



研究開発・評価委員会の経緯と FaCT中間取りまとめの反映先

平成20年11月21日
(独) 日本原子力研究開発機構

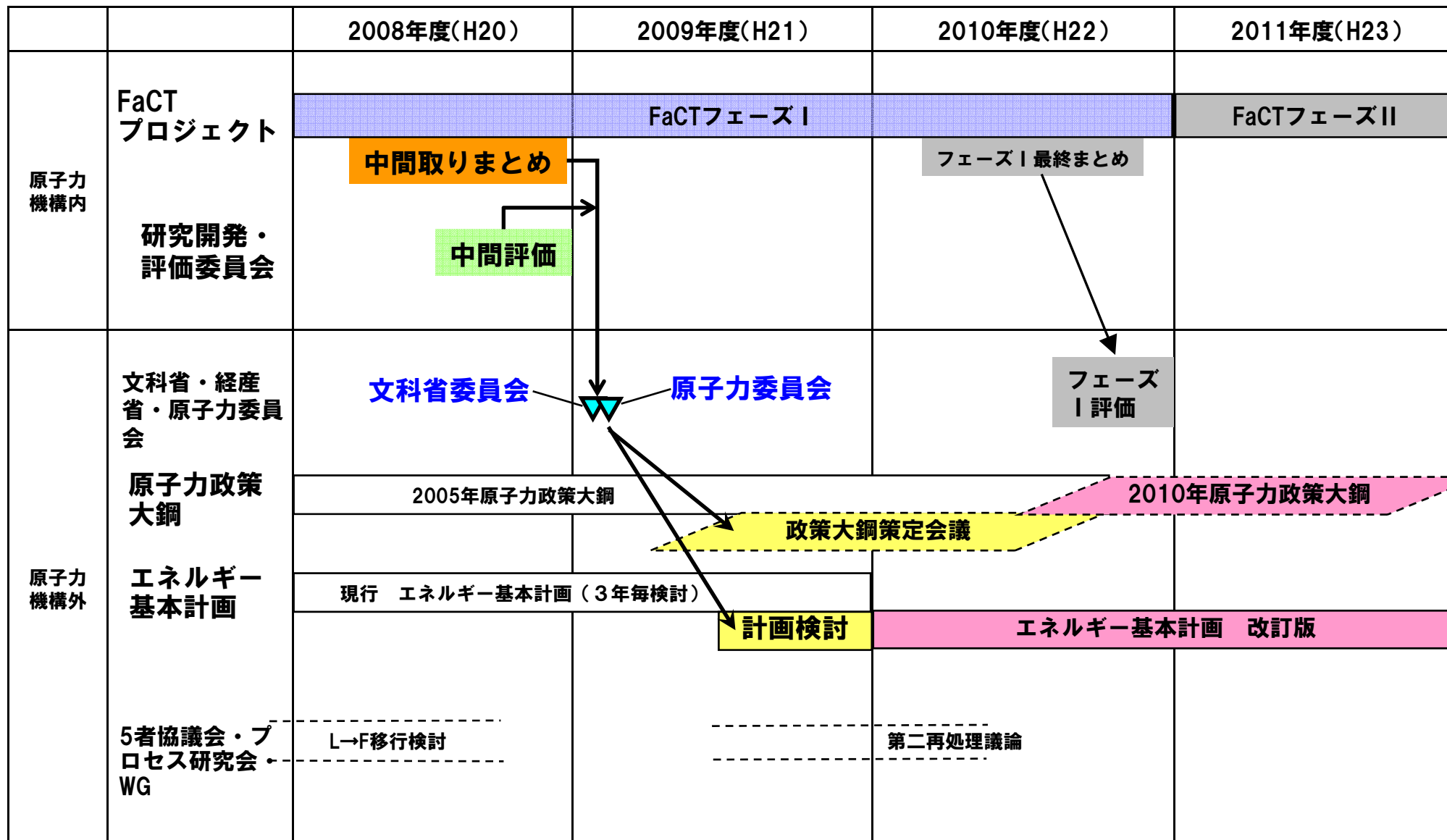


研究開発・評価委員会の評価課題と経緯

年度	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
FBRサイクル実用化戦略調査研究 (FS)	事前評価 ★	中間評価 ★	中間評価 ★			中間評価 ★						
	フェーズ I		フェーズ II						国の評価			
FBRサイクル実用化研究開発 (FaCT)									中間評価 ★	中間評価 ★		
										FaCT		
高速増殖炉「もんじゅ」									改造工事	プラント確認試験	性能試験	臨界
「もんじゅ」における研究開発										事前評価		



FaCT中間取りまとめの反映先



高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCTプロジェクト) に関する中間評価における評価方法 (案)

平成20年11月21日

次世代原子力システム/核燃料サイクル
研究開発・評価委員会

プロジェクトレビュー／マネジメントレビュー (1)

原子力委員会 声明・見解

「国家基幹技術としての高速増殖炉サイクル技術の研究開発のあり方」(抜粋)
(平成18年7月11日)

- ◆ この研究開発の中核的实施機関である日本原子力研究開発機構には、第1に、その研究開発活動が、その知識ベースを世界規模に維持しながら、その組織の全ての能力を効果的に活用して高い品質で行われるようにする責任がある。
- ◆ この責任を果たすためには、取り組むべき課題に対する取組の担い手や取組方法が資源の最も効果的な活用の観点から妥当であることを、たとえば複数の取組提案の相互比較を当該分野の専門家を含む学識経験者の集団に求めるなどして保証していく、**プロジェクトレビュー**をまず充実させるべき。
- ◆ 取組の進捗状況や成果に関する担当者的上司による評価や学会等におけるそれらの報告に対する同業者批判を効果的に活用する他、分野毎に国内外の専門家、成果の顧客からなるチームを設け、研究開発活動の妥当性評価を求めるなどして、取組が適切に推進されることを保証していく**マネジメントレビュー**を充実させるべき。

プロジェクトレビュー／マネジメントレビュー (2)

『高速増殖炉サイクル技術の今後の10年程度の間における研究開発に関する基本方針』（抜粋）

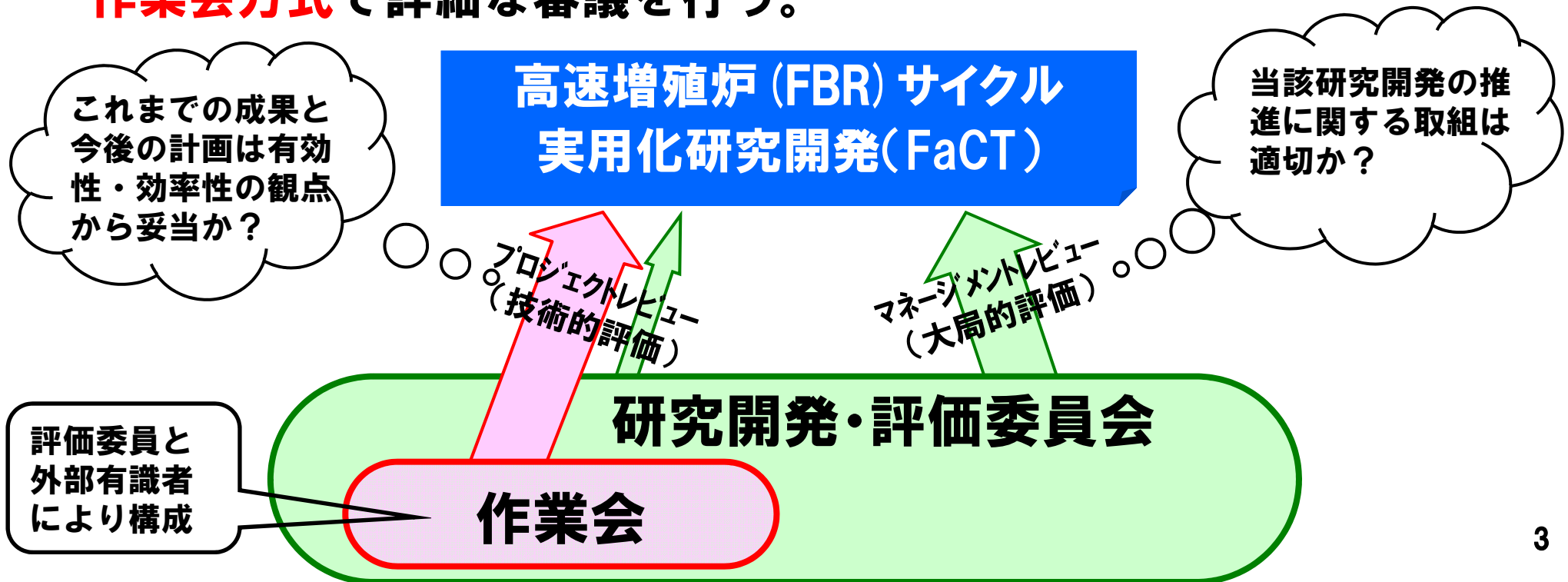
平成18年12月26日
原子力委員会決定

5. 国及び研究開発期間は、それぞれの取り組みを進めるに当たって、以下に示す事項に配慮する。

(4) 研究開発活動の中核組織である原子力機構は、研究開発成果が性能目標を満足する可能性についての国内外の専門家によるレビューを実施するとともに、**プロジェクトレビュー及びマネジメントレビュー**を行う体制の充実を図り、レビュー結果を研究開発の計画や計画の進め方に反映すること。

二種類の評価

- 2008年までの成果を踏まえ、
 - ・ **プロジェクトレビュー [技術的評価]**
 - ・ **マネージメントレビュー [大局的評価]** (開発管理、組織、体制、要員など)を実施する。
- プロジェクトレビューについては、委員会活動の一環として **作業会方式**で詳細な審議を行う。



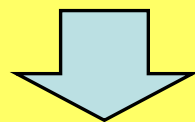
評価を受ける範囲

- 国の評価では、高速増殖炉（FBR）サイクル実用化研究開発のロードマップについて「社会状況や研究開発の進展に対する柔軟性に対応するため**2010年、2015年の評価で再検討する**」とされている。
- さらに「**2010年までの研究開発成果**を踏まえて、採用する革新的な技術を**高い確度**の**見通し**を持って決定し、**その後の概念設計に反映させる**」としている。
- 次期の国の政策や計画の検討が予想される来年度を好機と捉えて、これまでの成果を国の方針の議論・策定の場に示し、FaCTプロジェクトの継続とステップアップの必要性について認識頂くことを目的として「**FaCT中間とりまとめ**」を実施した。

評価を受ける範囲

（前回の評価委員会：2006）

- ◆ FBRサイクル実用化研究開発に係る2010年までの計画及びその進め方



（今回の評価委員会：2008）

- ◆ 2008年までの研究開発成果
- ◆ 2008年以降（2010年まで）の計画及び進め方

評価の観点と視点の整理

- 研究開発・評価委員会での評価は大綱的指針*に則して実施。
- 国による評価では、前回の中間評価以降の研究開発の進捗、情勢の変化を踏まえて、今後の研究開発方針がとりまとめられ、「**必要性**」の観点は既に考慮されている。
- 研究開発・評価委員会による評価の観点は、これまでの成果及び今後の計画とその進め方の「**有効性**」および「**効率性**」がポイント。

* 「必要性」「有効性」「効率性」の3つの観点について、各々評価の視点を例示

評価の観点	評価項目	視点	中間評価	技術的評価	大局的評価
有効性の観点	見込まれる成果への期待／成果の有効性	目標の実現可能性や達成のための手段の存在	●	◎	
		目標達成度	●	○	
		新しい知の創造への貢献	●	○	
		(見込まれる)直接の成果の内容	●	◎	
		(見込まれる)効果や波及効果の内容	●	○	
		研究開発の質の向上への貢献	●	○	
		実用化・事業化の見通し	●	◎	
		行政施策実施への貢献	●		◎
		人材の養成	●	◎	○
効率性の観点	研究開発計画の妥当性	計画・実施体制の妥当性	●	◎(計画)	◎(体制)
		目標・達成管理の妥当性	●		◎
		費用構造や費用対効果の妥当性	●	◎	
		研究開発の手段やアプローチの妥当性	●	◎	

◎：重点的な視点として評価、○：一般的な視点として評価

プロジェクトレビューと評価の視点

- 主概念を成立させるために必要な革新的な技術に関し、**原子炉システム13項目、燃料サイクルシステム12項目**（再処理6項目、燃焼製造6項目）の課題が挙げられている。
- プロジェクトレビューでは、
 - ▶ **革新技術（原子炉と燃料サイクル）及びその成果を統括した設計研究（原子炉）の2008年までの研究開発成果**
 - ▶ **今後の見通し・計画の妥当性（課題への取り組み）**について以下の観点で評価する。

- ▶ 革新的な技術の採用判断基準は適切か
- ▶ 目標の実現可能性（革新的な技術の採用決定が可能か）
- ▶ 研究開発の手段やアプローチ（課題への取り組みは妥当か）
- ▶ 今後の計画の妥当性

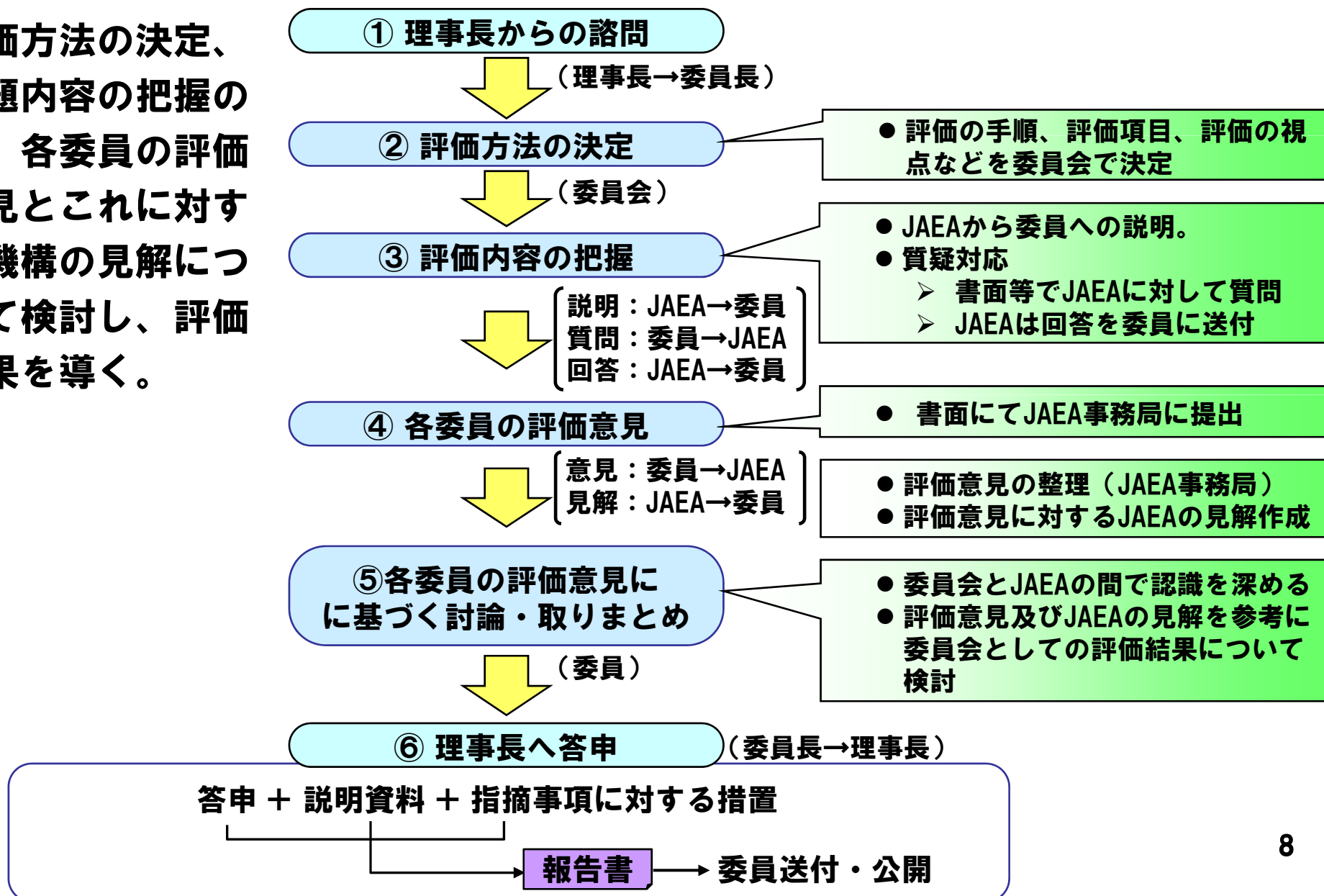
マネージメントレビューと評価の視点

- マネージメントレビューでは、主として**研究開発の推進の取組みの妥当性**を評価する。
- 予算も拡大し、エンジニアリングを集積するFBR開発会社が事業を開始するとともに、国際協力も進展するなど、実用化に集中した研究開発を進めている。
- FBRサイクル実用化研究開発の取組みについて、以下の観点で評価する。

- ▶ 実施体制（評価体制、目標達成管理、効率的開発）
- ▶ 国際協力体制
- ▶ 研究開発資源（予算、要員）
- ▶ 品質保証と知識基盤整備
- ▶ 人材育成（技術継承）
- ▶ 費用対効果

評価作業の流れ

- 評価方法の決定、課題内容の把握の後、各委員の評価意見とこれに対する機構の見解について検討し、評価結果を導く。

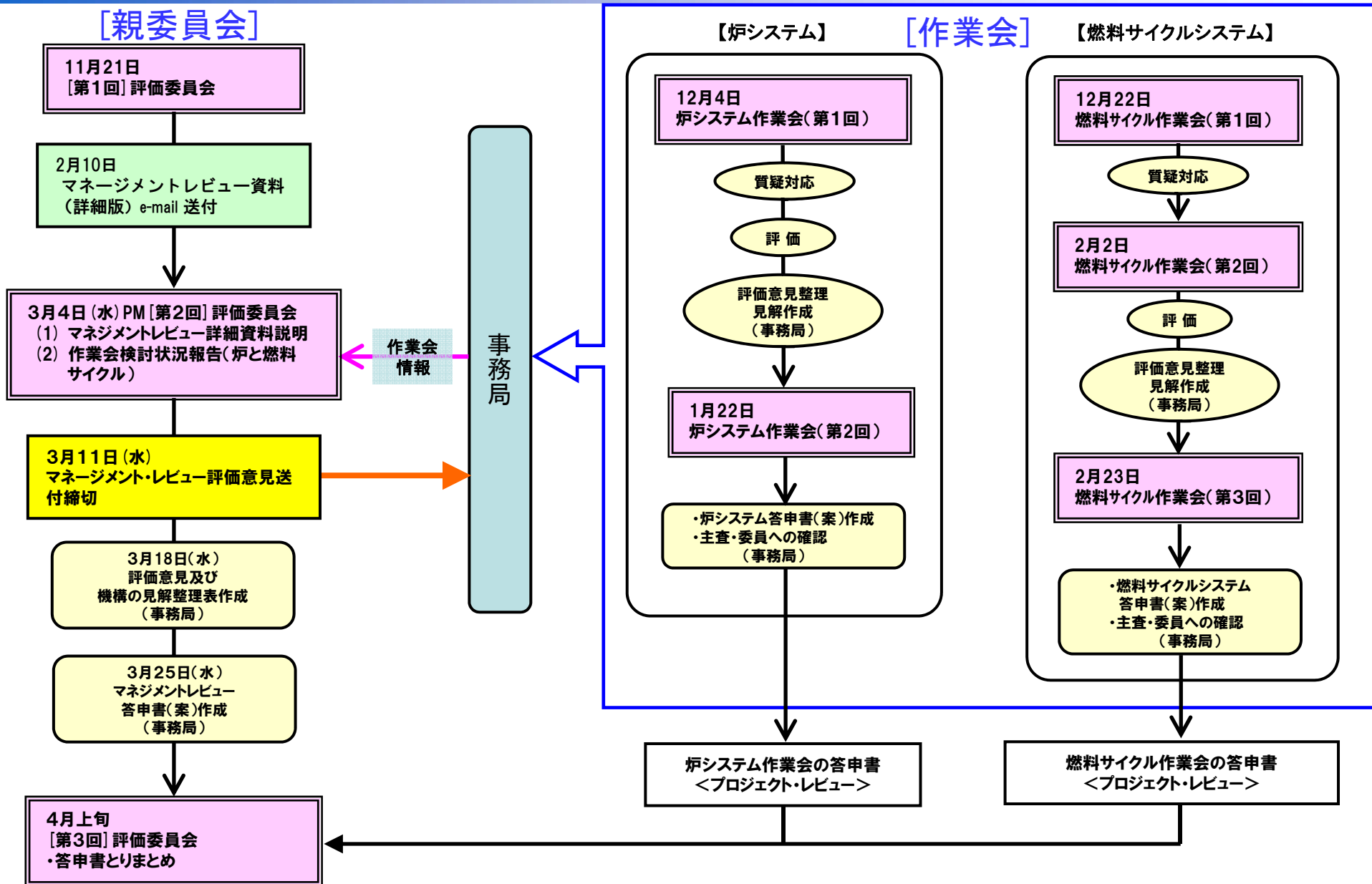


参考：大綱的指針に基づく評価の視点の例

評価の観点	評価項目	視点	事前	中間	事後	追跡
必要性の観点	科学的・技術的意義	独創性	●	●(変化)		
		革新性	●	●(変化)		
		先導性	●	●(変化)		
		発展性	●	●(変化)		
	社会的・経済的意義	産業・経済活動の活性化・高度化	●	●(変化)		
		国際競争力の向上	●	●(変化)		
		知的財産権の取得・活用	●	●(変化)		
		社会的価値の創出	●	●(変化)		
		国益確保の貢献	●	●(変化)		
	国費を用いた研究開発としての妥当性	政策・施策の企画立案・実施への貢献	●	●(変化)		
		国や社会へのニーズへの適合性	●	●(変化)		
		機関の設置目的や研究目的への適合性	●	●(変化)		
		国の関与の必要性・緊急性	●	●(変化)		
有効性の観点	見込まれる成果への期待／成果の有効性	他国の先進研究開発との比較における妥当性	●	●(変化)		
		目標の実現可能性や達成のための手段の存在	●	●		
		目標達成度		●	●	
		新しい知の創造への貢献		●	●	●
		(見込まれる)直接の成果の内容	●	●	●	
		(見込まれる)効果や波及効果の内容	●	●	●	●
		研究開発の質の向上への貢献		●	●	●
		実用化・事業化の見通し		●	●	●
		行政施策実施への貢献		●	●	●
効率性の観点	研究開発計画の妥当性	人材の養成		●	●	●
		知的基盤の整備への貢献		●	●	●
		計画・実施体制の妥当性	●	●		
		目標・達成管理の妥当性	●	●		
		費用構造や費用対効果の妥当性	●	●		
		研究開発の手段やアプローチの妥当性	●	●		

研究開発・評価委員会のスケジュール（FaCT中間取りまとめ）

資料3-3



高速増殖炉サイクル実用化研究開発(FaCT プロジェクト) 2008 年中間取りまとめ(要約版)

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

原子力機構と日本原電が協力して実施した「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 年度 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。

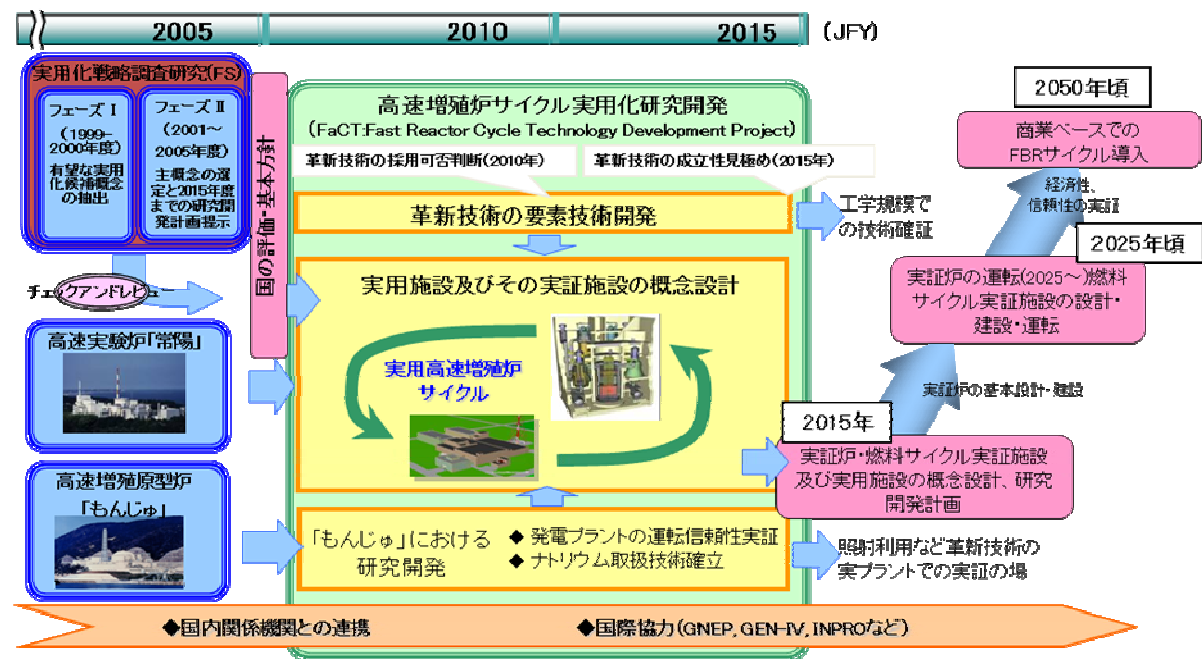


図 1 FBR 実用化までのステップと FaCT プロジェクトの概要

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るべき項目として、「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。

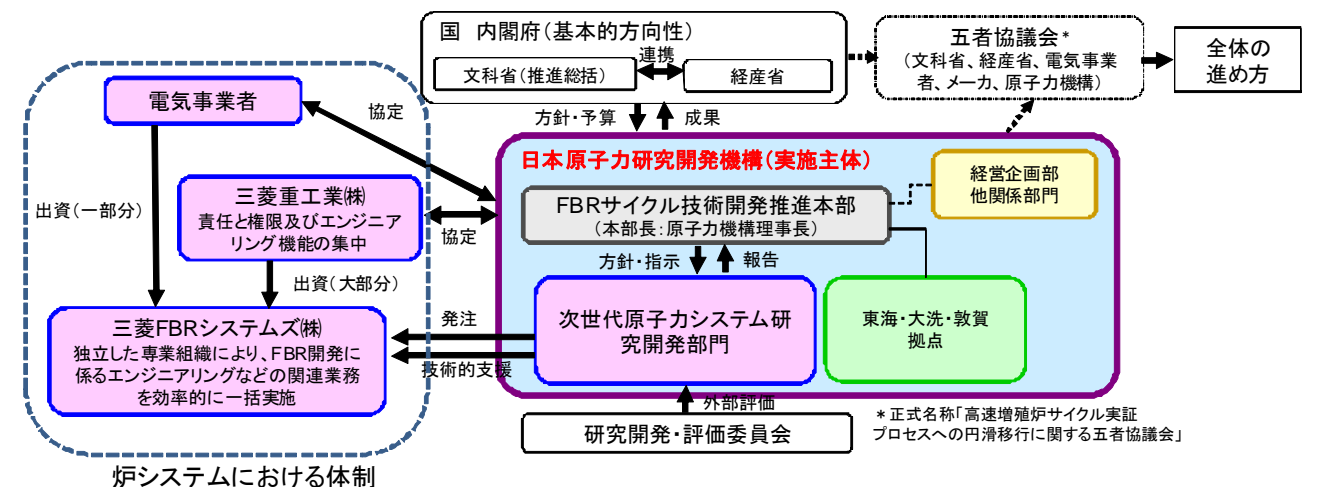


図 2 FBR サイクル開発の推進体制

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>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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
持続可能性	環境 保全性	<p>平常時の放射線の影響</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>環境移行物質の抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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
	廃棄物 管理性	<p>廃棄物の発生量の低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>廃棄物の質の向上</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>潜在的有害度の低減</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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
	資源有効 利用性	<p>増殖比</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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
経済性		<p>発電原価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>投資リスク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>外部コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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
核不拡散性		<p>核不拡散</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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 <p>核物質防護のシステム設計と技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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

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。

4.1.2 革新技術

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術を採用できるよう技術開発を進めている。また、これら革新技術の幾つかは、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。また革新技術開発については、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

革新技術の進捗状況を表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術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。

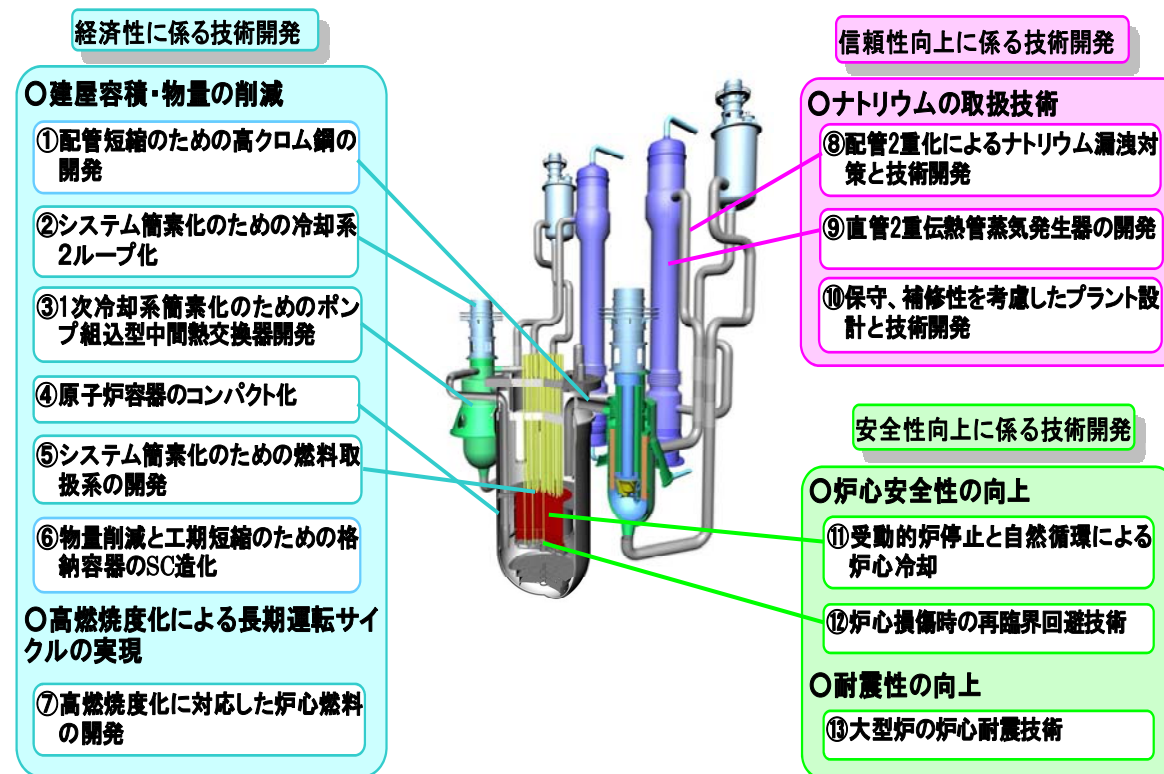


図3 炉システムの革新技術

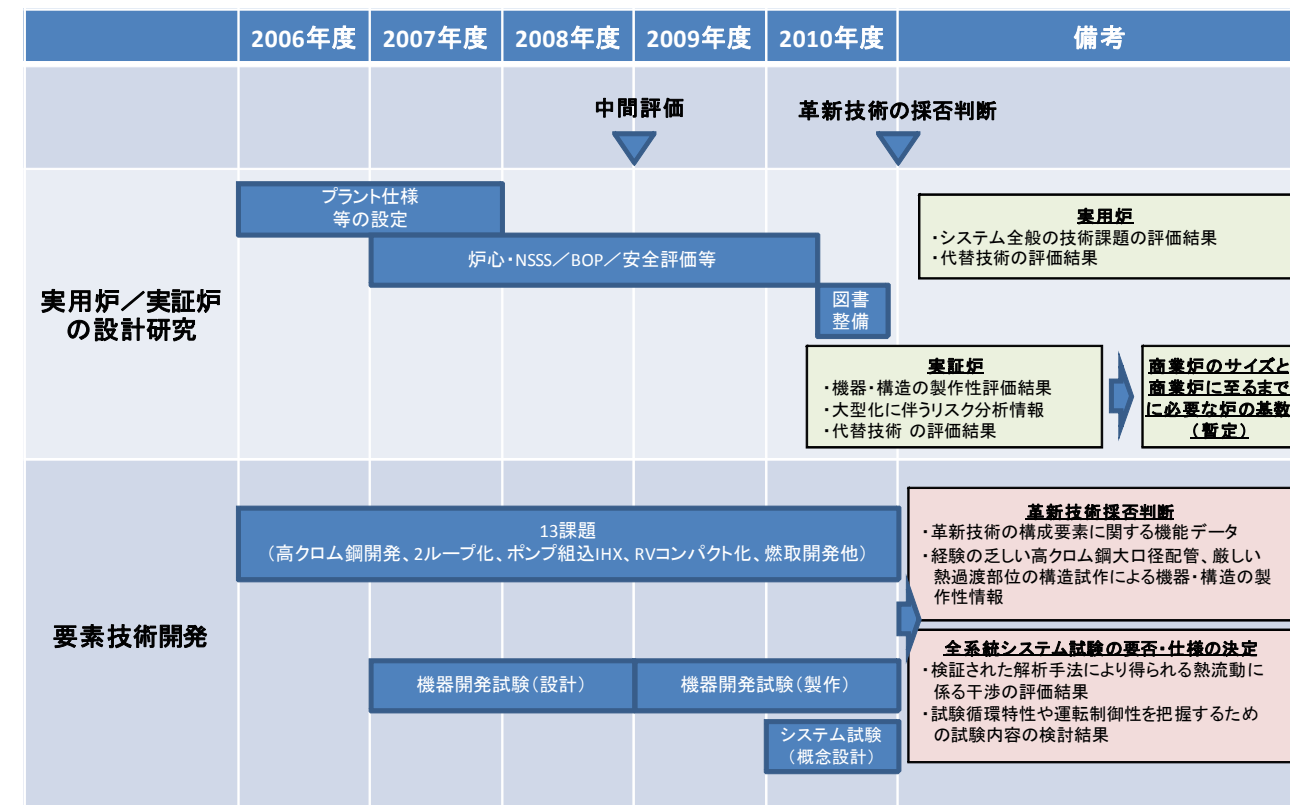


図4 炉システムの検討スケジュール

(2) 主要な検討結果

a. 安全設計 (関連する革新技術：図3 ⑪、⑫、⑬)

採用革新技術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 (関連する革新技術：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。（表4参照）

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。（表4参照）

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。（表4参照）

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。（表4参照）

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ため、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。

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"> 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。 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。 12Cr 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。
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"> 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。 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。
③	1次冷却系ポンプ組込型 IHX 開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
④	原子炉容器のコンパクト化	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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。
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"> 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の概念検討を進め、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。 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。
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"> 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。 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。
⑦	高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 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。
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"> 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。 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。
⑨	直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。 長尺密着2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。

革新技術		検討状況と今後の見通し
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"> 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。 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9Cr 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。
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"> 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。 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。
⑫	炉心損傷時の再臨界回避技術	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
⑬	大型炉の炉心耐震技術	<ul style="list-style-type: none"> 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。

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°C/395°C、2次系：520°C/335°C
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)

表4 設計に影響する可能性がある主要な課題（炉システム関連）

対象	課題	設計影響	対応方針
原子炉構造	<p>【①耐震条件の見直しに伴う原子炉容器の板厚増加】</p> <ul style="list-style-type: none"> 中越沖地震を考慮した地震条件を用いて評価した結果、炉容器板厚が従来の30mmから、60mm（実用炉）、50mm（実証炉）へ増大。 原子炉容器壁厚さの増加による物量増加と大型リング構造の成立性（液面近傍での応力増加） 	<ul style="list-style-type: none"> ホットベッセル概念を成立させるには、起動日数を3日程度に延ばすか、評価手法の高度化や材料データの充足が必要。 保守的な評価手法で起動日数を1日以内にするには炉壁保護構造に変更する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 板厚増加に対してホットベッセル概念を成立させるために必要なプラント運用、評価手法の高度化、材料データの充足方法、原子炉容器の製作性、許認可見通し等について明確にする。 炉壁保護構造の具体化、炉内流量配分等の観点で炉壁保護構造が成立するかの検討、熱応力低減効果、許認可見通しについて検討し、炉壁保護構造の利害得失を明確にする。 耐震設計の検討を進めるにあたっては、水平免震装置の性能向上（変位量の抑制）、炉心耐震研究による燃料集合体の飛び上がり評価の緩和効果、原子炉容器の製作性なども含め合理的な炉容器板厚を検討する。 2010年段階で、ホットベッセル概念か炉壁保護構造か設計判断できるように、上記内容を具体的に検討していく。設計判断においては、物量、製作性、起動日数などの影響を評価した上で判断する。
冷却系配管	<p>【②炉容器液面部の大型リング鍛造品製作性確認の問題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ホットベッセル概念を成立させるには高応力部位となる原子炉容器液面部はリング鍛造とすることが必要。 150万kWeの大型炉を実現するには、大型リング鍛鋼品を高い品質で製造するための技術課題がある。この製造性について実証炉規模の製造試験を計画していたが、ミルメーカの設備容量上の限界などにより2015年までに実施することが困難な状況になってきた。 	<p>大型リング鍛鋼品が製造できない場合には、液面部に縦溶接を設ける設計に変更する。その場合は許容応力が低下するので、炉壁保護構造を採用する必要がある。さらに、溶接部追加に伴う検査対象箇所が増加し、検査期間が稼働率に影響する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実規模の試作試験により直接的な試験データを得ずに、ミルメーカによる製作上の課題検討および小規模な材料試験等によって大型リング鍛鋼品の製作見通しを検討できるよう、引き続き検討を進める。 炉容器支持フランジ部については、口径が大きく既設設備での対応が難しいために、分割リング構造として検討を進める。 炉心支持スカート接続部内側については、鍛鋼物量が少なく鍛鋼もし易く、製作上の課題はない見込み。炉心支持スカート接続部外側については、一体リング製作が可能か、分割リング+縦溶接部の検査で対応すべきか検討を進める。 板材+縦溶接構造を採用する場合は、炉壁冷却構造が必要になる可能性が高く、その場合は、物量増加に伴うプラント建設費増加、保守・補修性に関する見通しも同時に明確にする。
	<p>【①TYPE-IVき裂による溶接継手クリープ強度の低下懸念】</p> <p>600℃を越える高温条件で使用される火力配管で経験されてきた「TYPE-IVき裂」は、FBRの温度条件(550℃)では発生する可能性は低いと考えてきた。しかし、ASME Sec. Iの火力対応WGでは、改良9Cr鋼の配管軸方向溶接部は510℃以上では一律強度低減率0.5を乗じる内容の追補版を本年7月に発行する見込みとなったこと、物質・材料研究機構の材料試験で留意すべきデータが取得され、FBRの温度条件でTYPE-IVき裂の発生懸念が惹起された。</p>	<p>現在の設計温度条件(550℃)で設計寿命60年の間にTYPE-IVき裂の発生可能性を排除できない場合は、主配管の設計温度を20-40℃程度低下させて、その発生可能性を排除した設計を構築していく必要があるが、それにより熱効率の低下と熱交換器物量が増加。</p>	<ul style="list-style-type: none"> まず、改良9Cr鋼溶接継手のクリープ強度に関して、既往のデータ（電力実証炉開発時にORNL及び旧動燃で取得したデータ）と最近の物質・材料研究機構データの整合性を含めた総合的な分析評価を行ってFBR条件におけるTYPE-IV損傷発生の可能性を評価するとともに、設計に際して参照する溶接継手強度値を暫定する。 さらに、改良9Cr鋼溶接継手の高温強度データ取得の計画を、2010年の技術判断への反映も考慮して定め、これを着実に実行する。 設計においては、今後の議論の動向を踏まえ、温度条件を数十度下げの方策や引き回しによる応力低減方策を検討するとともに、これらに伴う熱効率低下による発電コストの増加や熱交換器の物量増加による建設コストの増加を評価する。 なお、関連する規格としてASME B&PV Code Sec IIIの高温規格（Subsection NH）等における溶接継手強度の取り扱いに関する動向も注視していく。
	<p>【②熱間押抜によるシームレス大口徑配管の製作性の問題】</p> <p>「熱間押抜」「鍛造削出し」によるシームレス配管・エルボの製作、「鍛造半割の溶接」によるエルボ製作の内、第1候補としてきた実規模の熱間押抜は、ミルメーカの設備対応が必要になることが判明し、2010年までに試作試験が困難となった。</p>	<p>エルボ部を溶接構造にする場合は、許容応力の低下に伴い成立性、検査要求が厳しくなる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 改良9Cr鋼製の薄肉大口徑直管・エルボの製作性について3つの製作方法の検討を進める。「シームレス配管・同エルボ」に関しては、ミルメーカ、三菱、JAEAが参加するWGにおいて各製作方法における技術的課題の抽出や製作コストに係る検討を進める。 溶接管については、三菱で製作性の検討と検査要求、検査方法などの検討を行う。 これらの検討に基づき、2010年までに少なくとも一つ以上の有望な製法について見通しを得る。溶接構造を採用する場合は、検査期間の増加程度やどのような検査機器の開発が必要になるかについて明確にする。

対象	課題	設計影響	対応方針
蒸気発生器	<p>【①長尺2重伝熱管の製作技術の確認】 実機寸法の35m長の密着二重伝熱管を製作する設備がなく、国内ミルメーカには施設整備の計画はなく、実機長の密着2重伝熱管の製作性を確実に見通すことができない。</p> <p>【②管板熱応力大】 当初、手動原子炉トリップ時に水・蒸気系による炉心除熱継続を想定したが、SG管板の熱応力が厳しくなるため、崩壊熱除去系による冷却に変更した。しかし、球形管板のままでは、給水管破断や外部電源喪失事象で想定される熱応力に対する評価の成立見通しが厳しいとの結果が得られた。</p> <p>【③大型鍛造品製作技術の課題】 実証炉規模のSG管板を想定した実規模極厚鍛造品の試作は、ミルメーカの繁忙により2010年までに実施できない。</p>	<p>伝熱管の製作性あるいは供給が見込め、かつ、想定されるナトリウム-水反応の影響を緩和でき、大型SGの信頼性を確保できる代替概念を具体化する必要がある。</p> <p>SG管板の形状を熱応力を緩和するために、球形から平板形状としているが、これにより管板厚が増加し、物量が増加する。</p> <p>SG管板の製作性見通しが得られない場合は、製作可能な形状、大きさに設計を見直す必要がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・実機長の密着二重管の製作に必要な設備投資をするか否かの判断にあたり、製作上の技術課題についてミルメーカに必要な開発ステップ、設備投資額などについて検討してもらおう。これと同時に2008～2009年度に実施予定の15m伝熱管の試作試験で実機長の製作性を見通す方法について検討する。 ・伝熱管材料の供給が可能な代替技術（破損伝播の影響を緩和する設計対策：市販材料の組み合わせによる「防護管付直管伝熱管」、市販材料である「被覆付伝熱管」）について検討を進め、2010年の採否判断に備える。これらの代替概念を採用する場合は、その物量、検査性、伝熱管破損時の影響などについて明確にする。 ・応力低減のための構造見直し、事象想定条件（個別事象と各想定回数）の見直しと個別事象評価の遂行、評価基準の見直しなどを行い、最適な管板形状を選定するとともに、その物量を明らかにする。 ・大型鍛鋼品の製作上の課題についてミルメーカを含めて議論・整理し、必要な開発ステップを検討した結果、当該物量の半分程度の規模の鋼塊(50トン)を用いた鍛錬や熱処理条件を模擬した試作試験および雰囲気制御等に係る研究によって、実規模極厚鍛鋼品の製作性を見通せる可能性があることがわかり、この方針で検討を進める。
燃料	<p>【①常陽停止に伴う ODS, PNC-FMS の照射試験の遅れ】 常陽停止に伴う照射試験着手の遅延。遅延期間は、現時点で未定。</p>	<p>ODS 被覆管、PNC-FMS ラップ管などの炉心燃料材料の技術基盤確立のためのデータ取得が遅れる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「常陽」の再起動スケジュールが明確になった時点で、以下の点から照射試験データ取得スケジュールを検討し、ODS被覆管燃料等実用化燃料概念の実機適用への影響について検討・整理を進める。 ①「常陽」により2015年までに取得できるデータに基づき目標達成見込みを評価する方策の検討 ②炉外試験等関連データを強化し活用することにより、2015年までに目標達成見込みを評価する方策の検討 ③必要データ取得時期が遅れる場合の実証炉ドライバ燃料への反映時期の検討 ④実証炉ドライバ燃料等へのODS被覆管燃料適用が遅れる場合の、代替方策とその影響の検討 <p>なお、PNC-FMSラップ管については既に「常陽」での照射試験を開始しており、上述のODS被覆管燃料ピンの照射データ取得に並行してデータ取得を進めることにより必要なデータが取得できる見込み。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2010年のODS被覆管の適用性判断は、BOR-60での照射試験結果に基づき判断するため、常陽停止の影響はない。2015年までに取得する計画で進めてきたODS被覆燃料ピンの照射試験は、「常陽」の再起動スケジュールが明確になった後に検討し、2010年までに明確にする予定。

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。

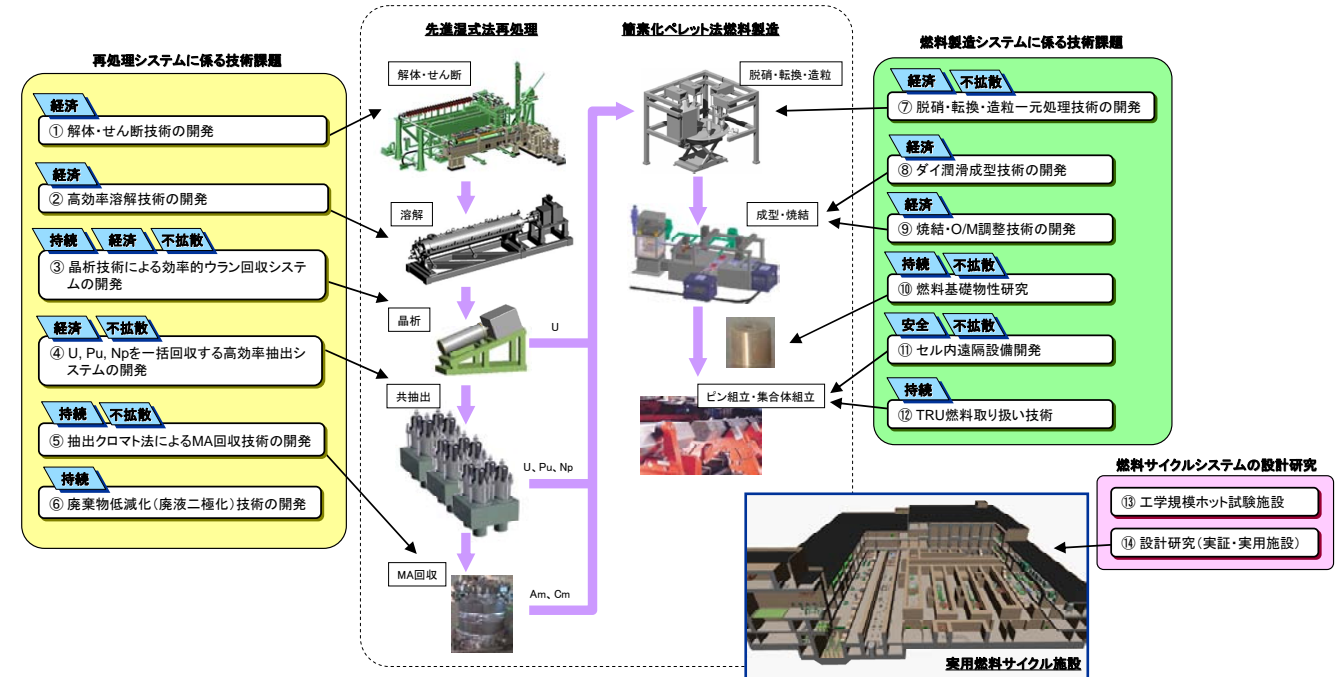


図5 燃料サイクルシステムの革新技術

		2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	備考
FaCTマイルストーン				中間評価	革新技術の採否判断		
再処理システム	実用施設／実証施設の設計研究		プラント概念の設計検討 (安全設計、保守補修、運転性等)	合理的なプラント概念の反映	実用施設／実証施設の概念検討	実用施設 ・経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性等の開発目標に照らし合わせた評価 ・代替技術の評価結果	
	要素技術開発		要素技術開発の成果を反映	工学規模ホット試験施設の設計検討	工学規模ホット試験施設 ・実証施設の計画、軽水炉サイクルへの移行期技術開発への対応と整合を図った計画調整	実証施設 ・実証炉の展開シナリオ、軽水炉サイクルからの移行期を考慮した実証シナリオの検討	
	軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期の検討		シナリオ評価 再処理技術の整理と移行期技術の評価	移行期技術開発におけるニーズへの対応検討	革新技術に関する6課題 (解体・せん断、溶解、晶析、抽出、MA回収、廃液二極化)	革新技術採否判断 成立性判断のための技術的根拠を提示 必要な除染性能、回収率等のプロセス性能達成見通し ・実用施設へ導入可能な機器・設備の成立性、処理能力達成見通し	
燃料製造システム	実用施設／実証施設の設計研究		プラント概念の設計検討 (周辺設備、遣へい方式等)	合理的なプラント概念の反映	実用施設／実証施設の概念検討	実用施設 ・経済性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性等の開発目標に照らし合わせた評価 ・代替技術の評価結果	
	要素技術開発		実証炉燃料(大径・中空・高密度の実燃料ペレット)の工学規模での製作性確認を行う。	実証炉燃料供給へ反映する技術の整備等	革新技術に関する6課題 (脱硝・転換・造粒、焼結・O/M比調整、セル内遠隔等)	実証施設 ・実証炉の展開シナリオ、軽水炉サイクルからの移行期を考慮した実証シナリオの検討	革新技術採否判断 成立性判断のための技術的根拠を提示 ・O/M比制御性、量産時の歩留まり等のプロセス性能達成見通し ・実用施設へ導入可能な機器・設備の成立性、量産能力達成見通し

図6 燃料サイクルシステムの検討スケジュール

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 (関連する革新技術：図5①)

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を図る。



図7 解体システム試験装置

② 溶解 (関連する革新技術：図5②)

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を図ると共に、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 (関連する革新技術：図5②)

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 (関連する革新技術：図5③)

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(表6)。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。

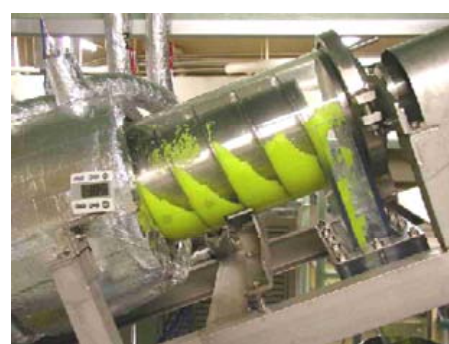


図8 小型工学規模連続晶析装置

⑤ 抽出 (関連する革新技術：図5④)

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5⑥)

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5⑤)

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 γ 線性評価試験、吸着材劣化物の熱的安定性評価試験や耐 α 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(表6)。

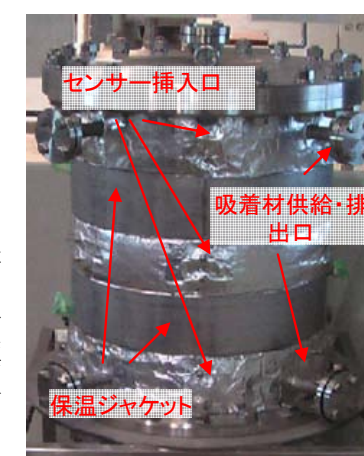


図9 抽出クロマト要素試験装置

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。

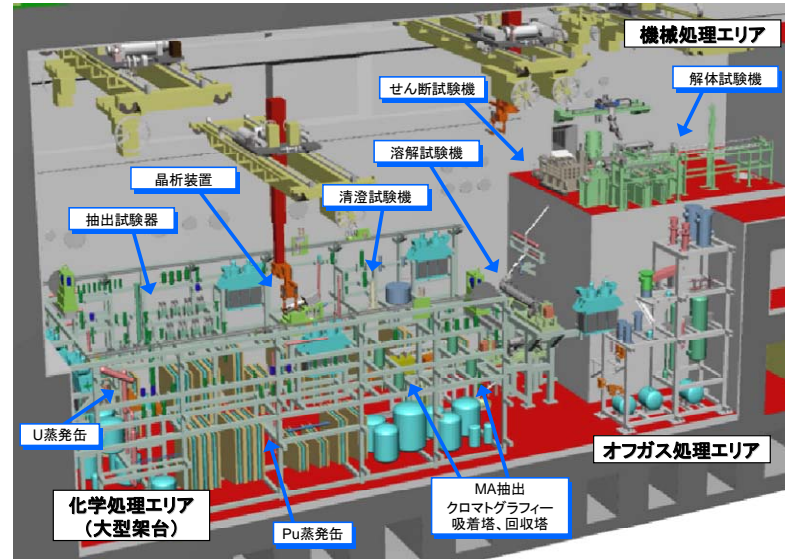


図10 工学規模ホット試験施設 試験セル全体設備配置

(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 (関連する革新技術：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。(表7)

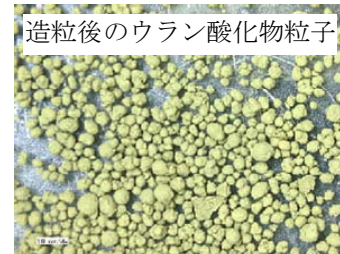


図11 造粒試験結果

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。

② ペレット成型 (関連する革新技術：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 (関連する革新技術：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(表7)。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(表7)。

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 ⑩)

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。

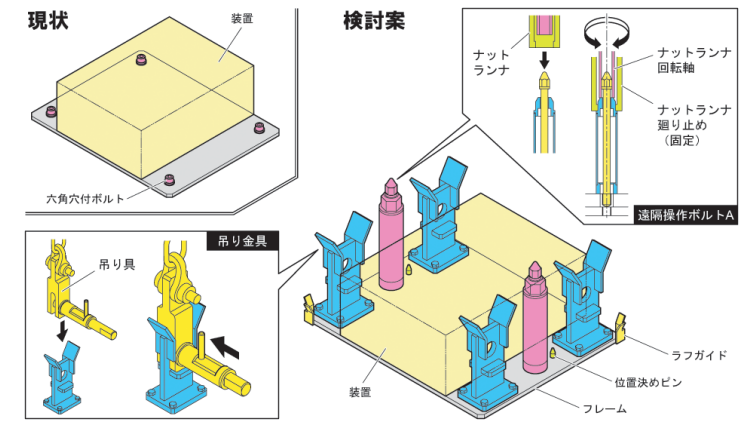


図12 モジュール構造の基本概念

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を確認した。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 革新技术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年における革新技术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年の革新技术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年に向けて革新技术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年の革新技术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必要がある。当初の6課題に加え、プルトニウム燃料第三開発室の工学規模フィールドを利用した実証炉用燃料仕様の成立性確認試験、実証炉用燃料製造基盤技術の整備に向けた試験等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認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"> 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1cm程度の短尺でせん断する方法と操作条件を取得した。 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。
②	高効率溶解技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
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"> 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。 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(表6)。
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"> 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。 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を示せる見通しである。
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"> 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。 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(表6)、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。
⑥	廃棄物低減化(廃液二極化)技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
⑦	脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。

革新技術		検討状況と今後の見通し
⑧	ダイ潤滑成型技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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 FBR 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。 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。
⑨	焼結・O/M 調整技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 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(表 7)。 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。
⑩	燃料基礎物性研究	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
⑪	セル内遠隔設備開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。
⑫	TRU 燃料取扱い技術	<ul style="list-style-type: none"> 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。 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。

表6 設計に影響する可能性のある課題（再処理システム関連）

技術開発	課題	設計影響	対応方針
晶析	<ul style="list-style-type: none"> 特定の FP 元素（Cs、Ba 等）に関して回収ウランの除染係数が成果目標として設定した DF=100 を下回っているデータも得られている。 	<p>以下に示す影響が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ウラン回収率を低下させることで FP 元素の DF を改善できる可能性があるが、この場合抽出工程の処理能力の増強が必要となる。 ウラン結晶の精製・洗浄設備を設けてして DF=100 を達成する設計にした場合、設備物量が増加する。 精製せずに後工程に送るとした場合、ウラン中の不純物濃度が増加するため濃縮設備や燃料製造設備に設計対応（製品品質への対応、揮発性元素の扱い等）が必要となる。また、炉心性能低下の可能性もある。 以上の対応でも不十分な場合、代替技術（Co-processing 法等）への設計変更が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> DF=100 を達成できない可能性のある FP 元素について、その基礎化学的挙動を明らかにし、運転条件の最適化により DF の向上を図る。 UNH 結晶に同伴する FP の物理・化学的特性に応じた精製・洗浄技術の研究開発を実施する。 DF=100 を達成できない場合において後工程（ウラン脱硝、燃料製造、炉システム）の影響（放射線の影響、不純物混入によるプロセス成立性等）を評価する。 設計検討において代替技術を採用した場合の開発目標への影響を評価する。
MA 回収	<ul style="list-style-type: none"> スラッジが混入した場合、充填塔の閉塞、バルブの噛りが生じる。 	<p>以下に示す影響が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 直前に清澄設備を追加しスラッジ混入の可能性を排除する設計にした場合、設備物量が増加する。 頻繁な設備停止と保守作業により、設備稼働率が低下する。 頻繁な機器交換により操業コスト、廃棄物発生量が増加する。 以上の対応でも不十分な場合、代替技術（SETFICS-TRUEX 法）への設計変更が必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> スラッジ混入時の影響を把握するためのコールド試験を実施する。 スラッジによる閉塞が生じた場合にも、復旧が可能な機器開発を行う。 設計検討において代替技術を採用した場合の開発目標への影響を評価する。
	<ul style="list-style-type: none"> MA 吸着状態で設備が異常停止した場合、充填塔内温度が急激に上昇する可能性がある。 	<p>以下に示す影響が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 異常発生防止、異常拡大防止のための設備が必要となる。 以上の対応でも不十分な場合、代替技術（SETFICS-TRUEX 法）への設計変更が必要になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 異常発生時に事故に到ることなく復旧できる運転手順の検討を行う。 緊急冷却系等の異常拡大防止機能の検討、試験を行う。 設計検討において代替技術を採用した場合の開発目標への影響を評価する。

表7 設計に影響する可能性のある課題（燃料製造システム関連）

対象	課題	設計影響	対応方針
脱硝・造粒	<ul style="list-style-type: none"> 液の深い円筒型脱硝容器では、脈動的に沸騰するために吹き零れやすことがわかってきた。 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒型脱硝容器での吹き零れを防ぐことができない場合、容器を浅皿型とする必要がある。 容器形状の変更に伴い、焙焼・還元ステージへの移送や払い出しの方法に見直しが必要となる。 浅皿型容器とすることで脱硝設備の占有面積が拡大する。 	<ul style="list-style-type: none"> 浅皿型に対応し、粉末飛散を防止できる脱硝体の移送、粉末払出しの方法の検討等浅皿型容器に対応した脱硝設備概念の検討を行う。
焼結	<ul style="list-style-type: none"> 連続焼結炉で臨界安全形状を担保するための課題について、解決見通しが困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 焼結炉を質量管理とする場合、単機の処理能力が低下する。 設備数が増加しより多くの設置面積を要するため、建設費、操業費が数%程度増大すると考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 焼結・O/M調整共用バッチ炉、質量管理方式による連続焼結炉及び形状管理方式による連続焼結炉の各ケースによる成立性評価、経済性影響等の評価を進め、2010年までに方式の選定を行う。
O/M 調整	<ul style="list-style-type: none"> FS フェーズII 概念の O/M 調整炉内の中性子吸収材設置については、高温に耐える中性子吸収材の見通しが困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 臨界管理方式を質量管理に変更する必要がある。 設備数は増えるが小型化され、中間バッファの容量も小さくて済むため、建設費、操業費は微減～微増と考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 設備配置設計検討等、詳細な経済性影響評価を今後実施する。
	<ul style="list-style-type: none"> 燃料基礎物性研究の結果、低 O/M ペレットの空気中保管の制限温度について 60℃以下にする必要があることが分かった。 	<ul style="list-style-type: none"> O/M 調整炉からの取出し時および貯蔵時の温度制限の見直し。 制限温度が引き下げられた場合、冷却設備の能力を強化する必要がある、建設費、操業費の増大が懸念。 	<ul style="list-style-type: none"> 不活性雰囲気中での保管、密閉容器での保管等追加措置の検討及び経済性影響評価を今後、実施する。 代替技術として酸素ゲッター添加法の検討、開発を進める。
計量管理設備	<ul style="list-style-type: none"> セル内の滞留核物質の測定手法として従来の中性子同時計測法の適用性の可能性を検討したところ、Cm を主とするノイズの影響で手法の適用は困難との計算評価結果が得られた。 	<ul style="list-style-type: none"> 新たな測定手法の開発が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 総中性子量と破壊分析の組合せで推定する方法等が考えられるが、制度検討を含め、今後、幅広い検討を実施していく。

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。

この様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。

Fast Reactor Cycle Technology Development Project in Japan
Outline of the Interim Report in 2008 Fiscal Year



高速増殖炉サイクル実用化研究開発
(FaCTプロジェクト)
2008年度 中間取りまとめ
ー炉システムの概要ー

2008年11月21日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門

FaCT : Fast Reactor Cycle Technology Development Project

FaCTプロジェクトの開発目標

開発目標の指標		考慮すべき内容
安全性及び信頼性		<ul style="list-style-type: none"> ・安全性に加え、信頼性も評価 ・異常時の公衆被ばく影響を評価 ・運転・保守・補修性を考慮
持続可能性	環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> ・通常運転時の放射線影響を評価 ・環境移行物質の抑制を考慮
	廃棄物管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物発生量を評価 ・廃棄物の質(形態と性状の把握と可操作性と安全性能)の評価 ・潜在的有害度を評価
	資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギーセキュリティの観点から、増殖性能を評価
経済性		<ul style="list-style-type: none"> ・発電原価を評価 ・不確実性を考慮 ・投資リスクを考慮
核不拡散性		<ul style="list-style-type: none"> ・核不拡散性と保障措置を評価 ・核物質防護システムを評価。

内 容

1. 設計要求の設定
2. 革新技術開発と設計研究
3. 検討スケジュール
4. 各設計分野の検討状況
5. 革新技術研究の検討状況
6. 今後の計画
7. まとめ

3

1. 設計要求の設定

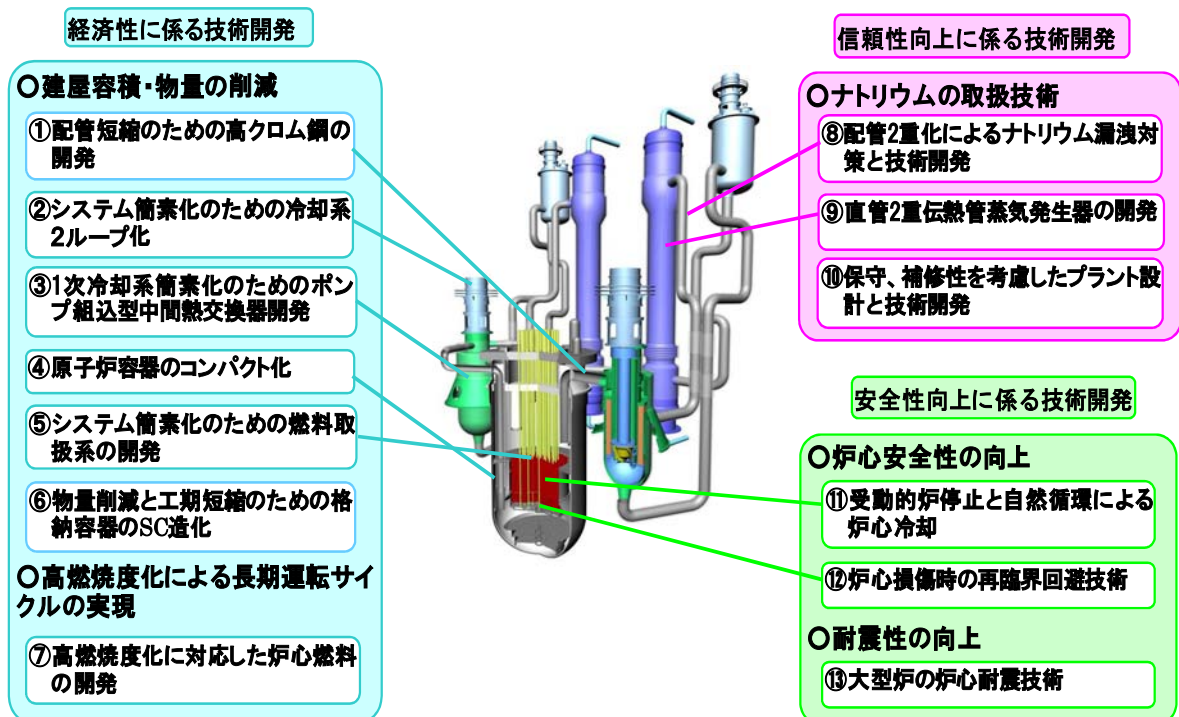
	設 計 要 求
a. 安全性及び信頼性	<ul style="list-style-type: none">・周辺公衆へ著しい被ばくリスクを与えないこと・敷地外緊急事態発生防止・リスク目標(炉心損傷頻度10^{-6}/炉・年以下等)・保守・補修方針を作成し、これが可能な設計概念とすることにより、次世代軽水炉と同等の信頼性を有すること 等
b. 持続可能性	<ul style="list-style-type: none">・通常時環境放出放射能が次世代軽水炉を下回ること・燃料のMA含有率を1～5%程度として燃焼できること・増殖比を低増殖炉心(1.0～1.1)、高増殖炉心(1.2)に設定 等
c. 経済性	<ul style="list-style-type: none">・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 <p>※ 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。</p>

4

2. 革新技术開発と設計研究

5

検討中の革新技术



6

プラント主要仕様

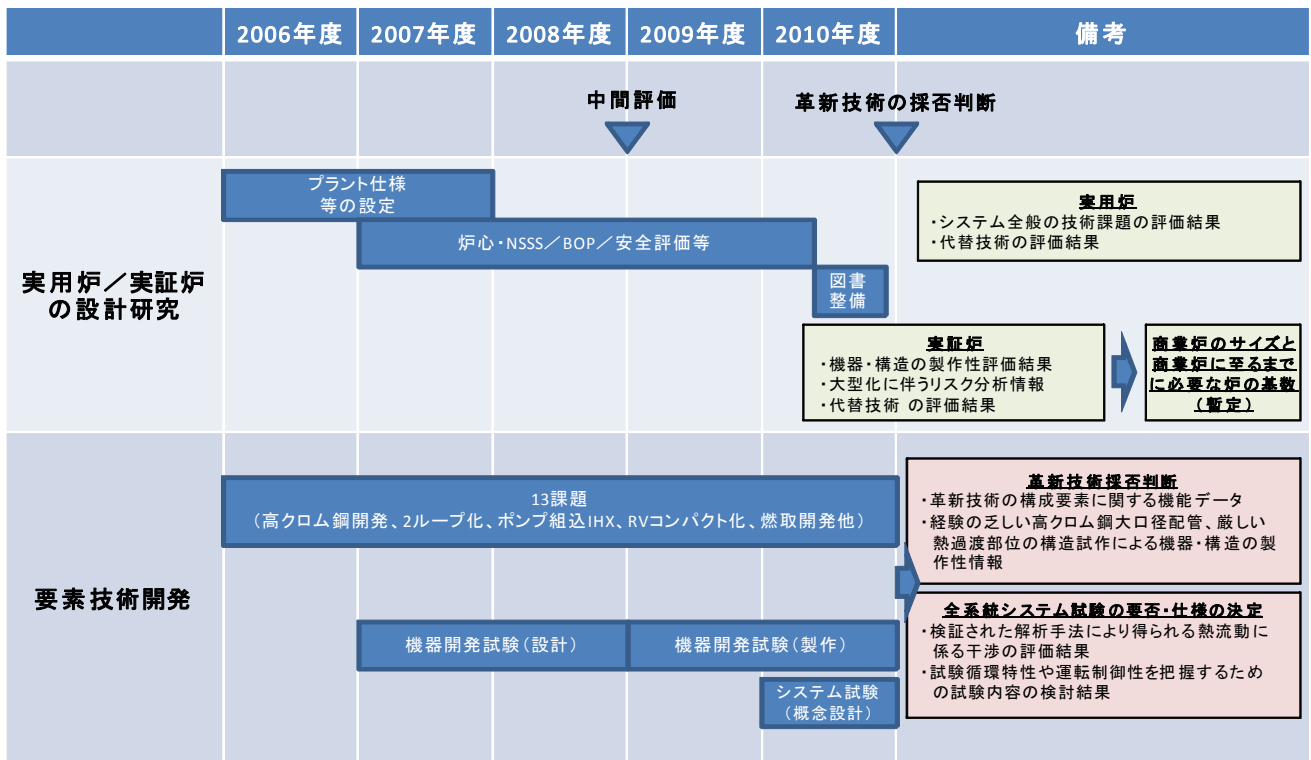
炉型式	ナトリウム冷却ループ型炉
炉心・燃料型式	均質2領域炉心(MOX燃料高内部転換型炉心)
ヒートバランス	1次系:550°C/395°C、2次系:520°C/335°C
ループ数	2ループ
崩壊熱除去系	DRACS(直接炉心冷却系)×1系統+PRACS(1次系共用型炉心冷却系)×2系統
1次系配管方式	上部流出入方式
主循環ポンプ及び中間熱交換器	1次系ポンプ組込型IHX
SG型式	一体貫流型縦置有液面直管型2重管式(密着2重管式)
NSSS材料	原子炉容器:SUS316FR鋼、冷却系機器:改良9Cr鋼
燃料交換方式	単回転プラグ+切込型UIS+パンタグラフ式燃料交換機
燃料貯蔵方式	EVST(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(ポイド反応度制限等)

7

設計分野

設計分野	主な検討内容
a. 安全設計	安全設計方針、自然循環・再臨界回避・SASS等の安全設計 等
b. 高温構造設計	材料強度基準(高Cr鋼、SUS316FR)、高温構造設計基準、LBB指針の整備
c. 炉心・燃料	炉心、燃料に関する設計
d. 原子炉構造	原子炉構造に関する設計
e. 1、2次主冷却系	ポンプ組込IHX、蒸気発生器、配管等の設計
f. 電気・計装	電気、計装設備の設計、超音波流量計・破損燃料位置検出系検討
g. BOP	燃料取扱設備、水・蒸気タービン設備、補機設備、廃棄物処理設備の設計
h. 建屋・配置	建屋配置計画、原子炉格納容器、免震装置
i. 保守・補修	保守補修方針、安全ロジック、検査技術

3. 検討スケジュール



9

4. 各設計分野の検討状況

4.1 安全設計 (関連する革新技術⑪、⑫、⑬)

- ・採用革新技術及び最新知見に基き、安全設計・評価方針を表現見直し
- ・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を製作
- ・再臨界回避については、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し、設計へ反映予定

11

4.2 高温構造設計(1/2) (関連する革新技術: ①、④、⑨)

- ・材料強度基準(SUS316FR、高Cr鋼)、高温構造設計基準及びLBB評価指針を整備中
- ・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る。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

(主要課題と対応方針)

- ・炉容器のSUS316FR鋼大型リング鍛鋼品試作困難
→製作課題検討と小規模材料試験により検討
- ・蒸気発生器管板用大型鍛鋼品試作困難
→実機の1/2程度の鋼塊(50トン)による試作試験、雰囲気制御等を検討

12

4.2 高温構造設計(2/2)(関連する革新技術: ①、④、⑨)

(主要課題と対応方針)つづき

- ・蒸気発生器長尺2重伝熱管試作困難
 - ミルメーカーによる開発ステップ、設備投資等検討
 - 15m伝熱管試作で実機長の製作性を見通す方法を検討
- ・冷却系配管用薄肉大口径配管・エルボの実規模試作困難
 - シームレス配管等の製作性についてWGを設置し検討
- ・改良9Cr鋼のTYPE-IVき裂による強度低下懸念
 - 既往データの分析による発生可能性評価
 - 高温強度データ取得の着実実施

13

4.3 炉心・燃料(関連する革新技術: ⑦)

- ・ 平衡期TRU組成をFaCTレファレンス炉心の組成に変更し、また精緻な手法で評価し、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
- ・ 軽水炉から高速炉への移行の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明
- ・ 金属燃料炉心(副概念)については、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

(主要課題と対応方針)

- ・ 「常陽」停止に伴いODS,PNC-FMSの照射試験が遅延
 - 「常陽」のスケジュールが明確になった時点で試験スケジュール、実機適用影響を検討予定。ODS被覆管の適用性はBOR-60のデータで判断

14

4.4 原子炉構造 (関連する革新技術: 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

(主要課題と対応)

- ・耐震条件見直しに伴い、容器肉厚が増加(30→60mm)。これに伴い熱応力が増加し、起動日数が増加(1日→3日)
- ・炉容器リング鍛造品の実規模試作が困難(再掲)
 - ホットベッセルを成立させるための評価手法高度化検討
 - 炉容器の代替構造(炉壁保護構造)も検討
 - 免震装置性能向上、炉心耐震研究による燃料飛び上り評価法を検討
 - ミルメーカーによる製作課題検討と材料試験の小規模実施
 - 代替構造(分割リング構造)も検討
 - 建設費増加影響、保守性影響を検討

15

4.5 1、2次主冷却系 (関連する革新技術: ①、②、③、⑧、⑨)

- ・系統仕様及び強度評価を踏まえた配管構造を設定
- ・ポンプ組込IHXの振動抑制のためのポンプ軸受け構造を設定。また、共振回避について検討し伝熱管仕様を設定

(主要課題と対応方針)

- ・改良9Cr鋼のTYPE-IVき裂による強度低下懸念(再掲)
 - 前述の既往データの分析評価、データ取得の着実実施に加え、設計温度低減、配管引き回し見直し等も検討
- ・シームレス大口徑配管試作困難(再掲)
 - 前述のWGによる検討に加え、溶接管の検査要求・方法等検討
- ・SG長尺2重伝熱管の試作困難(再掲)
 - 前述のミルメーカーによる検討に加え、代替伝熱管(防護管付、被覆付)も検討

16

4.5 1、2次主冷却系(関連する革新技術: ①、②、③、⑧、⑨)

(主要課題と対応方針): つづき

- ・過渡時のSG管板応力が過大であることが判明
- 構造見直し、事象想定条件見直し・評価、評価基準を見直しを実施

17

4.6 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
- ・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、物量削減について検討予定

18

4.7 BOP (関連する革新技術: ⑤)

- 主要設備の構成・仕様を設定
- 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が変更された。今後、継続検討予定

19

4.8 建屋・配置 (関連する革新技術: 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明。今後の水平免震装置の構造概念検討に反映予定。
- 設計進捗に伴う設備物量増加により、建屋配置スペースが増大傾向。今後、配置合理化について検討予定。

20

4.9 保守・補修(関連する革新技術: ⑩)

- 機器毎に保守・補修内容を設定
- 超音波を用いた可視化や伝熱管検査技術の開発に着手。一部の技術について欠陥検出性に関するデータを取得
- 現状機器構造では、アクセスできない箇所が複数存在。今後アクセス性確保の検討を予定

21

5. 革新技術研究の検討状況

22

5. 革新技術の検討状況(1/4)

①	配管短縮のための高クロム鋼の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・技術成熟性から改良9Cr鋼を志向。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。 ・溶接部TYPE-IV亀裂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。 ・12Cr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。
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"> ・ホットレグ配管エルボについて、入口整流条件で1/3スケール試験を実施。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。 ・実機の入口乱れを模擬し、コールドレグ多段エルボ体系での試験、スケール則把握のための1/10スケール等の試験及び解析を実施し、健全性見通しを2010年までに得る予定。
③	1次冷却系ポンプ組込型IHX開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
④	原子炉容器のコンパクト化	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。

5. 革新技術の検討状況(2/4)

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"> ・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との干渉、位置決め精度の確認試験に向け、準備中。 ・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試験を実施中。成立性について2010年までに判断できる見通し。
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"> ・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、特性データを取得中。 ・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。
⑦	高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
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"> ・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。

5. 革新技術の検討状況(3/4)

⑨	直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・FBR蒸気発生器流動安定性試験に基づき、伝熱流動評価法設計ツールを整備中。 ・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。
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"> ・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。 ・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9Cr鋼のSG伝熱管のリモートフィールド渦電流探傷(ECT)、ガイドウエーブセンサについて基礎試験を実施中。
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"> ・受動的な炉停止機構(SASS) 常陽での単体照射及び材料照射を完了。過去の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。 ・自然循環による炉心冷却 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。

5. 革新技術の検討状況(4/4)

⑫	炉心損傷時の再臨界回避技術	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・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。
⑬	大型炉の炉心耐震技術	<ul style="list-style-type: none"> ・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。

設計に影響する可能性がある主要な課題と対応方針まとめ(1/2)

対象設備	課題	対応方針
原子炉構造	(1)炉容器肉厚増加 (30→60(実用 炉)mm)	<ul style="list-style-type: none"> ・ホットベッセルを成立させるための評価手法高度化検討等 ・代替構造(炉壁保護構造)を検討 ・免震装置性能向上、炉心耐震研究による燃料飛び上り評価法検討 (関連する革新技術:①、⑬)
	(2)リング鍛造品試作困難	<ul style="list-style-type: none"> ・製作課題検討と小規模材料試験 ・代替構造(分割リング構造等)の検討 ・建設費増加影響、保守性影響を検討 (関連する革新技術:④)
冷却系配管 (関連)	(1)改良9Cr鋼のTYPE-IVき裂による強度低下懸念	<ul style="list-style-type: none"> ・既往データの分析による発生可能性評価 ・高温強度データ取得の着実実施 ・設計温度の引下げ、配管引き回し等代替設計の検討 (関連する革新技術:①)
	(2)シームレス大口徑配管試作困難	<ul style="list-style-type: none"> ・シームレス配管についてWGを設置し検討 ・溶接管は検査要求・方法等検討 (関連する革新技術:①)

27

設計に影響する可能性がある主要な課題と対応方針まとめ(2/2)

対象設備	課題	対応方針
蒸気発生器	(1)長尺2重伝熱管の試作困難	<ul style="list-style-type: none"> ・ミルメカによる開発ステップ、設備投資等検討 ・15m伝熱管試作で実機長の製作性を見通す方法を検討 ・代替伝熱管(防護管付、被覆付)を検討 (関連する革新技術:①)
	(2)管板熱応力大	<ul style="list-style-type: none"> ・構造、事象想定、個別事象評価、評価基準等を見直し
	(3)大型鍛造品試作困難	<ul style="list-style-type: none"> ・実機の1/2程度の鋼塊(50トン)による試作試験、雰囲気制御等を検討 (関連する革新技術:①)
燃料	(1)「常陽」停止に伴うODS,PNC-FMSの照射試験遅れ	<ul style="list-style-type: none"> ・「常陽」起動スケジュールが明確になった時点で試験スケジュール、実機適用への影響を検討 ・ODS被覆管の適用性はBOR-60のデータで判断 (関連する革新技術:⑦)

28

6. 今後の計画

判断材料等を提供するためにFaCT研究を継続実施



2010年

- ◆革新技術の採否判断
- ◆実証炉のサイズと基数を暫定
- ◆全系統システム試験の要否



要素技術開発、機器開発試験を継続実施



2015年

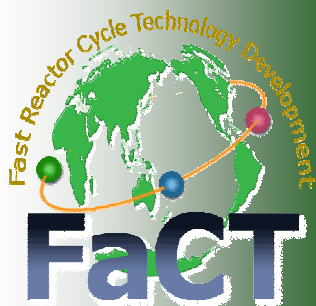
- ◆基本設計に着手するための概念設計の提示
- ◆実証炉のサイズと基数を確定
- ◆機器・構造実寸試作の要否・仕様

29

7. まとめ

- 2006年以降、13の革新技術に関する要素技術開発及び設計研究を実施
- 開発作業自体は、概ね計画通り進捗
- 原子炉容器、配管、蒸気発生器等の複数の課題に注力（高CrのTYPE-IVき裂、鍛造品等試作困難、応力過大、「常陽」停止影響 等）
 - 対応として代替案等解決方策を検討
- 2010年の革新技術採否判断、実証炉サイズ・基数暫定、全系統システム試験要否判断のために、今後も開発を継続

Fast Reactor Cycle Technology Development Project in Japan
Outline of the Interim Report in 2008 Fiscal Year



高速増殖炉サイクル実用化研究開発
(FaCTプロジェクト)
2008年度 中間取りまとめ
—燃料サイクルシステムの概要—

2008年11月21日

独立行政法人日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門

FaCT : Fast Reactor Cycle Technology Development Project



Contents

- 燃料サイクルシステム開発の枠組み
 - プロジェクトに期待される成果
 - プロジェクト全体の進め方と計画
- 再処理システムの研究開発進捗状況
 - 2010年度の成果目標の具体化
 - 革新技術のR&D
 - 設計研究
 - 工学規模ホット試験施設の設計検討
- 燃料製造システムの研究開発進捗状況
 - 2010年度の成果目標の具体化
 - プルトニウム燃料第三開発室における
製造ラインを利用した燃料製造技術開発試験
 - 革新技術のR&D

1. 燃料サイクルシステム開発の枠組み

2



2010年度／2015年度に提示される成果

- 2010年度に提示される成果：
 - ・革新技術の採否を判断するために必要な以下の成果：
 - 革新技術の採否判断に必要な技術的知見
 - JAEAが検討した革新技術の採否判断の基準案
 - 革新技術の採否・修正が与える実用施設概念への影響評価
 - 上記に基づく革新技術の採否試行結果
 - 2011年度以降に実施する実用施設概念設計の技術仕様案
 - ・第二再処理施設の議論に必要な科学的知見

- 2015年度に提示される成果：
 - 実用施設の概念設計結果
 - 上記施設の開発目標・設計要求に対する評価結果
 - 燃料サイクルシステムの技術体系
 - 移行期シナリオと整合した実証シナリオと実証施設の概念設計結果
 - 2016年～実用化までの研究開発計画

3



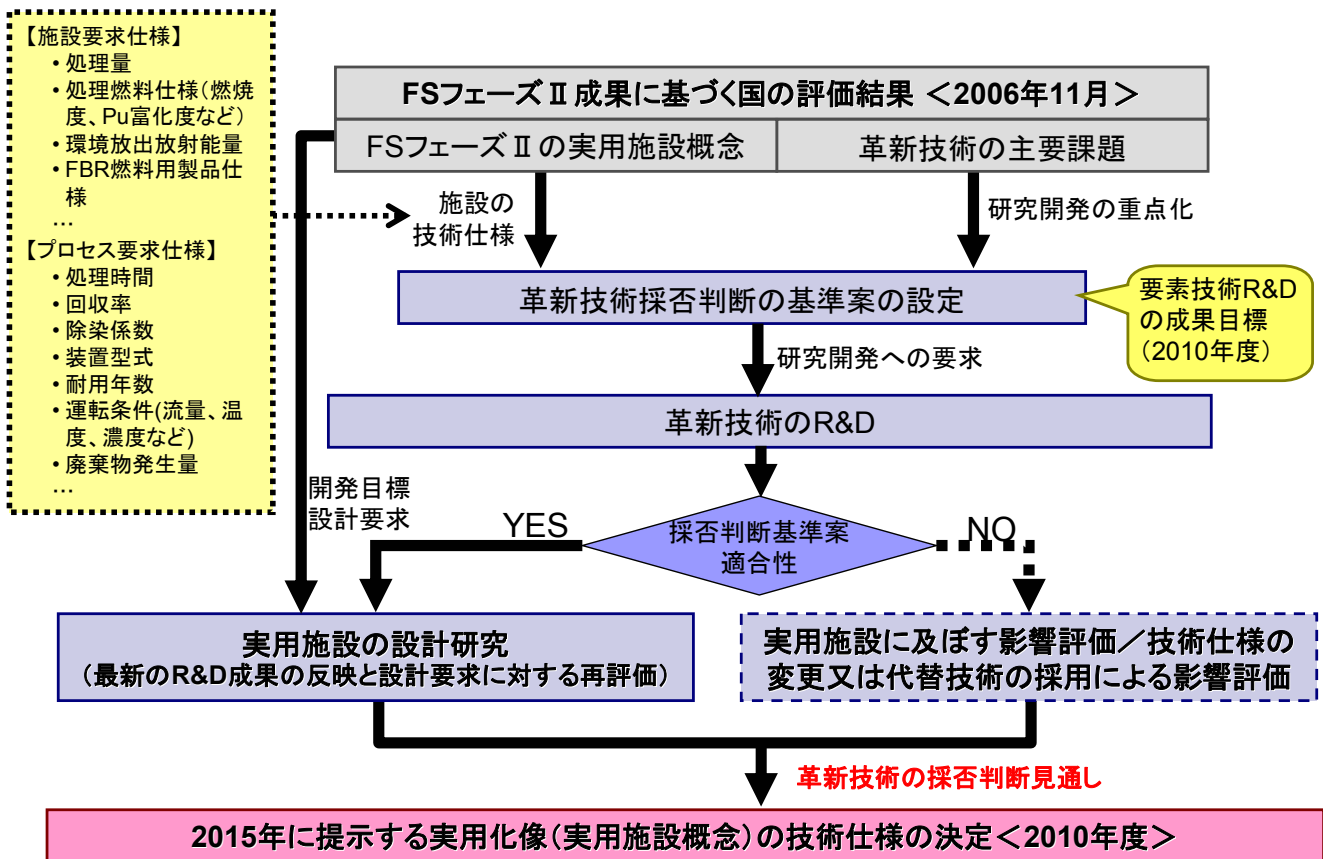
設計要求の設定

- 実用施設概念の設計研究において、開発目標の実現に向けた設計要求を設定：

◆ 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。	
◆ 持続可能性	環境 健全性	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。
	廃棄物 管理性	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。
	資源有効 利用性	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。
◆ 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。	
◆ 核不拡散性	プルトニウムが単体の状態でプロセス内に存在しないこと、低除染TRU燃料を用いることにより、接近性を制限した設計とすること。	

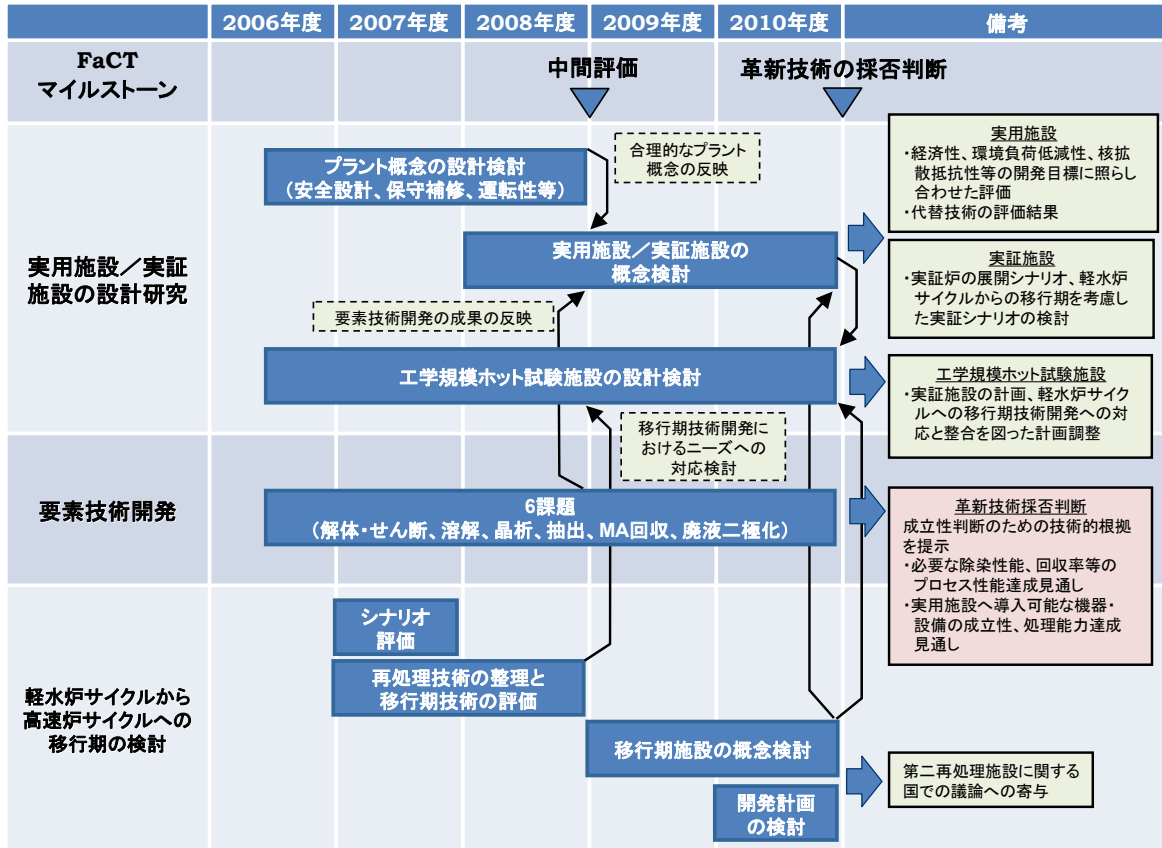


FBR燃料サイクル技術開発のスキーム(2010年度まで)

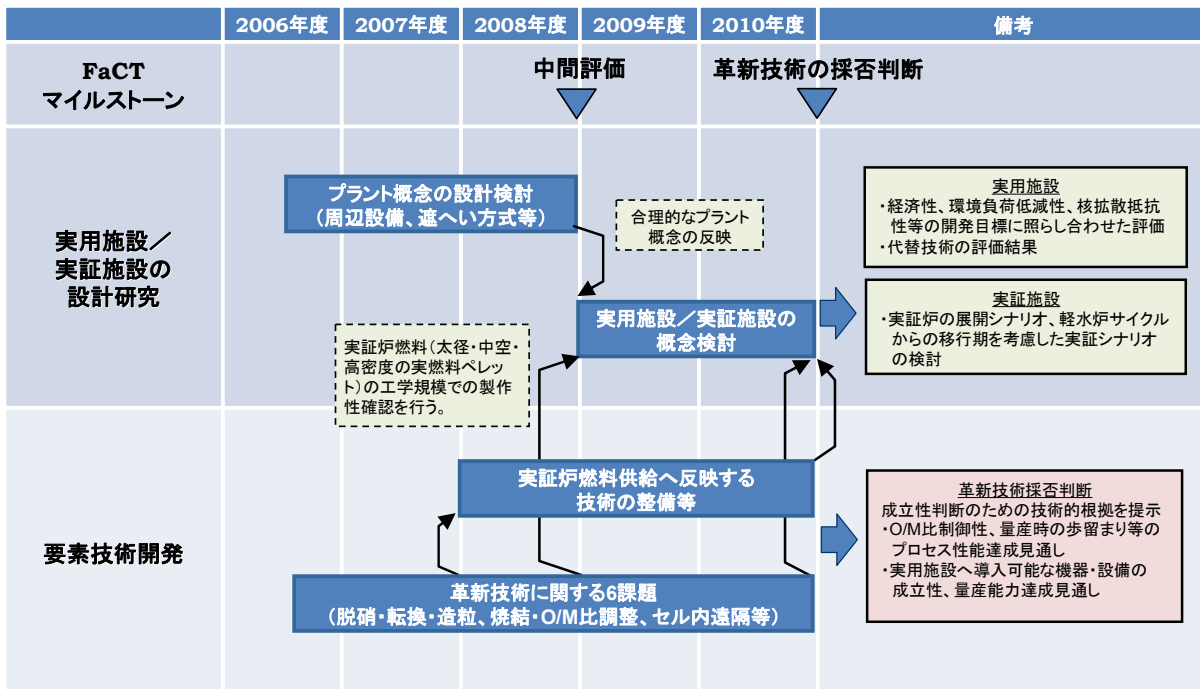




2010年度までのスケジュール - 再処理システム



2010年度までのスケジュール - 燃料製造システム

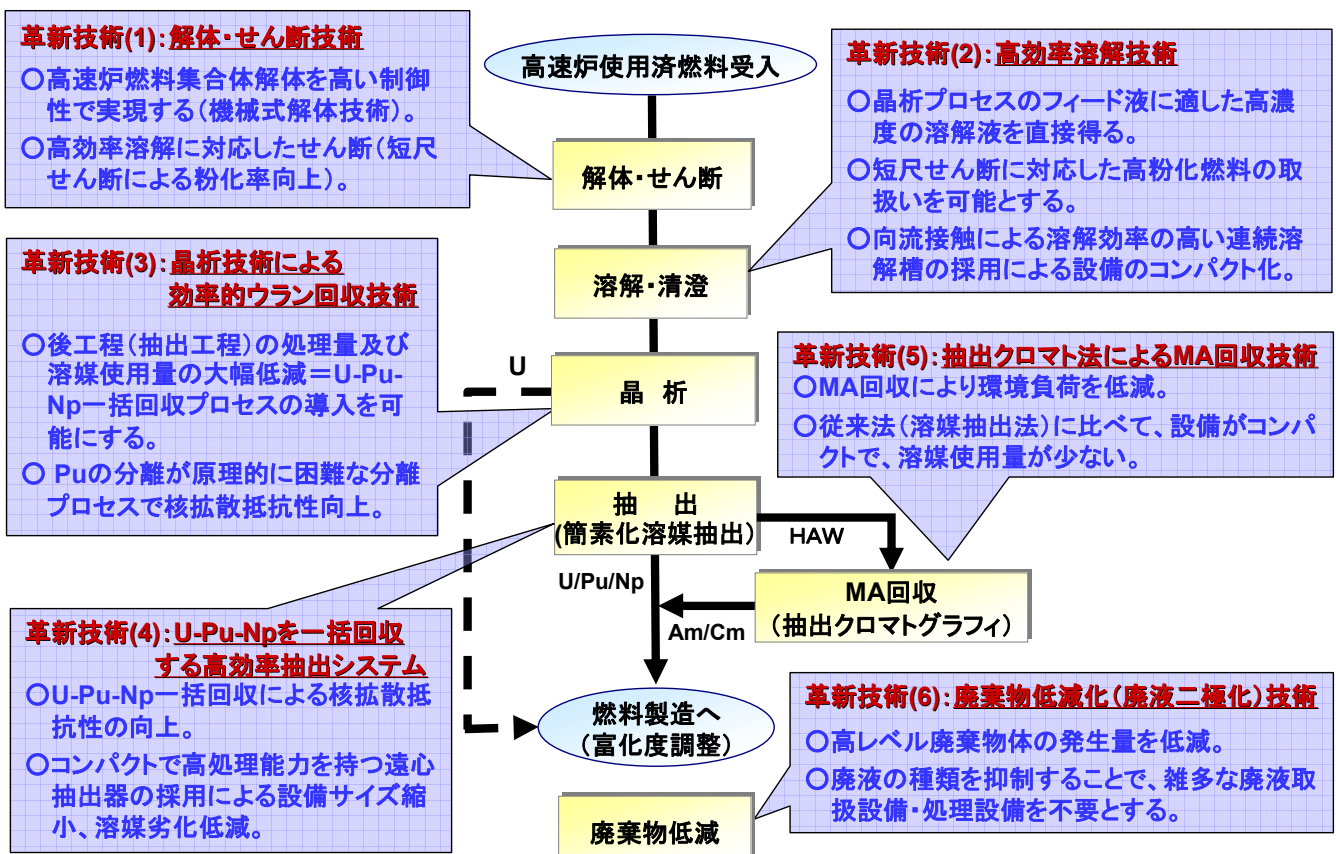


3. 再処理システムの研究開発の進捗

8



主概念の特徴と革新技術採用のねらい – 先進湿式法

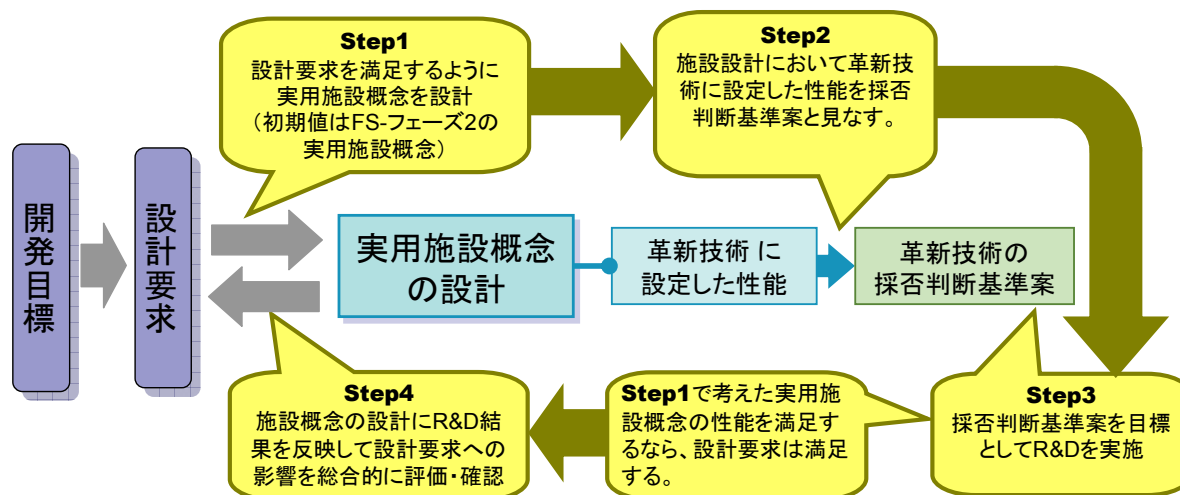


9



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

- 2010年度の国の評価において用いられる**革新技術採否判断の基準を、革新技術R&Dの成果目標として設定**。
- ただし、基準自体は明確化されていないため、**基準案を検討**するところから始める。
- 基準案は、技術の有効性を絶対的に判断するものではなく、**開発目標を満足する**实用施設**の概念を各革新技術の技術仕様に展開**することで導く。



10



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

➤ 解体技術

- 200tHM/yの**实用サイクル施設**の技術仕様：
 - 系統数：1系統、年間稼働日数：200日
 - 機械式切断装置を使用した解体機

成果目標	説明
模擬燃料集合体を用いた工学規模試験 装置による試験等により	
<ul style="list-style-type: none"> • 燃料ピン損傷確率を抑えた安定した解体(切断)制御技術の成立性提示 	原型炉(もんじゅ)の模擬燃料集合体を用いた工学規模試験により、以下の事項の達成見通しを示す。 <ul style="list-style-type: none"> • 燃料ピンの破損は数本/集合体以下 • 機械式切断工具を交換せずに1集合体以上を解体できること • 一体あたりの解体時間は2時間(保守の時間を含まない) 工学規模試験の結果を反映して 实用炉燃料集合体の解体システム概念を具体化する 。(保守の観点から砥石の交換方法を含む)
<ul style="list-style-type: none"> • ハンドリング技術成立性の提示 	原型炉(もんじゅ)の 模擬燃料集合体を用いた工学規模試験 により、 一連の解体操作 (燃料集合体の解体テーブルへの移動、ラッパ管の切断、ラッパ管の引抜き、燃料ピンの払い出し)が可能なることを確認する。

11



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体 ➤ せん断技術

■ 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様:

- 系統数: 1系統、年間稼働日数: 200日
- ピン束短尺せん断機
- 高効率溶解のプロセス条件に合わせてせん断燃料を粉化

成果目標	説明
模擬燃料ピン束を用いた工学規模試験装置による試験及び実燃料ピンを用いたホット試験等により	
<ul style="list-style-type: none"> ・所定の燃料粉化率(50%)が得られる短尺せん断技術の提示 	原型炉(もんじゅ)の模擬燃料集合体を用いた工学規模試験により、以下の事項の達成見通しを示す。 <ul style="list-style-type: none"> ・せん断長さの均一性(1cm±0.5cm)は信頼度95% ・使用済燃料の粉化率は50%以上 ・1体あたりのせん断処理時間は2時間(保守の時間を含まない) 工学規模試験の結果を反映して実用炉燃料ピン束のせん断機概念を具体化する。
<ul style="list-style-type: none"> ・燃料ピン束のハンドリング技術の成立性の提示 	原型炉(もんじゅ)の模擬燃料集合体を用いた工学規模試験により、解体された燃料ピン束の解体機からせん断機マガジンまでの搬送、並びにせん断までの一連の操作(燃料ピンのマガジンへの移動、燃料ピンの送り出し、燃料ピンの固定、燃料ピンのせん断)が可能なことを確認する。



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化 ➤ 高効率溶解技術

■ 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様:

- 系統数: 1系統、年間稼働日数: 200日
- 回転ドラム型の連続溶解槽
- 晶析プロセスの条件にあった濃度の溶解液を直接得る

成果目標	説明
<ul style="list-style-type: none"> ・高濃度溶解液が得られる安定したプロセス条件の把握 	照射済燃料等を用いた試験及び計算により、回転ドラム型連続溶解槽を用いて重金属濃度(500g/L)の溶解液を20kg/hで得る溶解条件(燃料性状、硝酸濃度、溶液温度、攪拌)を示す。
小型連続溶解槽のコールド試験により <ul style="list-style-type: none"> ・高濃度溶解液に対応した溶解槽内部構造の確立 	回転ドラム型の小型連続溶解槽を用いたコールド試験等により、以下を考慮した溶解槽の内部構造を示す。 <ul style="list-style-type: none"> ・固体廃棄物成分(被覆管(ハル)、ワイヤ)の排出 ・粉体燃料成分の保持 また、以下を含めた20kg/h/基の処理能力を持つ溶解槽の装置概念を示す。 <ul style="list-style-type: none"> ・ドラム径、ステージ幅、水溶液(オーバーフロー)高さ、段数、攪拌条件 ・臨界に係る核的制限値



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

➤ 晶析技術による効率的ウラン回収システム

- 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様：
 - 系統数：1系統、年間稼働日数：200日
 - 連続式の晶析装置、結晶移送装置、結晶分離機
 - 溶解液から70%のウランを分離(母液のU/Pu比=1/1)
 - 回収したウランは、高速炉用燃料の原料に使用

成果目標	説明
<ul style="list-style-type: none"> • 小型工学規模試験装置によるウラン試験及びホット基礎試験により、U回収率70%、100以上の除染係数が得られる連続晶析プロセス条件の成立性の提示 	<ul style="list-style-type: none"> • 70%のU回収率が得られることを示すこと。 • 上記回収率を得る条件において、100以上の除染係数が得られることを示すこと。ここで、除染係数は、脱水・洗浄による除染の効果を含む。除染係数が達成できない場合、その理由と対策の案を示す。
<ul style="list-style-type: none"> • 小型工学規模晶析装置及び晶析システムの成立性の提示 	小型工学規模晶析装置を用いたウラン試験等により以下に関するデータを提示すること。 <ul style="list-style-type: none"> • 低温域での試験実績の提示 • 漏えい防止を考慮した軸受構造の提示 • 工学規模装置の非定常事象検知方法の提示
<ul style="list-style-type: none"> • 周辺技術(結晶分離技術及び高濃度溶解液移送技術)成立性の提示 	要素試験装置等を用いたコールド及びウラン試験により以下に関するデータを提示すること。 <ul style="list-style-type: none"> • 結晶分離機の性能提示 • 高濃度溶液移送技術の提示
<ul style="list-style-type: none"> • 適切な解析条件による臨界安全性評価結果の提示 	晶析装置及び結晶分離機を模擬した解析モデルでの臨界安全解析により、 単一ユニットの核的制限値の設定

14



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

➤ U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム

- 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様：
 - 系統数：1系統、年間稼働日数：200日
 - 遠心抽出器
 - Puを単離しない抽出プロセス(U-Pu-Npの一括回収)

成果目標	説明
<ul style="list-style-type: none"> • ホット基礎試験による最適な一括回収プロセス条件の確立 	<ul style="list-style-type: none"> • 回収率 99.9%(UとPuについて、Npについては99%)及び除染係数 10^4(一部のFPを除く)を達成するフローシートを実験データに基づいて示すこと。 • 段数、流量及び硝酸量を最小とすること。 • 安全性及び装置成立性を考慮した温度条件を設定すること。
工学規模システム試験装置によるウラン試験により <ul style="list-style-type: none"> • 所定の処理能力、安定運転、耐久性について成立性を提示 	<ul style="list-style-type: none"> • 処理量 $300 L_{O+A}/h$を処理し、段効率が0.95以上である抽出器について、1年間の運転が可能であることを実験データに基づいて示すこと。 • 直接/遠隔保守の機器構造及び保守設備を比較し、実用に適した保守概念を選定する。選定した保守概念について、保守要領を提示すること。 • 長時間試験及び保守方法等の検討結果を基に、10年以上の期間に渡って、安定運転ができる見通しを示すこと。

15



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

➤ 抽出クロマト法によるMA回収技術

■ 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様:

- 系統数: 1系統、年間稼働日数: 200日
- 抽出クロマトグラフィ

成果目標	説明
<ul style="list-style-type: none"> • 所定の処理能力、回収率、除染係数が達成できるフローシートの提示 	<p>AmとCmを回収するフローシートを下記条件の下に求める</p> <ul style="list-style-type: none"> • 複数の抽出剤を候補として最適なものを選択する • 処理能力 供給液(HLLW)量として750 dm³/日 • AmとCmの回収率 99.9% • FPの除染係数 100 • 吸着材、薬品、水の量を最小とする <p>また、フローシートの妥当性を実験のデータと計算により示す。</p>
<p>工学規模試験装置のコールド試験により</p> <ul style="list-style-type: none"> • 装置安全性の提示 • 所定の処理能力、安定運転成立性の提示 	<ul style="list-style-type: none"> • 火災・爆発に関する安全性に関し、分離塔が何らかの理由により閉塞した状況を想定し、安全を確保する方策を、設計データ及び工学規模試験により示す。 <p>処理能力に関し、750 dm³/日の供給液を処理する工学規模試験装置の運転(通水)を実証する。</p> <p>安定運転成立性に関し、遠隔操作性を考慮した方法により吸着材の充てん・抜出が行えることを示すとともに、抽出剤の損失や劣化に起因して必要となる吸着材交換の頻度を実験データにより見積もり、これを考慮した運転制御の方法の案を提示する。また、供給液に含まれる微粒子による閉塞事象について、安定運転に必要な条件を試験データに基づき提示する。</p>

16



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化

➤ 廃棄物低減(廃液2極化)技術

■ 200tHM/yの実用サイクル施設の技術仕様:

- ソルトフリー試薬による溶媒洗浄・オフガス洗浄プロセス
- 使用済試薬の分解・無害化処理

成果目標	説明
<p>周辺工程におけるソルトフリー化プロセスの基本的成立性の提示</p>	<p>炭酸ヒドラジン及びシュウ酸ヒドラジンによる溶媒洗浄に関して以下を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ru、Zr及びPuについて炭酸ナトリウム洗浄と同等の洗浄効果が得られること。
<p>ソルトフリー試薬分解技術の基本的成立性の提示(分解効率、安全性確認)</p>	<p>炭酸ヒドラジン及びシュウ酸ヒドラジンの電解分解に関して不純物が存在する条件において以下を示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 分解率99%が得られる電解条件(電流効率、電流密度、等) • 従来の電解槽設計と比べて著しい性能の低下が無いこと。 <p>分解生成物(アジ化水素、アンモニア)の気相への移行率が低いこと。</p>

17



革新技術に関する研究開発状況のまとめ

> 再処理システムの6課題

革新技術		現在の状況	2010年までの見通し
解体 せん断	解体	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。	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。
	せん断	せん断技術開発として燃料ピンを1cm程度の短尺でせん断する方法と操作条件を取得した。	
高効率溶解		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。	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。
晶析技術による効率的ウラン回収システム		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。	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 。
U-Pu-Npを一括回収する高効率抽出システム		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。	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を示せる見通し である。
抽出クロマト法によるMA回収技術		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。	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。
廃棄物低減化(廃液二極化)技術		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材腐食検討を行い、安全上の重大な問題となる可能性は低いことを確認した。	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。

18



代替技術の整理 — 再処理システム

- 「代替技術」の定義に従い、既存技術である軽水炉再処理用PUREX法の改良が考えられるが、既存技術の応用だけでは代替できない革新技術も存在する。

革新技術	代替技術案	代替技術採用の影響(例)
解体・せん断	<ul style="list-style-type: none"> 既存技術に代替となる方法はない。 R&Dリスク低減には結びつかないが、レーザー方式が候補として考えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費の増加 新規開発(実用化時期・研究開発費への影響)
高効率溶解	<ul style="list-style-type: none"> 溶解液を濃縮する設備を設けることで高濃度溶解液を得る。 軽水炉再処理用連続溶解槽の改良。 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費の増加 設備費の増加、建設費の増加
晶析	<ul style="list-style-type: none"> 簡素化溶媒抽出工程と処理順番を交替、又は、Pu-fissile率の高いブランケット燃料溶解液に対してのみ適用する。 溶媒抽出法(Co-pro等)への代替 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費の増加、系列の増加 抽出工程での処理量増加 設備費の増加、建設費の増加 核拡散抵抗性の潜在的な低下
高効率抽出	<ul style="list-style-type: none"> パルスカラムやミキサセトラ等の軽水炉再処理用抽出器への変更。 	<ul style="list-style-type: none"> 建設費の増加 Puインベントリの増加
抽出クロマトグラフィー	<ul style="list-style-type: none"> 溶媒抽出法(SETFICS-TRUEX法等)への代替 	<ul style="list-style-type: none"> 設備費の増加、建設費の増加 新規開発(実用化時期・研究開発費への影響)
廃液二極化	<ul style="list-style-type: none"> 既存洗浄試薬の使用。 	<ul style="list-style-type: none"> 低レベル廃液発生量の増加 処分費の増加

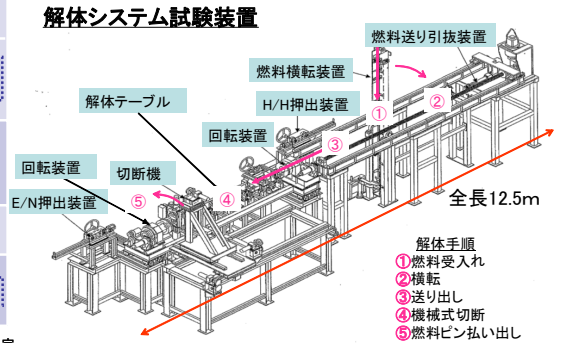
19



解体・せん断技術の開発 ー解体ー

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 解体要素技術開発					
① 解体機切断要素技術	工具材料の選定試験	選定材料での耐久性試験	切断条件の最適化検討・試験		
② 解体廃棄物減容技術	レーザーヘッドの改良検討(切断性能、耐放射性基礎試験)	切断試験装置の検討	切断試験装置の製作	評価試験	
2. 解体システム開発	システム試験装置基本設計	システム試験装置製作・据付	システム試験(解体操作等)		
3. 実用施設用解体装置の概念検討				概念設計	
4. 工学規模ホット試験向要素技術開発				検討及び要素試験	

■ : 実施済 ■ : 実施中 ■ : 実施予定



2010年度の成果目標:

ピン損傷確率を抑えた安定した解体制御技術及び燃料集合体のハンドリング技術の成立性の技術根拠を提示。

現在の成果および2010年度見通し:

- ・機械式切断試験により、使用する工具材料を選定し、ピン損傷状況、切断工具耐久性を評価した。
 - ・光ファイバーのγ線照射等から、ラッパ管減容切断へのレーザーの適用性を確認した。
 - ・製作した解体システム試験装置の作動試験から、燃料集合体の解体制御及びハンドリングに問題のないことを確認した。
- 以上より、成果目標である技術的根拠を示せる見通し。



長手方向スリットカット状況

実用炉用燃料材料(ODS鋼)のクロップカット試験

	CBN砥石	キュービット砥石
切断状況		
クロップカット後の模擬燃料ピン束		

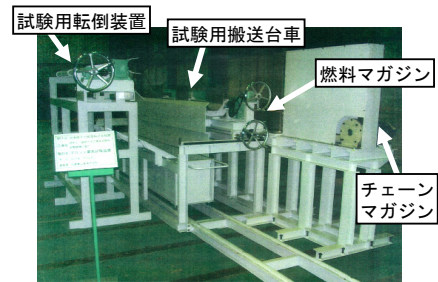


解体・せん断技術の開発 ーせん断ー

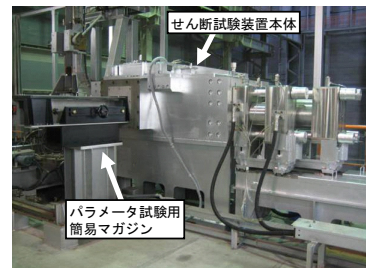
項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 燃料ピン装荷方法検討	燃料ピン装荷方法検討・試験	ワイヤ除去方法検討・試験	燃料ピン装荷方法改良		
2. 短尺せん断技術開発	せん断試験装置の整備	せん断パラメータ試験	改良マガジン設計・製作	短尺せん断システム試験	せん断試験装置耐久性評価
3. 照射済燃料せん断基礎データの取得		照射済燃料の物性測定	模擬燃料ピン製作		
4. 実用炉用せん断装置の概念検討				概念設計	
5. 工学規模ホット試験向要素技術開発				プレナム部等の処理方法検討	

■ : 実施済 ■ : 実施中 ■ : 実施予定

燃料ピン装荷試験装置



せん断試験装置



2010年度の成果目標:

短尺せん断による所定の燃料粉化率(50%)を得ること及び燃料ピン束のハンドリング技術の成立性の技術根拠を提示。

現在の成果および2010年度見通し:

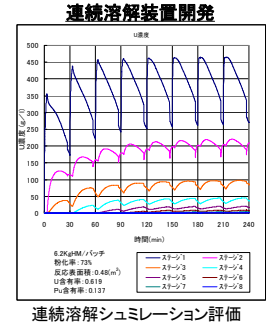
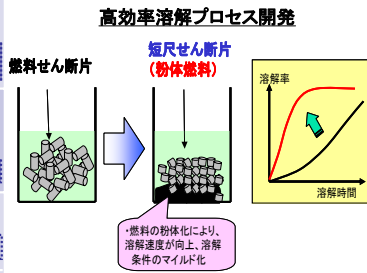
- ・パラメータ試験により、短尺せん断に必要な操作条件を取得した。
 - ・燃料ピン装荷試験により、燃料集合体のハンドリングに問題のないことを確認した。
 - ・照射済燃料ピンの物性測定から模擬ペレット仕様に反映できるデータを取得した。
- 以上より、成果目標である技術的根拠を示せる見通し。

(アルミナ模擬燃料ピンせん断試験)

せん断長: 3cm	1cm	0.5cm
燃料放出率: 19%	57%	71%

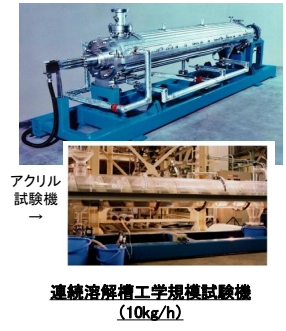
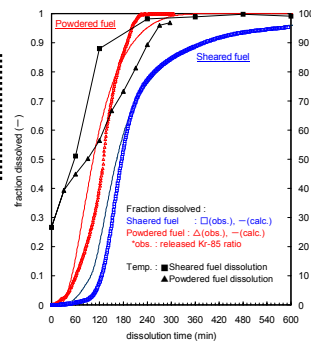
高効率溶解技術の開発

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 溶解プロセスの検討		小規模ウラン試験 (各種溶解パラメータの溶解挙動影響評価)	小規模ホット試験 (粒径分布、せん断長さ、攪拌速度の影響とスラッジへのPu移行率評価)		
2. 溶解槽構造の検討		腐食試験 構造・操作性検討	スケールアップ性検討		
3. モックアップ試験			試験設備製作・据付		
①工学規模コールド				評価試験	
②小型工学規模ウラン			試験設備 設計・製作・据付		評価試験



- 2010年度の成果目標:**
- ①高濃度溶解プロセス技術の開発
安定した溶解反応により高濃度溶解液 (500gHM/L) が得られる技術的根拠を提示。
 - ②高効率溶解装置の開発
小型工学規模溶解装置の機器構造成立性について、技術根拠を提示。

- 現在の成果および2010年度見通し:**
- ①高濃度溶解プロセス技術の開発
高濃度溶解に適した燃料形状 (粒径1~2mm程度の粉末) の溶解速度、高濃度溶解を模擬したウラン溶解反応時における圧力、流量等を把握した。今後、ホット試験を積み重ねることにより根拠を示す予定。
 - ②高効率溶解装置の開発
短尺せん断片の溶解・移送に対応した溶解槽構造の検討、ウラン溶解試験用小型工学規模設備の概念設計等を行った。今後この試験装置を製作し、ウラン試験を行うことにより、機器構造成立性の根拠を示す予定。

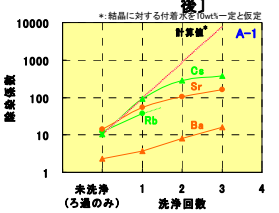
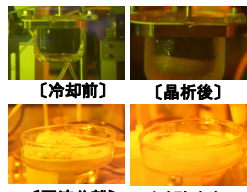


晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 高DF晶析技術の開発		小規模ホット試験 (FP核種の挙動把握・プロセス最適化データの取得)			
2. 連続晶析装置の開発		臨界安全評価			
①装置構造検討		構造検討・要素試験 (軸受・冷却・遠隔保守等)			
②工学規模晶析装置開発		システム試験 [ウラン試験] (運転性能・非常事象の把握試験)	既存装置 改良	システム試験 [ウラン試験] (非常事象対応設計の有用性確認)	
		試験設備 製作・据付	ベンチスケール試験 [ウラン試験] (固体物の装置内挙動把握等)		
3. 晶析関連技術の開発		結晶分離機の検討・試験機設計		評価試験	
		高濃度移送装置の検討・試験機設計		評価試験	

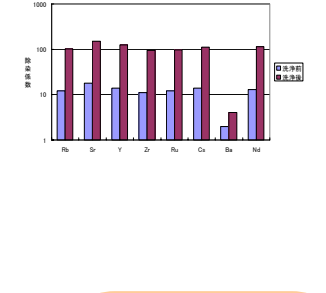
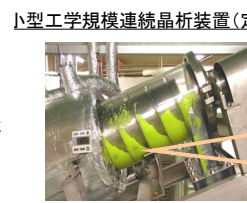
- 2010年度の成果目標:**
- ①U回収率70%以上及び除染係数100以上の達成が可能である晶析プロセス条件の技術根拠を提示。
 - ②小型工学規模晶析装置及び結晶分離技術等の周辺技術を含めた晶析システムとしての技術根拠を提示。

- 現在の成果および2010年度見通し:**
- ①プロセス技術
ウラン及びホット基礎試験によりウラン晶析時のCs等の挙動を把握した。また、ウラン試験により発汗融解操作によるウラン結晶精製効果を把握した。これにより除染係数100以上を得るための課題の明確化が図られ、有効な対策が得られつつある。今後、上記試験等を積み重ねることにより、プロセス条件の根拠を示す予定。
 - ②晶析システム
小型工学規模晶析装置を用いたウラン試験により、安定運転条件、非常事象の発生要因及び復旧方法を確認した。また、直接膨張方式の冷却システム試験装置を試作し、冷却確認試験等により適用性を評価した。
晶析装置の軸受構造、機器類の分割構造、保守方法及び結晶スラリーのサンプリング機構を検討するとともに、晶析装置及び結晶分離機の臨界安全性の評価、高濃度溶液の移送システム検討を行い、機器概念図等として整理した。
これらより晶析装置及び周辺装置の成立性見通しが得られつつある。



	Pu	¹²⁵ I	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu
run1 洗浄前	5.6	1.6	1.2	4.2
run1 洗浄後	25	0.7	0.8	27
run2 洗浄前	4.6	0.8	0.9	3.5
run2 洗浄後	19	0.5	0.9	19

- 【試験条件】**
- 常陽Mk-2炉心燃料 (約63GWD/炉) の溶解液
 - 原料液HM濃度・酸濃度: 約400gU/L、Pu富化度約30% 6N HNO₃
 - Pu原子価はNO_x吹込みでIV値調整
 - 冷却温度: 約10°C
 - 晶析率は60~80%



U,Pu,Np一括回収する高効率抽出システムの開発

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. U-Pu-Np一括回収プロセス開発		小規模ホット試験 (Np挙動、短寿命FP挙動把握)		小規模ホット試験 (フローシート最適化・評価)	抽出計算コード改良
2. 遠心抽出器開発		耐久性試験		改良検討・追加試験	耐久性総合評価
①磁気軸受開発		耐放射線性検討・試験		改良検討・追加試験	耐久性総合評価
②抽出システム開発		システム試験 [ウラン試験] (運転特性評価試験)			モニターシステム開発
			直接保守構造検討	抽出器保守手順検討	

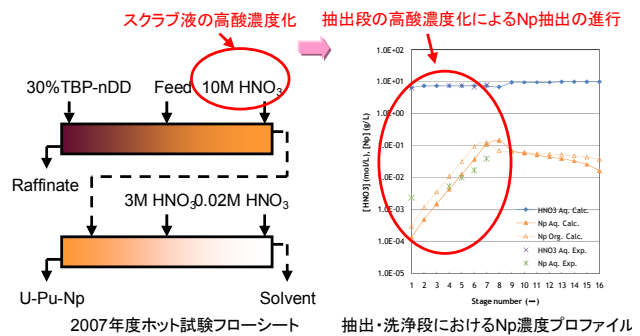
2010年度の成果目標:

- ① U-Pu-Np一括回収率99.9%以上、及び除染係数1000以上の達成が可能である技術的根拠を提示。
- ② 工学規模抽出システムの処理能力、安定運転及び耐久性について、技術根拠を提示。

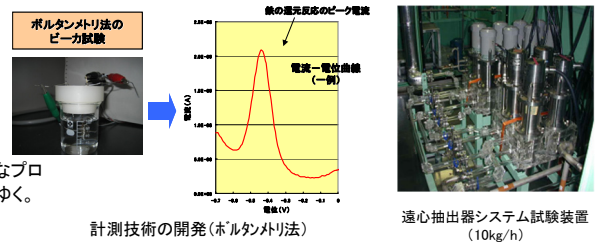
現在の成果および2010年度見通し:

- ① プロセス技術
 - ・ホット基礎試験によりNpの抽出挙動の把握(硝酸濃度の影響評価等)等を行い、最適なプロセス条件を検討した。今後、冷却期間の短い使用済燃料のホット試験データ取得してゆく。
 - 以上より、成果目標である技術的根拠を示せる見通し。
- ② 抽出システム
 - ・工学規模ウラン試験により遠心抽出器の起動・停止操作条件を把握し、計装制御技術検討に反映した。また、遠心抽出器の磁気駆動系の長時間運転を行い、軸受部耐久性に関する検討を行った。
 - 以上より、成果目標である技術的根拠を示せる見通し。

U-Pu-Np一括回収プロセス開発



遠心抽出器システム開発



抽出クロマト法によるマイナーアクチノイド回収技術の開発

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. プロセス開発		吸着材分離性能比較評価		フローシート構築	
			吸着材安全性評価	使用済吸着材処理法検討	
2. 要素機器開発		要素試験装置 設計・製作		流動性把握試験	
			安全性評価試験	耐久性評価試験	
3. 遠隔運転保守技術の開発		計装・制御方法検討		遠隔操作性検討	
4. 工学規模機器開発		工学規模試験装置 設計・製作		工学規模試験[コールド試験]	実用規模システム概念構築

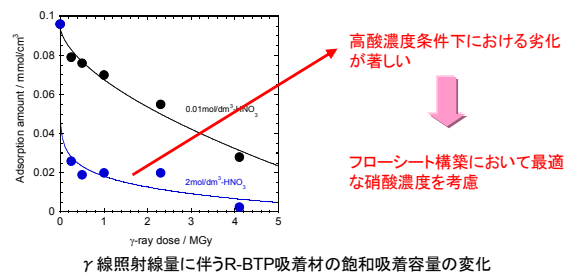
2010年度におけるクライテリア:

- ① MA回収率99.9%、除染係数100の達成が可能であることの技術根拠を提示。
- ② クロマトグラフィー塔に関する安全性評価の信頼性を技術的に提示。
- ③ クロマトグラフィー塔運転に特有なシーケンス制御技術の成立性について技術根拠を提示。

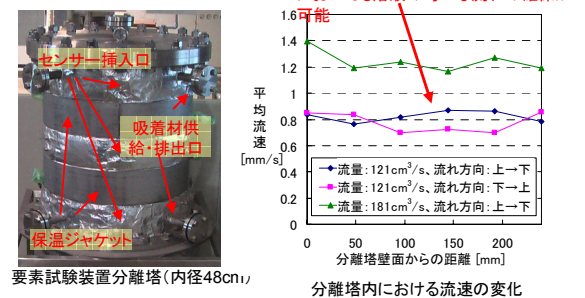
現在の成果および2010年度見通し:

- ① 回収率、除染係数
 - ・各種抽出剤の分離性能、耐放射線性を把握するとともに、シミュレーションコードを整備した。
- ② 安全性評価
 - ・要素試験装置を用いた試験によりクロマトグラフィー塔内の流動性等を把握した。
- ③ シーケンス制御技術
 - ・計装制御性等の検討を行い、これを踏まえた工学規模試験装置の基本設計を行った。
 - 計画上、これまでの成果だけでは成果目標に対する可否を判断できる状況にないが、今後工学規模試験装置を用いた試験等を予定通り実施することで成果目標である技術的根拠を示す予定。

MAプロセス開発



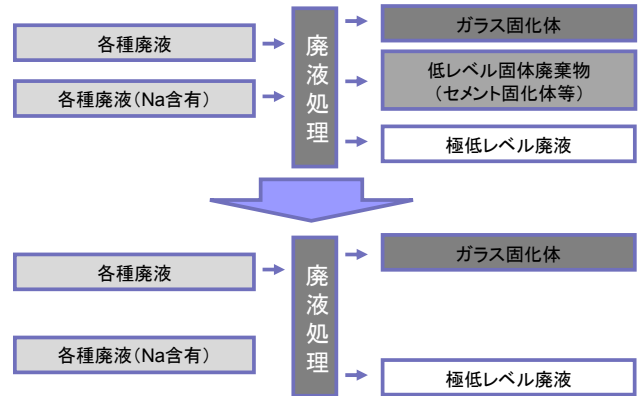
MA回収試験装置開発



廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況					
1. 溶媒洗浄技術の開発			分解生成物等動 評価試験		
			電解装置等構造耐食性検討		
			実用化溶媒の 洗浄試験	実用化溶媒洗浄廃液の 分解試験 [ホット試験]	
2. 周辺工程の ソフトフリー化検討		調査・検討	試験装置 設計・製作	洗浄性能 確認試験	
			分析項目調査・代替試薬検討		
			候補技術の 調査等	候補技術の性能 確認試験	
①オフガス洗浄工程					
②濃縮妨害試薬 排除検討					
③硝酸分解技術 検討・評価					

■ : 実施済 ■ : 実施中 ■ : 実施予定

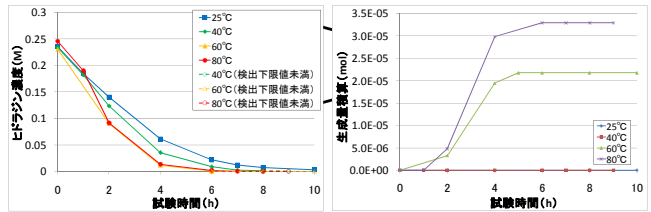


2010年度の成果目標:

- ①溶媒洗浄工程のソルトフリー化プロセスの洗浄効率性能について技術根拠を提示。
- ②ソルトフリー試薬分解装置等の基本性能達成や安全性評価の技術根拠を提示。

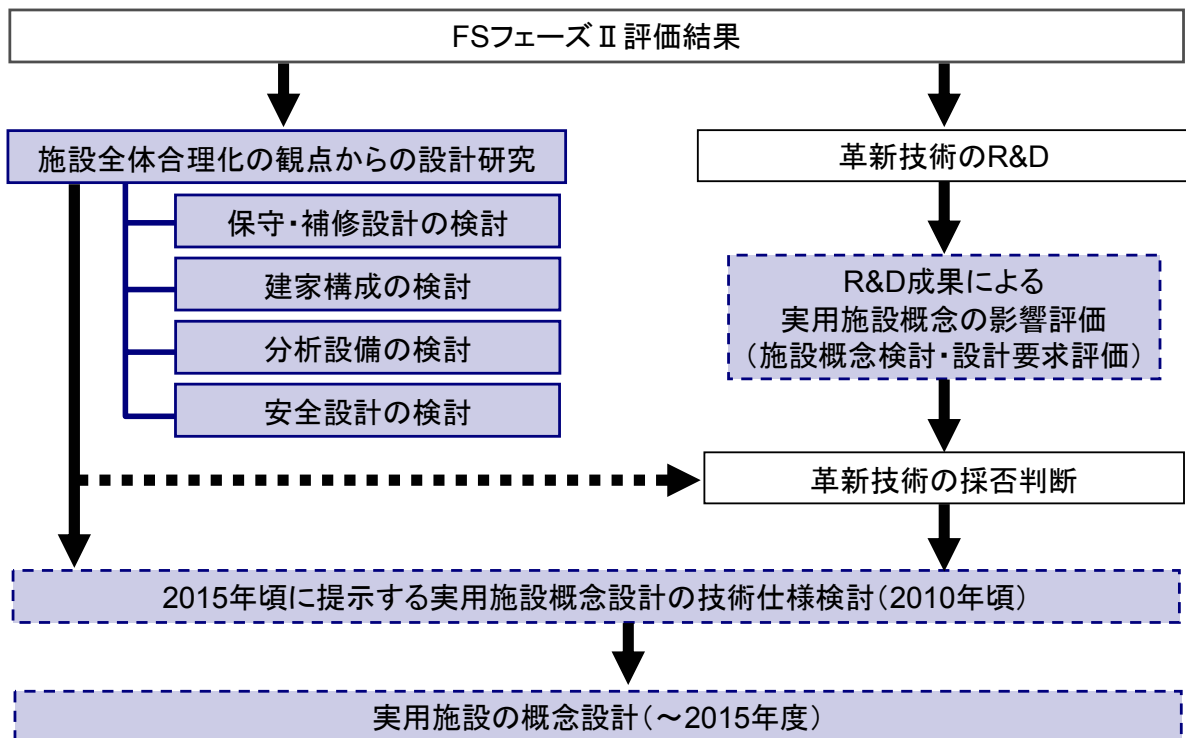
現在の成果および2010年度見通し:

- ①プロセス技術
 - ・周辺工程のソルトフリー化プロセス成立性に関する技術根拠に資するためのオフガス洗浄工程、溶媒洗浄工程等のソルトフリー化の評価を行った。
 - ②分解装置等基本性能、安全性評価
 - ・ソルトフリー試薬分解装置等の安全性評価に資するためのソルトフリー試薬及び分解生成物の挙動を把握した。
- 以上により、上記の各クライテリアにある技術的根拠を示せる見通し。



溶媒洗浄用ソルトフリー試薬(ヒドラジン)の電気分解速度及び分解生成物(アジ化水素)の気相への移行挙動

設計研究の計画と進捗



■ 設計研究のスコープ(実施済・実施中)

■ 設計研究のスコープ(今後実施する事項)



再処理システム設計研究

(1) 保守・補修設計の検討

- 先進湿式法で採用されている燃料集合体解体、燃料ピン束せん断及び連続溶解の各装置は**現状技術で遠隔保守が可能の見通し**が得られた。
 - 解体／せん断装置の最新の機器概念に対して遠隔保守を可能とするためには現状のセル寸法では不十分であり、**仮置き場所も含めた保守作業エリアを確保する必要**がある。
 - 解体装置で頻繁な交換が想定されている**機械工具の交換時間は2時間程度と評価**され、**専用交換装置等の設計対応が必要**である。
 - 連続溶解装置の**ドラムを交換する作業には16時間程度が必要と評価**され、**ボルト本数の低減、複数ボルトを同時に締め付ける治具の工夫等が必要**である。



再処理システム設計研究

(2) 建家設計の検討

- **機能別建屋とした場合、建屋容積は一体型建屋構成に比べて30%程度増加**すると推定された。
- これにより建屋と電気・換気設備のコストは合計で**20%程度増加**する。(建屋毎の耐震クラス分類を考慮した評価)
- この増加分は、建屋と電気・換気設備に機器を加えた**全建設コストの10%程度に相当**する。
- 以上の評価は、一体型建屋の概念設計に基づく推定による概略比較であり機能別建屋構成の詳細検討は未実施のため今後の設計進捗に応じて、詳細な検討が必要である。



再処理システム設計研究 (3) 分析設備の検討

- 現行のプロセス設計では、先進湿式法による再処理工程の工程管理のための分析頻度が多く、分析負荷が大きい。
- 簡素化ペレット法による燃料製造工程の工程管理のための分析負荷はそれ程ではない。
- 計量管理のための分析負荷はそれ程でもないが、暫定的な条件を設定しているため、一層の合理化を含め今後の見直しが必要である。

- 今後、再処理工程の工程管理のための分析頻度を低減するための検討が必要である。
 - 具体的には、塔槽類の容量増加や工程管理分析の必要性の吟味、分析の合理化や自動化等の検討が必要となる。



再処理システム設計研究 (4) 安全設計の検討 [1/2]

抽出された検討項目 <研究開発の必要な技術課題>

- ① 平衡炉心に達する前の移行期のFBR用Pu同位体組成の設定
Pu同位体組成はPu組成の変動の不確定さを考慮して安全側の数値とするが、組成を変化させた場合の機器形状への影響の感度解析を行い、適切な設定を行えるようにしておくべき(等価フィッサイル法の検討含む)。
- ② FBR再処理用の臨界安全ハンドブック
再処理施設の設計に関与する多くの技術者が参照可能な、FBR再処理用の臨界安全ハンドブックの作成が望まれる。
- ③ 燃焼度クレジットの採用による合理化効果検討
使用済燃料貯蔵設備への適用として、乾式貯蔵/湿式貯蔵の比較、かつ燃焼度クレジットの採否による合理化効果の比較検討をすべき。また、主工程への適用として、施設が大容量化して主工程機器を臨界安全形状寸法管理とすることが適切でない場合における、可溶性中性子吸収材の適用も検討すべき。
- ④ 燃焼度モニタの開発
原理的にはLWRと同様な方式を採用できると考えるが、空気雰囲気計測可能か、線源強度の増加影響(遮へい体の設置)、遮へい体設置等による測定環境の変更下での測定精度の保証等のような検討課題があり、研究開発が必要。



再処理システム設計研究 (4) 安全設計の検討 [2/2]


抽出された検討項目 <設計において着実に取り組むべき事項>

- ① 移行期の再処理施設(LWRライン)の臨界安全管理方法
LWR-MOX使用済燃料の発生量、Pu富化度等から、臨界安全に着目したFBRラインでの処理の合理性を検討すべき。
- ② 径ブランケット燃料を混合処理する場合のウランの臨界安全への影響
径ブランケット燃料の溶解液が存在するライン中の、ウランの臨界安全への影響を定量的に検討すべき。
- ③ 径ブランケット燃料を混合処理する場合の臨界安全ケーススタディ
パターン処理し、計量槽及び調整槽にて混合するケースと計量槽下流に溶解液槽を設けて一時貯蔵した後に調整槽にて混合するケースについて検討すべき。
- ④ 計装の積極的な活用
連続液移送系における計装(検出器, インターロック: 二重)による臨界管理と、回分移送系における分析(濃度確認, 施錠管理)による臨界管理を検討すべき。
- ⑤ マイナーアクチノイドの回収
プロセス構成及びプロセスの性能が決定された段階で、溶液中のAm+Cm濃度を保守側に設定し、実効増倍率(k_{eff})を計算。

32



工学規模ホット試験施設の設計検討 - 再処理システム - (1) 要求仕様の検討

- **主概念の革新技術**を中心に主要設備について工学規模のホット試験を可能とする。
 - 革新技術+清澄・スラッジ取扱技術+代替技術(合理的な範囲で)
 - 個別の試験設備での**単独試験**と、複数の試験設備を連結した**システム試験**の両方を可能とする。
 - 運転性、遠隔保守性、プラント特性の把握や周辺設備の設計裕度の妥当性検証...
- 
- 試験に使用する燃料(設計基準燃料):
 - 「もんじゅ」の炉心・径ブランケット燃料(径ブランケット燃料は炉心燃料と混合処理)
 - 利活用する既存施設:
 - 建設中断中の「リサイクル機器試験施設(RETf) 試験棟」
 - 製品の転換・廃棄物処理等にはTRP既存施設
 - 試験規模:
 - 実証サイクル施設(想定)以上の時間当たり処理量で、化学プロセスを連続16時間(立上+平衡)可能な規模 ⇒ 集合体にして2~3体/試験

33



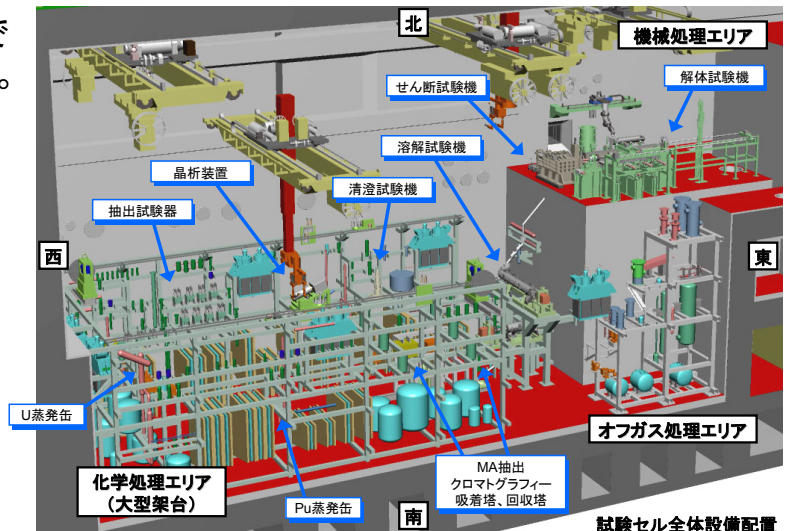
工学規模ホット試験施設の設計検討 - 再処理システム -

(2) 設計検討結果

■ 要求仕様に従い、プロセス設計を展開

- 既存施設の利用という制約条件から、求められる試験設備を限られた空間に配置可能かの検討を実施。
 - ⇒ 基本的な成立性は認められる。
 - ⇒ **配置上、大きな影響を与えているのは槽類と機器数で、試験機器の寸法の大小はこの試験規模では支配要因とならない。**
- 成立性については、以下の要検討事項がある。
 - ・セル壁貫通配管の数
 - ・オフガス設備の容量
 - ・真空設備の容量
 - ・規模の小さい試験における低流量試薬供給の安定性

...等



34



軽水炉サイクルから高速炉サイクルへの移行期の検討

- 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需要を明らかにするための物量・時間スケールの評価
- 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
- 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。

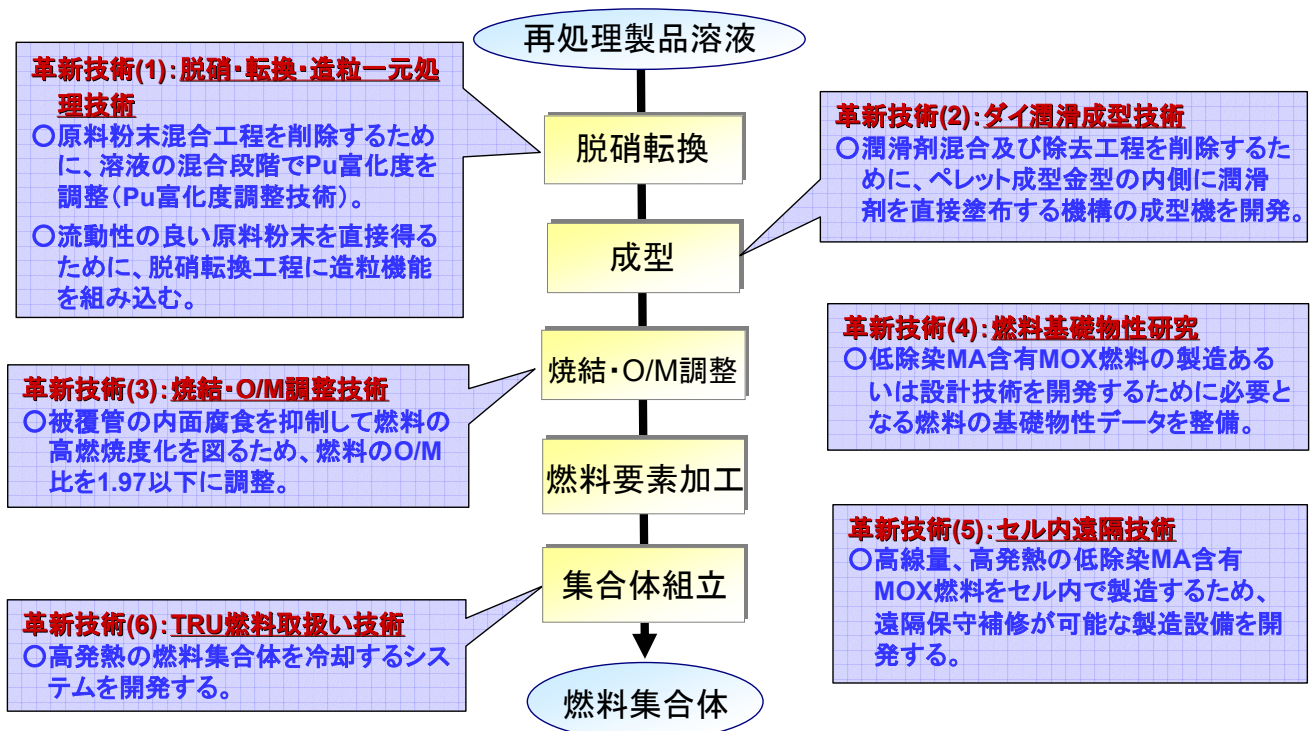
35

4. 燃料製造システムの研究開発の進捗

36



主概念の特徴と革新技術採用のねらい – 簡素化ペレット法



37



2010年度の成果目標(革新技術採否判断の目安)の具体化 (2) 燃料製造システム

- 2010年の革新技術の採否判断に向けて、達成すべき成果目標を設定
 - プロセスの成立性確認
 - 設備機器の量産性確認
 - 遠隔保守を含む設備システムの成立性確認

革新技術	2010年の成果目標
1.脱硝・転換・造粒一元処理技術	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模MOX試験設備を整備し、MOX試験でCarrの流動性指数が60以上、比表面積が3~5m²/gの流動性改良粉末が80%以上の収率で得られること。 ・マイクロ波加熱脱硝技術、造粒技術の量産性見通しに関する技術根拠の提示
2.ダイ潤滑成型技術	小規模MOX試験設備を整備し、MOX試験で割れ欠けのないグリーンペレットが90%以上の収率で得られること、及び成型速度が7.5個/分・パンチ以上であること
3.焼結・O/M調整技術	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模MOX試験設備を整備し、MOX試験で焼結密度が95%以上、O/Mが1.97以下で良好な外観と均質なMOX中空ペレットが90%以上の収率で得られること。 ・焼結・O/M調整設備について、量産化に適した方式選定及び量産化への見通しに関する技術根拠の提示
4.燃料基礎物性研究	本技術は燃料製造技術、燃料設計技術を支える基盤的な研究であるため、クライテリアは設定していないが、物性データの測定及び評価を進める。
5.セル内遠隔技術	セル内遠隔量産設備の保守補修技術に対し共通的なシステム技術の概念の構築
6.TRU燃料取扱技術	集合体組立設備の除熱システムについて技術的成立性に関する根拠の提示

38



プルトニウム燃料第三開発室における 製造ラインを利用した燃料製造技術開発試験

- 目的
 - FaCT枢要技術に係る工学実証
 - 実証炉燃料製造に向けた技術基盤整備
 - 高度化燃料に係る照射データ取得
- 実施期間
 - 製造技術開発試験： H20年度～22年度
- 期待される成果
 - 簡素化ペレット法の枢要技術に係る工学規模の実現性評価データ
 - 実燃料製造工程におけるモジュール化機器の運用データ
 - FaCT6課題外の燃料製造合理化技術の実現性評価データ
 - 実証炉燃料製造において必要となる製造プロセスの評価データ
 - 高度化燃料に係る照射データ

39



革新技术に関する研究開発状況のまとめ

> 燃料製造システムの6課題 [1/2]

革新技术	現在の状況	2010年までの見通し
脱硝・転換・造粒一元処理技術	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の見通しを得るため、小規模のMOX試験設備の整備を進めている。	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優先する必要があることから、ウラン試験等によるデータの蓄積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。
ダイ潤滑成型技術	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。	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。 。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FBR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。
焼結・O/A調整技術	プロセス技術開発については、小規模のMOX試験設備を整備中である。 なお、熱処理によるO/M調整法についてはMA添加高発熱燃料の工程内O/Mドリフト抑制方法に不確実さがあるため、代替として酸素ゲッタ材による方法を検討している。	焼結プロセス技術開発については、共用バッチ炉での試験データを2010年度中に得る予定であるが、試験データの蓄積が十分出来ない可能性がある。しかしながら、 これまでの基礎データ等と合わせて総合的に評価することで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。 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。 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。



革新技术に関する研究開発状況のまとめ

> 燃料製造システムの6課題 [2/2]

革新技术	現在の状況	2010年までの見通し
燃料基礎物性研究	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。	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。
セル内遠隔設備開発	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。	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。
TRU燃料取扱い技術	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。	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。

脱硝・転換・造粒一元処理技術

> 2010年度までの研究開発の進め方と進捗 [1 / 2]

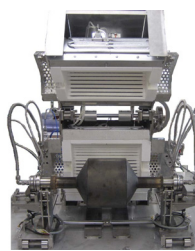
項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況					
1. 小規模MOX試験 ①Pu富化度調整済溶液の脱硝転換		試験設備整備		小規模MOX試験によるプロセス成立性見直し評価	
②造粒		試験設備整備		小規模MOX試験によるプロセス成立性見直し評価	
2. 量産技術開発 ①脱硝転換技術		脱硝容器、焙焼還元方式選定検討試験			方式選定
②造粒技術		上部アクセスによる一元処理の適用性検証	造粒条件検討試験、量産設備開発		
3. 実用施設用粉末調整工程の概念検討				概念検討	

■ 実施済 ■ 実施中 ■ 実施予定

■ 2009年度からの小規模MOX試験に向け、既設グローブボックス内に設置されたビーカースケール試験設備を撤去するとともに、新たに設置する試験設備の設計・製作を実施した。



脱硝試験装置



焙焼還元試験装置



造粒試験装置

主要な試験装置の外観

脱硝・転換・造粒一元処理技術

> 2010年度までの研究開発の進め方と進捗 [2 / 2]

■ 量産性見通しの評価に向け、方式の比較選定を進めている。

- 脱硝容器として浅皿と円筒の容器を比較した結果、突沸が発生せず、容器の高さに由来するハンドリング性に関する課題がなく、工学スケールでの運転実績が豊富であることから、浅皿容器の方が量産に適する可能性があるとの知見を得た。



浅皿容器による脱硝体(240gU)

■ 転動造粒条件の検討を進めている。

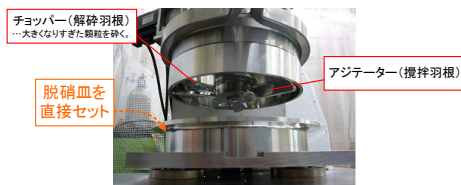
- 粒子径数百μmのUO₂造粒粉末を得ることができた。
- しかし、その粒度分布は水分添加量に非常に敏感に影響すること及び、容器内面や攪拌羽根への粉末の付着を防止し、収率向上を図る必要があることがわかった。
- 攪拌羽根を容器上部から駆動する上部アクセス型転動造粒機を試作し、酸化タングステン粉末(WO₃)を用いて試験した結果、造粒粉末を得ることができたことから、一元処理(容器共用化)の可能性が確認できた。
- 粒度が揃った造粒粉末を高収率で得るため、造粒と整粒の組合せについても検討を進めている。



造粒中の様子(UO₂造粒粉末)

UO₂粉末の造粒試験結果

	UO ₂ ケース1		UO ₂ ケース2	
	15.8	14.8	14.8	21.0
水分添加量(wt%)	240	210	210	210
処理時間(sec)	300	300	300	300
羽根回転数(rpm)	300	300	300	300
造粒粉末の外観				
粒度分布 平均粒径				
Carriの流動性指数	91(最も良好)		88(良好)	



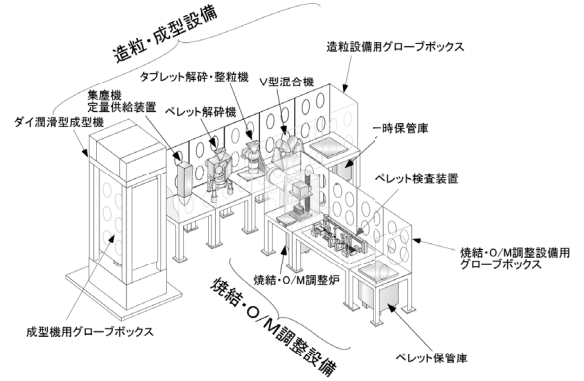
上部アクセス型転動造粒機

ダイ潤滑成型技術

2010年度までの研究開発の進め方と進捗

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 小規模MOX試験		試験設備整備			評価試験
2. プルトニウム第三開発室設備利用による工学規模燃料製造技術開発試験		試験設備整備			評価試験
3. 遠隔保守対応設備開発	(遠隔保守対応モジュール化設備開発試験)				

実施済
 実施中
 実施予定



小規模MOX試験設備イメージ図(鳥瞰図)

- 2010年度からの小規模MOX試験に向け、既設のグローブボックスを撤去するとともに、小規模MOX試験用ダイ潤滑型成型機の詳細設計を実施した。

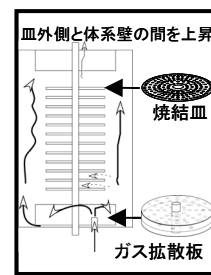
- ダイ潤滑成型機の保守性を向上するため、MOX粉末を取り扱うダイセット部のみをグローブボックス内に配置し、駆動部等をグローブボックス外に配置。
- ダイ潤滑成型機のメンテナンス時間の短縮及び遠隔操作によるメンテナンス性を考慮し、脱着操作用ネジ一本により容易に金型交換ができる脱着ツール方式を採用した。

焼結・O/M調整技術

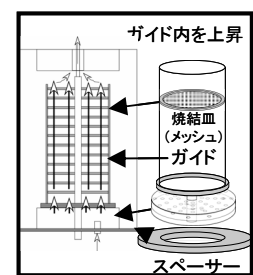
2010年度までの研究開発の進め方と進捗

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況			▽		
1. 小規模MOX試験		試験設備(共用、質量管理、バッチ炉)整備			評価試験
2. 量産技術開発		量産化に適した方式(臨界管理、連続/バッチ等)選定検討			方式選定
3. 実用施設用焼結・O/M調整工程設備の概念検討				概念検討	

実施済
 実施中
 実施予定

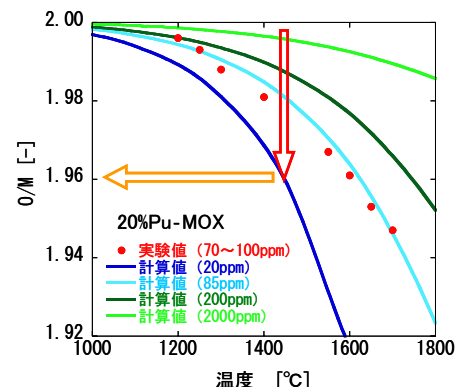


①既設バッチ炉の模擬炉



②改良型模擬炉

- 小規模MOX試験に向け小規模MOX試験用焼結・O/M調整共用炉等の詳細設計を実施した。
 - 従来の構造では供給ガスの流れが不均一であり、ペレット密度及びO/Mのバラツキの要因になっていることが分かったため、供給ガスの流れの改善効果を試験で確認し、炉の設計に反映した。
 - 従来よりも短い時間でペレットの低O/Mを実現に向け、熱処理時の降温の際に生じるO/Mの上昇を抑制するため、急冷が可能な機能を付加した焼結・O/M調整炉の詳細設計を実施した。
- 量産方式選定に向け炉方式の評価検討、O/M調整の代替技術としての酸素ゲッター材開発試験を実施している。

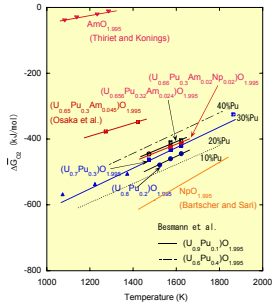


熱処理雰囲気温度、水分とO/Mの関係

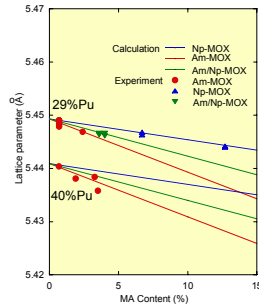
燃料基礎物性研究

> 2010年度までの研究開発の進め方と進捗

- 燃料製造あるいは燃料設計に反映するため、Pu,Np,Amの含有率及びO/Mをパラメータとした試料を調製し、物性値、焼結特性などの基礎データの測定・評価を進めている。
 - これまでの研究成果から、MA含有による燃料特性への大きな影響はない。



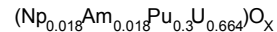
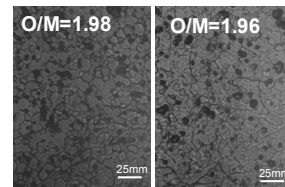
(U,Pu,Np,Am)O_{1.995}の酸素ポテンシャルの比較



(U,Pu,Np,Am)O_{1.995}の格子定数

物性値に及ぼすMA含有、Pu含有率及びO/Mの影響

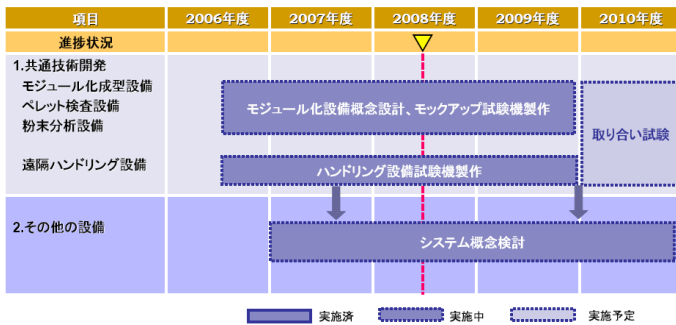
物性値	MA,Pu,O/M比の影響
融点	<ul style="list-style-type: none"> ・1%Amで約4Kの低下 ・Pu含有により低下 ・O/Mの低下により上昇
酸素ポテンシャル	<ul style="list-style-type: none"> ・Am含有により上昇 ・Pu含有により低下 ・O/Mの低下により減少 ・FCCIへの影響は無視できる程度
相分離温度	<ul style="list-style-type: none"> ・Am,Npの含有により低下 ・Pu含有により低下 ・冷却材温度以下であるため、影響なし
格子定数	<ul style="list-style-type: none"> ・Am,Npの含有により低下 ・5%Amで0.04g/cm³の密度低下 ・Pu含有により低下 ・O/Mの低下により上昇
熱伝導率	<ul style="list-style-type: none"> ・1000K以下で僅かに低下 ・高速炉燃料の温度範囲では影響なし ・20~30%Puでほぼ一定 ・O/Mの低下により減少



- また、第一原理計算などの計算科学を適用して、物性値の予測技術の開発を進めている。

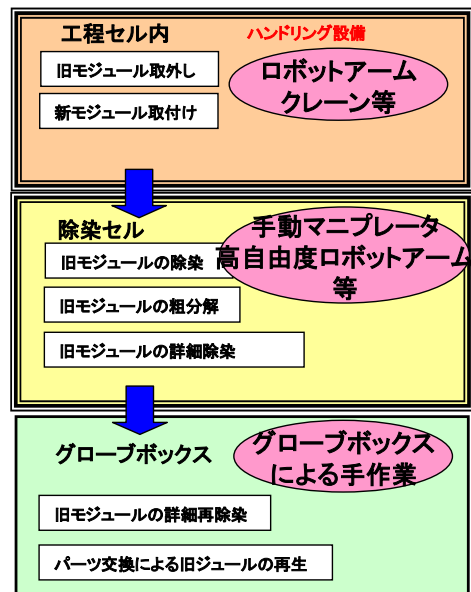
セル内遠隔設備の開発

> 2010年度までの研究開発の進め方と進捗



- 1)セル内遠隔設備の共通的な技術開発項目として、①モジュール化成型設備、②ハンドリング設備③ペレット検査設備及び④粉末分析設備のセル内設備に関する技術開発を実施している。
- 2)公募開発成果を適用した「その他のセル内設備開発」を実施している。
 - 連続焼結炉について、炉体のモジュール化、接続コネクタ等遠隔取扱を考慮した構造化等の概念設計を行い、モジュール交換手順を示した。
 - 原子力機構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た工学規模環境におけるセル内遠隔設備の成立性確認試験に供するため、ダイ潤滑成型設備及びペレット検査設備について、公募成果を一部採用した設備を製作中。

セル内設備遠隔保守システムの共通的概念



TRU燃料の取扱

➤ 2010年度までの研究開発の進め方と進捗 [1 / 2]

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
進捗状況					
1. TRU燃料集合体組立時の燃料バンドル冷却評価ツールの整備		設計・製作	定常試験・過渡試験		
①フルモックアップ除熱試験				ツール整備・過渡解析	
②除熱評価ツールの整備		ツール整備・定常解析		ツール整備・過渡解析	
2. 冷却システム概念の構築			システム概念検討・構築		
3. ミクロ評価ツールの検討		定常試験		過渡試験	

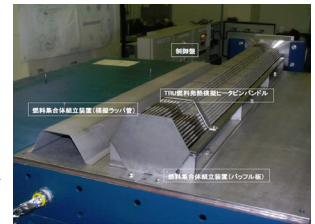
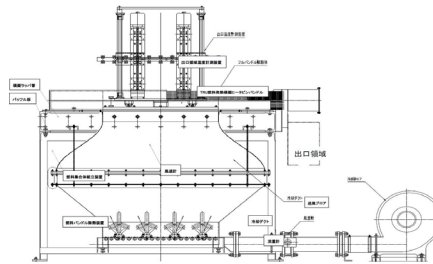
実施済
 実施中
 実施予定

■ TRU燃料集合体組立時の燃料バンドル冷却評価技術の開発(公募)

- 燃料バンドルフルモックアップ試験装置を製作し、燃料バンドル内の温度分布データの取得試験を実施中。除熱可能な見通し。
- 様々な条件下での燃料バンドル内温度を予測するための評価ツールの整備実施中。

■ 発熱影響対策は

- ・発熱源である燃料取扱を少量分散
 - ・自然放熱機能を強化
 - ・強制空冷で除熱して温度を制御
 - ・不活性雰囲気化により酸化反応を抑制
 - ・耐熱性材料を選定
- を組み合わせることにより、影響緩和が可能であるが、燃料集合体は発熱源を分散できないため、最も優先すべき課題と設定した。



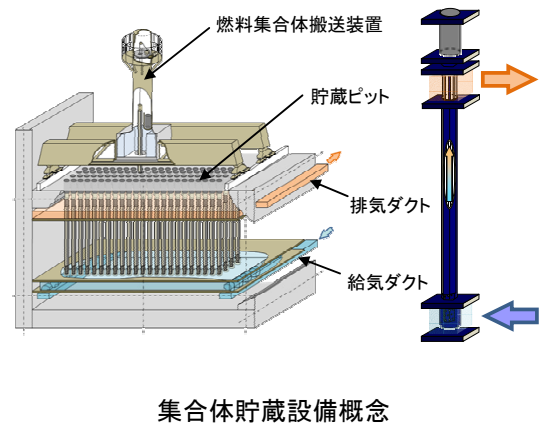
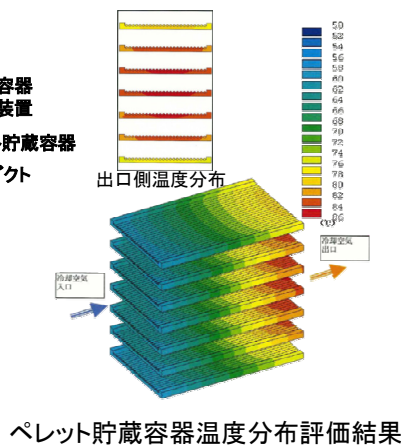
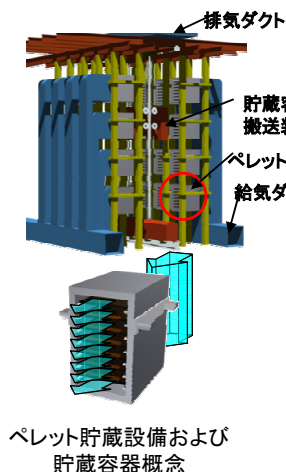
集合体除熱モックアップ試験装置

TRU燃料の取扱

➤ 2010年度までの研究開発の進め方と進捗 [2 / 2]

■ 2) その他設備の除熱対策検討として、ペレット貯蔵庫、新燃料集合体貯蔵施設等の除熱対策の成立性を評価した。

- ペレット制限温度85°C(暫定)、燃料集合体制限温度300°C(暫定)として、成立性を確認した。
- 制限温度等詳細条件について、今後の要素技術開発成果により見直していく。



高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCTプロジェクト) マネジメントレビュー説明資料

平成20年11月21日
日本原子力研究開発機構

1

マネジメント・レビュー(目次)

1. 前回評価(2006年)の指摘事項と、機構の措置の概要
 - (1) 研究開発実施体制
 - (2) 予算と要員
 - (3) 人材育成と技術継承
2. 研究開発体制
 - (1) 国内体制
 - (2) 五者協議会での決定事項
 - (3) 機構内組織
 - (4) FBRサイクル技術開発推進本部の運営
 - (5) 炉システム推進体制
 - (6) 燃料サイクル推進体制
 - (7) 部門間の協力体制
 - (8) 国際協力体制
3. 知識基盤整備と品質保証
4. 研究資源
 - (1) 予算の推移
 - (2) 要員の推移
5. 人材育成
 - (1) 機構内
 - (2) 外部機関との関係
 - (3) 大学との連携
6. 情報発信

2

1. 前回 (2006年) 評価委員会での指摘事項と、機構の措置の概要 (1/2)

(1) 研究開発実施体制

[指摘事項(2006年)]

- 機構を中心としたオールジャパン体制で進められるべき
- 機構内の部門・拠点との連携強化を図ること
- 組織や評価の仕組みの改善・改良を図りつつ進めること
- 電気事業者、メーカー、国との関係のあり方について継続的に検討すること



[機構の措置(2006年)]

- 機構内において設計研究と要素試験を連携させ、エンジニアリングを配慮した体制を構築した。また、「FBRサイクル連携推進会議」により部門間、部門－拠点間の連携により効果的な研究開発が進められるようにしている。
- 炉システムについては、五者協議会（経産省、文科省、電気事業者、メーカー、原子力機構）の方針に基づき、実証炉の基本設計のエンジニアリングを行うFBR開発新会社の設立準備が進められている。これらを踏まえて技術実証と、実用化に向けた体制作りが進められている。
- 燃料サイクルについては、2010年頃の第二再処理工場の検討の中で、五者がエンジニアリング機能を日本に根付かせる体制を検討することが適切と考える。

3

1. 前回 (2006年) 評価委員会の指摘事項と、機構の措置の概要 (2/2)

(2) 予算・要員

[指摘事項 (2006年)]

- 今後、従来以上の研究費が必要となり、計画通りの成果を挙げるためにも、予算・要員増強の継続的な経営努力が必要である。



[機構の措置(2006年)]

- 必要資金枠拡大、業務の効率化、外部資金獲得、及び国際協力の有効活用等の経営努力を行っていく。

(3) 人材育成・技術継承

[指摘事項(2006年)]

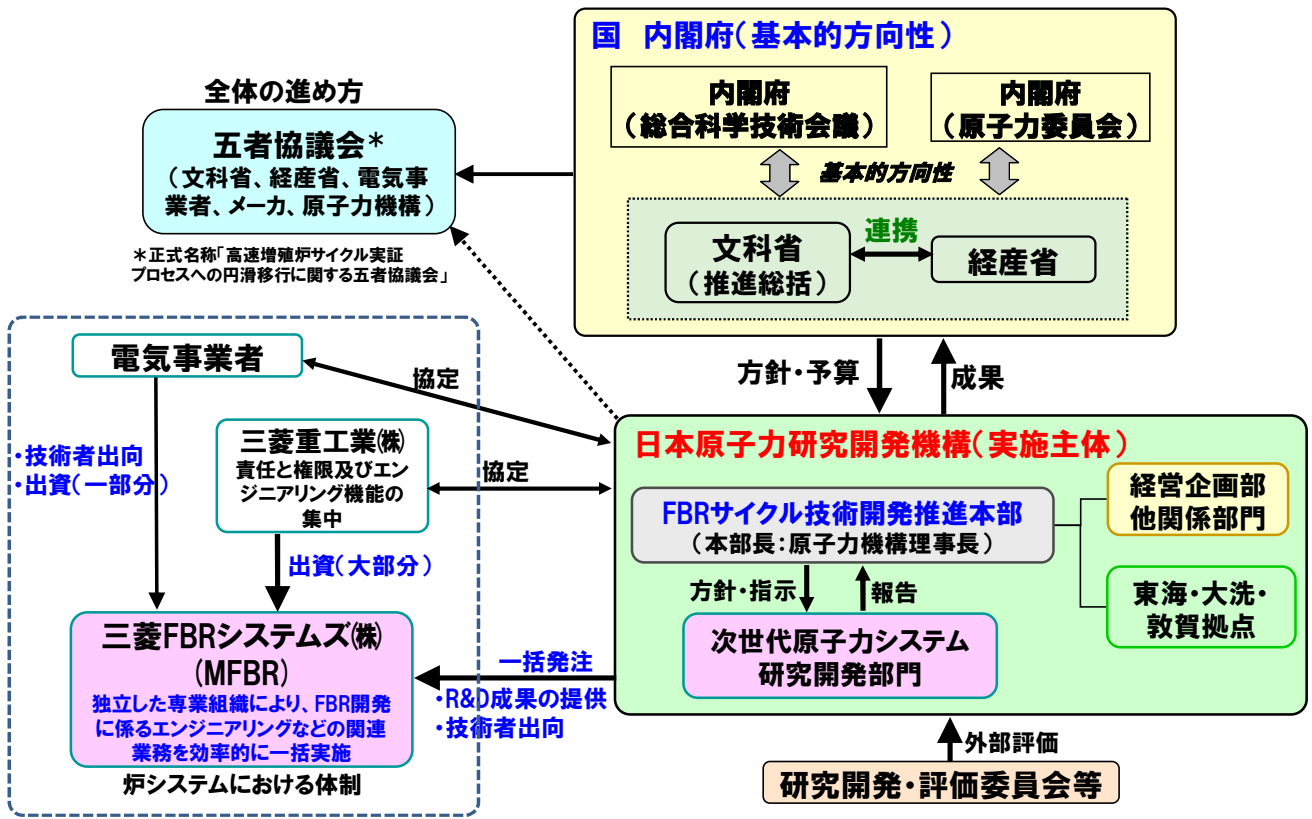
- 開発期間が長期に及ぶことから、人材育成・技術継承の検討は必要である。



[機構の措置(2006年)]

- 中核となっている研究者・技術者と若手の研究者・技術者が協働するプロジェクト運営により技術継承の円滑な推進を図る。また、高い技術力を有するOBの活用も検討する。
- FBR設計新会社と原子力機構での人的交流により、相補的に知識管理・人材維持を行う。

4



2. 研究開発体制 - (1) 国内体制-

5

2. 研究開発体制 - (2) 五者協議会での決定事項 (炉システム) -

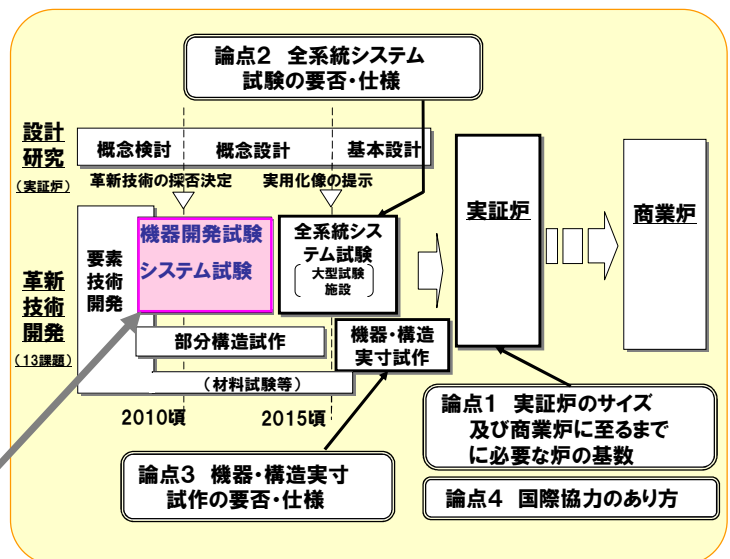
◆ 高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理 (2007年4月25日)

- 現時点で想定されるステップのイメージを提示
- 比較的早い時期に実施すべき項目、「論点」と「判断ポイント」について整理

<比較的早い時期に実施すべき項目>

- 機器開発試験・システム試験、部分構造試作
- 当面の概念検討の対象とするサイズを50~75万kWの範囲とした上で、実証炉の概念検討を実施

機器開発試験の建設開始

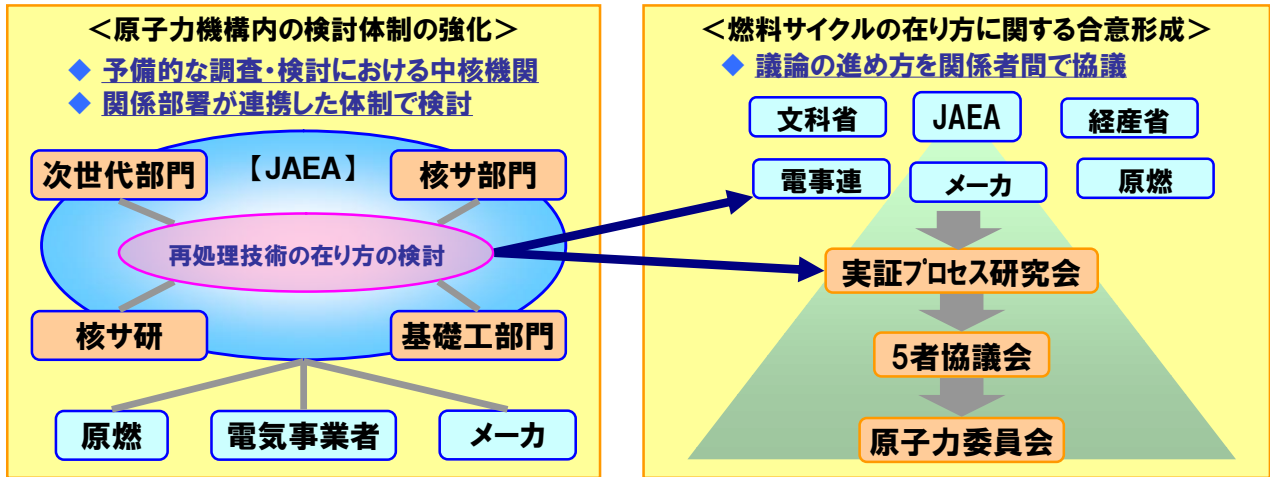


<実証ステップとそれに至る研究開発プロセスのイメージ>

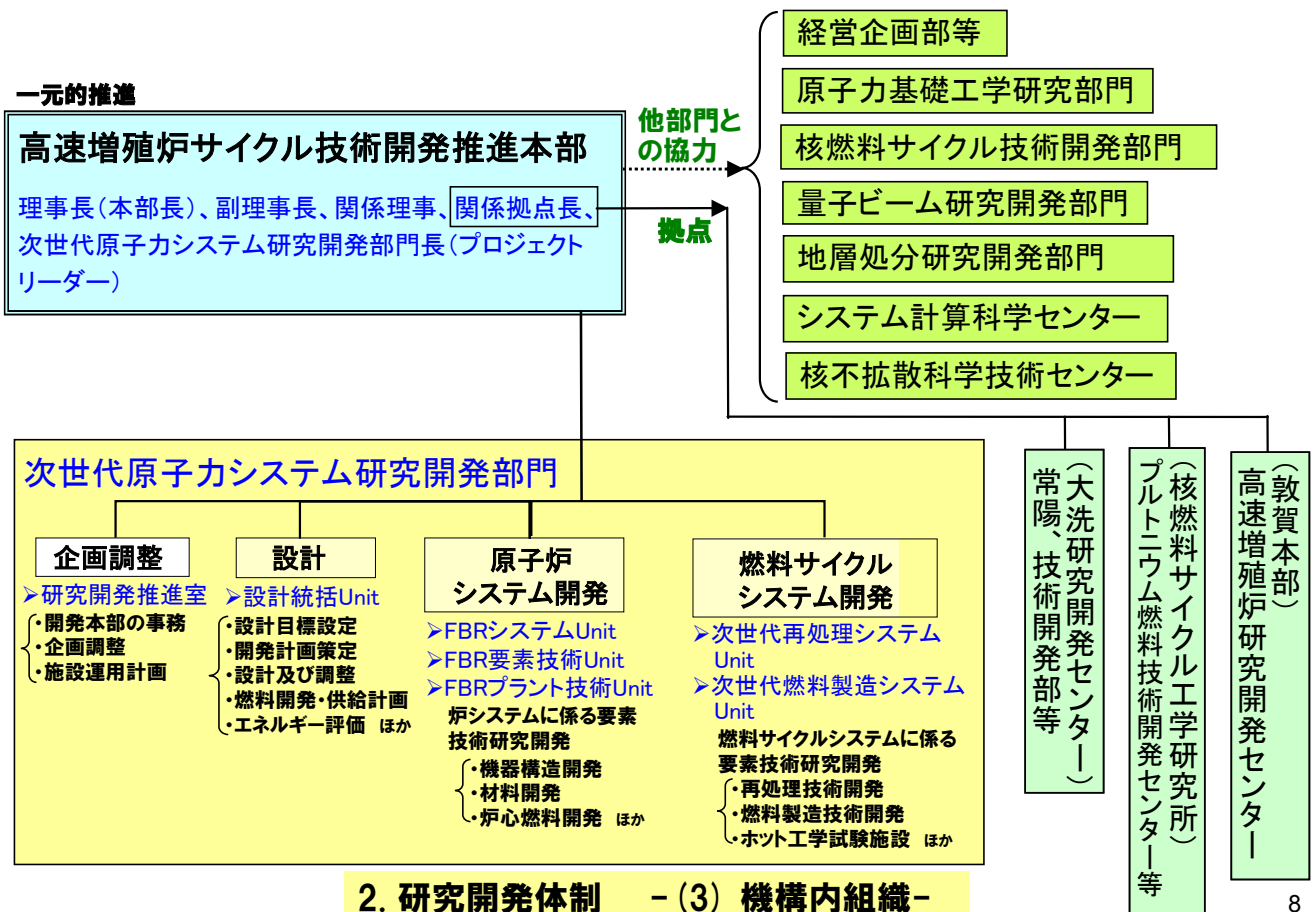
6

2. 研究開発体制 - (2) 五者協議会での決定事項 (燃料サイクルシステム) -

- ◆ 第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた準備の開始について (2007年4月25日)
- ◆ 第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた予備的な調査・検討について(2007年12月6日)
 - 我が国における今後の再処理技術の在り方を検討する必要があるとの共通認識
 - 原子力機構、日本原燃、電気事業者、メーカ等は自らの問題と捉え、調査・検討に参画。国は必要ならリソースの確保に努める
 - 原子力機構をこの予備的な調査・検討における中核機関と位置づけ、燃料サイクル技術の検討体制を強化
 - 米・仏等との連携を始めとする国際協力の活用配慮

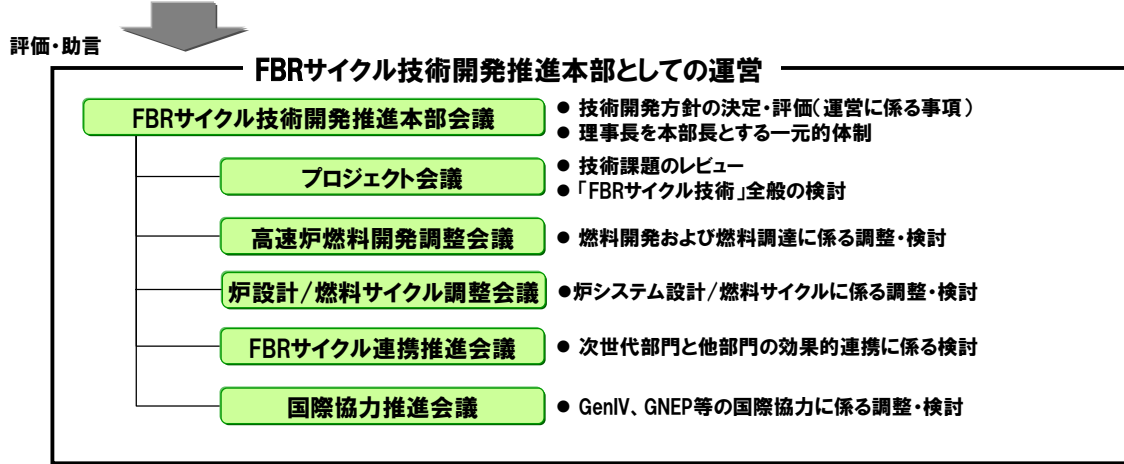
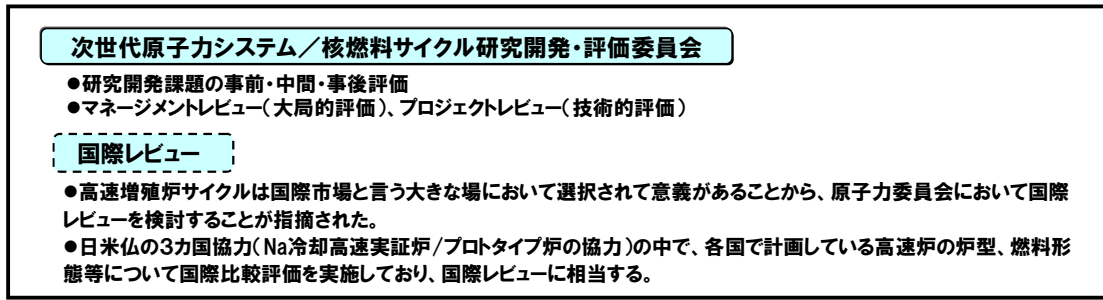


7

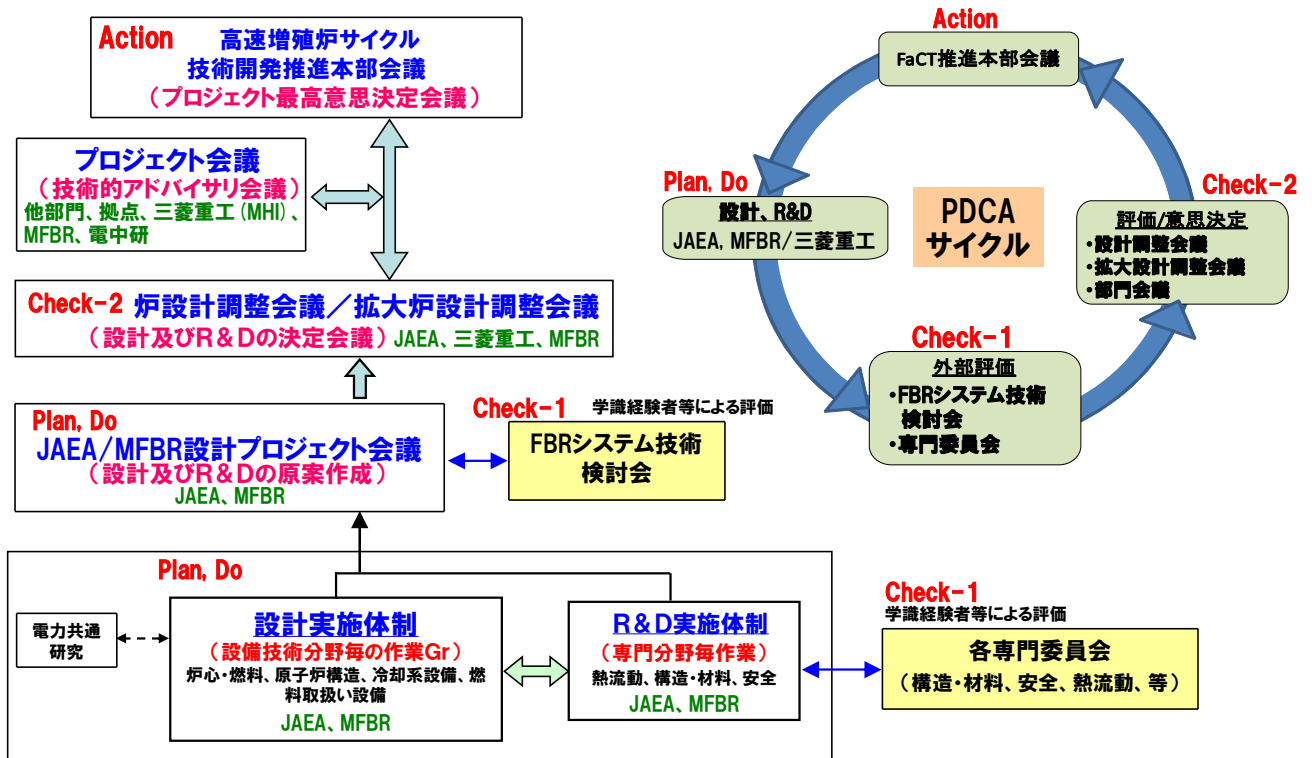


2. 研究開発体制 - (3) 機構内組織 -

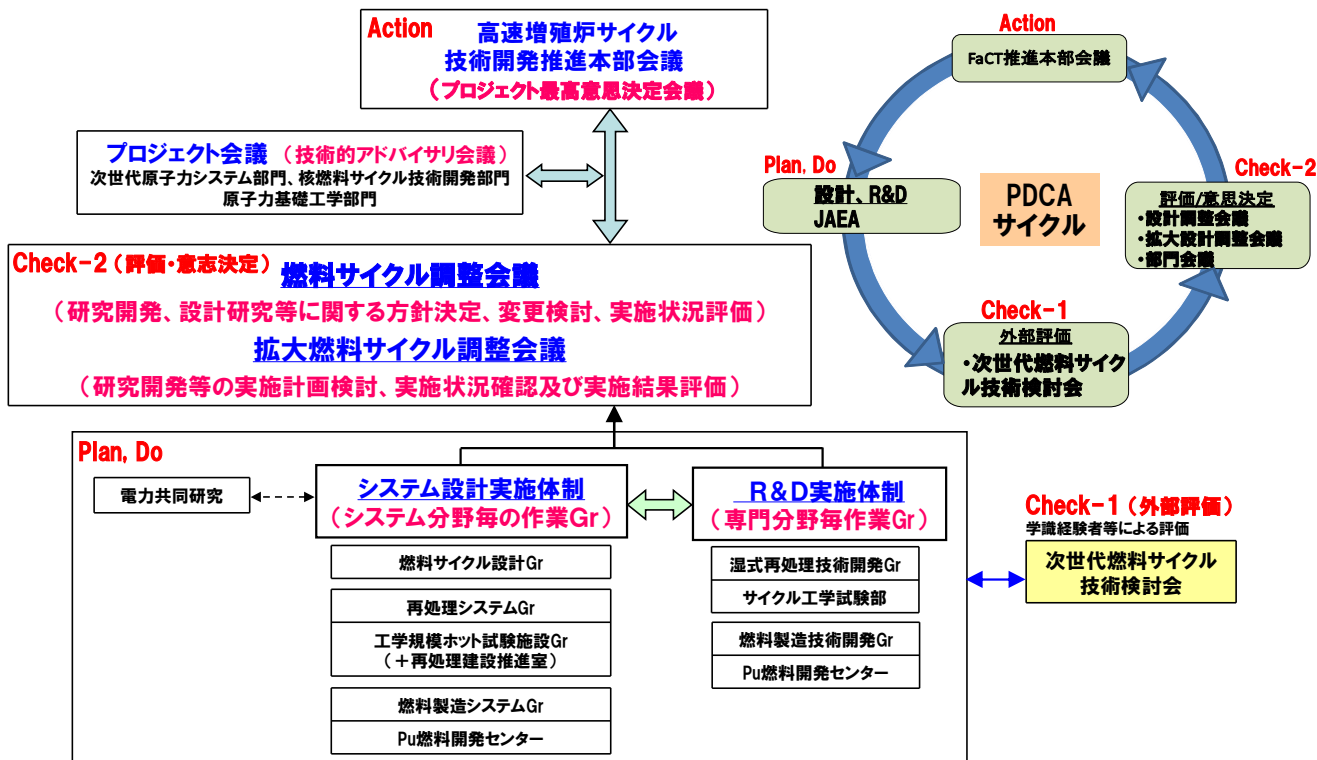
8



2. 研究開発体制 - (4) FBRサイクル技術開発推進本部の運営-



2. 研究開発体制 - (5) 炉システム推進体制-



2. 研究開発体制 - (6) 燃料サイクルシステム推進体制-

『高速増殖炉サイクル連携推進会議』の機構内設置

- FaCTプロジェクトの推進に当たり次世代原子力システム研究開発部門を中心に、他部門が協力し効率的な研究開発や技術のブレークスルーを図る
- 基礎・基盤研究とプロジェクト研究開発の連携強化、統合効果を生かす体制作り



部門間が連携して、文科省の公募研究『原子力システム研究開発事業』を共同で実施、及び機構内における融合研究の実施

2. 研究開発体制 - (7) 部門間の協力体制-

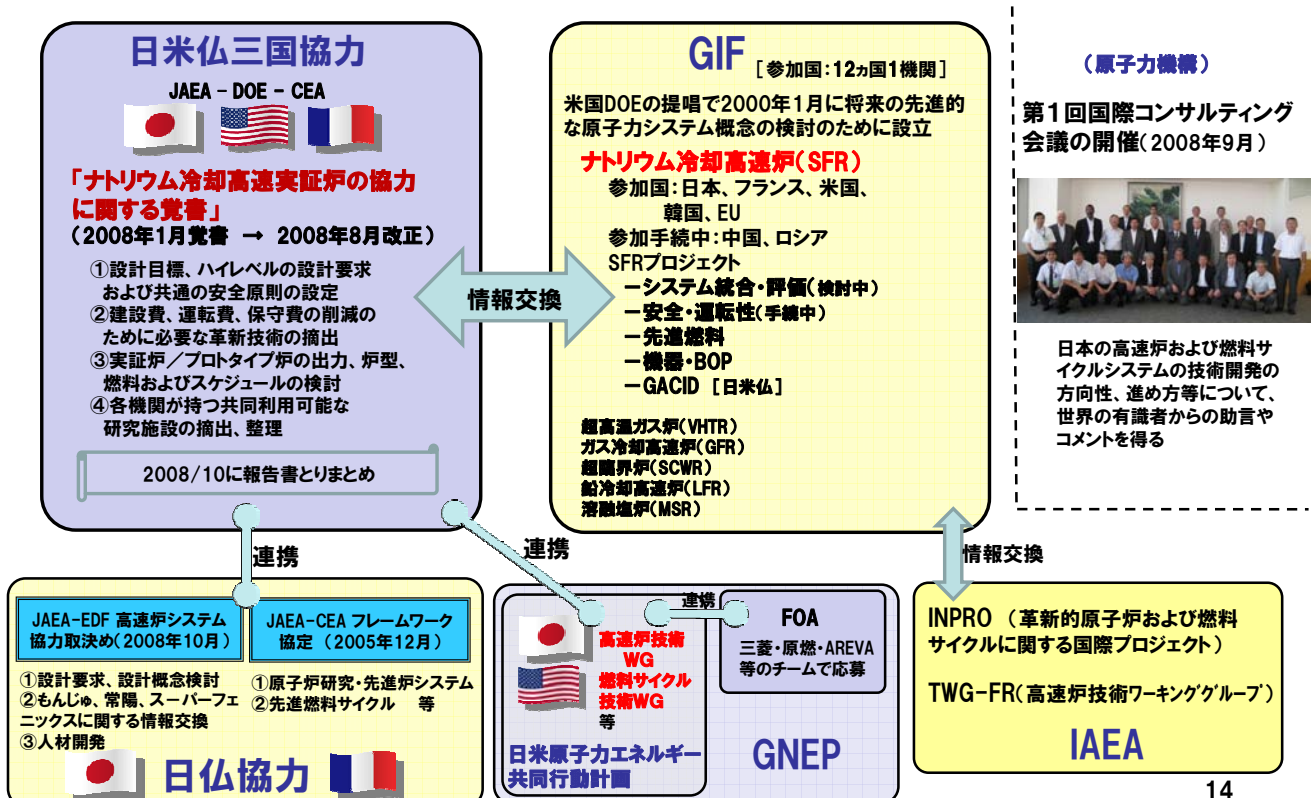
2. 研究開発体制 - (8) 国際協力(1/2) -

- 基本的な考え方 -

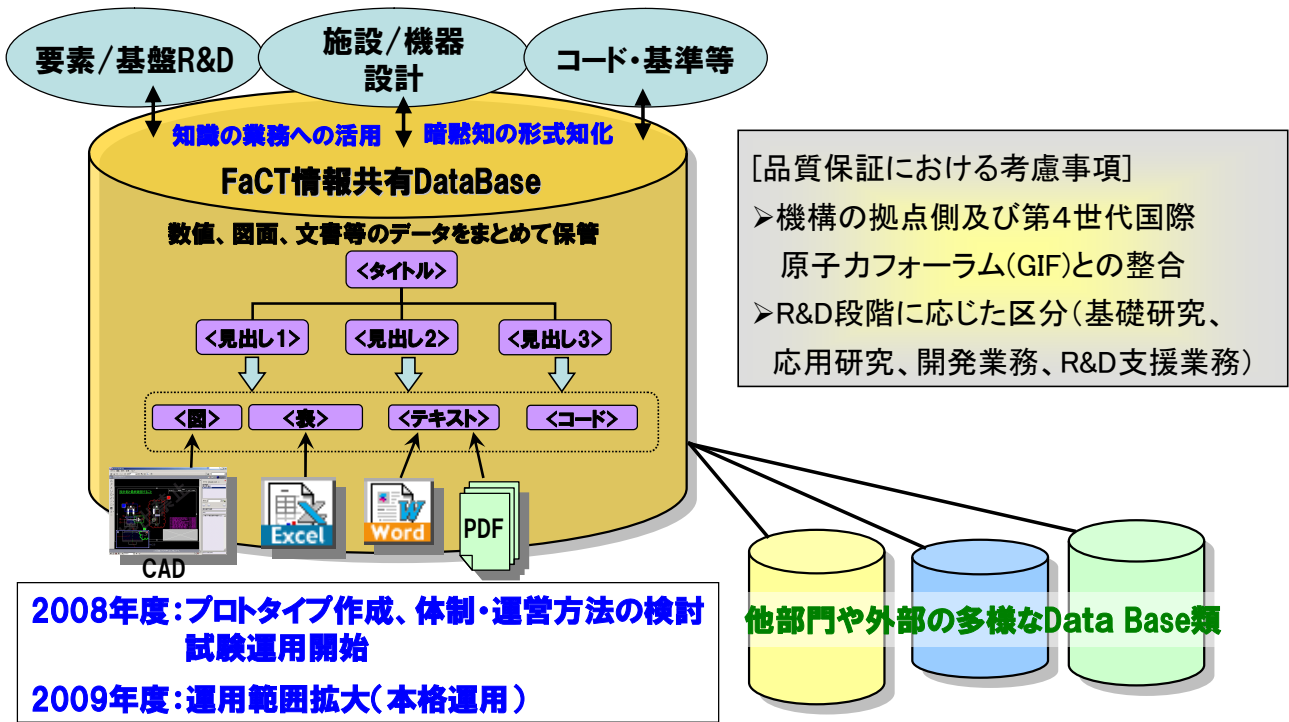
- 我が国が進めている高速増殖炉サイクル研究開発について、諸外国と**目標を共有**すること
- 我が国の技術が**世界標準**となることを目指すこと
- **研究開発のリスクや資源負担の低減**、研究開発に要する**期間の短縮**など、我が国にとって利益が明確であること
- 必要に応じ、**二国間協力と多国間協力を適切に選択**すること
- 情報、技術等を提示するにあたり、**知的所有権の確保**に留意すること
- 国際協力によって我が国の研究開発計画に**悪影響が生じない**よう留意すること（例えば、国際協力への過度の依存は、相手国の方針変更等によって我が国の計画に重大な影響を及ぼすリスクがある）
- **平和利用、核不拡散の担保、安全の確保、核セキュリティの担保**を求めること

(※1)出典:高速増殖炉サイクルの研究開発方針について(2006.11.2 文部科学省) 13

2. 研究開発体制 - (8) 国際協力(2/2) -



研究成果の体系的集約、及び技術移転・継承のための知識管理システム (Knowledge Management System) の構築とその品質保証

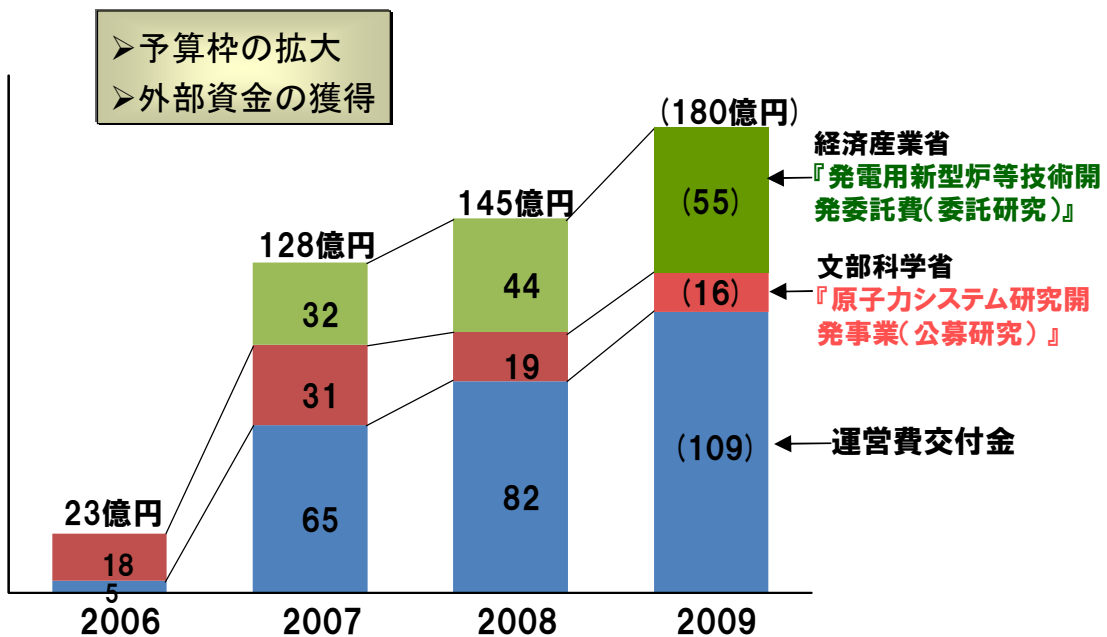


3. 知識基盤整備と品質保証

15

4. 研究資源 (1/2)

(1) 予算の推移



16

4. 研究資源(2/2)

(2) 要員の推移(次世代原子力システム研究開発部門)

		2006年	2007年	2008年
プロパー職員	機構内勤務	178	168	169
	外部機関への出向	10	12	11
機構への出向職員(電力など)		13	13	13
技術開発協力員等(メーカー)		17	23	22
定年後嘱託(機構OB)		1	1	2
期限付研究員等		7	5	4
請負作業員(協力会社)		65	71	71
事務		17	19	19
合計		308	312	311

- 拠点・他部門との連携 (例:LF移行における核燃料サイクル部門との連携)
- 三菱FBRシステムズ(MFBR)との協力・連携
- 機構内の兼務/WGによる効率的人材活用

17

5. 人材育成 (1/2)

(1) 機構内

- 定年退職者からの技術継承
 - ・定年後職員に係わる再雇用制度の活用
 - ・機構OBを活用した委員会等の開催
- 研究員・技術員制度を活用した人材育成
- 多種・多様な社内研修の実施(FBR基礎/応用講座など)

(2) 外部機関との関係

- 三菱FBRシステムズ(MFBR)の設立(炉システム)→設計・評価の過程において産業界の担い手の育成
- MFBR(設計業務)と原子力機構(設計目標の提示、要素技術開発、「もんじゅ」の知見)の人的交流→産業界と機構が相補的に知識管理・人材育成

18

5. 人材育成 (2/2)

(3) 大学との連携

- 大学は将来の研究者・技術者を育む場として重要
- 大学においてもFBRサイクルに係わる研究が盛んに行われることが必要
- 機構からのニーズの発信
- 相互理解の促進

(1) 大学院への講師の派遣等

- 大学院原子力専攻(専門職大学院)への機構・研究開発部門からの講義・演習の協力
- ・名古屋大学、東北大学: 大学特別公開講座「高速増殖炉サイクルの研究開発について」開催
- ・東京大学: 「原子力プラント工学」、「原子力構造工学」の教科書作成に協力

(2) 連携大学院制度に基づく協力

- 14の大学(大学院)へ職員(客員教員)を派遣し原子力教育に協力した。
- ・福井大学大学院: 原子力エネルギー安全工学講座

(3) 大学連携ネットワーク

- 複数の大学院を結ぶ遠隔教育システムによる共通カリキュラムの開設
(遠隔システム装置の設置、カリキュラムのコンテンツ作成支援、東海・大洗での実習)
- ・東京工業大学: 「核・放射化学; 核燃料サイクルの基礎化学について」

(4) 公募研究、共同研究の実施

- ・(文科省)公募研究: 筑波大学、大阪大学、慶応大学、東京工大、東京大学、九州大学
- ・共同研究: 福井大学、近畿大学、大阪大学

19

6. 情報発信

➤ FaCTセミナー(2007年11月30日、於 大阪科学技術センター)

多岐にわたる分野、業種(一般、学生を含む)から260名超の聴講者を対象に、FBRサイクル研究開発の全体像と個別研究開発の現状と今後を紹介

➤ 2009年高速炉システム国際会議(FR09) -計画準備中-

2009年12月7~11日 国立京都国際会館 主催: 国際原子力機関(日本はホスト国)
高速炉システムに係わる技術開発の国際推進を目的

➤ インターネットの活用

- JAEAホームページ(次世代部門)の充実
(<http://www.jaea.go.jp/04/fbr/top.html>)
- サイエンスポータルサイトのインタビュー

➤ 個別情報発信(個別対応)

文科省HP「もんじゅ質問箱」、機構HP「お問い合わせ窓口」

➤ FaCTパンフレット作成

➤ 専門誌等への投稿

原子力eye、機械学会、エネルギーレビュー、電気評論 ほか

➤ 講演会の開催

敦賀国際フォーラム、エネルギー情報工学研究会、大洗町親交クラブ、
原子力総合シンポジウム2007、日本原子力学会・北関東支部総会、(財)産業創造
研究所講演会 ほか

20

FaCT プロジェクトに係るマネージメントレビュー説明資料

1. FaCT プロジェクトにおけるマネージメント基本方針	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究活動全般の基本的管理方針を定めて計画的かつ効率的に研究開発を進め、もってプロジェクトの達成目標を図る。 ・ 計画の策定、実施、評価及び反映(PDCA)を的確に行う。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 計画 <ul style="list-style-type: none"> ① 国の方針に基づき 2010 年、2015 年の目標を達成するため研究開発ロードマップを具体化する。 ② 独立行政法人の業務管理の仕組みに従い、FaCT プロジェクトの計画を中期計画(5年単位)、及び当該年度の年度計画に展開する。 ➢ 実施、評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ ①の計画については、大綱的指針等に基づき外部評価(研究開発・評価委員会)を受ける。2010 年、2015 年には国の評価を受ける。 ・ ②の計画については、年度上期終了時、年度終了時に実施状況の確認、達成度評価を行う。(理事長ヒアリング、独法評価委員会) ➢ 反映 <ul style="list-style-type: none"> ・ 評価結果を計画の策定、資源配分その他プロジェクトに適切に反映させる。
-------------------------------	---

項 目	プロジェクト開始時の考え方、期中での改善事項	自己評価(良好点、現状の課題と今後の改善方向)
2. 組織体制		
2.1 国内体制	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ FS 開始時より日本原電と協定を締結し、協力を得ながら研究開発を実施。 ・ 「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」を設置(2006 年 7 月 13 日)。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中核メーカーとして三菱重工業(株)を選定(2007 年 4 月)し、同社が設立した三菱 FBR システムズ(株)(MFBR)が事業を開始(2007 年 7 月)。 ・ 三菱重工、MFBR、原子力機構で基本協定を締結(2007 年 7 月) 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 官民合同で実証プロセスを検討する体制(五者協議会)が構築された。 ・ 炉については、「中間論点整理」が合意され、研究開発が加速された。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉については、実証炉の基本設計が開始される 2015 年頃に向け、実施主体、メーカーへの技術移転について国レベルでの検討が必要である。 ・ 燃料サイクルについては、軽水炉サイクルから FBR サイクルへの円滑な移行を念頭に、国レベルでの検討が必要である。
2.2 原子力機構内の組織・体制	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 一元的推進体制として理事長を本部長とする「FBR サイクル技術開発推進本部」を設置(2006 年 9 月 1 日)。 ・ 推進本部会議の下、各種会議体を設置。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力機構が第二再処理工場に関わる 2010 年頃からの予備的調査・検討の中核機関に位置づけられたことから、燃料サイクルの検討体制を強化した。 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「推進本部会議」の設置により、迅速な経営判断と関係者間の情報共有が図られた。 ・ 第二再処理工場に係る予備的調査・検討の体制が構築された。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 会議体の位置付けが不明確、かつ煩雑になっていることから、会議体の機能、位置付け等について評価し、会議体の再整理が必要。 ・ 第二再処理工場に係る予備的調査・検討と FaCT プロジェクトの連携強化の観点から、燃料サイクルの体制の再強化のための検討を進める。
2.3 次世代原子力システム研究開発部門内組織・体制	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 最小の組織単位としてグループを設置。関連するグループを束ねたユニットを構成。(フラットな組織) ・ 部門長、副部門長の支援組織として研究開発推進室を設置。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉については、4つのユニットを3つに再編成し、設計統括機能を強化。 ・ 燃料サイクルについては、一つだったユニットを再処理と燃料製造の2つに分けて燃料サイクル関連の研究開発体制の強化を図った。 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外部情勢等を踏まえ機動的に組織の再編を行った。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 実証炉の基本設計が始まる 2015 年頃に向けた移行体制と整合を取って、次世代部門内の組織・体制を適宜見直す必要がある。 ・ LF 移行期の検討体制強化の一環として、次世代部門内の組織を見直す必要がある。 ・ 燃料開発/燃料供給を推進するため、組織・体制の見直しを行う。

項 目	プロジェクト開始時の考え方、期中での改善事項	自己評価(良好点、現状の課題と今後の改善方向)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2025 年までの燃料開発計画を検討する「燃料開発特定ユニット」を設置(2008 年 12 月) ・ 国際協力対応体制強化及び国内外対応のため、研究開発推進室に国際ラインと政策ラインを設置。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 次世代部門内で戦略検討機能を強化するための組織形態を検討する。 ・ 福井県エネルギー研究開発拠点化計画の一環である「プラント工学研究センター」の体制について検討を進める。 ・ 会議体等での決定事項の管理が不十分であることから、決定事項を明文化し、管理を徹底する。
3. 機構における PDCA と意思決定		
3.1 PDCA プロセス	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <p>＜計画＞</p> <p>① FaCT プロジェクトとしての計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 国の方針に基づき、2015 年頃までの研究開発計画(ロードマップ)を作成し、2010 年時点で革新技術の採否を判断するためのクライテリアを明確にして研究開発を進める。 ・ プロジェクト管理手法を取り入れ、研究開発課題を体系化し、課題毎の責任者を明確にしながら年度単位の実施計画書を作成している。 <p>② 機構の独法としての計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中期目標に基づき、中期計画(5年単位)を策定し国の認可を得る。 ・ 中期計画の達成に向けた年度毎の計画を策定し、国に届出。年度計画をより詳細化した年度実施計画を策定する。 <p>＜実施＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記の計画に基づき研究開発を進める。 <p>＜評価＞</p> <p>① FaCT プロジェクトとしての計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 四半期毎にユニット長ヒアリング、半期毎に部門長ヒアリングを実施し、機構の PDCA の仕組みに連動して部門内で PDCA を実施している。 ・ 研究開発・評価委員会の事前評価、中間評価、事後評価を受ける。 ・ 国による評価を受ける。 ・ 総合科学技術会議が、国家基幹技術としての評価を実施する。 <p>② 機構の独法としての計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ユニット長ヒアリング、部門長ヒアリングを上記①を兼ねて実施する。 ・ 半期毎に理事長ヒアリングを実施し、中期計画の進捗を経営が確認。 ・ 年度毎に独法評価委員会の評価を受ける。それに先立ち、経営層からなる自己評価委員会の評価を受ける。 <p>＜反映＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 評価結果を計画の策定・見直し、資源配分等に適切に反映させる。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特に無し。 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PDCAの仕組みについてはプロジェクト開始当初から構築され、実際に運用されている。 ・ 計画策定においてWBS手法を用い研究開発課題を体系化した。これにより、課題毎の責任者が明確になり、小項目毎に年度単位の実施計画書を作成することができ、進捗状況の把握のし易さの一助となった。 ・ 炉に係る意思決定プロセスについては、プロジェクトの進展に伴い、改善を図ることができた。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 意思決定を会議体で行っているが、決定事項が会議議事録でのみ記録されている。特に、最終的な概念に結びつく意思決定の根拠などが散逸？する可能性があり、進捗管理上も問題である。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 品質管理の観点から意思決定プロセスを定めるとともに、決定事項については、回議書、承認書類など書類による決定事項の有形化を行う。 ➢ 設計に係る意思決定の過程と進捗状況を、知識管理の観点から系統的に管理することに積極的に取り組む ・ 燃料サイクルについて、2009 年度から設計検討が本格化し、技術的事項について設計主導の判断が重要となることから、炉と同様、意思決定プロセスの見直しを行う。

項 目	プロジェクト開始時の考え方、期中での改善事項	自己評価(良好点、現状の課題と今後の改善方向)
3. 2 意思決定プロセス	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <p><プロジェクト運営> (政策的意志決定プロセス)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次世代部門としての判断は、部門会議にて審議し結論を得て、部門長の判断により決定する。 ・機構大の判断が必要な事項については、「FBR サイクル技術開発推進本部会議」に諮り審議し、決定する。機構全体の役員による審議が必要な案件は、理事会議に諮り決定する。 <p><技術的事項> (技術的意志決定プロセス)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・グループ長が適宜判断し、所管する研究開発項目を責任をもって遂行する(フラットな組織)。 ・グループ間に跨る技術的事項については、プロジェクト会議で審議し結論を得て、部門長の判断により決定する。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部門会議の意思決定プロセスとしての活用が不十分であったことから、議題設定等を見直し、意思決定プロセスに組み込むよう改善を行った。 ・炉については、設計主導での技術的判断が必須となったため、設計統括ユニット長を議長とする炉設計調整会議を技術的判断の最も重要なプロセスと位置付けた。→プロジェクト会議の位置付けを見直した。 	<p>上記「3. 1 PDCAプロセス」と共通</p>
4. 部門間連携	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・次世代部門を中心に、他部門や拠点が協力し、効率的な研究開発や技術のブレークスルーを図る。 ・基礎基盤研究とプロジェクト研究開発の連携強化、統合効果を活かす体制づくりを行う。 ・他部門及び拠点との調整・協議を行う「高速増殖炉サイクル連携推進会議」を設置する。 ・次世代部門と他部門・拠点を跨ぐ「連携研究」や公募型研究の共同実施により、両者の強みを活かした研究開発を実施する。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料開発計画策定のための横断的な体制整備 実用化に向けた高性能燃料の開発と「もんじゅ」や実証炉への燃料供給活動を密接に結びつける 2025 年までの燃料開発計画を検討する「燃料開発特定ユニット」を設置(2008 年 12 月)。 ・第二再処理工場の予備的調査・検討のための関係する部門・拠点間で連携を強化した。核燃料サイクル部門に「再処理設計 Gr」を設置し、次世代部門からも参画(兼務)。 ・次世代部門と原子力基礎工学部門で研究手法が類似している炉物理グループを統合し、プロジェクトと基礎研究の連携を更に強化することと 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・連携研究により、FaCT プロジェクトにおける設計に反映されたものや、萌芽研究に繋がるものもあり。一定の研究効果は得られた。 ・「燃料開発特定ユニット」の設置では、核サ研、もんじゅ、核サ部門、大洗研の主要メンバーを兼務者とした組織横断的な体制を各拠点の協力の下で整備することができた。 ・軽水炉サイクルから FBR サイクルへの移行に係る検討では、核サ部門、核サ研と原子力基礎工学部門の協力・連携の下に進めることができた。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・連携し易いテーマを優先して実施したことから、全ての成果が FaCT プロジェクトに反映された訳ではなかったため、FaCT プロジェクトに直接反映できる具体的な研究開発分野を部門間で検討する。 ・2025 年頃までの高速炉燃料開発計画の検討を実施、「もんじゅ」高度化燃料、実証炉燃料のための技術開発計画の検討、燃料製造に関する製造現場での直近の課題への対応を着実に実施する。 ・軽水炉サイクルからFBRサイクル移行期の予備的調査・検討を「FaCT プロジェクト」と有機的に連携させるため、また機構内の再処理技術者を有効活用するために、組織を再検討する必要があるが、2010 年までは次

項 目	プロジェクト開始時の考え方、期中での改善事項	自己評価(良好点、現状の課題と今後の改善方向)
	した。	世代部門、核燃料サイクル部門、核燃料サイクル工学研究所が協力して、全体の管理を行う。また、電力/原燃との協力が不可欠であるため、定期的なレビューの場を作るよう働きかける。
5. 要員確保(計画)と人材育成・技術継承		
5. 1 要員確保(計画)	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2006 年度の FaCT プロジェクト開始時は 300 名強の要員でスタート。 ・ 協力協定に基づき協力を得ている日本原電から 13 名の派遣者を受け入れ。 <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 業務量拡大に見合った要員の確保 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 原子力機構全体の厳しい要員削減の中にあっては、優先的に新入職員の確保を行っている。 ・ 外部資金による研究開発の事務手続き増大対応 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 公募・委託事業に伴う事務手続き作業の増大に対応するため、研究開発推進室に当該事業を総括する事務系職員を配置するとともに、事務管理を担当する派遣要員を配置 ・ 原子力機構から MFBR への技術移転、原子力機構職員のエンジニアリング能力の向上などを目的に、MFBR との間で人材交流を開始し、現在 2 名の職員を MFBR に派遣している。 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 外部資金による研究開発の事務処理に関する改善 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 研究開発推進室に公募・委託事業の総括担当を配置したことで、一元管理が可能になると共に、実施部署の負荷軽減が図られた。 ➢ 実施部署への派遣要員の配置により、事務管理手続きの負荷が大幅に軽減された。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大幅な要員増加は期待できない。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 新入職員の継続的採用、技術能力の高いOBの活用 ・ 恒常的な要員不足への対応 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 他部門との連携、兼務発令や会議体等の活用 ・ 炉については、円滑な技術移転を考慮し、実証炉の基本設計が開始される 2015 年頃を見通した実施主体への円滑な技術移転を考慮した要員計画を策定する。
5. 2 人材育成と技術継承	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 人材育成、技術継承の基本的考え方が十分整備できていない。 ・ FS開始当時より、大学との共同研究や大学等の講座への講師派遣を継続実施。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 連携大学院(東工大、金沢大、福井大)⇒教授の派遣 ➢ 専門職大学院(東大)⇒教材の作成、講師の派遣 ➢ 福井大での講座開設(高速炉工学講座) ・ 研究施設を有する拠点側(サイクル工学試験部等)との人材交流(キャリアパス) <p>【期中での改善事項】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ MFBR への要員派遣(エンジニアリング機能の涵養) ・ 連携大学院の拡大(茨城大、岡山大の参加) 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 大学との共同研究や講座への講師派遣について積極的に実施。 ・ 機構から MFBR への要員派遣(エンジニアリング能力の涵養) <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 以下の点を念頭に人材育成・技術継承の基本的考え方を整理する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 必要な人材を類型化し、タイプに応じた人材育成方針を作成する。 ➢ 炉については、MHI、MFBR、電力等との人材交流を促進する。 ➢ 実施主体と機構が協働して実証炉の設計が可能な実施体制の検討を行う。 ➢ 燃料サイクルについては、産業界も含めた人材育成・技術継承の体制整備について検討する。 ➢ 大学との連携強化を図る。 ➢ 知識管理システムと合わせて整備する。
6. 研究資源(予算確保・有効利用)	<p>【プロジェクト開始時の考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 必要な資金展開を既存施設における研究開発とともに見積った。(文科省評価報告書へ掲載) ・ 予算とリンクした研究開発計画(ロードマップ)を作成 ・ 業務の重点化、既存施設の有効活用、大学等との共同研究の実施、国際協力の積極的活用 ・ 外部資金を最大限活用する。 	<p>【良好点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 研究開発計画の見直しや予算の合理化・効率化を図るとともに、外部資金を最大限活用し、概ね計画どおり研究開発を推進。 <p>【現状の課題と今後の改善方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現状の予算確保見込み額を超過しており、不足資金の確保が課題。 ・ 国の方針の基本的枠組みを守るため以下の取り組みを進める。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 「選択と集中」により研究開発資金を確保。

項 目	プロジェクト開始時の考え方、期中での改善事項	自己評価(良好点、現状の課題と今後の改善方向)
	【期中での改善事項】 ・ 機構内業務の「選択と集中」による運営費交付金の拡大。 ・ 文科省公募事業(特別推進分野)9件採択。(2006年度より実施) ・ 経産省委託事業(発電用新型炉等技術開発)受託(2007年度より実施)	▶ 研究開発の進め方を合理化し、予算低減を図る。 ▶ 状況変化に応じた研究開発計画の見直しとタイムリーな予算への反映。 ▶ 公募事業や委託事業等の外部資金の継続・拡大を図る。
7. 国際協力	【プロジェクト開始時の考え方】 ・ 基本的考え方(文科省評価報告書参照) ・ 多国間(GIF、GNEP)、二国間協力 ・ 機構内の横断的体制による機動的な調整・検討を行うため、国際協力の枠組み(GNEP、INPRO)に対応する連絡会や検討会を設置。 【期中での改善事項】 ・ GNEP 活動が本格化したため、日米原子力エネルギー共同行動計画のもとで高速炉技術 WG や燃料サイクル技術 WG の活動を実施。 ・ 日仏米を基軸に国際協力を展開し協力活動を強化するため、機構－DOE－CEA で「Na 冷却高速実証炉の協力に関する覚書」を締結。 ・ 日仏米三国の国際協力を戦略的・機動的に進め、日本技術の国際標準化に向けた動きを加速するため「国際協カタスクフォース」を設置。 ・ 国際標準となる高速炉の規格基準の在り方を検討するため、「高速炉国際展開戦略検討委員会」を設置。	【良好点】 ・ 効率的・効果的に国際協力を活用するための機構内体制を整備した。 ・ 協調する分野を区別し、国際協力を積極的に進めている。 ・ 日本の技術の国際標準化や開発資源低減のために日仏米三国の協力関係をリードして進めている。 【現状の課題と今後の改善方向】 ・ 米国の政権交代やロシア、インドの高速炉開発の加速等の国際状況を的確に把握し、柔軟に素早く対応方針が定められるようにする。 ・ 中国、インド、韓国等のアジア地域における国際協力戦略を策定する。
8. 情報発信	【プロジェクト開始時の考え方】 ・ FS 段階より、その重要性を認識し適宜実施してきた。 ・ 研究開発推進室が事務局的役割を担い、関係部署の協力のもと情報発信活動を実施。 【期中での改善事項】 ・ パンフレットの改訂(一般の方に理解しやすいものとなるよう配慮) ・ ホームページの改訂(コンテンツの充実) ・ FaCT プロジェクト紹介ビデオ作成(一般の方を対象) ・ FaCT ロゴマーク作成(プロジェクトのアピール)	【良好点】 ・ 「FaCT セミナー」の開催等、広聴活動を意識した活動の充実を図った。 【現状の課題と今後の改善方向】 ・ 原子力機構内外に対する情報発信が不十分であることから、報告会等の開催を検討する。 ・ 国際会議等を活用し、FaCT プロジェクトの成果を計画的かつ効率的に海外に発信する。 ・ 研究者一人ひとりのコミュニケーションスキルの向上を図る。
9. 知識基盤整備と品質保証	【プロジェクト開始時の考え方】 ・ 知識管理システムと品質保証のシステム、体制が未整備。 【期中での改善事項】 ・ 知識管理システム(KMS)の基盤となる「FaCT 情報共有データベース」の検討を開始し、規則・マニュアルについて検討中である。 ・ 品質保証システム(QMS)についても、次世代部門内にタスクフォースを設けて検討を開始した。	【良好点】 ・ 知識管理システム及び品質保証システム構築のための検討を次世代部門全体として組織的に立ち上げた。 【現状の課題と今後の改善方向】 ・ 知識管理システム、品質保証システムの構築が急務であり、2009年度の試運用を目指し検討を加速する。 ・ 両システムの運用体制(要員確保)について検討する。 ・ 知識管理システムと品質保証システムの連携を考慮する。