 年頃の実証炉用燃料供給の観点から比較的早期に反映すべき燃料製造技術の整備等、環境に応じ喫緊の技術開発を最優先とし、開発の優先順位を見直していく。当初の 6 課題に加え、プルトニウム燃料第三開発室の燃料製造ラインを利用し、工学規模での FaCT 枢要技術の段階的実証、実用炉燃料を構成する高密度・太径・中空・Am含有等燃料高度化仕様の成立性確認、実証炉用燃料製造技術の整備等に向けた試験を既に開始している。また、2010 年以降についても安定運転に資するプロセス確証試験及び機器設備システム開発を継続し、2015 年提示の実用・実証施設概念に反映するものとする。

表5 燃料サイクルシステムの革新技术に関する研究開発状況

革新技术		検討状況と今後の見通し
①	解体・せん断技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>解体技術開発として機械式切断工具の寿命、切断時間の評価試験を実施。また解体システム試験設備を製作し、一連の解体手順を問題なく実施できることを確認。せん断技術開発として燃料ピンを <b>1cm</b> 程度の短尺でせん断する方法と操作条件を取得した。</li> <li>これまでに得られた成果に加え、工学規模の試験装置を用いたシステム試験、設計検討等を実施することで計画通り成果目標としている技術根拠を示せる見通しである。</li> </ul>
②	高効率溶解技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>ウラン試験により粉化燃料の安定的な溶解条件、ホット試験により粉化燃料の溶解速度を評価した。連続溶解槽開発としてスケールアップ性、軸受耐久性等に関する評価を実施した。</li> <li>これまでに得られた成果に加え、小規模での溶解試験、工学規模での試験、設計検討等を実施することで、計画通り成果目標としている技術根拠を示せる見通しである。</li> </ul>
③	晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>晶析条件最適化のためホットにウラン試験等により晶析時不純物同伴挙動を評価した。晶析装置開発のため、装置構造及び周辺設備の検討を行うとともに、小型装置を用いたウラン試験により通常運転時、非定常挙動等の装置特性を把握した。</li> <li>これまでの成果からは、一部の FP 元素について成果目標としている除染係数を満足させる結果が得られていないため、原因の解明と有効な対策を検討し、2010 年までに試験等を積み重ねて達成可能な条件を見いだすように努める。</li> </ul>
④	U、Pu、Np を一括回収する高効率抽出システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセス最適化のため、ホット試験により U・Pu・Np 一括回収プロセスの成立性（除染係数、HM 回収率）を評価した。遠心抽出器開発として多数基の抽出器を連結したウラン試験により運転特性データを取得した。また、遠心抽出器の耐久性向上のため磁気軸受の開発を実施中。</li> <li>これまでの成果に加え、一括回収プロセスホット試験、工学規模システム試験等を実施することで、計画通り成果要求としている技術根拠</li> </ul>
⑤	抽出クロマト法による MA 回収技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種抽出剤の分離性能、耐放射線性の比較評価試験を実施中。工学規模での要素機器試験により分離塔内流動特性や安全性に係わる温度特性データを取得した。</li> <li>これまでの成果だけでは成果要求への可否が判断できる状況にはないが、各種試験及び検討を当初計画通り進めることで 2010 年には成果目標の評価に必要な技術根拠を示すことができる見通しである。</li> </ul>
⑥	廃棄物低減化（廃液二極化）技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶媒洗浄でのソルトフリー試薬の分解生成物に係る挙動評価や装置構造材腐食検討を行い、安全上重大な問題はないことを確認した。</li> <li>オフガス洗浄工程・分析工程のソルトフリー化、余剰硝酸分解技術の検討を計画通り進めることで 2010 年には成果目標の評価に必要な技術根拠を示すことができる見通しである。</li> </ul>

⑦	脱 硝 ・ 転 換 ・ 造 粒 一 元 処 理 技 術 の 開 発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流動性の良い造粒粉末を得るプロセスの工学規模での成立性を見通しを得るため、小規模の MOX 試験設備の整備を進めている。2010 年には成果目標の評価に必要な技術根拠を示すことができる見通しである。</li> <li>・量産技術については、量産に適した手法選定を進めているものの、実証炉用燃料仕様(太径・中空・高密度ペレット)の製造技術の整備等開発展開の進め方を再検討する必要があることから、ウラン試験等によるデータの裏づけを十分にできない可能性があるが、設計検討成果を含め総合的な採否判断を 2010 年度に実施する。</li> </ul>
⑧	ダ イ 潤 滑 成 型 技 術 の 開 発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本技術の工学規模での成立性評価に向け、小規模 MOX 試験設備の整備が進められているものの、実証炉用燃料仕様(太径・中空・高密度ペレット)の製造技術の整備等開発展開の進め方を再検討する必要がある。小規模 MOX 試験によるデータの裏づけを十分にできない可能性がある。プルトニウム第一開発室における小規模 MOX 試験用設備の整備と平行して、プルトニウム第三開発室の F B R ラインにおいて工学規模の製造試験を実施準備中であるため、この成果等を踏まえ総合的に判断する。</li> <li>・ダイ潤滑成型については既に、模擬試料試験等で基本的な性能を確認しており、2010 年には成果目標の評価に必要な技術根拠を示すことができる見通しである。</li> </ul>
⑨	焼 結 ・ O/M 調 整 技 術 の 開 発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロセス技術開発については、小規模の MOX 試験設備を整備し、共用バッチ炉の試験データを 2010 年度中に得る予定であるが、裏づけとなる試験データを十分に整備できない可能性がある。これまでの基礎データ等を含め、採否判断を総合的に実施するが、焼結の目標とする高密度条件は、基本的にペレット製造特性が安定する方向であり、2010 年には成果目標の評価に必要な技術根拠を示すことができる見通しである。O/M 調整については、代替技術の検討を平行して実施する。</li> <li>・遠隔量産化技術開発としては、小規模工学試験の設計情報、連続焼結炉の設計検討等の成果を総合的に勘案し、量産化に適した方式選定及び量産化への見通しを提示する。</li> </ul>
⑩	燃 料 基 礎 物 性 研 究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MA や FP を含む MOX 燃料の基礎物性(融点、熱伝導率、酸素ポテンシャル、状態図など)を測定、評価し、データを整備した。</li> <li>・基盤的な技術であるため成果目標は設定していないが、MA を含む MOX 燃料の物性データが拡充できる。</li> </ul>
⑪	セ ル 内 遠 隔 設 備 開 発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠隔保守共通システム技術を開発するため、モジュール分割可能な成形設備の概念を構築し、性能及び設備保守性を確認中。また、実工程環境の成立性を確認するため、工学規模の高除染燃料製造を通じて遠隔モジュール型設備の性能、運転・保守性を確認中。</li> <li>・コールドモックアップ試験を経て、成果目標とするセル内遠隔保守設備の共通システム概念を提示できる見込みである。</li> </ul>
⑫	TRU 燃 料 取 扱 い 技 術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料集合体の組立時の除熱システムの成立性確認について、2010 年のクライテリアを『集合体組立設備の発熱影響対策として、燃料要素バンドルの冷却システムを開発し、コールドモックアップによる技術的根拠と共に提示されること』として開発を進めている。</li> <li>・コールドモックアップ試験および評価モデル開発を経て、成果目標とする除熱システムの技術根拠を提示できる見込みである。</li> </ul>

## 5. まとめ

これまでの「FBR サイクルの実用化戦略調査研究 (FS)」に引き続き、2006 年から主概念に開発対象を絞って「FBR サイクル実用化研究開発 (FaCT)」を開始した。

この開発を効果的、効率的に進めるために国内及び原子力機構内の実施体制が見直された。国内においては国と産業界との協力体制（五者協議会）を構築し、ここで研究開発の進め方や関連する検討が行われている。原子力機構内においては、理事長を本部長とする一元的な推進体制を構築し、また組織の横断的な連携も強化した。さらに、大学や産業界の専門家との情報交換も実施するなど FBR サイクル実用化に向けての相応しい研究開発体制が整いつつある。

国際協力においては効率的な開発や世界標準技術の確立のために、実証炉に向けた日仏米の三国協力を基軸として多様な国際協力体制を構築し、共同研究や情報交換を行っている。

このような環境下において原子力機構では、炉システム及び燃料サイクルシステムそれぞれについて、革新技術の研究開発と設計研究を実施してきている。

炉システムについては、革新技術の研究開発と設計研究の両者を連携させて進めており、概ね計画通りに進捗している。これまでの検討の結果、設計に影響する可能性のある課題が抽出されたが、技術開発方法の見直しや設計オプションの追加検討等の対応策を講じることにより対処している。これにより、革新技術の成果目標（クライテリア）については、達成可能な見通しである。2010 年において革新技術の成立性を判断するための情報及び実用炉・実証炉のプラント概念を提示するために、今後も研究開発及び設計検討に計画的に取り組んでいく。また、国際協力を活用して、設計要求の共通化を図っており、今後はインフラの共同利用や共同研究の活用を図る考えである。

燃料サイクルシステムについては、革新技術の研究開発を中心に進めてきており、これまでの結果から幾つかの課題は明らかになっているものの、全体として目標達成がほぼ見通せる状況になりつつある。今後も炉システムと同様に 2010 年において革新技術の採否を適切に判断するために、計画に沿った研究開発を継続する。設計研究については、革新技術開発の成果を反映させた実用施設の概念検討を 2009 年に着手する。この検討において技術開発成果が開発目標適合性に与える影響の定量的な評価を行う。

FaCT プロジェクトの推進においては、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展に柔軟に対応し、また実用化までの技術継承や国民への理解も配慮していく。そして、2010 年には FaCT プロジェクトの国レベルの評価を受け、その結果に基づいて FBR サイクルの革新技術の研究開発と実証施設、実用施設の設計検討を進める。

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp