



平成18年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」  
(中間評価)

Assessment Report of Research and Development Activities in FY2006  
Activity: "Fast Reactor Cycle Technology Development Project" (Interim Report)

次世代原子力システム研究開発部門  
Advanced Nuclear System Research and Development Directorate

JAEA-Evaluation

August 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行っ  
ております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

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

平成18年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」(中間評価)

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

(2007年7月25日 受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指

針」、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」等に基づき、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」(旧名称「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」)に関する中間評価を研究開発・評価委員会(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)に諮問した。

これを受けて、次世代原子力システム/核燃料サイクル研究開発・評価委員会は、本課題に係る当面5年間の研究開発計画、2010年の革新的技術の採否判断クライテリアに係るプロジェクトレビュー(技術的評価)、研究開発体制等に係るマネジメントレビュー(大局的評価)を行い、研究開発計画や研究開発体制等について概ね妥当であると評価した。

---

本報告書は、研究開発・評価委員会(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)が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。

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(事務局)

大洗研究開発センター(駐在): 〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

**Assessment Report of Research and Development Activities in FY2006**  
**Activity: “Fast Reactor Cycle Technology Development Project” (Interim Report)**

Advanced Nuclear System Research and Development Directorate

Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 25, 2007)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as “JAEA”) asked the advisory committee “Evaluation Committee of Research and Development (R&D) Activities for Advanced Nuclear System / Nuclear Fuel Cycle Technology” (hereinafter referred to as “Committee” ) to assess the interim report on “Fast Reactor Cycle Technology Development Project”(former “Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor Cycle Systems”) in FY2006, in accordance with “General Guideline for the Evaluation of Government R&D Activities” by Japanese Cabinet Office, “Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” and “Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities” by JAEA.

In response to JAEA’s request, the Committee assessed the R&D program over five years, the criteria for adoption judgment on innovative technologies at the end of 2010 (Project Review), and the organization structure for R&D. etc. (Management Review). As a result of review, the Committee concluded that this R&D program and its organization structure are almost reasonable.

**Keywords : Fast Reactor Cycle, FR Cycle, FaCT Project, Sodium-cooled FR, Advanced Nuclear Fuel Cycle, Commercialized Fast Reactor Cycle Systems**

---

This work has been performed based on “General Guideline for Evaluation of Government R&D Activities” by Japanese Cabinet Office, etc.

目 次

1. 概要 -----	1
2. 次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会の構成 -----	2
3. 審議経過 -----	4
4. 評価方法 -----	6
5. 評価結果（答申書） -----	9
参考資料（日本原子力研究開発機構資料） -----	79

Contents

1. Overview -----	1
2. The assessment committee for advanced nuclear system / nuclear fuel cycle technology -----	2
3. Status of assessment -----	4
4. Procedure of assessment -----	6
5. Result of assessment (Committee report) -----	9
References (documents owned by Japan Atomic Energy Agency) -----	79

This is a blank page.

## 1. 概要

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(平成 17 年 3 月 29 日内閣総理大臣決定)及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(平成 17 年 9 月 26 日文部科学大臣決定)、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」(平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 18 年 1 月 1 日改訂)等に基づき、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」(旧名称「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」)に関する中間評価を研究開発・評価委員会(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)に諮問した。

これを受けて、次世代原子力システム/核燃料サイクル研究開発・評価委員会は、本委員会によって定めた評価方法に従い、原子力機構から提出された課題説明資料、補足説明資料に基づき、委員会及び作業会にて本課題に係る当面 5 年間の研究開発計画、2010 年の革新的技術の採否判断クライテリアに係るプロジェクトレビュー(技術的評価)、研究開発体制等に係るマネジメントレビュー(大局的評価)を行った。

その結果、本委員会は、諮問された研究開発計画や研究開発体制等について概ね妥当であると評価した。

## 2. 次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会の構成

本委員会は、平成 18 年 1 月に設置され、関連分野の専門家を中心として、ジャーナリスト、ユーザーなど、幅広い分野の委員から構成されている。

委員長	森山 裕丈	京都大学大学院工学研究科教授
委員長代理	二ノ方 壽	東京工業大学原子炉工学研究所教授
委員	石井 保	三菱マテリアル（株）原子力顧問
(五十音順)	井上 正	電力中央研究所首席研究員
	大熊 和彦	東京工業大学統合研究院 イノベーションシステム研究センター特任教授
	芝 剛史	ウィングパートナーズ（株）代表取締役
	東嶋 和子	科学ジャーナリスト
	戸田 三朗	東北放射線科学センター理事
	中村 裕行	日本原燃（株）再処理事業部再処理計画部長
	藤井 靖彦	東京工業大学原子炉工学研究所教授
	堀池 寛	大阪大学大学院工学研究科教授
	松井 恒雄	名古屋大学エコトピア科学研究所長・教授
	松本 史朗	独立行政法人原子力安全基盤機構 技術顧問 <sup>1</sup>
	山名 元	京都大学原子炉実験所教授
	吉井 良介	東京電力(株) 原子力設備管理部 原子炉安全技術グループ 部長 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> 2007 年 3 月 31 日まで埼玉大学工学部応用化学科 教授

<sup>2</sup> 2007 年 3 月 31 日まで東京電力(株) 原子力技術・品質安全部 将来構想グループ マネージャー

当該研究開発の評価にあたっては、現在の評価委員の中でも特に FBR サイクル技術に専門知識を有する委員により、委員会活動の一環として作業会方式で特に技術的な観点からの詳細な審議を行うことを定めた。作業会は「炉システム」、「燃料サイクルシステム（再処理、燃料製造）」の 2 分野について設け、研究開発・評価委員より作業会の主査を選任するとともに、評価作業を効果的に進める観点から委員以外で FBR サイクル技術の研究開発経験などを有する外部有識者にも参加いただいた。

両作業会ともに以下に示す構成で平成 18 年 12 月 26 日に設置した。（順不同）

【炉システム作業会】

主査	二ノ方 壽	東京工業大学原子炉工学研究所教授
メンバー	戸田 三朗	東北放射線科学センター理事
	堀池 寛	大阪大学大学院工学研究科教授
	吉井 良介	東京電力(株) 原子力設備管理部 原子炉安全技術グループ 部長 <sup>3</sup>
有識者メンバー	稲垣 達敏	元日本原子力発電株式会社 研究開発室 主席研究員
	前田 清彦	株式会社 NESI 営業企画本部 副本部長

【燃料サイクルシステム作業会】

主査	山名 元	京都大学原子炉実験所教授
メンバー	石井 保	三菱マテリアル（株）原子力顧問
	井上 正	電力中央研究所首席研究員
	松本 史朗	独立行政法人原子力安全基盤機構 技術顧問 <sup>4</sup>
有識者メンバー	山村 修	原子力安全委員会事務局 規制調査課技術参与
	木村 雅彦	株式会社神戸製鋼所 機械エンジニアリングカンパニー顧問

<sup>3</sup> 2007 年 3 月 31 日まで東京電力(株) 原子力技術・品質安全部 将来構想グループ マネージャー

<sup>4</sup> 2007 年 3 月 31 日まで埼玉大学工学部応用化学科 教授

### 3. 審議経過

(1) 第1回目の委員会開催：平成18年7月4日

- 研究開発・評価委員会の説明
- 委員長の選任、委員長代理の指名
- 次世代原子力システム研究開発部門の研究開発の概要説明（「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズⅡの成果等）

(2) 第2回目の委員会開催：平成18年12月18日

- 評価方法の決定（委員会全体によるマネージメントレビュー（大局的評価）及び作業会形式によるプロジェクトレビュー（技術的評価）の実施手順について）
- 「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」（旧名称「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」）の中間評価に係る諮問、課題内容の説明・検討

(3) 作業会形式によるプロジェクトレビューの開催

1) 炉システム作業会

第1回目の開催：平成19年1月19日

- 課題内容「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」の説明・検討

第2回目の開催：平成19年2月23日

- 補足説明、質問への回答
- 評価内容の検討

2) 燃料サイクルシステム作業会

第1回目の開催：平成19年1月24日

- 課題内容「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」の説明・検討

第2回目の開催：平成19年2月27日

- 補足説明、質問への回答
- 評価内容の検討

(4) 第3回目の委員会開催：平成19年3月16日

- 補足説明、質問への回答
- 炉システム作業会及び燃料サイクルシステム作業会によるプロジェクトレビュー結果の総括
- マネージメントレビュー
- 評価内容の検討

(5) 評価結果(答申書)のまとめ

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

(6) 答申：平成19年5月18日

#### 4. 評価方法

以下の評価作業手順及び評価項目に従い、評価を行った。

##### (1) 評価作業手順

###### 1) 研究開発・評価委員会における審議

- ① 評価方法を定める。
- ② 原子力機構から課題説明資料により課題内容の説明を受け、内容を把握・検討する。

###### 2) 評価作業

###### 2.1) プロジェクトレビュー（技術的評価）

- ① 研究開発計画について、現在の評価委員の中でも特に FBR サイクル技術に専門知識を有する委員により、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。
- ② 作業会は「炉システム」、「燃料サイクルシステム（再処理、燃料製造）」の 2 分野について設け、作業性の観点から委員外の外部有識者も参加させる。研究開発・評価委員より作業会の主査を選任する。
- ③ 原子力機構は、作業会にて研究開発計画の詳細な内容を説明する。各作業会メンバーは、評価に際し、課題について追加質問がある場合には、質問事項を書面で事務局に提出する。
- ④ 事務局は、作業会での質問及びメンバーからの追加質問に対する原子力機構の回答を作業会メンバーに送付する。
- ⑤ 各作業会メンバーは、課題説明資料、作業会における説明及び質問に対する回答を基に評価項目に従い評価を行い、評価意見を書面で事務局に提出する。
- ⑥ 事務局は、作業会メンバーから提出のあった評価意見を整理して、最終作業会の検討資料を作成する。
- ⑦ 最終作業会において、各作業会メンバーが行った評価、原子力機構の課題説明資料及び補足説明、作業会における討論に基づき、作業会としての評価を行う。
- ⑧ なお、作業会の資料については、作業会メンバーとなっていない研究開発・評価委員にも送付する。

2.2) マネージメントレビュー（大局的評価）

- ① 研究開発・評価委員会において、当該研究開発計画に関する取組みが適切に推進されることを評価する
  - ② 各委員は、評価に際し、課題について追加質問がある場合には、質問事項を書面で事務局に提出する。
  - ③ 事務局は、研究開発・評価委員会での質問及び委員からの追加質問に対する原子力機構の回答を委員に送付する。
  - ④ 各委員は、課題説明資料、委員会における説明及び質問に対する回答を基に評価項目に従い評価を行い、評価意見を書面で事務局に提出する。
  - ⑤ 事務局は、委員から提出のあった評価意見を整理して、次回の評価委員会の検討資料を作成する。
- 3) 各委員の評価結果に基づく研究開発・評価委員会における審議
- ① プロジェクトレビューについて、各作業会の主査より作業会の評価結果を報告し、これを踏まえて評価委員会としての総括を行う。
  - ② マネージメントレビューについて、各委員が行った評価、原子力機構の課題説明資料及び補足説明、委員会における討論に基づき、評価委員会としての評価を行う。
- 4) 評価結果（答申書）のまとめ及び答申
- ① 委員長は、上記の審議結果に基づき、委員会としての評価結果をまとめ、理事長に答申する。なお、答申書には、次項に示す各評価項目及び総合評価について、委員会としての評価結果を記述する。
- 5) その他
- ① 評価をよりの確なものとし、また評価に対する被評価者の理解を深めるため、評価委員会および作業会には研究実施責任者及び担当者を出席させ、議論に参加させるものとする。

(2) 評価項目

評価項目及び評価の重点的視点（○印）を次のとおりとする。

1) 研究開発の目的・意義

○（国による評価において確認されている）

2) 研究開発計画（プロジェクトレビュー）

○計画の妥当性（試験の質・量、組合せは適切か）

○費用対効果の妥当性（既存施設が活用され、合理性のある計画か）

○研究開発の手段やアプローチの妥当性（判断と次のステップへの移行の考えは妥当であるか）

3) 研究開発実施体制（マネジメントレビュー）

○行政施策への貢献（行政施策への反映の面で成果の質・量、タイミングは適切か）

○実施体制の妥当性（研究開発の推進の上で機能を十分発揮できる組織となっているか）

○目標・達成管理の妥当性（研究開発の PDCA サイクルが機能する評価体制となっているか）

4) 期待される成果（プロジェクトレビュー）

○目標実現可能性（革新的な技術の採用決定が可能か）

○見込まれる成果（上記に資する見込まれる成果は十分か）

○実用化の見通し（革新的な技術の採用判断基準は適切か）

○人材養成・知的基盤整備（人材養成・技術継承に繋がるか）

5) その他（上記項目に当てはめ難い評価意見）

6) 総合評価

○上記各項目の評価を踏まえた総合的な判断

(3) 評価基準

各評価項目について評価を行い、計画の妥当性等を総合的に判断する。

## 5. 評価結果（答申書）

平成19年5月18日

独立行政法人日本原子力研究開発機構  
理事長 岡崎 俊雄 殿

研究開発・評価委員会  
(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)  
委員長 森山 裕丈

研究開発課題の評価結果について（答申）

当委員会に諮問 [18原機(次)039] のあった下記の研究開発課題の中間評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

研究開発課題「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」  
(旧名称「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」)

以上

(別紙)

## 次世代原子力システム／核燃料サイクル研究開発・評価委員会報告書

### 「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」

#### (旧名称「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」)の評価結果(中間評価)

研究開発課題「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」に対しては、平成 11 年 6 月に事前評価を行うとともに、平成 12 年 6 月には「フェーズⅠ」の中間成果と平成 13 年度の計画および「フェーズⅡ」の基本計画についての評価、平成 13 年 5 月には「フェーズⅠ」の成果と「フェーズⅡ」の研究開発計画等の評価を実施している。平成 16 年 7 月には「フェーズⅡ」の研究開発進捗の評価を実施している。

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という。)から説明を受けた研究開発の概要は、以下のとおりである。

#### (第 1 回委員会)

「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」は、高速増殖炉サイクルが軽水炉サイクルおよび他の基幹電源と比肩する経済性を達成し、将来の主要なエネルギー供給源として確立する技術体系を整備することを目的としている。高速増殖炉サイクルが本来有する長所を最大限に活かした実用化像を抽出し、あわせて将来の社会の多様なニーズに柔軟に対応できる開発戦略を提示するものである。

当該研究ではフェーズⅠ(1999年7月～2000年3月)で高速増殖炉、再処理及び燃料製造の各候補概念を抽出した。これを受け、フェーズⅡ(2000年4月～2006年3月)では候補概念の成立性に係る要素研究や解析とそれらに基づく設計検討を行い、各概念が有する能力を最大限に引き出すことが可能な高速増殖炉サイクルシステム概念と研究開発計画を提示した。技術総括の結果、酸化物燃料を用いたナトリウム冷却高速増殖炉、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が、開発目標への適合可能性、技術的実現性の面で総合的に最も優れた概念であることが明らかにされた。

(第2回委員会)

「原子力政策大綱」(平成17年10月11日原子力委員会決定、同年10月14日閣議決定)では「国は(中略)実用化戦略調査研究フェーズⅡの成果を速やかに評価して、その後の研究開発の方針を提示する」となっており、「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズⅡの成果が、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会により評価された。平成18年3月30日から同年9月12日にかけて調査審議が行われ、同年10月31日に報告書がとりまとめられた。国の委員会は、酸化物燃料を用いたナトリウム冷却高速増殖炉、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主概念とし、研究名称を「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」に改めて主概念の実用化に集中した技術開発を行い、研究開発を加速すべきとの方針をとりまとめた。

これを受け原子力機構は、研究名称を「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」とし、主概念の実用化に向けた研究開発を実施することとしている。研究開発では、主概念で採用を見込んでいる革新的な技術について、ナトリウム冷却炉13項目、燃料サイクルシステム12項目(再処理6項目、燃料製造6項目)の課題が挙げられている。今後の研究開発においては、2010年にそれまでの研究成果に基づき革新的技術の採否判断を行うとともに、2015年までの研究開発では、革新的技術の成立性に関わるデータを整備し、開発目標・設計要求を満足する実証施設及び実用施設の概念設計を得ることを目標としている。なお、国の評価では、研究開発計画策定のため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」としている。

高速増殖炉サイクル実用化研究開発においては、国家基幹技術として推進するため原子力機構内に高速増殖炉サイクル技術開発推進本部を設置し一元的な体制の下で研究開発を進めるとともに、高速増殖炉、再処理、燃料製造について要素技術開発から設計統括まで課題解決に向けた組織を編成し、研究開発を進めるとしている。研究開発の推進では、経営管理サイクルの運用のほか、外部評価により研究開発活動の適正化を図るとしている。

(作業会)

原子力機構は今後 5 年間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こととしており、ナトリウム冷却炉 13 項目、燃料サイクルシステム 12 項目の各々の課題について当面の研究開発計画及び 2010 年の革新的技術の採否判断基準（クライテリア）案を示した。ナトリウム冷却炉に係る 13 項目の課題のうち、技術的なハードルが高く 2010 年までの研究開発のうえで重要な課題は、「1 次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発」、「原子炉容器のコンパクト化」及び「直管 2 重伝熱管蒸気発生器の開発」であり、主として原子炉用機器としての成立性に係るクライテリアを設定している。燃料サイクルシステムに係る 12 項目の課題のうち、原子炉システムと同様に重要な課題は、「晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発」、「抽出クロマト法による MA 回収技術の開発」、「脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発」及び「セル内遠隔設備開発」であり、工学規模のプロセスの成立性と機器概念の具体化に必要な要件をクライテリアに設定している。

研究開発の実施にあたっては、利用可能な研究資源や重点配分等を考慮しつつ研究開発を進めるとしている。

国による評価では、実用化戦略調査研究フェーズⅡの成果や高速増殖炉サイクル開発を取り巻く情勢の変化を踏まえて、高速増殖炉サイクル開発の必要性も含めて今後の基本的な研究開発方針がとりまとめられており、研究開発の目的・意義の観点には既に考慮されている。したがって、研究開発・評価委員会では、今後の研究開発の進め方に係る妥当性を評価することとし、研究開発実施体制等にかかる大局的評価についてはマネージメントレビューを、研究開発計画および期待される成果に係る技術的評価についてプロジェクトレビューを実施した。

研究開発課題の評価結果を以下に示す。

## ＜総合評価＞

原子力機構は今後 5 年間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こととして、ナトリウム冷却炉 13 項目、燃料サイクルシステム 12 項目の課題を示した。これらの課題には、現時点で技術的成立性の確証が十分得られていないものが含まれている。今後 5 年間の研究開発計画では、その成立性を見極めるために重要な個別テーマが挙げられており、各々の解決の見通しを得るために設定した研究開発計画は概ね妥当である。革新的な技術が成功したとすれば経済性等の様々な面での大きなメリットが期待される。

一方、革新的な技術の開発には現時点で大きな開発リスクを伴う。炉システム、燃料サイクルシステムの各課題についての現状の技術レベル等を明確にするとともに、2010 年までの研究開発は、実用システムの更なる具体化、課題相互の関係等に留意しながら、慎重に進められるべきと考える。特に、各課題の解決に対して重要な個別テーマについては、2010 年の革新的技術の採否判断と 2010 年以降の展開に客観性をもった説明が可能となるよう、進め方に注意する必要がある。

研究開発が計画どおり実施されれば、所要の成果は得られるものと考えられる。研究開発成果の集約・保存、共用化を進めるとともに、2010 年のクライテリアを研究開発の進捗に応じて、具体化、定量化していくことが重要である。革新的技術の研究開発により得られる効果を総合的な観点から示す方法を検討し、各課題、クライテリアの優先度を明確化していく必要があると考える。2010 年の判断に基づき、2010 年以降により具体的かつ大型の試験の準備に着手する計画とされているが、2010 年時点の技術レベルと大型試験の位置付け、更に 2015 年以降の研究開発の進め方については、2010 年の研究開発成果を見通しつつ先行して 2010 年より前から検討しておく必要がある。

研究開発実施体制について、革新的技術に関する課題の解決に向けて原子力機構内の研究開発組織が構成され、経営レベルの意思決定、部門と拠点の連携が図られる仕組み等が構築されており適切であると考えられる。研究開発課題の解決は、原子力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ものであり、研究開発の段階、技術レベルに応じて、原子力機構内の部門・拠点との連携強化、組織や評価の仕組みの改善・改良を図りつつ、電気事業者、メーカー、国との関係・体制のあり方についても継続的に検討することが望ましい。研究開発資源である予算や要員については、継続的な経営努力

を要すると考える。予算については、今後、革新的技術の成立性確認や技術実証のため、従来以上の研究費が必要となると予想され、計画通りの成果を挙げるために研究費の確保に努力する必要があると考える。また、研究開発課題の解決を完遂するまでには長期を要するとの観点から、要員の確保にあたっては、人材育成（人材養成）や技術継承の面からの検討が必要であるとする。

プロジェクトレビュー及びマネージメントレビューの結果を以下に示す。

#### <プロジェクトレビュー>

##### ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について

#### 1. 研究開発計画

13 の課題全般を通じ、革新的な技術の成立性を見極めるために重要な個別テーマを挙げ、各課題の解決の見通しを得るために設定した研究開発計画は概ね妥当である。革新的な技術が成功すれば、大幅な建設費の低減等に繋がると期待され、2010 年までの研究開発として費用対効果は妥当と考える。

一方、革新的な技術については現時点で大きな開発リスクが伴うことから、その開発上のリスクの低減のために、既存技術やその改良およびその延長線上にある技術に基づく代替技術を用意しつつ、以下の点に留意しながら研究開発を進める必要がある。

##### (1) エンジニアリングを意識したプラント設計の最適化

試験研究の成果を見極めつつ、実用施設の機能要求に照らした設計の最適化を図ることが望まれる。その中では、実用施設としての高い経済性、合理的で理解し易い安全性、運転・保守・補修を通じた信頼性の向上などの観点から総合的にバランスのとれた設計のあり方が求められる。

##### (2) 総合的な取り組みの実施

個別課題ごとの成立性を確認することはもとより、例えば安全にかかる技術開発など、複数の課題の相関についても考慮することが重要である。特に新しいプラント概念である高速炉の安全性に対する国民の安心感の醸成と確保には既存炉である軽水炉に比べより一層の努力が求められる。そのためには、高速炉の特徴を十分考慮した分かり易い安全論理の追求と、それぞれの革新的技術開発においては実

現性とともに実証性が要求される。

(3) 長期間を要する研究開発の着実な実施

材料開発や燃料開発など、実用化に向けて長時間の試験データが必要である場合、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。

(4) 国際協力

国際市場に通用する実用炉の開発を目指し、我が国の技術体系・考え方を国際的標準化概念の構築へと結びつけるための基準・規格作りへの努力のほか、諸外国の規制体系への適用も視野に入れた開発を行うことも重要である。

個別課題の研究開発計画について、特記事項を以下に示す。

① 配管短縮のための高クロム鋼の開発

鋼材の供給、プラント機器の製造、建設のためには、研究開発の段階から産業界の十分な参画が必要である。また、長時間データが必要である等、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。

② システム簡素化のための冷却系2ループ化

ループ数の削減に伴う施設全体の安全性や信頼性への影響を検討し、設計の最適化を図る必要がある。また、冷却系機器の大型化を考慮し、今後の実用化に向けたスケールアップ試験の仕様の最適化について検討する必要がある。

試験研究について、ミクロな流動を配慮した代表長さの取り方等の仕様を十分に検討する必要がある。超音波流量計の適用については、その成立性のみならず安全保護系としての成立性も整理しておく必要がある。

③ 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発

研究開発の手法としては信頼感を有するものであるもので、着実に開発が進められることを期待するが、構造上の特徴を踏まえ、内部の流量配分の均一性について評価方法を含めた検討が必要と考える。

また、構造に起因したトラブルが起りやすいことを念頭に、慎重に研究開発を進

めるとともに、必要に応じて自由な発想で内部構造を最適化していくことを期待する。

④ 原子炉容器のコンパクト化

「ホットベッセル化」については、熱荷重軽減化に関する設備対策を含めた広範な検討が必要と考えられる。特に、ガス対流による除熱については非対称流動や非対称流動域の移動などに対応した設備対策を検討する必要がある。

⑤ システム簡素化のための燃料取扱系の開発

高温かつ不透明な冷却材中での燃料交換となること、長期使用に伴うトラブル予測等に配慮すべきである。

⑥ 物量削減と工期短縮のための格納容器のS C造化

貫通部の前処理、外面側の表面鋼板の溶接後にコンクリートを充填するため、強度の担保に不確かさがあり、外面部は機械的な接続も可能となるような工夫が必要と考えられる。また、当該構造の強度にかかる評価法の確立が必要と考える。

工場製作部分と現地組み立て工法について、更なる検討と、各部の組み立て工法の全体的な最適化が必要である。

⑦ 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

BOR-60、「常陽」、「もんじゅ」での照射計画があり、合理的な計画である。海外の研究開発機関との連携を図りつつ、「常陽」、「もんじゅ」での経験蓄積に期待する。

再臨界回避集合体については、これまでも構造の改良が図られてきたが、今後一層の改良合理化を期待するとともに、試験に適切な炉の活用を含め海外研究開発機関との連携が必要と考える。

⑧ 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発

配管のL B B成立性を確立するために必須の微小漏洩検出器の開発に特化した研究開発計画は適切と考えるが、レーザー方式に特化する理由をより明確に示すべきと考える。あわせて、高速増殖炉での使用環境下における新材料の配管破損メカニズム

を解明し、微少漏洩段階での検知・対応による安全確保の成立性を示すことが重要と考える。

ナトリウム漏洩対策として、既存の概念に拘ることなく、漏洩部分でのナトリウム冷却・固化や構造の更なる簡略化など、柔軟な設計対応の可能性も視野に入れるべきである。

#### ⑨ 直管 2 重伝熱管蒸気発生器の開発

比較できる既存の技術、経験が乏しく、かつ予定の計画研究期間内にその開発が進展して、2010 年の時点でどのような要素開発の状況になるのか、定量的に見通すことは難しいといえる。それゆえ、小課題について必要度の順位と共に、それが欠けた場合に採用する代替技術を用いるデメリット（影響）を併せて示し、開発リスクを慎重に評価しながら研究開発を進める必要がある。

水側の流速が高いと思われる環境下で、高性能・コンパクト化を図るための新材料、構造に対して、腐食機構の把握、検知・保全を念頭においた研究課題があると考ええる。

#### ⑩ 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

容器構造とセンサを搭載する検査機器の大きさ、遊泳できる範囲の関係で、検査することが困難な部分が生じることに配慮し、検査機器の具体化を図るべきである。その際には、将来の運用を見越した検査基準のあり方、検査技術の高度化についても検討すべきである。

#### ⑪ 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

「自然循環による炉心冷却」について、通常停止時（起動時、定常運転時から停止時含む）の自然循環除熱に対する技術的裏づけを他の工学的施設・設備や他の産業界での事例を含めて確認すべきである。通常運転モードとして自然循環除熱を採用する場合の短所を分析し、新たに考慮しなければならない技術、新たなシステムなどが発生しないかを検討する必要がある。

計算による設計（Design by Analysis）に近づく技術革新を意識し、手段として多用することになる解析コードについては十分信頼性が高いこと、客観性を持った検証

結果を示すことが重要である。

「受動的炉停止」について、自己作動型炉停止機構（SASS）の開発経緯に照らし、炉内照射による材料特性データ取得と機器要素試験は実用化に向けてのステップとして重要である。実炉の状況下での SASS 作動の信頼性をどのように実証するのか、ロジックを示すことが重要である。

#### ⑫ 炉心損傷時の再臨界回避技術

IGR 炉内試験や炉外試験は現象の解明に貴重なデータを提供していると考えられる。一方で、これらの実験が必ずしも実用炉の Prototypicality を全うしているわけではない以上、実用炉の溶融燃料リロケーションなどを高い信頼性を持って予測できる評価手法の開発が必要である。解析コードの整備や検証は人材育成（人材養成）や知的基盤形成の重要な要素となる。

内部ダクト付き燃料集合体（FAIDUS）の概念は、小規模炉心溶融の段階で自然現象を駆動力とする受動的なメカニズムを利用し溶融物質の挙動の制御を狙うものであるが、この制御性が成立することを示すことが必要である。また、炉心核特性、炉心損傷防止と本回避技術との相関を明らかにしつつ、本技術の開発の必然性を世に明らかにすることが重要である。

#### ⑬ 大型炉の炉心耐震技術

再臨界回避燃料集合体の荷重、強度の非等方性、非均一性を評価する必要がある。また、試験においてはより厳しい入力条件までも考慮しておくことが望ましい。

3次元免震要素については、現時点で最良とされる要素が特定されているが、更に優れた要素を開発することもまた重要であり、3次元免震を採用するだけの経済性（要素コスト、メンテナンスコスト）を示す必要がある。また、3次元免震設計方針案の策定に当たっては、学識経験者、産業界の意見を十分取り入れる必要がある。

## 2. 期待される成果

採否判断のクライテリアについて、現時点では具体性、定量性に欠けることはやむを得ない。しかしながら、完了時期に適用したときに適切な判断を下すことができる

ためには、判断基準の具体化、定量化を研究開発の進捗と並行して継続的に進めていく必要がある。

- (1) 革新的な技術の採否判断にあたっては、何をもち「実機適用性」が示せたことになるのか、十分に検討しておく必要がある。
- (2) 経済性、安全性、環境負荷低減性、資源有効利用性及び核不拡散性の向上に対する開発目標、革新的技術の実現による開発目標の達成度予測が根拠をもって明示される必要がある。
- (3) クライテリア策定においては、概念が成立するために要求される技術的要件について、知見・経験の蓄積に応じて、その時点の不確定性を同定、定量化するとともにテーブルとして整理する。このテーブルを基に、未知の乃至は不確定性が大きい要件に対する研究開発の重点化を図る必要がある。

個別課題の 2010 年の成果・革新的技術の採否判断について、課題④、⑦、⑧、⑨、⑩及び⑬の特記事項を以下に示す。

#### ④ 原子炉容器のコンパクト化

制御棒からのガスや FP ガスなどで原子炉容器内の Na 流に乗るガスが存在するため、ガス巻き込み抑制については、抑制できていることの判断基準を十分に検討する必要がある。

#### ⑦ 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

これまでの開発経験から見て、目標実現の可能性は高い。また、常陽、もんじゅ活用の最も重要な開発課題である。常陽、もんじゅで高燃焼度燃料、低除染燃料の照射実績を十分積むことが期待される。さらに、本研究開発を通じて、炉心燃料開発に関する人材育成（人材養成）、知的基盤整備が期待される。また、高速増殖炉への理解も深まると思われる。

#### ⑧ 配管 2 重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発

2010 年の判断クライテリアを、L B B 成立性を担保する検出器を提示できる、

とすることは妥当である。

⑨ 直管 2 重伝熱管蒸気発生器の開発

目標とする成果は、本課題の前提となる条件のため、達成できるかどうか現状での判断は困難であると考ええる。全課題の成果が 2010 年における判断クライテリアをクリアすることが極めて難しい場合には、一部代替の小課題技術の採用によって、目標とする蒸気発生器にどれだけ近づけたものがその時点で成立するか、必要なデータとともに提示し、十分な検討評価を加えて 2010 年に判断することが必要となる。

⑩ 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

軽水炉と同程度の稼働率を目指す高速増殖炉の実用炉の検査性と機器・設備設計、ナトリウム中可視化装置の検査精度等の実用性などの面で、実プラントの保守や補修を考慮したクライテリアの設定も必要と考えられる。

⑬ 大型炉の炉心耐震技術

本研究開発計画の実施により、2010 年までに水平免震条件での燃料集合体の 3 次元群振動挙動が評価でき、耐震安全性の見通しが得られる。

また、炉容器の耐震性評価については、2015 年までには 3 次元的地震入力条件に対して炉容器座屈評価手法の整備ができ、設計の妥当性を確認できるようになることが期待される。その他の機器構造に対しては、2015 年以降の原子炉冷却系耐震総合試験で妥当性が確認できることが期待される。

2010 年以降の研究開発は本コンセプト全体の技術実証であり、他の技術についても実証を十分に見通せる条件が十分に整えられている必要がある。要素技術開発段階の主旨に沿った枢要な個別テーマを挙げ、各々の解決の見通しを得るために設定した研究開発を行い 2010 年の判断をもって、次の開発フェーズに移行する考え方は妥当である。2010 年までに十分な成果を挙げられれば、その完成されたコンセプトの技術実証に繋がるものと期待できる。

実用段階での「最適化」をねらって開発を進め、途中段階で試験用の原子炉を設置す

る場合、その設置意図を明確にしておく必要がある。その際、試験用の原子炉については、その設置意図を最も合理的に達成できるよう最適化されるものであり、その段階での経済性(建設費、運転コスト等)からの「最適化」とは合致しないこともありうることに留意しなければならない。2010年以降の大型の試験設備を用いた試験に際して、2015年頃までに着手・実施し、着実かつ段階的に研究開発が進められることを期待する。

先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の  
実用化に向けた技術開発課題について

1. 研究開発計画

12の革新技术の重要課題について2010年までに成立性を確認した上で、工学規模ホット試験により技術の信頼性を高め、2025年頃の実証炉の開発と整合性を図った実証サイクル施設の設計に展開させるという全体的な開発の展開(計画)は基本的に妥当である。また、各々の革新的技術について枢要な個別テーマを挙げ、これらの課題解決を進めながら、各々のクライテリアに沿って技術的成立性を見極めを行うというアプローチは妥当である。

一方、今後の技術的なハードルはかなり高いと考えられるので、上記の実証サイクル施設を確実に実現するという目標に向けて、目標達成までの開発リスクの低減と開発費用の合理化を進めるために、今後、次の7つの視点について十分に留意し、それらの視点からの考察の結果を、今後の具体的な開発計画に適宜反映させてゆくことが望まれる。

(1) 開発規模の合理的なステップアップ戦略

研究開発にあたっては、各工程の特徴を踏まえ、試験規模(小規模、工学規模、実規模)と使用する物質(コールド、ウラン、プルトニウム、実使用済燃料、及びそれぞれの使用量)の組合せに関わる“開発のステップアップ”の考え方を明確にすることが望まれる。各ステップの重み付けを考慮した上で、全体的に合理的なロードマップを明確にすることが重要である。特に、技術的にクリティカルな部分の

抽出や各ステップの完了時期の設定に注意が必要である。その際、全ての課題を一律に扱うのではなく、工学的に早期に見通せる分野と、更に細かい段階を踏んでの開発が必要になる分野を区別して取り組むことも重要である。無駄なく開発を進めるには、試験段階や実証段階から実用規模にいたる装置の規模の違い（規模の拡大：装置の処理能力など）に関する論理的な考察や技術判断が必要であり、最小の開発努力（合理的なステップ）で実用規模までの技術確証を最大に進めるための工夫が強く求められる。過去における要素技術開発の機能確証の実績（試運転時間や試験の回数など）が決して十分ではないことを直視した上で、今後、短い期間に限定された開発資源の下で多くの技術実証を進めてゆくためには、この点に特別の注意が必要である。各の課題の技術レベルを個別に勘案した上で、2010年以降のホット工学試験に入る前に、相当なレベルの技術判断を行えるような開発取り組み（装置規模、試験の時間、枢要部分の重点的確認等）を行う努力等が望まれる。

## (2) プラントエンジニアリング開発の強化

高速増殖炉の使用済燃料の再処理および燃料製造技術の信頼性は、要素技術の革新的部分の成立性だけではなく、プラントのより基本的な部分に大きく依存する。すなわち、各要素技術を連結して総合的に確実なプラントとして構築するための「プラント設計開発（プラントエンジニアリング）」が非常に重要である。保守・補修といったプラントの運用を含めて、実用化プラントを開発することを念頭に、機器やプロセス選定と並行してエンジニアリング開発を強化してゆくことが重要である。また、このためには、プロセス化学と機器設計を繋ぐ様な試験の必要性についても検討する必要がある。なお、再処理や燃料製造のプラントエンジニアリングについては、東海再処理工場、プルトニウム燃料施設、六ヶ所再処理工場などの先行プラントに蓄積された多くの実績や経験の活用が有効である。更に、実証施設を実現するためには、設計の安全性に関わる基礎データや設計ベースが重要であるので、安全審査をゴールに見据えた上での必要な基礎データの確認、安全性研究など、許認可を念頭に置いた試験研究も重視してゆく必要がある。

### (3) 燃料開発への取り組み

マイナーアクチニド (MA) を含有する燃料の性能保証や遠隔燃料製造技術の確立は、高速炉燃料サイクル全体の要となる重要な部分である。照射試験を含め燃料開発を着実に進めるとともに、炉と燃料サイクルの取り合いである燃料仕様については、研究開発の成果を反映しつつ柔軟な対応を行うことが重要である。仕様（公差など）と収率のバランスをとる事などを含めて、炉側と燃料側間で目標仕様の見直し（最適化）を進めるなどのフレキシビリティが望まれる。基礎データの獲得や遠隔工程実現のためのエンジニアリング開発に力を入れると共に、柔軟な取り組みを行い、信頼性の高い燃料製造工程の実現を確実なものとする取り組みが必要である。

### (4) 総合的な取り組み

工程個別の課題、炉とサイクル個別の課題とするのではなく、上流に遡り条件の最適化を図ることが重要である。特に、燃料仕様を含め前後の工程や製品仕様との取合いを確認しつつ実施すべきである。単位工程や個々の装置だけに着目するだけでなく、プラント全体の構築や、上流・下流工程との整合に注意する姿勢が不可欠である。また、実用プラントの保守や運転管理までも視野に入れた取り組みが必要である。このためには、機構内での関連する部署との強い連携が必要である。

### (5) 国際協力

広い視野で開発を進めてゆくためには国際的な連携も重要であり、国際協力の枠組みで得られる情報を精査し、国際的な共同開発の可能性を含め実質的な進捗が得られるよう努力することが必要である。従来国際協力で得られた成果の評価を進め、不必要なものを排除した上で実質的に重要な協力を進めることが重要である。

### (6) 施設の利用など

開発費用と時間を削減するためには、既存施設の活用が望ましい。ホット試験に進む前に、できるだけコールド試験やモックアップ試験を実施し、全体的な費用対効果を高める必要がある。この観点から、一部の工程機器については、工学規模ホ

ット試験に入る前にクリティカルな成立性確認を行うことも重要となる。プルトニウムや MA 核種、特殊な材料や素材などの試験に用いる物質の効率的運用に配慮することが必要である。工学規模ホット試験施設については、工程全体のシステムとしての検証、機器単体のホット条件実証、プラント設計の妥当性の確認、など多くの目的が混在する。これらを合理的にバランスして、実質的な成果を挙げるような工程の設計を進めることが極めて重要である。

#### (7) 関連課題についての取り組み

放射性廃棄物の発生量低減、処理・処分技術に係る研究開発、安全・核不拡散の担保に係る検討、稼働率向上のための定期検査の高度化等についても同時かつ積極的に進める必要がある。また、現計画では重要技術として挙げられていないものの、先行施設の経験においてもさらに高度化が期待される技術も少なくない。例えば、高レベル放射性廃液固化工程 (LFCM)、蒸発缶の寿命延長、計装や保障措置技術、放出放射能低減等については、革新技術と比べてひけを取らない重要な開発課題である。

個別課題の研究開発計画についての特記事項を以下に示す。

##### ① 解体・せん断技術の開発

ヘッドエンドの開発経験のある東海再処理工場の知見等を反映したエンジニアリングスキームを固めるべきである。また、効率的な研究開発の観点から、使用済燃料の機械的性質を模擬した模擬燃料のせん断試験を重ね、所定の粒度の粉体が得られるかを確認すべきである。

##### ② 高効率溶解技術の開発

照射済みの実燃料(高燃焼度までの燃料と MOX 燃料)を用いた小規模溶解試験により、所定の目標(濃度 500gHM/l を目指した時の非溶解率等の数値目標)が達成できるかを定量的に把握・確認することが必要である。

③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

工学規模ホット試験に入る前に「採否技術判断」を行えるような取り組みの努力が期待される。装置設計と並行して照射済みの実燃料を用いた小規模晶析試験を実施し、所定の仕様の製品が安定して得られることを確認する必要がある。また、晶析の製品であるウランの用途を幅広く捉え、プロセスの組み方とその影響を検討しておく必要がある。装置の保守性や操作性、セル内配置設計やユーティリティとの関連など、工学的な課題についても慎重に検討する事が必要である。

④ U,Pu,Np を一括回収する高効率抽出システムの開発

工業機器としての運転性を考えて設計する必要がある、試験研究を進めつつ、試験研究の成果を反映した設計が今後必要になる。その際には、日本の抽出技術を世界にアピールしていくうえで、運転性まで説明できることが必要となる。CPF 等を利用したフローシート確証や、抽出シミュレーションの精度を上げるための基礎データの拡充が重要である。

⑤ 抽出クロマト法による MA 回収技術の開発

工学規模ホット試験に入る前に「採否技術判断」を行えるような取り組みの努力が期待される。抽出剤選定の基礎試験の継続に加え、クロマトグラフィが実用化装置として適用できるかの検討が 2010 年までの判断に必要である。特に、安全性、稼働の安定性、運転保守性からの評価が最も重要である。

⑥ 廃棄物低減化（廃液 2 極化）技術の開発

ソルトフリー化の技術開発を積極的に行うとともに、廃棄物固化の観点からも改良技術や革新技術の開発が望まれる。

⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発

燃料製造技術の中でも、脱硝・転換・造粒プロセスの確証に優先度をあてて開発することが期待される。焼結密度と関連付けて造粒体を評価する試みは画期的であり、造粒体の流動性を表す数値の取得と評価の両者を視野に入れ、開発を進めることを期

待する。ホット試験の実施にあたっては、これまでの実験室規模のMOX試験や設計検討に基づく知見を踏まえ、当該プロセス及び機器の成立性を見通しを十分に見極めながら、慎重に進める必要がある。プロセスについては高除染のMOXレベルまで、機器についてはUレベルまでの試験により所定の造粒体が得られるかの確証を得、低除染燃料の製造性評価については、その後、MOXでの条件に及ぼすMA、FPの影響を確認することが重要である。

#### ⑧ ダイ潤滑成型技術の開発

成型体の品質は勿論、焼結体の品質、更には上流側の脱硝・転換・造粒の中間製品の品質も含めた一連のプロセスの確認が必要である。

#### ⑨ 焼結・O/M調整技術の開発

一連のプロセスの確認については、課題⑧ダイ潤滑成型技術の開発の記載に同じである。セル内の空気は酸素及び湿分の供給源となり得るものであり、空気の存在がMOX粉末の焼結性に微妙な影響を及ぼすことにも留意する必要がある。

#### ⑩ 燃料基礎物性研究

低除染TRU燃料では、U,Puに比較し混入するMA,FPの量は少なく、マクロに見たときに悪影響を生じなければ十分とされているが、各元素の酸素ポテンシャルによる安定度が異なり、また温度勾配下での元素の移動も考えられる。このため、着実に基礎的な物性データを取得していくことが望まれる。

#### ⑪ セル内遠隔設備開発

モジュール式燃料製造技術については、プルトニウム燃料製造の長年の実績と経験に基づいた設計対応を強化することが期待される。設備の「遠隔保守・補修」の課題に加えて、日常的に実施する設備の「点検・調整」も課題の一つとして明確に掲げて開発を進める必要がある。ODS被覆管の量産技術開発については、現時点で実用性を確認できる段階ではなく、代替材の検討、海外との共同開発も視野に入れ開発を進めていくべきである。

## ⑫ TRU 燃料取扱い技術

MA を混入させたペレットを量産するには遠隔技術は不可欠である一方、最もハードルが高い技術開発の一つである。工学規模の装置開発の前に、セル内機器を忠実に再現した 3 次元 CAD のようなバーチャルシミュレーションを使い、機器の設計、機器間の取り合いなどを実施することがより効率的、実質的である。それにより改良を重ねてよりシンプルで取り扱いやすい装置の設計を行ってハードに移行するという開発方法も考慮すべきである。

## 2. 期待される成果

提案されている研究開発計画は、要素革新技術の基礎的な確証から工学規模の実証までを網羅した計画になっており、順調に開発を進めれば、2025 年段階に求められる最低限のタスクを満たせ得る計画であると評価できる。しかしながら、今後の開発の成功は、今後の適切な技術判断の如何にかかっていると言っても良い。即ち、上記のような留意点に注意しつつ現研究開発計画を基本とした研究開発を進め、その結果に基づいて革新技術の採用決定を適宜段階的に判断していくことで成果を獲得してゆかざるを得ない。現計画において、各々の開発課題に対して個別の技術判断のクライテリアを設定していることは評価できるが、今後、よりの確な技術判断を行うために、以下のような点に留意して、研究開発の進展に沿った実際的なクライテリアを検討してゆく必要がある。

- (1) 技術採否のクライテリアを、装置の性能目標だけについて設定するのではなく、「装置の保守性や稼働率を保証できる工学設計の実現性」とペアで考えるような姿勢も重要である。即ち、技術判断基準を、コールド試験・ウラン試験・小規模ホット試験・工学規模ホット試験のそれぞれの重み付けの認識に立った上で、化学工学的な特性や性能、装置の耐久性、工学的保守性、等のそれぞれの面から総合的に設定することも重要である。晶析法、クロマト分離回収、燃料遠隔製造などの新しい技術については特に、この観点が重要である。

- (2) 革新課題の中には 2010 年に採否の判断が必ずしも必要でないもの(例、ODS 被覆管、MA 燃料製造、MA 抽出等)があり、2010 年に結論を出すものと、すぐ工学試験を進めるのではなくもう少し基礎研究(方法も含めたプロセス開発)を進めるもの、に分けて取り組むことも検討する必要がある。このように、クライテリア設定のレベルを、個々の技術毎に適切に設定することは重要である。
- (3) 2010 年の革新的技術の採否判断のためのクリティカルな課題について確認試験を実施することが必要であるが、現時点の設計概念に基づく装置仕様を前提とし今後の試験を継続するのではなく、エンジニアリングとして実用化することを念頭に考える姿勢が重要である。プロセス化学と機器設計を繋ぐ様な試験を今後行いながら判断を行ってゆくことも必要と考える。現在検討しているプロセスのそれぞれに開発のブレークスルーポイントがあると思われるが、プロセス上のブレークスルーと併行して、エンジニアリング上のブレークスルーも同時に検討し、革新的な技術については特に先行して検討を進め、その採用可能性を早期に確認することも考慮すべきである。
- (4) 工業機器としての運転性を考えて設計する必要がある。開発研究の進展に沿って、実用化エンジニアリングとしての判断基準や明確な成果が必ず求められることに留意すべきである。高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究で想定された設計概念の範囲だけでのクライテリアだけでなく、実用本位のクライテリアを新たに設定してゆく姿勢が必要である。このためには、プロセス上、エンジニアリング上のブレークスルーポイントを明らかにし、“判断のクリティカルポイント”をより具体化する必要がある。
- (5) 革新技術の判断の 2010 年までには 4 ヶ年ほどしかなく、提案課題の達成はかなり高いハードルである。夫々の技術課題の採否判断にいたるまでの研究開発をより効率的に進める必要がある。目標の実現可能性の面で現在のロードマップの中身をさらに細かく分析し、個々の研究開発項目の段階的目標、達成度を評価できるよう配慮すべきである。

(6)革新技術については、技術判断によって採用できないというケースが想定される。

この場合には、代替技術を導入するか、仕様や条件（性能目標や経済性）を緩和することになる。このような代替措置の概念やそのためのアプローチの仕方も、候補技術の研究開発と並行して検討しておくことが必要である。様々なケースにおいて、時間的なロスや開発資金のロスを最小限に抑えるようなアプローチが望まれる。高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究による候補技術を基本概念として探求しながらも、常に補完技術（代替概念）の可能性についても考察しておくような周到さが望まれる。

技術の採否判断に関して、特に、以下の個別課題について考慮すべき事項がある。

#### ③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発

晶析 U の除染係数をクライテリアとし、目標達成が困難な場合（除染係数が低い場合）には、晶析物を精製することも考えるとしているが、さらに溶媒抽出等の分離技術を利用するメリット、デメリットについて現状技術の全量溶解の場合との技術比較、経済性比較を行なうことが必要である。当該技術を次世代の軽水炉燃料処理に適用する場合には 1000 以上の除染係数が必要とされ、その場合の対応、技術の確証も考えておく必要がある。また、晶析法の技術判断基準として除染係数だけが挙げられているが、装置の保守性や信頼性などの工学的なタフさもクライテリアに含む必要がある。

#### ④ U,Pu,Np を一括回収する高効率抽出システムの開発

晶析技術が適用できない場合には、溶媒抽出工程設計が変更になる。晶析技術が適用できず代替の溶媒抽出法が適用され、これを次世代の軽水炉燃料処理に適用する場合があったとしても、すべてのウランに Pu,Np の混合は受け入れられないため、晶析代替技術としての溶媒抽出法については、ウランを純粋に逆抽出し、その後 U·Pu·Np を抽出する技術の開発が必要になると考える。

## ⑧ ダイ潤滑成型技術の開発

ダイ潤滑成型技術の開発に関し「成型体の品質などからダイ潤滑成型プロセスの工学規模成立性見通しに関する技術根拠を提示できること」をクライテリアとしているが、成型体の品質は勿論、焼結体の品質もクライテリアとすべきと思われる。造粒技術の開発において「Carr 粉末流動性指数 60 以上、ほか」をクライテリアとしているが、焼結性を前提に流動性を論ずる必要がある MOX 粉末について、係る数値をクライテリアとして設けることは画期的なことである。係る数値が MOX 粉末の流動性・焼結性を表すものとして実用化できれば、産業界への貢献が極めて大と考えられる。今後の量産プロジェクトにおいて、焼結密度と関連付けて造粒体についての係る数値を取得することも視野に入れ、開発を進めることを期待する。

## ⑩ セル内遠隔設備開発

遠隔燃料製造は高速増殖炉実用化のための必須の課題であり、提案されているモジュール式の遠隔燃料加工工程についての技術判断は極めて重要である。通常運転時の保守（通常保守）と装置の交換などの大規模な保守のバランスなど、工程の稼働率の確保には高度な設計対応が要求される。この工程の設計の妥当性（遠隔設計）については、計算や概念設計による評価だけでなく、実際の遠隔工程の長期にわたる実績や故障の経験、実プラントでのオペレーションの経験などが極めて重要となる。設計の詳細化やその設計の妥当性評価には、実プラント経験や知見をふんだんに取り入れることが重要であると共に、実プラントの経験に基づいた設計アイデアを取り込んでゆく姿勢も重要である。

行政施策への反映という観点では、高速増殖炉の開発と整合する時期に核燃料サイクルの技術実証を行うといった目標が最も重要である。この技術実証が成功しない場合には、高速増殖炉の実用化時期が遅れるということになり、わが国での高速増殖炉サイクルの実用化開発に重大な影響を及ぼすことになる。高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究で提案されている核燃料サイクル技術は非常に革新的なものであるため、“達成目標時期”を重視した上での革新技術への技術判断が何よりも重要になる。現計画は、達成目標に対して“現状での Best Available”な計画であると考えら

れるが、材料の開発、遠隔燃料製造、MA 含有燃料の開発、再処理機器の開発など、研究設備や人材の Availability がクリティカルパスとなるような研究開発が少なくない。例えば、照射試験やホット施設の安全審査、施設の建設費の制限、技術者資源の制限などである。このような現実的な制約が技術開発のネックになってくることが大いに予想される。また、今後の開発の進展に沿って、新たな技術的な課題が出現する可能性もある。このような状況下で、適宜、最適の判断を行ってゆく開発体制を確立し、“Best Effort”を組織的に続けてゆく事が政策目標を達成の必要条件である。

原子力機構が有する核燃料サイクル技術開発のポテンシャル（開発の基盤や経験、技術者の技術力）を最大限に引き出す取り組み、即ち、技術者の配分、研究開発資金の重点配分、メーカーとの合理的な連携のあり方、技術者の育成、施設の有効利用、ベテランから若手への技術継承、などの開発マネジメントの最適化を強く期待したい。人材育成（人材養成）や知的基盤整備は、これらの取り組みの結果として達成されるであろう。

#### <マネジメントレビュー>

原子力機構内の実施体制は全体として適切であると考ええる。旧サイクル機構の開発体制に加えて、旧原研の基礎研究、開発研究の成果の取り入れ、両者の相乗効果を発揮できるよう努めるとともに、PDCA サイクルによる研究計画の最適化を継続的に実施し全体を硬直化させないよう組織、PDCA、人材の面で適切な実施を期待する。

#### 研究開発の実施体制について

- (1) 研究開発段階から実証実用化段階へ踏み出す短期決戦の計画であることを考慮し、高速増殖炉サイクル技術開発推進本部が研究開発部門と複数のセンター（施設）を統括し、主概念に特化して対応する名実ともに揃った研究開発の実施体制とすることが適切と考える。
- (2) 実用化研究開発における燃料サイクル技術開発では、プロセス開発グループとエ

エンジニアリング開発グループを独立して設置し、互いに開発を進めると同時に、意見交換、相互評価を行い、技術レベルでの判断を重視していくことが重要である。

- (3) 原子力機構全体での燃料サイクル技術開発として、東海再処理工場、プルトニウム燃料施設の有する実績や経験を活用するための組織的な仕組みづくり、工学規模ホット試験施設の最適化に要する小型試験棟での工学試験等を実施、技術的見通しを行い得る対応体制の整備も必要になると考えられる。例えば、部門・拠点のバリエーションを取り払ったアドホックな開発体制で有機的に進める事が限られた人的資源の最も有効な活用法と考える。核燃料サイクル技術開発部門、基礎工学部門と次世代部門の人的協力・交流、施設の効率的利用を再度検討して、新たな施設の建設などはできるだけ避け、現有資源での効率的な実施方策を考えるべきである。
- (4) また、実用化に向けた国内の燃料サイクル技術開発のエンジニアリング体制整備という面では、六ヶ所サイクル部門に国産技術導入を果たした経験のあるメーカー等の体制も視野に入れ、国内でのメーカーの関与のあり方についてオールジャパンでの検討が必要である。具体的には、再処理エンジニアリングを中核的なメーカーに集約するような体制のあり方、研究開発期間とメーカーの開発分担の明確化等について検討が必要と考える。その際には、再処理・MOX加工施設が、複数建設される高速増殖炉と異なり、数10年に1度の建設となり技術継承についても考慮すべきである。

#### 研究開発の資源（予算・要員・成果）について

- (5) 事業費の配分に配慮しつつ、それぞれの分野に開発投資していくことが重要と考える。例えば、MAの回収技術については、処分コストの低減が見込まれる一方、燃料加工、発電所でのコストアップが想定され、その寄与を把握しておくことにより、他の多くの技術開発課題との関係で、効率的な技術開発への投資が可能になると考える。
- (6) 要員配置について、現員の専門・年齢構成や二法人統合の融合効果等も考慮して選択と集中の考え方で他の研究開発部門・拠点からの人員の配置換えも含めて時

系列的に検討すべきである。その際、人員等の確保が難しい場合はすべての国策方針の研究開発を原子力研機構が引き受ける必要もなく、原子力機構で実施する課題の優先順位を明確にして他機関・大学・企業等へ開発研究課題を分散させることも考える必要がある。

- (7) プロジェクト全体が長期にわたることから、人材育成（人材養成）は常に重要な問題である。また研究開発成果は、現在の従事者間での成果の相互活用、次世代への経験の継承など、その効率的活用が極めて重要であることから、知的基盤整備には最初から独立した専門部署を設けることが好ましい。また、WBSの達成度と人的評価がともに無理なく行われて高速増殖炉サイクルの人材育成（人材養成）と知識・技術データベース構築がなされることを期待する。
- (8) 研究開発計画の本格化に際し、外部への委託業務とのバランスを図りつつ、中枢なところは原子力機構が中心となり工学技術開発やプロセス開発を所有の施設を使って開発していく姿勢、体制強化、研究者・技術者のインセンティブの構築等が望まれる。
- (9) 組織目標が与えられ、それを達成するための開発計画を粛々と進めることも大事ではあるが、それだけでは人材育成（人材養成）・知的基盤整備の観点からは不十分である。PDCAを有効に活用し研究開発活動を着実に進めていくために、取り組む研究者・技術者一人一人が、その意義を十分に理解することが重要である。
- (10) アメリカも含めて多くの国々との国際協力体制が確実かつ順調に進んでいると評価できる。国際標準化にむけた取り組みとして、我が国が誇れる技術開発（成果）であり、安易に無償等の形で情報開示しないように（対価を十分求めて）実施して欲しい。その際、我が国の技術体系・考え方を国際的標準化概念の構築へと結びつけ国際基準（規格）作りに向けた努力に重点を置くことも大切である。

#### 研究開発活動の評価・管理について

- (11) 学問的研究とは異なり、目標と時限が明確に決められている開発であるため、PDCAサイクルはなじみやすい管理手法であり、WBSによる研究開発計画全体像の明確化、項目毎の定量的目標設定、定期的達成度評価等から、妥当なPDCAサイクルを構築・運用していると思われる。先行的な評価の中で達成の困難が明

らかになった場合でも、技術開発の困難度等に応じて、開発体制の充実、予め別オプションを所持しておく等の補完手段等を講じておく必要がないかを検討する余地がある。また、研究者が自らの研究開発目標と組織目標との整合性のチェックを行いつつ、より高い目標に達することがより高い評価を受ける仕組みも整備することで、研究レベルの自律的な底上げを図っていく仕組みも検討すべきである。

- (12) 研究開発活動の達成度評価である「自己評価報告書」を公開するとともに、これを利用して「外部」評価を実施することも必要と考える。
- (13) 二法人統合から日が浅く、研究開発の管理・推進面での体制は整備中(計画中)または始まったばかりであり、原子力機構全体のマネジメント体制を明確・確立した時点で個別プロジェクトのレビューを行う方が良いとも考えられる。
- (14) 研究開発の PDCA サイクルの機能が最高のレベル、効率で循環するためには、特に Plan と Do 及びその間で、国の最高の知恵（原子力機構、大学、他の研究機関、メーカー）をいかに取りこめられるかにかかっていると考える。また、次世代部門並びにその担当する高速増殖炉サイクル実用化研究は原子力機構の最大の規模、ミッションであり、今後大きな資源の投入が必要であると同時に我が国の原子力技術力を世界に発信していく時でもある。年 1,2 回の外部識者による評価だけでなく、意見交換、助言の場を積極的に活用し、研究開発の組織に柔軟にかつ強力にサポートできる仕組みを構築するとともに、国内の関係機関との協力・交流をより密接に行なっていくことがきわめて重要である。また、外部識者・関係者による技術検討会には、常ではないが海外の専門家も交えて行なうことが有効であると考ええる。

#### 国策への貢献、開発戦略性等についての意見

- (15) 国の方針や社会のニーズを反映させた行政施策へ貢献できる研究開発が計画的に進められている。
- (16) 政策的な高速増殖炉の開発計画に沿うためには、たとえ理想像まで達成できなくとも、目標時期までにプラントが実現できなくてはならない。そのためには、開発リスクに対する補完措置が備えられる必要がある。今後計画されている技術

判断に際して、万一の場合の代替技術への備え、不具合に遭遇した際あるいは途中工程での的確な判断による改善路線の確保など、開発戦略について検討しておくことが必要である。

- (17) 原子力委員会の方針・見解に対して、どのように取り組むか、取組みに当たって内部マネジメントに改めるべき点があるかどうかを、国、電力等の関係者に示し、理解が得られるよう努めていくことが重要である。再処理分野では、高速増殖炉サイクルと、民間第二再処理向け開発との調和を取ることが望ましく、高速増殖炉の使用済燃料の再処理についても、軽水炉再処理同様にコスト構造を想定し、それを更に建屋や工程ごとに細分化し、コストの実現可能性の観点からそれぞれの技術開発課題を評価することが必要である。このようなアプローチを取ることにより、技術開発課題の重点化や開発の進捗を管理することができるとともに、将来のユーザーが事業化の判断をする際に必須の情報を開発段階から共有できることになる。例えば、MAの製品へのリサイクル技術について、核不拡散抵抗性の高い技術とされており、例えば、コスト削減効果は小さいが、将来への保険の観点から開発を進めることとするといった政府レベルや将来ユーザーの政策的、経営的な判断にも貢献できることになると考えられる。
- (18) 現在のロードマップだけでは、実用化の見通しの判断は難しい。プロセス上、エンジニアリング上のブレークスルーポイントを明らかにし、それらをどの時点でどのように解決していくかということ、なるべく具体的に示す必要がある。またその成果の判断を下す際には、開発に必要な費用および人材の投入が十分であったか、ということも重要な因子になる。

#### <その他>

- (19) 長期間、核燃料リサイクルから遠ざかっていた米国も、資源の有効利用と廃棄物処分の観点から、核燃料リサイクル政策へと方向転換した。ここで重要なのは、再処理や高速炉の研究開発を再開するにあたり、米国は核不拡散性の確保を大前提としていることである。そしてこれはまさにわが国が原子力機構を中心にこれまで進めてきた開発方針と合致している。もんじゅの再開準備も着々と進められ、国の高速増殖炉サイクルの開発予算も具体化してきた今日、これまで先行してき

たわが国の技術的リードをいかに維持していくかということは、原子力機構の計画とその実施能力にかかっていると言っても過言ではない。原子力機構は自らの成果を積み上げていくだけでなく産官学を結集し、我が国全体としての総合的な成果を達成する任務を求められているのではなかろうか。

- (20) エネルギー資源の確保、温室効果ガスの削減などをめぐり国際情勢が変化していく中で、原子力、とりわけ高速増殖炉への期待が高まっている。このような大型プロジェクトは国家主導型になる傾向が強いが、技術サイドとしては、その予算を有効に生かし、技術的成功例を積み重ねていくという使命を果たすことが重要である。その成果を基に国はさらに適切な予算措置を講じることが可能になるう。
- (21) 経済産業省で作成している技術戦略マップの手法を用いて、広く他分野の専門家の意見を得たり、逆に他分野に貢献したり、ということが一層活発にできるのではないかと期待する。

(参考)

プロジェクトレビュー 炉システム

「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

【意見1】～【意見6】

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」

【意見1】～【意見7】

マネジメントレビュー

【意見1】～【意見11】

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見1】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	採否判断のクライテリアについて、現時点では具体性、定量性に欠けることはやむを得ないが、完了時期に適用し、判断するに際して困らないよう、判断基準の具体化、定量化を継続的に進めていく必要がある。	2. 期待される成果	総論
	実用段階での「最適化」をねらって開発を進め、途中段階で「試験炉」、「実用化推進炉」を設置する場合、途中段階の炉については、その設置意図を明確しておく必要がある。途中段階の炉については、その設置意図を最も合理的に達成できるようにすることが最適化であり、その段階での経済性(建設費、運転コスト等)からの「最適化」とは合致しないこともありうる。	同上	同上
② システム簡素化のための冷却系2ループ化	ループ数を削減する場合、ループ数に反比例してループ中の機器の故障等が施設全体に与える影響が大きくなる。施設全体の安全性や信頼性が最適化できているか、検討する必要がある。	1. 研究開発計画	個別課題 ②特記
	ループ数削減に応じて冷却系機器が大型化するが、現状(常陽、もんじゅ)の機器サイズと本提示概念の機器サイズとの差(スケールアップ比)の関係を検討し、途中段階の炉も含め、実用化に向けたスケールアップの最適化について検討する必要がある。	同上	同上
	配管直径を代表長さとするマクロなレイノルズ数が実用炉規模の大口徑配管に適用できるのが疑問である。ミクロな流動がクリティカルになるおそれもあり、代表長さの取り方も含め、十分に検討する必要がある。	同上	同上
	超音波流量計を安全保護系として用いる場合、何を示せば「実機適用性」が示せたことになるのか、十分に検討しておく必要がある。	同上	同上
④ 原子炉容器のコンパクト化	「ホットベッセル化」については、課題が評価手法のみであるが、熱荷重軽減化に関する設備対策の検討に課題はないのか。例えば、従来の多くの炉で苦勞した液面付近の応力問題については、慎重に対応する必要がある。特に、ガス対流については、非対称流動や、非対称流動域の移動など、難しい課題があると思われ、的確な設備対策を検討する必要があるのではないかと。	1. 研究開発計画	個別課題 ④特記
	ガス巻き込み抑制については、抑制できていることの判断基準を十分に検討する必要がある。制御棒からのガスやFPガスなどで主流に乗るガスが存在する。	2. 期待される成果	個別課題 ④特記
⑧ 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発	LBB成立性を確立するための研究開発については、使用する材料の特性に基づく破損メカニズム(亀裂進展メカニズム)の解明が最も大事です。軽水炉のような1次応力主体の荷重環境やSCCが懸念される環境と高速炉のような2次応力主体でSCCの懸念がない環境では、亀裂の進展、貫通挙動はまったく違うことになるはずで、高速炉のロジックをきっちり確立すべく、研究開発計画を策定すべきと考えます。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑧特記

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑧ 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発	配管からのナトリウム漏洩対策を、極めて微少な段階で早期に検出・漏洩判定し、さらに漏洩ナトリウムを漏洩箇所の小空間に限定する技術の開発である。共にあるレベルまでの技術は開発されており、このコンセプトは、「もんじゅ」に適用されている漏洩検出器により、また配管の2重化と間隙区画化については設計対応により、代替できるものであるが、LBB成立性にはこれだけでは不十分である。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑧特記
	配管のLBB成立性を確立するために、極めて微少な漏洩早期の検出・漏洩判定が可能な漏洩検出器の開発が必須で、2010年までに、基本性能が確認されているレーザー方式の漏洩検出器を開発する研究開発計画は適切である。	同上	同上
	2010年の判断クライテリアを、LBB成立性を担保する検出器を提示できる、とすることは妥当である。レーザー方式の漏洩検出器については、基本性能が既に確認されていることから、2010年までの4年間で、LBB成立性を担保するクライテリアを満たす要素開発、及びその検出系・処理系の開発を完了し十分な成果を得られると考える。	2. 期待される成果	個別課題 ⑧特記
	2010年以降では、2重配管によるこの検出器の実証試験、検査・補修等の保全技術の開発、並びにナトリウム施設による試験を経て実用化する計画であり、本技術開発は十分に目標の成果を挙げ、その完成されたコンセプトを期待できる。	同上	同上
	2010年以降の研究開発は本コンセプト全体の実証であり、他の技術についても実証を十分に見通せる条件が十分に整えられている必要がある。	同上	同上
	漏洩検出器の方式について、特に、2010年までの5年間の研究はこれのみにかかっており、以降の研究を左右するものとして、提案のレーザー方式に特化する理由をもっと明確に示していただきたい。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑧特記
	区画化されたエンクロージャ内の間隙空間に漏洩ナトリウムを限定するうえで、漏洩部分を固化ナトリウムでプラグインする、さらにエンクロージャを超えて外部へ漏洩するのを防ぐために、エンクロージャにナトリウム固化を加速するための冷却系(窒素ガス等)を持たせることは有効ではないでしょうか。	同上	同上
	目的も明確で、全体としての研究工程、及び2010年における判断クライテリアも適切である。以上要するにこの課題に関する研究開発計画は適切と判断する。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑨ 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	<p>提示されている小課題の内、(1)高クロム鋼2重伝熱管、(2)2重管-管板継手構造、(3)大型球形管板、(4)大型胴ベローズ、(5)2重管検査技術、の課題は</p> <p>a. 高クロム鋼という新しい材料が要求される性能をもって開発される。  b. これらの要素技術はそれらが一体となって、クライテリヤをクリアする開発が完了したときに、提案の直管2重伝熱管蒸気発生器本体が成立する。  c. 大型SG工場が必要になる。</p> <p>という点で、大変チャレンジングであるが、大きなリスクを持っている。比較できる既存の技術、経験が乏しく、かつ予定の計画研究期間内にその開発が進展して、2010年の時点でどのような要素開発の状況になるのか、定量的に見通すことは難しいといえる。それ故、2010年での正否の判断クライテリヤは、提案のようにあいまいな部分を残した定性的なものにならざるをえないと考える。</p>	1. 研究開発計画	個別課題 ⑨特記
	<p>そのため、</p> <p>a. 高クロム鋼という新しい材料が開発困難となったときの代替蒸気発生器  b. 上記5つの要素開発が困難となったときの代替要素技術と代替蒸気発生器</p> <p>を提示し、5つの小課題について必要度の順位と共に、それが欠けた場合のFBRプラントのデメリット(影響)を併せて示していただくことはできないだろうか。それを踏まえて、現時点で、この課題に対する評価を0か1か判断するのでなく、</p> <p>「2010年の判断クライテリヤを、2010年までの小課題の開発研究を進行する過程で定量化し、2010年の時点で先述した提案の直管2重伝熱管蒸気発生器本体(代替を含める)が成立すれば、その蒸気発生器コンセプトをもって小課題の見直し・整理を行って2010年以降の開発研究工程に入り、開発研究を進める。」</p> <p>という考えもありうる。リスクを慎重に評価しなければならない。</p>	同上	同上
	<p>(6)Na/水反応評価、及び(7)熱流動特性の評価、については成立する蒸気発生器の構造に大きく依存する部分が多いが、現在のJAEAの研究開発の実績と現状からその進展を見通すことはできると思われ、いくつかについては大変困難な内容も解決できると期待できる。</p>	同上	同上
	<p>目標とする成果は、本課題の前提となるa.(高クロム鋼の開発)、b.(SG本体の成立)、c.(大型SG工場)の3つの条件のため、達成できるかどうか現状での判断は困難であると思う。従って、各小課題の内容に踏み込んで何が成果として期待できるか、ここでは示すことは控えたい。全課題の成果が2010年における判断クライテリヤをクリアすることが極めて難しい場合には、一部代替の小課題技術の採用によって、目標とする蒸気発生器にどれだけ近づけたものがその時点で成立するか、必要なデータとともに提示していただき、十分な検討評価を加えて2010年以降の開発研究の有無を勇気を持って判断することとなろう。</p>	2. 期待される成果	個別課題 ⑨特記

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑨(つづき)	水側の流速が高いと思われる、いわゆるエルボー、継手、その他流動の変化する配管のエロージョンは、既知あるいは予測可能のものもあるが、提案されているような高性能・コンパクト化を図るプラントでは、新しい材料、構造に対して、なお、それらの検知、保全を念頭においた研究課題があると考ええる。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑨特記
	必要性、目標は理解できる。ただし、材料開発の成否に依存していること、小課題がこれから挑戦するもので、全要素が開発されて提案の蒸気発生器が成立する、大型のSG製作工場が新たに必要となるなど、本開発研究には技術的に高いハードルを越す必要がある、また大きな開発投資を要するなど、その実施にあたっては大きなリスクを十分に検討、評価する必要がある。また、実施する場合には、チャレンジする領域の成果を有効に他分野へも活用する道を事前に十分に検討しておくことも肝要である。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見3】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑤ システム簡素化のための燃料取扱系の開発	燃料交換機の開発について、軽水炉と異なりナトリウムという不透明で高温に維持することが必要な冷却材に適用することで特別に配慮することがあれば、それへの対応も含めて示して下さい。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑤特記
	燃料交換時間を、「もんじゅ」では約90分/1体に対して、約30分/1体に短縮できる根拠を示して下さい。高速で燃料集合体を移動すると、燃料集合体の揺れが落ち着くまでの待ち時間が増えると思いますが、これを考慮していますか。	同上	同上
	燃料交換機については、本体自体は60年間なり、原子炉寿命中は取替えずに使い続けることになると思います。その間に、ユニバーサルジョイント部の固着とか、グリッパ部の変形・摩耗など、いろいろな故障が考えられると思います。想定している故障と、その対策を示して下さい。	同上	同上
	燃料洗浄方式として、アルゴンガスによる乾式洗浄及び蒸気によるナトリウム不活性化を選択していますが、この方式を選択した理由(他の方式と比較して、燃料を水浸漬できる見通しが得られている)を説明のこと。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見3】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑩ 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発	原子炉容器内の検査では、容器構造とセンサを搭載する検査機器の大きさ、遊泳できる範囲の関係で、検査することが困難な部分が生じるというように、検査ごとに検査が困難な部分が生じるかと思えます。これについて、どのように対応するのかを示して下さい。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑩特記
	FBR実用炉が導入される頃の軽水炉と同程度の稼働率を目指すとなると、原子炉容器廻り検査、SG伝熱管検査などの検査に要する時間をどの程度にするべきか、という目標値を算出できると思えます。標準的な定期検査工程を想定して、たとえばSG伝熱管の検査ならば、伝熱管の中をXm/sで動く検査機器が必要になって、何日間で全数検査を完了できる、原子炉容器内の検査ならば……、というような数値を示して下さい。	2. 期待される成果	個別課題 ⑩特記
	ナトリウム中可視化装置、体積検査装置の解像度、処理時間の実用化目標を、具体的な数字で示すことはできないでしょうか。	同上	同上
	SG伝熱管の検査・補修装置の開発について、クライテリアについても、⑨「直管2重伝熱管蒸気発生器の開発」の記載と合わせる方がよいと思えます。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見4】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	全体に良くできていると思う。かえって、少々やりすぎの部分もあるように思える。必要最小限の機能を満たした設計概念と、それにマージンを見込んだ場合の設計とが慎重に対比されて、その間で最適の設計概念が選択されるべきと思う。	1. 研究開発計画	総論
③ 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発	この合体機器は建屋容量の削減と、配管の短縮による漏洩の確率削減の上で非常に有効な方法と評価できる。	1. 研究開発計画	個別課題 ③特記
	長いポンプ軸も従来実績に比して長さで1.2倍、直径で0.75倍に収まっており、特に設計開発上の基本的な問題はないと考える	同上	同上
	ポンプとIHX伝熱管の隣接による、機械振動については慎重にスケールモデルと解析によるR&Dが進められており、手法としては信頼感を有するものであるので、このまま着実に開発が進められることを期待する。	同上	同上
	伝熱管が納められる円環状の部分は半径方向の幅が薄く、直径が大きくなるので、断面内で見た周方向への流量配分が均等かどうか、またその補正方法についての検討が必要と考える。半径方向の構造が少々複雑でNaの滞留部などが生じたり、色々予想外のトラブルが起りやすい構造と思われるので、慎重にR&Dをされることを期待する。	同上	同上
	例えば、1次Na入り口部をもう少し太らせるなど、流配の確実な方法があるかを検討されたら如何か。併せて、下側の軸受けをポンプベーンの下側のポンプ軸延長線上に置く構造はないのかなど、自由な発想で内部構造を最適化していくことを期待する。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見4】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑥ 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化	パネル構造は基本的に面で荷重を支える構造とできるため、強度が維持し易い。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑥特記
	工場製作できるプレハブ部が多く、工程短縮にも繋がるので、非常に良い選択と評価できる。	同上	同上
	区分されたパネルを現場で組み立てる際に、表面鋼板を溶接後に、その部分は内部にコンクリートを流し込む必要があり、貫通部の処理、外面側の表面鋼板の接続など、最後まできちっとコンクリートを流し込めるのかが不明である。	同上	同上
	工期短縮と工程簡略化のためには外面部は機械式接続も可能となるような工夫が必要と考えられる。	同上	同上
	工場製作部分と現地組み立て工法について、更なる検討と、各部の組み立て工法の全体的な最適化が必要である。	同上	同上
	コンクリートと表面鋼板の接着強度について、評価法が確立されるべき。	同上	同上
⑧ 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発	配管の2重化は重要と思うが、ここで設計されている方法は、少々やりすぎではないかと思う。外側のカバーは機能上必ずしも円筒形状でなくても良く、例えばエルボ部分などは、まとめてボックス構造にするなど、全体構造の簡略化が可能ではないか。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑧特記

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
① 配管短縮のための高クロム鋼の開発	これまで開発してきた9Cr鋼の開発経験に基づいて12Cr鋼の研究開発計画が立てられており、計画はおおむね妥当である。 また、高クロム鋼採用による高速炉建設コスト低減効果が大きいことから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。	1. 研究開発計画	個別課題 ①特記
	次期炉で12Cr鋼が採用できることが期待されるが、その建設時期が早まる場合は9Cr鋼を採用することが予想される。バックアップがあるという点では、段階的、着実な研究開発計画である。 2010年の12Cr鋼採否判断のクライテリアとしては、材料強度基準、構造設計基準のひな形までできていることが望ましい。9Cr鋼については本計画で十分実現可能であると思われる。	同上	同上
	今後の基準化に向けて、学識経験者、産業界の意見を十分取り入れる必要がある。 また、鋼材の供給、プラント機器の製造建設のためには、研究開発の段階から産業界の十分な参画が必要である。	1. 研究開発計画	個別課題 ①特記
	研究開発計画はおおむね妥当である。産業界との一体化に留意する必要がある。また、長時間データが必要である等、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。	1. 研究開発計画	総論
⑦ 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	高燃焼度化はFBR開発の重要な開発目標である。また、低除染燃料の利用もFBRの重要な利点である。高い経済効果、環境効果が期待できる。 BOR-60、常陽、もんじゅでの照射計画があり、合理的な計画である。特に常陽、もんじゅでの経験蓄積に期待したい。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑦特記
	再臨界回避集合体については、これまでも構造の改良が図られてきたが、今後一層の改良合理化を期待したい。	同上	同上
	これまでの開発経験から見て、目標実現の可能性は高い。また、常陽、もんじゅ活用の最も重要な開発課題である。常陽、もんじゅで高燃焼度燃料、低除染燃料の実績を十分積むことが期待される。	2. 期待される成果	個別課題 ⑦特記
	本研究開発を通じて、FBR炉心燃料に関する人材養成、知的基盤整備が期待される。また、FBRへの理解も深まると思われる。	同上	同上
	高燃焼度燃料、低除染燃料の照射試験については可能な限り、海外の研究開発機関との連携を取ることが望ましい。	同上	同上
	再臨界回避集合体は国内だけで開発可能であるが、これを利用した炉心の安全性向上確認のためには海外の適切な炉の活用を含め海外研究開発機関との連携が必要である。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑦特記
	研究開発計画はおおむね妥当である。燃料照射等長期間を要する課題であるので、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。	1. 研究開発計画	総論

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑬ 大型炉の炉心耐震技術	燃料集合体の群振動については、もんじゅや実証炉でも試験を実施しているが、炉心の大型化、燃料集合体の形状変更(再臨界回避炉心)、地震入力条件(耐震、水平免震、3次元免震)等の変更があることから、2010年までに成立性の確認とコード整備をしておく計画はおおむね妥当である。原子炉容器及び炉心支持構造の合理化が図れることから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑬特記
	炉容器等の大型機器構造の耐震性評価については、設計対応の確認という性格が強いので2010年以降の計画としていることは妥当である。	同上	同上
	3次元免震については、これまでの研究開発により現時点で最良と考えられる免震要素が特定されているが、さらに優れた3次元免震要素を開発することは重要である。2010年までに要素開発及び3次元免震設計方針案を検討しておく計画はおおむね妥当である。3次元免震技術は、2次元免震技術と比較しても、プラント機器の標準化により大幅コストダウンが期待できることから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。	同上	同上
	本研究開発計画の実施により、2010年までに水平免震条件での燃料集合体の3次元群振動挙動が評価でき、耐震安全性の見通しが得られる。	2. 期待される成果	個別課題 ⑬特記
	炉容器の耐震性評価については、2015年までには3次元的地震入力条件に対して炉容器座屈評価手法の整備ができ、設計の妥当性を確認できるようになることが期待される。その他の機器構造に対しては、2015年以降の原子炉冷却系耐震総合試験で妥当性が確認できることが期待される。	同上	同上
	2010年までに現在想定している3次元免震要素が開発され、実機での適用性が確認できる。実機で採用するには大型振動台を用いた実証試験が必要であるが、これを2015年頃までに実施し、3次元免震設計方針案が策定されることが期待される。	同上	同上
	再臨界回避燃料集合体の荷重、強度の非等方性、非均一性をきちんと評価する必要がある。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑬特記
	3次元免震要素については、水平免震要素と比較して、これを採用するだけの経済性(要素コスト、メンテナンスコスト)が得られるものとする必要がある。また、3次元免震設計方針案の策定に当たっては、学識経験者、産業界の意見を十分取り入れる必要がある。	同上	同上
	研究開発計画はおおむね妥当である。耐震性評価は厳しく評価されるようになってきている。試験においてはより厳しい入力条件までも考慮しておくことが望ましい。	同上	同上

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体(安全)	個々の研究計画として見た場合は妥当である。	1. 研究開発計画	総論
	安全研究開発は、個々の開発課題を見て評価するだけではバランスを欠く課題評価になる(可能性がある)ことに留意して評価すること。	同上	同上
	研究開発が必要なテーマとは、新たな目標を既存の技術で達成できない場合や、新しい技術が新たな目標を可能にする場合に立てられるテーマであろう。したがって既存の実証された技術(開発が不要とみなされる)でどこまでできるのか確認し、それに比べてどれくらい改善されるのかの見込みがあって開発に踏み込む必然性が示されていて当然である。	同上	同上
	将来目標とされるプラントは、国内建設のみでなく、国際的な市場に打って出ること、海外(米国)の規制をクリアできることを念頭にされているか。米国 NRCの許認可、型式認証取得を前提としたプロジェクト推進体制になっているか。念頭になくとも、国際市場で十分に商品価値(競争力)を有することを確認することが必要。	同上	同上
	コスト、リスク、理解のし易さ、安全論理などの観点からバランスのとれた安全設計かを確認することが必要で、2010年の見直し、チェックの要諦となるであろう。そのためには決定論的アプローチと確率論的アプローチの組み合わせによる、バランスの取れた安全設計のあり方について議論して示すべきであろう。	同上	同上
	安全設計の中で、他のテーマと比較して敢えてSASS、完全NC-DHRを安全性に関わるキー研究開発テーマとしてとりあげた理由を再確認すること。能動安全と受動安全の適切な組み合わせとしてSASS、完全NC-DHRの採用が妥当であるのか、すなわち、プラント全体の安全性向上に最も寄与することを確認すること。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑩、⑪特記
	現在、炉心再臨界回避という積極的な設計対応を行うことが重要である。このことと、将来的には、再臨界回避のために行う特殊な集合体設計を採用しない方向で進むべきこととの間にある矛盾を説明するとともに、その矛盾をどのように解決していくのか、説明すること。	同上	同上
	もんじゅから実用炉へ安全論理の変化があればそれを説明してください。もんじゅにおける5項事象の扱いは、実用炉の設計の中でどのように考えていくのか。具体的に、分かり易いロジックで示すこと。	同上	同上
実用炉開発における、炉心損傷頻度・リスクの低減の追求、EPZ不要の追求のあり方の整理を行うこと。	同上	同上	

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
① 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却	NC-DHRが採用されなかった場合の影響として、電源容量の増加、ポンプ、ブローアの追加が必要、との説明がある。しかしながら、この記述は自然循環が採用されなかったら強制循環になるといっているだけで意味のない説明である。NC-DHRが採用されなかったときの構造材料への熱過渡の影響の増減、信頼性の増減、リスクの増減、コストの増減、などを定量的に評価した結果について説明すべきであることに留意すべきところである。	1. 研究開発計画	個別課題 ①特記
	完全自然循環除熱を採用するに至った最大のインセンティブは何か？単に信頼性が高いから、ということではなく、様々な要素を考慮して最適（に近い）解として採用に至ったものと考えられるが、その論理の詳細を示してください。また、通常停止時（起動時、定常運転時から停止時含む）の自然循環除熱に対する技術的裏づけは何か、他の工学的施設・設備や他の産業界からの事例を含めて確認すること。	同上	同上
	自然循環力は伝熱中心差と温度差がないと発生しない。つまり通常時においても燃料の最高温度、構造材への熱過渡は強制循環の場合に比べ厳しい側になる。起動時、停止時の流動不安定性、温度成層化界面の不安定性などの可能性の除去は容易でない。とくに事故時におけるシステム内温度分布の設定に対し循環力は敏感に左右される。このような通常運転モードとして自然循環除熱を採用する場合の短所、マイナスは何か分析して示すこと。これらのマイナスをなくすために新たに考慮しなければならない技術、新たなシステムなどは発生しないか。	同上	同上
	NC-DHR熱流動上の重要な課題はカバーしていると考えられる。その課題解決方針も相似則に基づく水実験、Na実験、数値解析などによりとし、試験計画も概ね妥当と判断できる。最終的な実機評価は3次元評価手法に依存すると考えられるが、解析コードがその評価手段として十分信頼性が高く、客観性を持った結果を示し、品質保証を経ることが肝要である。	同上	同上
	実用炉開発研究の中で、計算による設計（Design by Analysis）の実現に一步でも近づいて欲しい。ここに技術の革新がある。	同上	同上
	3次元評価手法は既に開発されて利用に付されているものがベースにあるものとする。新たに開発するものについては、常に合理的な開発計画に従い、徹底的な検証をJAEAの研究者が自ら行う必要がある。既に十分検証されたと考えられる解析コードであっても新しい体系に適用する場合はあらためてモデルの確認や検証を実施する必要がある場合に留意すること。この作業区分は人材育成・知的基盤整備に直結する。	同上	同上
	NC-DHRが実現するためにチェックすべき技術的項目、それらの細目をテーブル化しクライテリアを作成する。	2. 期待される成果	個別課題 ①特記

プロジェクトレビュー 炉システム「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑪(つづき)	これまでのSASSの開発経緯からして実用化段階に入っているものと考えられる。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑪特記
	SASSの炉内照射による材料特性データ取得と機器要素試験は実用化に向けてのステップとして重要であり、試験の質・量に関して概ね妥当なもの判断する。ただし炉内における、SASSの誤落下なしなど、異常作動に対する信頼性は得られるが、正常にSASSが作動する試験は炉内環境で実施するのは困難であろう。炉心異常に対しSASS作動の信頼性をどのように実証するのか、ロジックを示すこと。	同上	同上
	SASSがカバーする事故事象と本来受動的炉停止機能が要求される事故事象を対比して示すこと。その結果SASSでカバーできない事象があった場合のSASSに対応する対処(安全設備)は何か？	同上	同上
	クライテリア策定においては、概念が成立するために要求される技術的要件を同定し、その細目について達成レベルを設定してテーブル化する。	2. 期待される成果	個別課題 ⑪特記
⑫ 炉心損傷時の再臨界回避技術	FAIDUSによる炉心物質の挙動とくに炉心からのリロケーションについてIGRや炉外試験による知見の蓄積がなされてきた。本知見に基づく炉心燃料集合体としてFAIDUSの採用が現実味を帯びてきつつある。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑫特記
	炉内試験、炉外試験は現象の解明に貴重なデータを提供していると考えられる。必ずしも実用炉のPrototypicalityを全うしているわけではない以上、実用炉の溶融燃料リロケーションは計算による。その場合、多成分多相流のモデリングに計算の信憑性が依存する。こうした解析コードの整備や検証は人材養成や知的基盤形成の重要な要素となる。	同上	同上
	本技術は炉心損傷事故(EAC)を想定し、小規模炉心溶融の段階で溶融物質の挙動の制御を狙うものである。制御とはいえ、自然現象を駆動力とする受動的なメカニズムによるもので、自然現象を制御するには制約が多く、必ずしも想定した物質挙動が保証されるとは考えがたい。したがって、本技術が実際に炉心集合体に適用されるためには、狙った溶融物質移動を常に実現できることが証明される必要がある。	同上	同上
	本来なら、FAIDUS、内部ダクト付集合体のように燃料の均質性、対称性を喪失するような体系を導入することは、熱流動上、中性子経済上、また構造上好ましいとは考えにくい。また、仮に炉心損傷が生じた条件下で本機構が期待通り機能する確率が十分高いとは考えられない場合もある。こうしたネガティブな側面があっても、再臨界回避技術の採用によってもたらされるプラスの側面が大きいことを示すこと。	同上	同上
	炉心核特性、炉心損傷防止と本回避技術との相関を明らかにしつつ、本技術の開発の必然性を世に明らかにすることが重要である。	同上	同上

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見1】

対象	評価意見	評価結果との対応	
① 解体・せん断技術の開発 ② 高効率溶解技術の開発 ③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	ピン束せん断・キルン型溶解・遠心清澄等ヘッドエンド工程は早期に東海再処理工場の知見等反映したエンジニアリングスキムを固めるべきである。	1. 研究開発計画	個別課題 ①～③特記
② 高効率溶解技術の開発 ③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	溶解～晶析関連技術の物理・化学的組成変化に対する安全性等データベースの対象を明示すべき。	1. 研究開発計画	個別課題 ②～③特記
全体	安全審査をゴールに見据えた、設計の具体化と施設・設備のステップアップの位置づけ等を明瞭にされたい。また遠隔保守性の課題も段階的に明らかにすべきである。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の強化
全体	FSで最適とした候補概念全体としての、工学的(例えば、処理能力2kg/h)規模の達成が期待される。また、コールドやホットの段階的実証すべき課題があれば明示可能な方向付けを望みたい。	1. 研究開発計画	各論(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略
全体	抽出クロマトグラフィーやODS被覆管に供する、樹脂や素材の供給体制の確保策・コスト等の課題を明示する必要があるのではないか！プラント成立性を考えると遠隔保守・安全・核不拡散・廃棄物低減性等別途取り組む必要がある。	1. 研究開発計画	各論(6)施設の利用など
全体	全体的候補概念に基づく、2010年迄の研究開発の実施の進め方は適切であると判断する。ただし、工学的に早期に見通せる分野と技術開発の展開をさらに段階的に進めるべき分野を区分して進めると、より明確な指標が得られるものと判断する。	1. 研究開発計画	総論(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見1】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	達成段階の評価の判断基準が、せん断・溶解・清澄のHE部分と晶析・抽出・MA分離等の分離精製部分或いはその境界とでは、差異があり、開発の展開の仕方が異なるのではないかと考えます。	1. 研究開発計画	各論(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略
マネジメント	工学規模ホット試験(旧RETF)の最適化で、別途小型試験棟における工学試験等を実施し、技術的な見通しを得る対応体制を整えるべきではないかと考えます。	研究開発の実施体制について	各論(3)(機構全体体制)
全体	安全設計を含むプラント設計は、概念設計に工学的規模を見通せる部門から進めるべきと考えます。この時点である程度、安全審査におくべき項目を描くべきと考えます。その為に、実証的経験を有しているTRP経験を早めに段階的に生かすべきと考えます。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の強化
マネジメント	本実用化研究開発を機能的に進めるには、部門・拠点のバリエーションを取り払ったアドホックな開発体制で有機的に進める事が最も限られた人的資源の有効な活用法と考えます。さらに、機構のサイクル部門で六ヶ所サイクル施設に国産技術導入を果たし経験のあるメーカー等の体制も視野にエンジニアリング検討会(仮)も発足すべきと考えます。	研究開発の実施体制について	各論(4)(国内体制)

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	現開発計画は概ね妥当であるが、開発遅れのリスクを下げ開発費用を合理化するために、様々な視点について検討する事が望まれる。	1. 研究開発計画	総論
全体	各要素技術別に、コールド試験・ウラン試験・小規模ホット試験・工学規模ホット試験のそれぞれの重み付けをより明確にするとともに、工学規模ホット試験に入る前に、相当レベルの技術判断を行えるような開発取り組み(装置規模、試験の時間、枢要部分の重点的確認等)を行えるような努力を期待する。	1. 研究開発計画	各論(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略
③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発 ⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発	中でも、晶析技術とクロマト分離技術については、工学規模ホット試験に入る前に「採否技術判断」を行えるような取り組みの努力が期待される。	1. 研究開発計画	個別課題③、⑤特記
全体	試験段階における装置の規模の最適化について更に慎重な検討を期待する。この際、確認すべき様々な性能(化学工学的な特性や性能、装置の耐久性、工学的保守性、等)を総合的に判断し、確認段階での規模から実用規模に発展させる上での「規模拡大のロジック」を、保守的な視点を含めて十分に確立しておく事が望まれる。すなわち、小規模から大規模への拡大において思わぬリスクが隠れている危険性や、逆に、小規模試験によって相当の技術確認が可能な技術に過大な開発投資をしないなど、高度な技術判断を行うことが期待される。	2. 期待される成果	各論(1)
全体	工学規模ホット試験(旧RETF)については、工程全体の連続試験よりも、各工程(装置)毎の信頼性確認試験(機能確認試験)に重きを置くことが望まれる。そのためには、装置の交換や改良が容易であり、必要に応じて小規模な試験が行えるような自由度の高い設計が望まれるのではない。	1. 研究開発計画	各論(6)施設の利用など
全体	FBR再処理開発では、過去での各要素技術の機能確認(装置の試験量の経験)実績が不十分である事を直視し、今後短期間でクリティカルな機能の確認実績を積み上げることが重要である。同時に、各要素技術を連結して総合的に確実なプラントとして構築するための「プラント設計開発」を重視する必要がある。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の強化
⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発	遠隔燃料製造については、脱硝・転換・造粒プロセスの確認に優先度をあてて開発することが期待される。	1. 研究開発計画	個別課題⑦特記
全体	燃料の照射性能試験に遅れが生じないように進めることが期待される。	1. 研究開発計画	各論(3)燃料開発への取り組み

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
⑩ 燃料基礎物性研究	TRU燃料については、基礎的なデータの収集に努力が期待される。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑩特記
⑪ セル内遠隔設備開発	モジュール式燃料製造技術については、プルトニウム燃料製造の長年の実績と経験に基づいた設計対応を強化することが期待される。	1. 研究開発計画  2. 期待される成果	個別課題 ⑪特記  個別課題 ⑪特記
全体	高レベル廃液固化工程(LFCM)や高放射性廃液蒸発缶などは重要革新開発課題として挙げられていないが、軽水炉再処理(六ヶ所)では大きな技術的課題として重視されているものも多い。MOX製造工場についてもJMOXの設計が完璧に確立されているわけではない。FBR再処理および燃料製造技術の確証は、要素技術の革新的部分の成立性だけではなく、より基本的な部分(軽水炉再処理やプルサーマル燃料製造レベルでも共通の)に大きく依存していることを忘れずに、この基盤的部分への取り組みをより強化して行く事が必要ではないか。  基盤的なエンジニアリングについては、東海再処理工場、プルトニウム燃料施設、六ヶ所再処理工場技術などの先行プラントに多くの実績や経験があるので、その技術や技術者を多用することが必要ではないか。	1. 研究開発計画  1. 研究開発計画	各論(7)関連課題についての 取組み  各論(2)プラントエンジニアリング開発の 強化
マネジメント	このためには、組織的な仕組みについても検討が必要ではないか。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
全体	プラントの信頼性(機能確証)の確証(即ち稼働率の確保)を得る事が最大の目的であるが、このために必要な、「要素技術の機能と信頼性」「保守を含むプラント設計」が車の両輪として必要である。両者に十分な技術力を傾注した上で、最も信頼性の高いプラント像を絞り込む取り組みが重要である。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の 強化
全体	施設の安全審査に耐えうる基本データの取得が重要であり、安全設計や安全性研究をより強化する必要があるのではないか。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の 強化
全体	革新的技術の採用決定の判断については、上記「研究開発計画」に記載した観点に立って、“判断のクリティカルポイント”をより具体化する必要があるのではないか。例えば、技術採否のクライテリアを、DFや回収率などの性能目標だけとするのではなく、「装置の保守性や稼働率を保証できる工学設計の実現性」とペアで考えるような姿勢も重要ではないか。即ち、技術判断基準を、コールド試験・ウラン試験・小規模ホット試験・工学規模ホット試験のそれぞれの重み付けの認識に立った上で、化学工学的な特性や性能、装置の耐久性、工学的保守性、等のそれぞれの面から設定することも重要ではないか。	2. 期待される成果	総論(4)

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見2】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	政策的なFBRの開発計画に沿うためには、たとえ理想像まで達成できなくとも、目標時期までにプラントが実現できなくてはならない。そのためには、開発リスクに対する補完措置が備えられる必要がある。今後計画されている技術判断に際して、万一の場合の代替技術への備え、不具合に遭遇した際の改善路線の戦略、などについても検討しておくことが必要ではないか。	2. 期待される成果	総論(6)
マネジメント	本研究開発の成果は、JAEAに技術集約されると共に、プラントメーカーに深く根付く必要がある。そのためには、国内でのメーカーの関与の仕方についてオールジャパンでの検討が必要である。具体的には、FBR再処理エンジニアリングを中核的なメーカーに集約するような体制のあり方について検討が必要ではないか。	研究開発の実施体制について	各論(4) (国内体制)
全体	現計画を基本にして、個別にコメントを記した各視点からの検討を行いながら、開発を遅滞なく進めることが妥当である。	1. 研究開発計画	総論

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見3】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	転換も含め燃料製造においては、仕様(特に公差)の収率に及ぼす影響が大である。従って、目標とする公差を暫定的に定めて研究開発を進め、その進捗を踏まえて原子炉側・燃料側が共に仕様を見直して行くという、フレキシブルな視点が必要と思われる。(「研究開発の手段やアプローチの妥当性」の視点)	1. 研究開発計画	各論(3)燃料開発への取組み
⑪ セル内遠隔設備開発	低除染であることから、設備の「遠隔保守・補修」を課題としているが、これに加えて、日常的に実施する、設備の「点検・調整」も課題の一つとして明確に掲げて開発を進める必要があると思われる。(「計画の妥当性」の視点)	1. 研究開発計画	個別課題 ⑪特記
⑧ ダイ潤滑成型技術の開発 ⑨ 焼結・O/M調整技術の開発	ダイ潤滑成型技術の開発に関し「成型体の品質などからダイ潤滑成型プロセスの工学規模成立性見通しに関する技術根拠を提示できること」をクライテリアとしている。成型体の品質は勿論、焼結体の品質もクライテリアとすべきと思われる。(「研究開発の手段やアプローチの妥当性」の視点)	1. 研究開発計画	個別課題 ⑧特記
⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発 ⑧ ダイ潤滑成型技術の開発 ⑨ 焼結・O/M調整技術の開発	造粒技術の開発において「Carr粉末流動性指数60以上、ほか」をクライテリアとしている。焼結性を前提に流動性を論ずる必要があるMOX粉末について、係る数値をクライテリアとして設けることは画期的なことである。係る数値がMOX粉末の流動性・焼結性を表すものとして実用化できれば、産業界への貢献が極めて大と考えられる。今後の量産プロジェクトにおいて、焼結密度と関連付けて造粒体についての係る数値を取得することも視野に入れ、開発を進めることを期待する。(「目標実現可能性」、「実用化の見通し」の視点)	1. 研究開発計画  2. 期待される成果	個別課題 ⑦特記  個別課題 ⑦、⑧特記
⑨ 焼結・O/M調整技術の開発	セル内雰囲気は「再酸化が懸念される工程を局所的に不活性雰囲気」とし、それ以外は空気としている。空気は酸素及び湿分の供給源となり得るものであり、空気存在がMOX粉末の焼結性に微妙な影響を及ぼすことにも留意すべきと思われる。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑨特記
マネジメント	転換・燃料製造共、これまでに得られた量産化・自動化に関する開発成果を十分活用できる体制を構築して開発に当たることを期待する。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
全体	留意点を踏まえた計画として開発を進めれば、所期の成果が期待できるものと判断される。	1. 研究開発計画	総論

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見4】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	2010年の革新的技術の採否判断のため、クリティカルな課題について確認試験を実施することは必要と考えられる。一方、現時点の設計概念に基づく装置仕様を前提とし今後の試験を継続するのではなく、エンジニアリングとして実用化することを念頭に、例えば装置にトラブルがあった場合に、「なぜ、上手く行かなかったのか」を同定できる様、内部で起こっていることを把握し、プロセス化学と機器設計を繋ぐ様な試験が今後必要と考える。	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の強化
全体	これまでの高速炉再処理試験研究や軽水炉再処理の経験を踏まえ、核燃料サイクル全体を俯瞰した検討が今後必要と考えられる。	1. 研究開発計画	各論(4)総合的な取り組み
全体	工程個別の課題、炉とサイクル個別の課題とするのではなく、上流に遡り条件の最適化を図ることが重要である。研究開発においては、燃料仕様を含め前後の工程や製品仕様との取合いを確認しつつ実施すべき。その様な意味で上記をクライテリアに対する留意点とすべき。	1. 研究開発計画	各論(4)総合的な取り組み
④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発	抽出技術は比較的開発が進んでおり、機械的な課題が主要であると考えている。一方、工業機器としての運転性を考えて設計する必要がある。試験研究を進めつつ、その成果を反映していく設計が今後必要になる。抽出技術を世界にアピールしていくうえで、運転性まで説明できることが必要となる。「何をもちえて成立性とするか」を示すことが大切である。現時点では開発計画に不確かさがあるため厳密なものである必要はないが、比較検討のFSでは求められずとも、実用化を目指したFaCTではしっかりした研究開発、明確な成果が必ず求められることに留意すべき。	1. 研究開発計画	個別課題 ④特記
全体	現時点の研究開発計画としては概ね適切と考えるものの、これを基本にして、様々な各視点からの検討を行いながら、開発を遅滞なく進めることが適切である。	1. 研究開発計画	総論

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	革新技术の採否を判断する2010年までは、工程の基礎原理確認や運転条件・課題の抽出を行なうプロセス研究を主体に行い、その成果を見極めて2010年以降は機器開発に移っていくという道筋は適切と考える。	1. 研究開発計画	総論
全体	2010年までは4ヵ年ほどしかなく、さらに提案されている12の革新技术には、まだ基礎試験(CPFレベルでの適用判断のための基礎試験)の段階のものや工学的な試験(コールド試験でよいものからホット試験が必要なもの)まで実施して判断しなければならないものがある。このような状況を考慮すると試験についてすべて実施するのではなく、適切な判断・評価のもと効率的に進める必要がある。	1. 研究開発計画	各論(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略
① 解体・せん断技術の開発	使用済み酸化燃料を機械的性質の観点から種々の条件を模擬した複数の燃料ピンを層状化して束ねた模擬小集合体を用いたせん断試験により、所定の粒度の粉体が得られるかの確認	1. 研究開発計画	個別課題 ①特記
② 高効率溶解技術の開発	CPFレベルの試験で照射済み燃料(高燃焼度までの燃料とMOX燃料)を使って、所定の目標(500gHM/l、溶解性(非溶解率)等、定量的に定めておく必要有)が達成できるかの試験での確認	1. 研究開発計画	個別課題 ②特記
③ 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発	別途FSの成果を使って工学規模装置の設計は進めてもよいが、採用可否を判断するにはCPFを使ってホット試験を繰り返し、所定のDFがコンスタントに達成できるかの確認、さらには清澄した後でもモリブデン酸塩等の沈殿ができることは十分考えられる。それらがあっても実際に適用可能かも重要な判断項目である。	1. 研究開発計画	個別課題 ③特記
	DFが低い場合には、晶析物を精製することも考えるとしているが、ここでさらにまた溶媒抽出等の分離技術を利用するのではこの技術採用のメリットがほとんどなくなるのではないか。これを行なう場合には現状技術の全量溶解の場合との技術比較、経済性比較を行なうことが必要である。	2. 期待される成果	個別課題 ③特記
	高速炉燃料再処理としてウランの除染係数は100でよいと考えるが、軽水炉燃料処理の場合にはそれ以上(1000以上)のDFが必要とされる。その達成が困難である場合には、如何対応するのか。またその対応技術の確認はどのようにして行なうのか。	同上	同上
④ U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発	ホット試験によりU-Pu-Npの一括抽出については見通しが得られつつありとあるが、2010年における判断のクライテリアにある目標値が恒常的に達成できるか試験を積み重ねることが必要である。	1. 研究開発計画	個別課題 ④特記
	遠心抽出機はMAリサイクルに向けてJAEAだけでなく、仏、中、EU等でも開発を行っている。ここには夫々のノウハウが入っていると思うが、日仏間での共同開発の要素技術として立ち上げていく努力をしてもよいのではないか。	1. 研究開発計画	個別課題 ④特記

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
	遠心抽出機が採用できない場合には、ミキサーセトラーやパルスカラムを利用するとあるが、高速炉再処理ではMOX燃料や高燃焼度燃料が対象となり、極めて放射線が高い燃料や溶解のために酸度を上げなければならないことが考えられる。このような代替機器を使う場合、両者による溶媒劣化の影響をよく調べ評価することが必要である。	1. 研究開発計画	個別課題 ④特記
	晶析技術が適用できない場合には、この工程にも影響を与えることが考えられる。特に、軽水炉燃料処理の場合にはすべてのウランにPu,Npの混合は受け入れられない、溶媒抽出によってウランを純粋に逆抽出し、その後U-Pu-Npを抽出する技術の開発が必要と考える。	2. 期待される成果	個別課題 ④特記
⑤ 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発	MAの抽出剤選定の基礎試験の継続に加え、クロマトグラフィが実用化装置として適用できるかの検討が2010年までの判断に必要である。特に、運転保守性からの評価が最も重要である。現行の高レベル廃棄からも想像できる様に、固形物除去後であっても、条件によりモリブデン酸塩等の固形分(スラッジ)が生成しやすい。それらによる目詰まりなど十分考えられる。また装置は運転中には水垢のような皮膜が固体表面に発生すると考えられる。このような場合への保守補修方策が適切に考えられない限り、採用は困難な技術ではないか。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑤特記
⑥ 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発	廃棄物処理の合理化、量の低減化は重要な技術開発である。ソルトフリー化の技術開発を積極的に行うとともに、廃棄物固化の観点からも改良技術や革新技術の開発が望まれる。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑥特記
⑦ 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発	ホット試験の実施にあたっては、これまでの実験室規模のMOX試験や設計検討に基づく知見を踏まえ、当該プロセス及び機器の成立性の見通しを十分に見極めながら、慎重に進める必要がある。プロセスについては高除染のMOXレベルまで、機器についてはUレベルまでの試験により所定の造粒物が得られるかの確証を得、低除染燃料の製造性評価については、その後、MOXでの条件に及ぼすMA、FPの影響を確認することが重要である。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑦特記
⑧ ダイ潤滑成型技術の開発 ⑨ 焼結・O/M調整技術の開発	課題⑧、⑨は課題⑦の成否により影響されるプロセスである。このため、⑦に示した流れで作成した造粒物を使ってこの⑧、⑨の成立性を確認する必要がある。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑨特記
⑩ 燃料基礎物性研究	説明では5%MA+0.7%FP程度はマクロに見たときに悪影響を生じなければ十分と記載されているが、各元素の酸素ポテンシャルによる安定度が異なり、また温度勾配下での元素の移動も考えられる。これについては、着実に物性データを取得していくことが望まれる。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑩特記

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
マネジメント	この分野では原子力基礎工学部門にも専門家がおられ技術の蓄積もなされていると考える。次世代部門、基礎部門両者の実質的な融合を図って実施することが必要である。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
⑪ セル内遠隔設備開発(ODS被覆管の開発)	照射実績、量産体制などの観点からまだ採否の判断は早期と考える。特に、恒常的に経済性のある量産法、溶接、高い歩留まり率などの点からも実用化技術としての見通しは今の段階では得られていないと考える。これまでも20年近く開発を継続していたと報告会で報告されたが、現状ではまだ工業規模での生産が見通せない課題があるように感じる。別の開発方法、当面はもっと蓄積、実績ある材料で行くことも考えたほうがよいのではないかと。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑪特記
	ODS自体は魅力的な材料と感ずるので、仏国も興味を持っているのなら両者の共同開発課題として提案し共同で実施することも有効であると考え。	同上	同上
⑫ TRU燃料取扱い技術	燃料製造においてMAを混入させたペレットを量産でつくるには遠隔技術は不可欠であるが最もハードルが高い技術開発の一つである。すぐモックアップとか工学装置開発へ行く前に、セル内機器を忠実に再現した3次元CADのようなバーチャルシミュレーションを使い、機器の設計、機器間の取り合いなどを実施することがより効率的、実質的ではないかと。	1. 研究開発計画	個別課題 ⑫特記
	改良を重ねてよりシンプルで取り扱いやすい装置の設計を行ってハードに移行するという開発方法も考慮されたい。	同上	同上
全体	夫々の技術課題の採否判断にいたるまでの研究開発をより効率的に進める必要がある。	1. 研究開発計画	総論
全体	革新技术の判断の2010年までには4ヵ年ほどしかなく提案してある課題の達成はかなり高いハードルであると感じる。	2. 期待される成果	各論(5)
国際協力	これまでの情報交換、特に仏などとの間でどんな実質的なメリットが得られたかよく評価を行ない、不必要なものは減らし実質的なものを積極的に進めるようにすることが必要である。	1. 研究開発計画	各論(5) 国際協力
	実用化の経験などを踏まえると仏よりも遅れている我が国の再処理技術開発をそれと競合できるような段階にまで持ち上げていくためには、研究開発計画の一部に述べたような要素技術の共同開発を立ち上げていく必要性を強く感じる。	1. 研究開発計画	各論(5) 国際協力
	再処理分野は国際協力には困難な分野であるが、我が国だけの独自の道一本だけを進むことは、実用技術採用時にはオール・オア・ナッシングになってしまい、今後投資する開発資源(人、資金)を考えるとリスクが大きすぎる。また再処理技術は世界的に認知を受けることが今後不可欠である	1. 研究開発計画	各論(5) 国際協力

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
廃棄物	仏ではこれまでの研究開発により発生廃棄物の大幅な低減を達成してきた、さらにより経済性や効率化を目指して新固化技術開発(中低レベルのガラス固化、コールドクルーシブル固化)などに取り組んでいる。再処理技術開発には低減化を目指した廃棄物処理技術開発は不可欠である。本技術開発についても積極的に取り組む必要がある。	1. 研究開発計画	各論(5)国際協力
全体	夫々の課題について採否に必要な項目をよく検討し、2010年までのより効率的な計画(どんな具体的な試験項目をどこの施設を使って)を策定して進める必要がある。	1. 研究開発計画	各論(6)施設の利用など
全体	革新課題の中には2010年に採否の判断が必ずしも必要でないもの(例えば、今後専門家も交えた検討が必要であるが、例えばODS被覆管、MA燃料製造、MA抽出)があると思う。2010年に結論を出すものと、すぐ工学試験を進めるのではなくもう少し基礎研究(方法も含めたプロセス開発)を進めるもの、に分けて取り組む必要があると感じる。	2. 期待される成果	各論(2)
国際協力	実質的な国際協力を進めることが必要である。特に、リスクの低減、世界認知の技術確立、という観点から要素技術について我が国から積極的に共同開発を作っていく必要がある。	1. 研究開発計画	各論(5)国際協力
全体	廃棄物の発生量は再処理技術採用の大きな決定要因の一つと考える。取り上げた革新技術への取組と同時に、発生廃棄物の低減化、安定化(処理・固化)技術開発には積極的に取り組む必要がある。	1. 研究開発計画	各論(7)関連課題についての取組み

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
全体	社会や技術のあり方がグローバル化していく中で、研究開発の時間軸も世の中の流れの影響を受けざるを得ないことは、直近の1年間だけの変化を見ても明白である。この中において原子力の研究開発の難しさは、結論を出すまでに長時間を要することである。研究開発を加速させるには、費用と人材をバランス良く投入することで、どちらが欠けても時間的ターゲットを守るのは難しくなる。予算、要員の確保には時間軸を決めることが必要だが、それ以上に重要なのは、開発すべき項目の技術的ステップを明確に設定することだろう。それが確立していれば、時間的ずれはあっても確かな成果が得られよう。(計画の妥当性)	1. 研究開発計画	各論(1) 開発規模の合理的なステップアップ戦略
全体	費用および時間の削減には、当然のことながら既存施設の活用が望ましい。また新しいホット施設を作る前に、できるだけコールド試験、モックアップ試験等を実施し、全体の費用対効果を高めることも計画的に行う必要がある。(費用対効果の妥当性)	1. 研究開発計画	各論(6) 施設の利用など
全体	研究開発の比較的早い段階から、将来実用化された姿をできるだけ具体的にイメージしながらプロジェクトを推進することが望ましい。燃料サイクルシステムについては、技術を選択する際に、プロセス選定の段階からエンジニアリング開発も併行して進めるべきであろう。両者を同時にイメージすることにより、実用化されたときの姿がより鮮明になり、研究開発の後戻りが少なくなるとともに、項目の採否の決断を早めることも可能になろう。(研究開発の手段やアプローチの妥当性)	1. 研究開発計画	各論(2) プラントエンジニアリング開発の強化
マネジメント	このためには、プロセス開発グループとエンジニアリング開発グループを独立して設置し、互いに開発を進めると同時に、意見交換、相互評価を行い、技術レベルでの判断を重視していくことが好ましい。	研究開発の実施体制について	各論(2) (研究開発機能)
全体	現在のロードマップの中身をさらに細かく分析し、個々の研究開発項目の段階的目標、達成度を評価できるようにしたらどうか。特に現在検討しているプロセスのそれぞれに開発のブレークスルーポイントがあると思われるが、プロセス上のブレークスルーと併行して、エンジニアリング上のブレークスルーも同時に検討すべきだろう。革新的な技術については特に先行して検討を進め、その採用可能性を早期に確認するようにしたらどうか。(目標実現可能性)	2. 期待される成果	各論(3)、(5)
全体 マネジメント	現在のロードマップだけでは、実用化の見通しの判断は難しい。プロセス上、エンジニアリング上のブレークスルーポイントを明らかにし、それらをどの時点でどのように解決していくかということ、なるべく具体的に示す必要がある。またその成果の判断を下す際には、開発に必要な費用および人材の投入が十分であったか、ということも重要な因子になる。(見込まれる成果、実用化の見通し)	2. 期待される成果  国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(4)  各論(18) 事業と投資バランス

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
マネージメント	プロジェクト全体が長期にわたることから、人材養成は常に重要な問題である。また研究開発成果は、現在の従事者間での成果の相互活用、次世代への経験の継承など、その効率的活用が極めて重要であることから、知的基盤整備には最初から独立した専門部署を設けることが好ましい。(人材養成、知的基盤整備)	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(7) (人材育成・知的基盤整備)
マネージメント	エネルギー資源の確保、温室効果ガスの削減などをめぐり国際情勢が変化していく中で、原子力、とりわけ高速増殖炉への期待が高まっている。このような大型プロジェクトは国家主導型になる傾向が強いが、技術サイドとしては、その予算を有効に生かし、技術的成功例を積み重ねていくという使命を果たすことが重要である。その成果を基に国はさらに適切な予算措置を講じることが可能になろう。(行政施策への貢献)	その他	各論(20) (その他)
マネージメント	長期間、核燃料リサイクルから遠ざかっていた米国も、資源の有効利用と廃棄物処分の観点から、再処理政策へと方向転換した。ここで重要なのは、再処理や高速炉の研究開発を再開するにあたり、米国は核不拡散性の確保を大前提としていることである。そしてこれはまさにわが国が原子力機構を中心にこれまで進めてきた開発方針と合致している。もんじゅの再開準備も着々と進められ、国の高速増殖炉サイクルの開発予算も具体化してきた今日、これまで先行してきたわが国の技術的リードをいかに維持していくかということは、原子力機構の計画とその実施能力にかかっていると言っても過言ではない。原子力機構は自らの成果を積み上げていくだけでなく産官学を結集し、わが国全体としての総合的な成果を達成する任務を求められているのではなかろうか。	その他	各論(19) (その他)

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見7】

対象	評価意見	評価結果との対応																			
再処理	<p>FBRサイクルについては、開発目標として軽水炉並みの発電コストの実現を目指すこととされており、したがって、そのサイクルの一部を占めるFBR再処理についても、目標とする事業コスト、建設コストの設定が必要とされる。</p> <p>六ヶ所再処理工場のコスト構造については、原子力部会にて検討されており、概略以下のとおり。</p> <table border="1" data-bbox="363 524 916 752"> <caption>六ヶ所再処理工場40年(32,000tU)の事業費</caption> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>費用(兆円)</th> <th>割合(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>再処理主工程の操業</td> <td>7.06</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>ガラス固化・貯蔵・処分</td> <td>3.95</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>低レベル処理・貯蔵・処分</td> <td>1.99</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>廃止措置</td> <td>1.55</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td></td> <td>14.55</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	項目	費用(兆円)	割合(%)	再処理主工程の操業	7.06	48	ガラス固化・貯蔵・処分	3.95	27	低レベル処理・貯蔵・処分	1.99	14	廃止措置	1.55	11		14.55	100	1. 研究開発計画	各論(2)プラントエンジニアリング開発の強化
項目	費用(兆円)	割合(%)																			
再処理主工程の操業	7.06	48																			
ガラス固化・貯蔵・処分	3.95	27																			
低レベル処理・貯蔵・処分	1.99	14																			
廃止措置	1.55	11																			
	14.55	100																			
マネージメント	<p>FBR再処理についても、このようなコスト構造を想定し、それを更に建屋や工程ごとに細分化し、コストの実現可能性の観点からそれぞれの技術開発課題を評価することが必要と考える。このようなアプローチをすることにより、技術開発課題の重点化や開発の進捗を管理することができる。同時に、将来のユーザーが事業化の判断をする際に必須の情報を開発段階から共有できることになる。</p>	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(5)投資対象評価																		
マネージメント	<p>事業費の配分に配慮しつつ、それぞれの分野に開発投資していくことが重要と考える。例えば、マイナーアクチニドの回収技術については、処分コストの低減が見込まれる一方、燃料加工、発電所でのコストアップが想定され、その寄与を把握しておくことにより、他の多くの技術開発課題との関係で、効率的な技術開発への投資が可能になる。</p>	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(17)国や事業者に対する取組み																		

プロジェクトレビュー 燃料サイクルシステム

「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた開発課題について」【意見7】

対象	評価意見	評価結果との対応	
再処理	<p>軽水炉サイクルのコスト構造の背景には、工場の稼働率に関する仮定があり、六ヶ所工場の場合には、処理能力に関して最大4.8tU/dに対して、通常時は4 tU/dと想定し、稼働日数については、1年365日のうち、定期検査やPIT(実在庫調査)のために115日要し、残り250日を稼働可能日数として、その間の稼働率を80%と見ることで、</p> $4 \text{ tU/d} \times 200 \text{ d/y} = 800 \text{ tU/y}$ <p>としている。定期検査等の期間を原子力発電所並みに50日程度とできれば、</p> $4 \text{ tU/d} \times 315 \text{ d/y} \times 80\% = \text{約}1,000 \text{ tU/y}$ <p>となり、2割程度のコスト削減が実現できる。</p> <p>このためには、PSA手法を用いた定期検査箇所の重点化や定期検査の間隔の延長など規制の高度化などが重要と考えられ、これを開発課題の1つに挙げるのが重要と考える。また、実証プラントは、高度化した規制体系の実証の場とすることにより、将来のユーザーがFBR再処理工場の建設・運転を行う際のリスクの低減を図ることが可能と考えられる。</p>	1. 研究開発計画	各論(7)関連課題についての取組み
マネジメント	<p>再処理・MOX加工施設は、複数建設されるFBRと異なり、数10年に1度の建設となることから、その点を踏まえた人材育成・知的基盤の整備が重要となる。具体的には、開発成果をプラント建設につなげる作業が数10年に1回しか行われなことから、この断面においてエンジニアリングを行う会社なり組織を予め定め、開発成果を開発の初期段階から移転し、技術の継承を図ることが重要と考える。</p>	研究開発の実施体制について	各論(4)(国内体制)

マネージメントレビュー【意見1】

対象	評価意見	評価結果との対応	
総論	原子力機構内の実施体制は概ね妥当だと思われる。旧サイクル機構の開発体制に加えて、旧原研の基礎研究、開発研究の成果の取り入れも進んでいるように見受けられるが、さらに両者の相乗効果を発揮できるよう努めて頂きたい。	総論	
進め方	再処理分野では、高速増殖炉サイクルと、民間第二再処理向け開発との調和を取ることが望ましい。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(17) 国や事業者に対する取組み
体制	研究開発成果の実用化を促進するため、開発の初期の段階から、エンジニアリング分野の開発を進めることが望ましい。メーカーの開発分担を明確にし、その有効活用を図ることにより、実用化に向けた人材の厚みを増すことも有意義であろう。	研究開発の実施体制について	各論(4) (国内体制)
予算・要員	プロジェクト全体が長期にわたることから、人材養成は常に重要な問題である。また研究開発成果は、現在の従事者間での成果の相互活用、次世代への経験の継承など、その効率的活用が極めて重要であることから、知的基盤整備には最初から独立した専門部署を設けることが好ましい。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(7) (人材育成・知的基盤整備)
予算・要員	わが国唯一の原子力専門の研究開発機関である原子力機構が研究開発の中心になるのは当然であるが、常に実用化を踏まえたビジョンの中で、オールジャパンとしての技術の確立と人材養成を目指すことが重要であろう。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(7) (人材育成・知的基盤整備)
体制(プロジェクト同意見)	研究開発の比較的早い段階から、将来実用化された姿をできるだけ具体的にイメージしながらプロジェクトを推進することが望ましい。燃料サイクルシステムについては、技術を選択する際に、プロセス選定の段階からエンジニアリング開発も併行して進めるべきであろう。両者を同時にイメージすることにより、実用化されたときの姿がより鮮明になり、研究開発の後戻りが少なくなるとともに、項目の採否の決断を早めることも可能になろう。 このためには、プロセス開発グループとエンジニアリング開発グループを独立して設置し、互いに開発を進めると同時に、意見交換、相互評価を行い、技術レベルでの判断を重視していくことが好ましい。	研究開発の実施体制について	各論(2) (研究開発機能)
進め方(プロジェクト同意見)	現在のロードマップだけでは、実用化の見通しの判断は難しい。プロセス上、エンジニアリング上のブレイクスルーポイントを明らかにし、それらをどの時点でどのように解決していくかということ、なるべく具体的に示す必要がある。またその成果の判断を下す際には、開発に必要な費用および人材の投入が十分であったか、ということも重要な因子になる。(見込まれる成果、実用化の見通し)	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(18) 事業と投資バランス

マネージメントレビュー 【意見1】

対象	評価意見	評価結果との対応	
その他(プロジェクト同意見)	エネルギー資源の確保、温室効果ガスの削減などをめぐり国際情勢が変化していく中で、原子力、とりわけ高速増殖炉への期待が高まっている。このような大型プロジェクトは国家主導型になる傾向が強いが、技術サイドとしては、その予算を有効に生かし、技術的成功例を積み重ねていくという使命を果たすことが重要である。その成果を基に国はさらに適切な予算措置を講じることが可能になる。	その他	各論(20) (その他)
その他(プロジェクト同意見)	長期間、核燃料リサイクルから遠ざかっていた米国も、資源の有効利用と廃棄物処分の観点から、再処理政策へと方向転換した。ここで重要なのは、再処理や高速炉の研究開発を再開するにあたり、米国は核不拡散性の確保を大前提としていることである。そしてこれはまさにわが国が原子力機構を中心にこれまで進めてきた開発方針と合致している。もんじゅの再開準備も着々と進められ、国の高速増殖炉サイクルの開発予算も具体化してきた今日、これまで先行してきたわが国の技術的リードをいかに維持していくかということは、原子力機構の計画とその実施能力にかかっていると言っても過言ではない。原子力機構は自らの成果を積み上げていだけでなく産官学を結集し、わが国全体としての総合的な成果を達成する任務を求められているのではなかろうか。	その他	各論(19) (その他)

マネージメントレビュー 【意見2】

対象	評価意見	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	評価結果との対応
予算・要員	平成19年度からのFaCT計画への大幅な開発費の増加により、JAEA内だけでは実施が難しく外部への委託業務が増え、それへの対応にまた時間が消費される、という循環に陥ることが懸念されるが、中枢なところはJAEA(プロパー職員)で工学技術開発やプロセス開発を所有の施設を使って開発していく姿勢、体制を強化して欲しい。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(8) (インセンティブづくり)
体制(プロジェクト同意見)	この分野では原子力基礎工学部門にも専門家がおられ技術の蓄積もなされていると考える。次世代部門、基礎部門両者の実質的な融合を図って実施することが必要である。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
体制	部門間(特に、核燃料サイクル技術開発部門、基礎工学部門と次世代部門)の人的協力・交流、施設の効率的利用を再度検討して、新たな施設の建設などはできるだけ避け、現有資源での効率的な実施方策を考えていただきたい。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
評価・管理	年1,2回の外部識者による評価だけでなく、実質的に頻度高く外部識者・関係者との交流が必要と感じる。また、外部識者・関係者による技術検討会には、常ではないが海外の専門家も交えて行なうことが有効であると考えられる。	研究開発活動の評価・管理について	各論(14) (外部有識者とのコミュニケーション)
予算・要員	今後の長い研究開発期間を考えると、JAEA内にプロパーの技術専門家(世界的に通用する)を数多く育てることが必要である。管理職の育成と同時に専門家の育成、そのためには専門家のレベルに応じて管理職と同等、あるいはそれ以上の待遇、処遇をしていき、プロパー職員に専門家となることの誇り、インセンティブの構築が今以上に望まれる。これに関連して管理職よりも専門的な研究者、技術者が多くなるような体制に持って行って欲しい。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(8) (インセンティブづくり)
評価・管理	次世代部門並びにその担当するFBRサイクル実用化研究はJAEAの最大の規模、ミッションであり、今後大きな資源の投入が必要であると同時に我が国の原子力技術力を世界に発信していく時でもある。そのためには、関係者が認識を共有し、JAEA内だけでなく我が国の総力を結集して推進していくことが必要である。その達成に向けて情報発信だけでなく、国内の関係機関(メーカー、他の研究機関、電力、大学など)との協力・交流をより密接に行なっていくことがきわめて重要である。	研究開発活動の評価・管理について	各論(14) (外部有識者とのコミュニケーション)
進め方	2010年を待たずに成果しだいで、適宜C&Rを行って推進していくことが必要である。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(16) (戦略的運営)

マネージメントレビュー 【意見3】

対象	評価意見	評価結果との対応	
評価・管理	学問的研究とは異なり、目標と時限が明確に決められている開発であるため、PDCAサイクルはなじみやすい管理手法である。PDCAサイクルをまわしていくための体制は妥当と思われる。	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
評価・管理	達成度評価においては、各研究開発項目につき、可能な限りの定量的な目標を定め、その実現に向けて、定期的な達成度評価を実施しており、妥当なPDCAサイクルを構築・運用していると思われる。	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
評価・管理	目標の設定水準についても、研究開発計画の全体像がWBSで明確化されており、各研究者自身が開発目標の全体における位置づけを確認できるため、自己の取り組みを相対化でき、競争的なモチベーションを働かすことができる仕組みとなっていると評価できる。	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
評価・管理	達成管理については、進捗管理について定期的報告、評価等でモニタリングされているが、達成が遅れている場合に、いかなる手立てを講じることができるのかが、やや不明瞭である。技術開発の困難度等に応じて、開発体制の充実、予め別オプションを所持しておく等の補完手段等を講じておく必要がないか検討する余地がある。	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
進め方	国のニーズを反映したWBSとなっている。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(15) (国策への貢献)
予算・要員	PDCAの実施は現場の研究者に大変な手間と時間をかけることであり、ややもすると形骸化する恐れがある。PDCAを有効に回転させるためには、取り組む研究者一人一人が、その意義を十分に理解することが重要である。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(9) (経営理解)
予算・要員	組織目標が与えられ、それを達成するための開発計画を粛々と進めることも大事ではあるが、それだけでは人材養成・知的基盤整備の観点からは不十分である。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(9) (経営理解)
評価・管理	目標設定および評価方法については、研究者が自らの研究開発目標と組織目標との整合性のチェックを行いつつ、より高い目標に達することがより高い評価を受ける仕組みも整備することで、研究レベルの自律的な底上げを図っていく仕組みも検討すべきである。	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
総論	研究開発管理・推進体制については、国のニーズを踏まえて、開発計画を策定し、それを個々の研究開発計画にブレークダウンし、モニタリング、評価を行う仕組みとなっており、妥当と判断できる。	総論	

マネージメントレビュー 【意見4】

対象	評価意見	評価結果との対応	
進め方	経済産業省で作成している技術戦略マップの手法を用いて、広く他分野の専門家の意見を得たり、逆に他分野に貢献したり、ということが一層活発にできるのではないかと期待します。	その他	各論(21)

マネジメントレビュー 【意見5】

対象	評価意見	評価結果との対応	
体制	<p>研究開発実施体制について、開発推進本部が研究開発部門と複数のセンター(施設)を統括して行く組織体制となっているが、中心母体の開発部門が「次世代原子力システム」という名称のように、ナトリウム冷却FBR以外のグループも開発の中にも含めていることは、国が主、副概念ともNa冷却炉とし、その研究開発を付託され、担う組織として多少疑問がある。5年、10年後の技術評価を経て、研究開発段階から実証実用化段階へ踏み出す計画であるとするれば、多くの難しい要素・システムの開発が想定されていることから与えられたこの研究開発期間は短期間といわざるを得ない。そのためには、母体の開発部門をナトリウム冷却FBR onlyに特化して対応することが適切と考える。</p>	研究開発の実施体制について	各論(1) (研究開発組織)
評価・管理	<p>研究開発のPDCAサイクルの機能が最高のレベル、効率で循環するためには、特にPlanとDo及びその間で、国の最高の知恵(機構、大学、他の研究機関、メーカー)をいかに取りこめられるかにかかっていると考える。従来の検討会、委員会方式が意見交換、助言の場として挙げられていますが、もっと機構の研究開発の組織に柔軟にかつ強力にサポートできる組織があっても良いのではと考える。</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(14) (外部有識者とのコミュニケーション)
進め方	<p>国の中期計画に対応して研究開発体制と組織が立てられ、ロードマップによる研究開発が進められるので、判断クライテリアを満たす技術成果が2015年の時点でどこまで達成されているかが重要であるが、代替技術の適用を余儀なくされる場合であっても、途中工程での的確な判断によって研究開発を加速させ、実証FBRを提示し設計に入れるようになることを期待する。</p>	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(16) (戦略的運営)
予算・要員	<p>人材育成・知的基盤整備については、研究開発WBSの研究項目と組織のグループに属する各組織員の有機的な対応が重要であり、WBSの達成度と人的評価がともに無理なく行われてFBRの人材育成と知識・技術データベース構築がなされることを期待する。</p>	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(7) (人材育成・知的基盤整備)
総論	<p>本研究開発の実施体制は全体として適切であると考え。本実用化研究フェーズ1は実証FBRを見通せる技術を短期間に達成するものであり、研究計画を硬直化させないよう組織、PDCA、人材の面で適切な実施を期待する。</p>	総論	

マネージメントレビュー 【意見6】

対象	評価意見	評価結果との対応	
進め方	原子力委員会の「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書に関する原子力委員会の対応について」(平成18年5月)で示された意見に対して、どのように取り組むか、取組みに当たって内部マネージメントに改めるべき点があるかどうかを、国、電力等の関係者に示し、理解が得られるよう努めていくことが重要ではないかと思えます。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(17) 国や事業者に対する取組み
進め方	一つの実証されたシステムを開発するという意味で、JAEAとしてそれに要する期間、予算をコミットし、これを目標に毎年PDCAを回し、達成できなかったこと、そのリカバー策を含めて、広く関係者と議論していくことが重要と考える。	総論	
予算・要員(プロジェクト同意見)	事業費の配分に配慮しつつ、それぞれの分野に開発投資していくことが重要と考える。例えば、マイナーアクチノイドの回収技術については、処分コストの低減が見込まれる一方、燃料加工、発電所でのコストアップが想定され、その寄与を把握しておくことにより、他の多くの技術開発課題との関係で、効率的な技術開発への投資が可能になる。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(5) 投資対象評価
進め方(プロジェクト同意見)	マイナーアクチノイドの製品への回収技術については、核不拡散抵抗性の高い技術とされており、例えば、コスト削減効果は小さいが、将来への保険の観点から開発を進めることとするといった政府レベルや将来ユーザーの政策的・経営的な判断にも貢献できることになると考えられる。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(17) 国や事業者に対する取組み
体制(プロジェクト同意見)	再処理・MOX加工施設は、複数建設されるFBRと異なり、数10年に1度の建設となることから、その点を踏まえた人材育成・知的基盤の整備が重要となる。具体的には、開発成果をプラント建設につなげる作業が数10年に1回しか行われなことから、この断面においてエンジニアリングを行う会社なり組織を予め定め、開発成果を開発の初期段階から移転し、技術の継承を図ることが重要と考える。	研究開発の実施体制について	各論(4) (国内体制)

マネージメントレビュー【意見7】

対象	評価意見	評価結果との対応	
評価・管理	本委員会である「研究開発・評価委員会」は「外部」評価委員会として十分機能させる体制・運営・規模である。しかしながら研究開発部門(長)が実施「計画(Plan)」を立て、研究開発を「遂行(Do)」し、理事長に報告し「評価(Check)」を受けることとなっているが、その結果の達成度評価である「自己評価報告(書)」が提示(公開)されていない。また自己評価報告書を利用して「外部」評価を実施することも必要と考える。つまり自己評価体制および自己評価における各評価項目に対する評価(達成度、今後の課題等)の成果(報告)が見えにくい。現在準備中ならば、今後の外部評価には間に合わせて欲しい。	研究開発活動の評価・管理について	各論(12) (自己評価)
進め方	国の方針や社会のニーズを反映させた行政施策へ貢献できる研究開発が計画的に進められている。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(15) (国策への貢献)
予算・要員	研究開発及び関連する施設運転等の要員については、2010年までの要員見積りはあるが、今後の開発計画と経費と人材育成との関連(時系列的配置)が見えにくい。外部資金を含めた経営戦略にも関係しているので明確にできにくいのは理解するものの、現員の専門・年齢構成や二法人統合の融合効果等も考慮して選択と集中の考え方で他の研究開発部門・拠点からの人員の配置換えも含めて立案すべきではないか。その際、人員等の確保(経費面も含めて)が難しい場合はすべての国策方針の研究開発を日本原子力研究開発機構が引き受ける必要もなく、機構で実施する課題の優先順位を明確にして他機関・大学・企業等へ開発研究課題を分散させることも考える必要はないか。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(6) (要員配置)
進め方	アメリカも含めて多くの国々との国際協力体制が确实且つ順調に進んでいると評価できる。我が国が誇れる技術開発(成果)であり、安易に無償等の形で情報開示しないように(対価を十分求めて)実施して欲しい。その際、我が国の技術体系・考え方を国際的標準化概念の構築へと結びつけ国際基準(規格)作りに向けた努力に重点を置くことも大切である。	研究開発の資源(予算・要員・成果)について	各論(10) (国際標準化)
評価・管理	二法人統合から日が浅く、研究開発の管理・推進面での体制は整備中(計画中)または始まったばかりであり、研究推進に対してうまく機能するのかわ見えずらい。しかし、現時点で動ける最大限の努力は開始しているものと考えられる。研究開発部門のマネージメントレビューは、機構全体のマネージメント体制とも関係しており、要望を出すのは難しい。プロジェクトレビューと異なりマネージメントレビューはもう一度、全体のマネージメント体制を明確・確立した時点で実施した方が良いとも考えている。	研究開発活動の評価・管理について	各論(13) (事業全体)

マネージメントレビュー 【意見8】

対象	評価意見	評価結果との対応	
体制(プロジェクト同意見)	東海再処理工場、プルトニウム燃料施設の有する実績や経験を活用するため、組織的な仕組みについても検討が必要ではないか。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
進め方(プロジェクト同意見)	政策的なFBRの開発計画に沿うためには、たとえ理想像まで達成できなくとも、目標時期までにプラントが実現できなくてはならない。そのためには、開発リスクに対する補完措置が備えられる必要がある。今後計画されている技術判断に際して、万一の場合の代替技術への備え、不具合に遭遇した際の改善路線の戦略、などについても検討しておくことが必要ではないか。	国策への貢献、開発戦略性等についての意見	各論(16) (戦略的運営)
体制(プロジェクト同意見)	本研究開発の成果は、JAEAに技術集約されると共に、プラントメーカーに深く根付く必要がある。そのためには、国内でのメーカーの関与の仕方についてオールジャパンでの検討が必要である。具体的には、FBR再処理エンジニアリングを中核的なメーカーに集約するような体制のあり方について検討が必要ではないか。	研究開発の実施体制について	各論(4) (国内体制)

マネジメントレビュー 【意見9】

対象	評価意見	評価結果との対応	
体制(プロジェクト同意見)	工学規模ホット試験(旧RETF)の最適化で、別途小型試験棟における工学試験等を実施し、技術的な見通しを得る対応体制を整えるべきではないかと考えます。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)
体制(プロジェクト同意見)	本実用化研究開発を機能的に進めるには、部門・拠点のバリエーションを取り払ったアドホックな開発体制で有機的に進める事が最も限られた人的資源の有効な活用法と考えます。さらに、機構のサイクル部門で六ヶ所サイクル施設に国産技術導入を果たし経験のあるメーカー等の体制も視野にエンジニアリング検討会(仮)も発足すべきと考えます。	研究開発の実施体制について	各論(4) (国内体制)

マネージメントレビュー【意見10】

対象	評価意見	評価結果との対応	
評価・管理	<p>計画の進捗度を測定できる指標を整備しモニタリングする体制を確保すること</p> <p>進捗度は、成果系のみならず、成果を担保できるような過程系の指標、すなわち、制度system体制actor運営managementに係る指標を(定性的状態のランク/進化度指標を含め)整備して実績を測定すること、したがって、外部環境の激変に影響されがちな機構構成員のインセンティブ動態などを見守りつつ、指標の異常を早期に発見して対応する体制をもつこと(成果系の進捗が安定的であれば年度の評価負荷は軽減されてよいはず)が不可欠といえる。この試行からの知見は我が国の大型プロジェクトのマネジメント革新を先導する期待もある</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
	<p>評価疲労(感)を軽減すること</p> <p>独法評価を含め目的・階層・頻度・視点・スコープの異なる評価や日常的なマネジメント情報システムを見通し、調査・分析情報のプラットフォームを整えて、評価関連作業の合理化を図り相互利用するフレームをもつこと</p> <p>評価結果のフィードバックを関係者に明示的に行い、徒労感が生じないようにすること</p> <p>機構内評価専門人材の育成確保と機能発揮、機関運営視点の拡大等を持続的に支援すること</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
	<p>自己評価体制を確立して評価委員会と連携すること</p> <p>すべての評価の情動的基盤は、支援(自己改革)的な自己内部評価であるが当事者による調査分析情報である。本評価委員会は、それを高い見地から補完し、また別の視点等を加えて検討する機能がポイントであるので、今後の委員会とは出来るだけ自己内部評価の開示と現場との交流があると実効的となる</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(12) (自己評価)
評価・管理	<p>機構全体として行う対外コミュニケーションや機構内外の人材育成等の機能と連携を図ること</p> <p>機構が我が国唯一の原子力の総合的研究開発機関となった現在、競争的ないし自己点検的環境を内在させた自律的学習的マネジメントの模索的形成がより必要と思われる。同様に、民間企業等との連携体制等も慣性的にならないように、チェックリストや機能進化指標を開発・運用するなどの検討も視野に入れるべき</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(14) (外部有識者とのコミュニケーション)
	<p>計画の見直しの契機を埋め込むこと</p> <p>通常の上昇評価は計画の枠組み(目的)の中でのみ評価(効率・効果)を行うことでよいが、対象システムの性格上、計画が前提とする機構内外の環境・条件から逸脱するシナリオや変化等を想定し、先行的に見直しの検討や提起が行える仕組みをもつことは必要と思われる</p> <p>計画課題内容には、達成難易や組織関係連携の難易、科学的解明への立ち返りの必要度など、様々な相異があるので、適宜、全体としての評価と再調整を行う仕組みを機能させることが必要</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)
	<p>施策へのフィードバック/フィードフォワードを行う風土や能力を育成すること</p> <p>リアルな実体情報をもつ専門機関として、評価の観点に組み入れられていることに敬意を表す。機能するためには、現場が施策の観点や前提を理解していること、競合・補完技術等に関わる技術・経済情報等の調査分析評価も行っていることなどの体制が必要である</p>	研究開発活動の評価・管理について	各論(11) (研究開発推進)

マネージメントレビュー 【意見10】

対象	評価意見	評価結果との対応	
(つづき)	<p>多様な背反的なマネジメント文化のバランスを確保すること                      原子力機構設立の基本理念でもある「研究資源の有機的連携や融合による相乗効果の発揮」など機構の総合力を発揮するようなミッション組織としての統合マネジメント体制をとる一方で、確実性／挑戦性、開放性／秘匿性、競争／協力等、必要な多様性や相反傾向のある価値軸を維持できるように、対立を明示的にした上で解決する体制が効果的ではないか。その意味で、組織横断的な責任体制や機構内の課題・組織のポートフォリオ的なマネジメント、人材評価軸の多様性の検討も必要となるかもしれない</p>	<p>研究開発活動の評価・管理について</p>	<p>各論(13) (事業全体)</p>

マネージメントレビュー【意見11】

対象	評価意見	評価結果との対応	
体制(プロジェクト同意見)	転換・燃料製造共、これまでに得られた量産化・自動化に関する開発成果を十分活用できる体制を構築して開発に当たることを期待する。	研究開発の実施体制について	各論(3) (機構全体体制)

## 参考資料

参考資料 1 研究開発課題の中間評価について（諮問）

参考資料 2 \* 高速増殖炉サイクル実用化研究開発（課題説明資料）

参考資料 3 - 1 \* ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について  
（炉システム作業会資料）

参考資料 3 - 2\* 先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の  
実用化に向けた技術開発課題について  
（燃料サイクルシステム作業会資料）

参考資料 4 \* 補足説明資料集

参考資料 5 \* 研究開発・評価委員会の評価意見に対する原子力機構の見解

参考資料 6 評価結果に対する措置

\* 添付 CD-ROM に掲載

This is a blank page.

## 参考資料 1

研究開発課題の中間評価について（諮問）

This is a blank page.

18原機(次)039  
平成18年12月13日

研究開発・評価委員会  
(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)  
委員長 森山 裕丈 殿

独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
理事長 殿塚 猷一

研究開発課題の中間評価について(諮問)

「研究開発・評価委員会の設置について」(17(達)第42号)第3条第1項に基づき、次の事項について諮問します。

- ・ 諮問事項  
「高速増殖炉サイクル実用化研究開発(旧高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究)」に関する中間評価

以上

This is a blank page.

## 参考資料 2

### 高速増殖炉サイクル実用化研究開発（課題説明資料）

#### 平成 18 年度第 2 回委員会資料

資料 2-5-1 実用化戦略調査研究フェーズ の  
国による評価結果等

資料 2-5-2 「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」  
（旧高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究）  
（課題説明資料）



資料2-5-1

# 実用化戦略調査研究フェーズの 国による評価結果等 【報告】

平成18年12月18日

(独)日本原子力研究開発機構

- 1. 文科省原子力分野に関する委員会による評価**
  - 1.1 評価の進め方**
  - 1.2 フェーズ 成果の評価**
  - 1.3 今後の研究開発方針の提示**
- 2. 原子力委員会による基本方針（案）の提示**

# 1. 文科省原子力分野に関する委員会 による評価



## 1.1 評価の進め方

# JAEA フェーズ 成果の評価

- 文部科学省の諮問組織である「原子力分野の研究開発に関する委員会<sup>\*1</sup>」で**実用化戦略調査研究フェーズ**の**成果を評価**
- 国としての**高速増殖炉(FBR)サイクルの研究開発方針を提示**

\*1 正式名称「科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会」  
URL [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/)

- ◆ 委員会での評価
  - ▶ 全体評価
  - ▶ 前記評価の視点 「大局的評価」  
(主として政策的評価)
- ◆ 作業部会での評価
  - ▶ 前記評価の視点 「フェーズ 報告書の妥当性」  
(主として技術的評価)
  - ▶ 2015年までの研究開発方針(案)の作成

第14回原子力分野の研究開発に関する委員会 (2006年3月30日) 資料2-5より



# 委員会・作業部会の構成員

## 原子力分野の研究開発に関する委員会 構成員

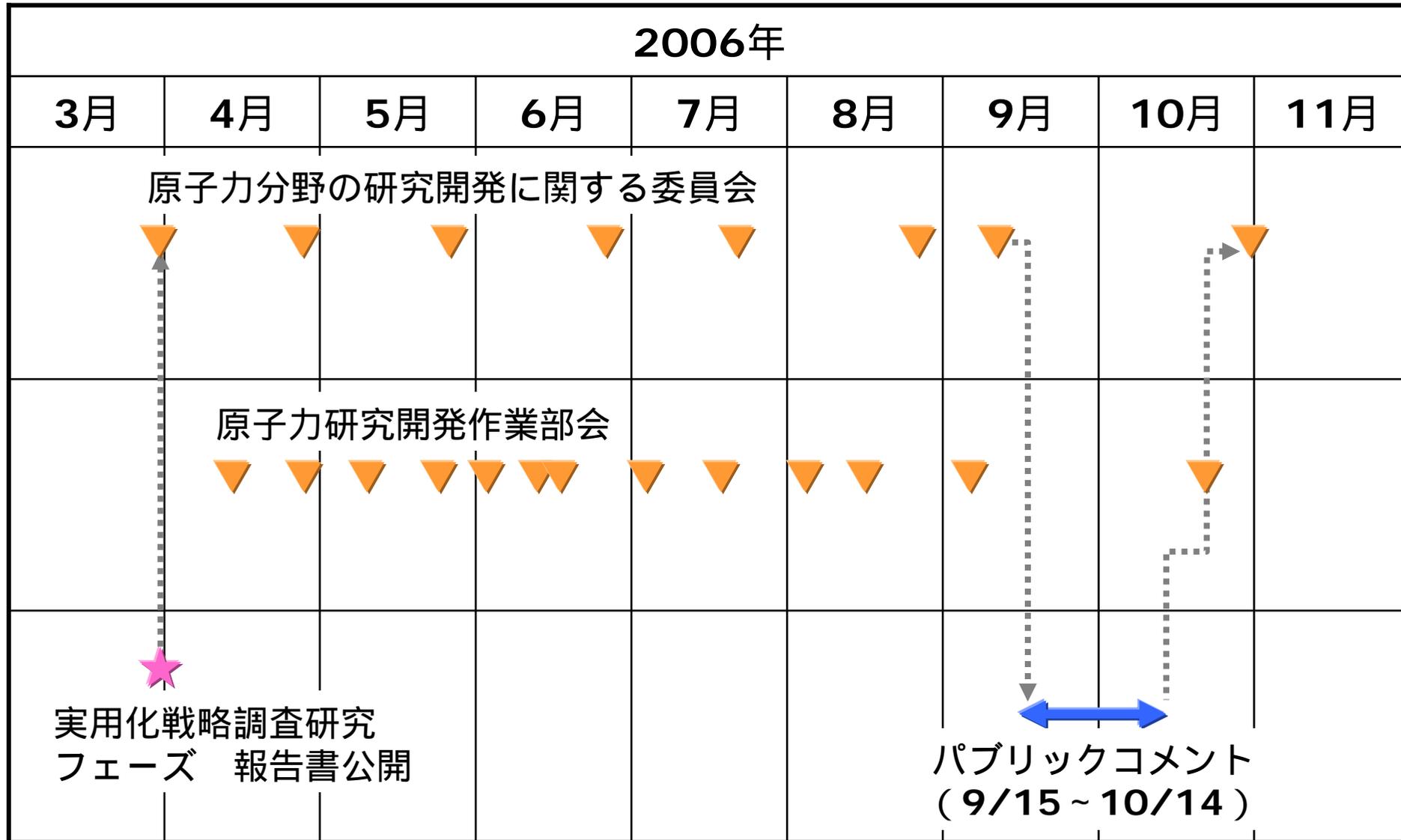
石田 寛人	金沢学院大学長
伊藤 範久	電気事業連合会専務理事
井上 信	京都大学名誉教授
榎田 洋一	名古屋大学エコトピア科学研究所部門長
岡崎 俊雄	独立行政法人原子力機構副理事長
加藤 正進	財団法人電力中央研究所常務理事
木下 富雄	財団法人国際高等研究所フェロー
小林 英男	横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター教授
(主査) 田中 知	東京大学大学院工学系研究科 教授
知野 恵子	読売新聞東京本社編集局解説部次長
中西 友子	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
早野 敏美	社団法人日本電機工業会専務理事(第18回より)
藤本 弘次	社団法人日本電機工業会専務理事(第17回まで)
松田 美夜子	富士常葉大学環境防災学部教授、 生活環境評論家(廃棄物とリサイクル)
本島 修	自然科学研究機構核融合科学研究所長
和気 洋子	慶應義塾大学商学部教授

## 原子力研究開発作業部会 構成員

榎田 洋一	名古屋大学 エコトピア科学研究所 環境システムリサイクル科学研究部門長
柴田 洋二	社団法人日本電機工業会 原子力部長
代谷 誠治	京都大学原子炉実験所長
(主査) 田中 知	東京大学大学院工学系研究科 教授
田中 治邦	電気事業連合会 原子力部長
前川 治	株式会社東芝 電力システム社 原子力技師長
(第8回より)	
山中 伸介	大阪大学フロンティア研究機構 副機構長



# 審議スケジュール





## 1.2 フェーズ 成果の評価

## フェーズ 成果の評価

- 国による評価では、「選択と集中」による研究開発の効率化と「柔軟性」の確保を考慮し、これらのバランスについては社会的・技術的視点により**総合的に判断**

- ◆ 実用プラントが**軽水炉サイクルと同等以上の安全性と経済性**を実現し、**FBRサイクルの特長を最大限に発揮**させることを目標とすべき。(p19)
- ◆ 現在の知見で実用施設として実現性が最も高いと考えられる実用システム概念であり、**今後研究開発を特に進めるべきものは「Na冷却FBR（酸化燃料）、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」**の組合せであると判断し、これを**主概念**とした。(p79)
- ◆ 現在の知見で実用施設として実現性が認められるものの、**社会的な視点や技術的な視点から比較的不確実性がある「Na冷却FBR（金属燃料）、金属電解法再処理、射出成型法燃料製造」**の組合せを**副概念**とすることが適切である。(p79)

『高速増殖炉サイクルの研究開発方針について「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ2最終報告書」を受けて』より  
括弧内は報告書の該当ページ（URL [http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?ANKEN\\_TYPE=3&OBJCD=100185](http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?ANKEN_TYPE=3&OBJCD=100185)）



# 主概念の原子炉13課題

## 経済性に係る課題

### 建屋容積・物量の削減

配管短縮のための高クロム鋼の開発

システム簡素化のための冷却系2ループ化

1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発

原子炉容器のコンパクト化

システム簡素化のための燃料取扱系の開発

物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

高燃焼度化による長期運転サイクルの実現

高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

## 安全性向上に係る課題

### 炉心安全性の向上

受動的炉停止と自然循環による炉心冷却

炉心損傷時の再臨界回避技術

### 建屋の免震技術

建屋の3次元免震技術

## 信頼性向上に係る課題

### ナトリウム取扱技術

配管二重化によるNa漏洩対策強化

直管二重伝熱管蒸気発生器の開発

保守、補修性を考慮したプラント設計

## 原子炉技術開発の留意事項

### 蒸気発生器

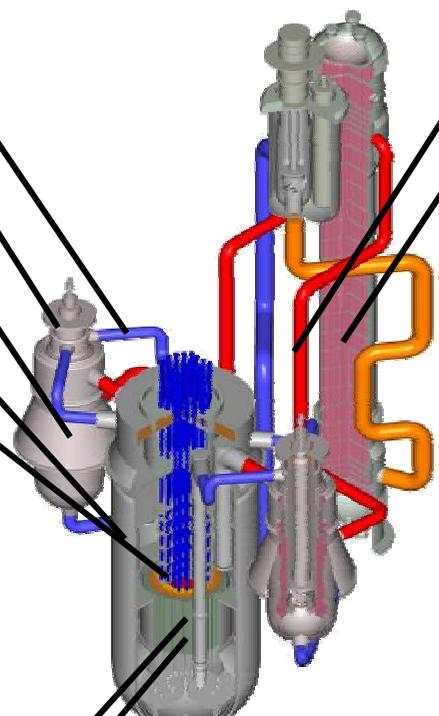
- ▶ 二重伝熱管の製作性・検査性
- ▶ 設計上の安全裕度など

### 2ループ化

- ▶ ガス巻込みの工学的抑制
- ▶ 流動特性への対応
- ▶ 大口径配管の製作性、支持構造
- ▶ 安全設計上の想定条件

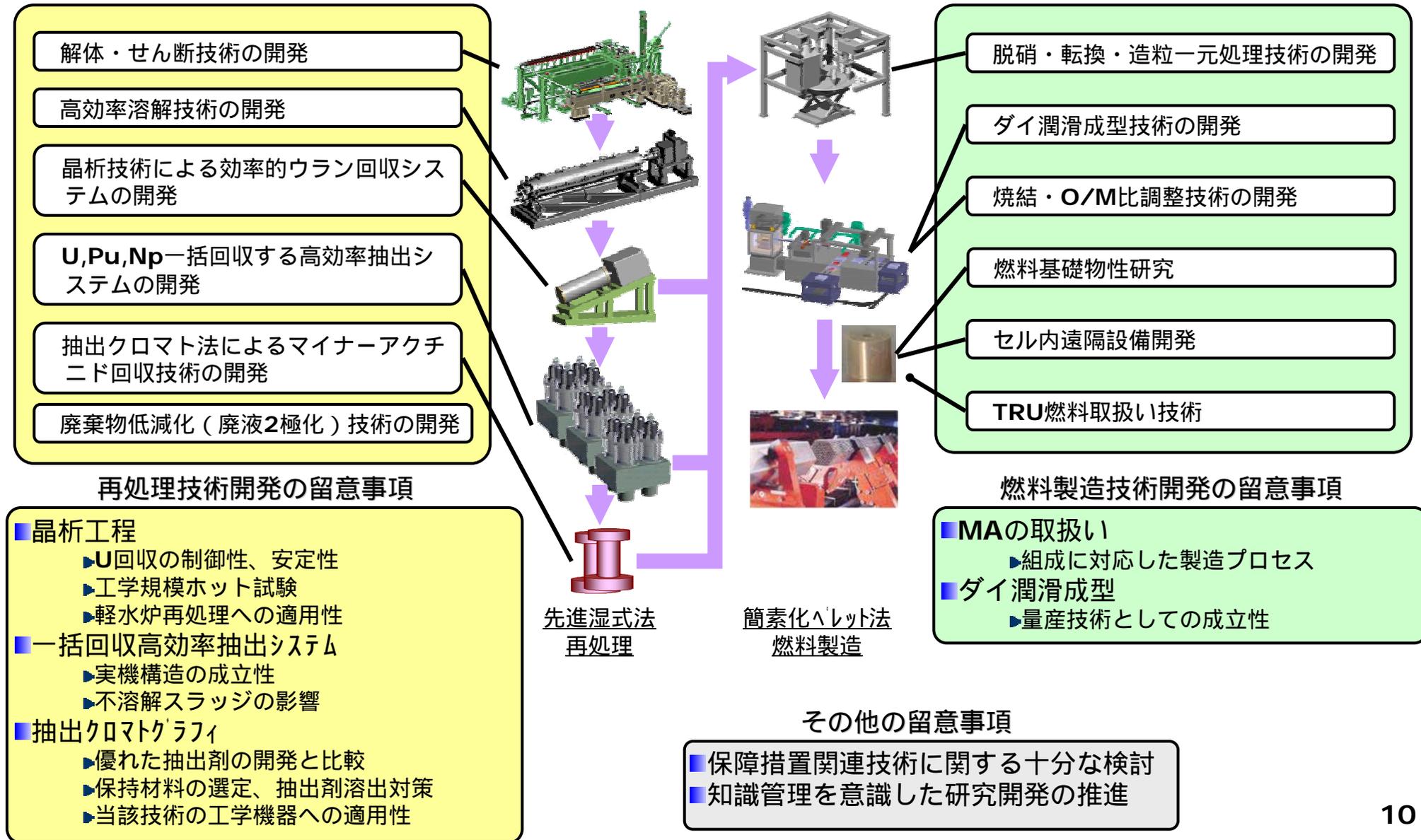
### ポンプ組込み中間熱交換器

- ▶ 構造健全性の判断
- ▶ 運転制限条件の評価
- ▶ 機器の検査性





# 主概念の燃料サイクル12課題



# フェーズ 報告書との主な違い

	フェーズ 成果	国の評価
今後の研究開発対象	主概念1つ、補完概念2つ*2	主概念1つ、副概念1つ
開発目標・設計要求	実用概念の開発目標・設計要求を設定	研究開発段階や実証段階の時期に対応した開発目標・設計要求を設定
増殖比	設計要求として~1.1とし各種シナリオの成立性を確認	燃料増殖に対する柔軟性を確保するため~1.2程度
FPの分離・変換研究開発	長期的な研究開発として取り組む	Cs, Srといった発熱性核種等の分離に関する研究開発も進める

\*2 補完概念「ナトリウム冷却炉（金属燃料）+ 金属電解法再処理 + 射出鑄造法燃料製造」及び「ヘリウムガス冷却炉（窒化物被覆粒子燃料）+ 先進湿式法再処理 + 被覆粒子燃料製造法」

## 1.3 今後の研究開発方針の提示

## 研究開発方針(1/2)

- **FBRサイクル実用化像と2050年頃からの商業ベースでの導入に至る段階的な研究開発計画に関する国の検討に資するため、研究開発の基本的な進め方を検討**

- ◆ **主概念を成立させるために必要な革新的な技術について集中的に研究開発を行うべきであり、副概念については、基盤的な研究開発として取り組むべき。** (p138)
- ◆ **2015年までに主概念の革新的技術の採用可能性を判断できるところまで具体化させ、それらを取捨選択し、組み合わせて高速増殖炉サイクル技術の設計研究を行い、開発目標・設計要求を満足する概念設計を得ることを目指す。** (p140)
- ◆ **今後5年間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。** (p141)
- ◆ **この概念設計は、2015年以降2050年頃までに必要となる実証施設、2050年頃からの導入期と2110年頃以降の平衡期の両方をにらんだ実用施設とする。** (p140)

## 研究開発方針(2/2)

- ◆ 研究開発は段階的な計画として取組み、段階を進める際には**国が成果と計画の評価**を行い、実施すべき**研究開発を重点化**して進める必要があると考える。(p141)
- ◆ 技術的知見を前倒しで蓄積していく必要性、研究開発資源の効率性等を勘案したロードマップに沿って進めるが、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**されるべき。(p143)
- ◆ 今後は「**FBRサイクル実用化研究開発**」として、実用化に集中した技術開発を行い、FBRサイクルの**研究開発を加速**すべき。(p139)
- ◆ 文科省、経産省、電気事業者、メーカー及び原子力機構による**五者協議会**<sup>\*3</sup>において、**今後の研究開発に対するユーザー側の要求、開発スケジュールと実証ステップのあり方等**を検討する。(p163)

\*3 正式名称「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」



# 開発対象の位置づけと研究開発の進め方

	開発対象	報告書内の 位置づけ	実用化に集中 した技術開発	基盤的な研究	基礎研究
			今後研究開発を <b>特 に進めるべき</b>	国内外における今 後の研究開発の <b>進 展の可能性を考慮</b>	原子力分野の <b>裾野 を広げる</b>
主概念	「Na冷却FBR（酸化物燃料）、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組合せ	現在の知見で実用施設として <b>実現性が最も高い</b> と考えられる実用システム概念			
	代替技術	今後 <b>集中的な研究開発を行うことなく革新的な技術を代替することが可能と見込まれる既存技術</b>	革新的な技術が <b>採用できないと判断された後</b> に必要な研究開発を行う		
副概念	「Na冷却FBR（金属燃料）、金属電解法再処理、射出成型法燃料製造」の組合せ	現在の知見で実用施設として <b>実現性が認められるものの、社会的な視点や技術的な視点から比較的不確実性がある概念</b>			
その他	超臨界直接抽出法 発熱性FP分離・処分 焼結技術など	現在の知見では <b>実現性などで劣るものの、更なる性能向上の可能性を有する革新的な技術の新たな芽ともいうべき技術</b>			
	その他の概念	研究開発を行うことにより科学技術として <b>多様な知と革新が期待される技術</b>			



# 研究開発ロードマップ

2015年までの研究開発計画を作成するにあたり想定したもの

	2015	2025	2035	2045	2050~			
全体工程	研究開発段階		実証・実用化段階		高速増殖炉サイクル導入期			
高速増殖炉システム開発	<small>実用・実証施設の概念設計研究</small> / <small>実用・実証施設の概念の最適化</small> 革新的な技術の研究開発							
	「常陽」、「もんじゅ」							
	大型試験施設	設計	建設	試験	運転開始			
	実証炉 (75万kWe)	概念設計	基本設計	安全審査	詳細設計 建設・試験	運転経験		
				実用炉 (150万kWe)	概念設計	基本設計	安全審査	詳細設計 建設・試験
燃料サイクルシステム開発	<small>実用・実証施設の概念設計研究</small> / <small>実用・実証施設の概念の最適化</small> 革新的な技術の研究開発							
	CPF、AGF 等							
		試験開始	工学規模ホット試験施設		設備規模: 1~10kgHM/h 年間取扱量: 約1tHM/y			
		設計・安全審査・改造等	先進湿式再処理技術(機器単体試験・系統試験)					
		設計・安全審査・改造等	TRU燃料の遠隔製造技術(上記技術実証試験施設に併設)(燃料製造: 1tHM/y)					
	Pu燃第3開発室	安全審査・改造等	炉システムへの高除染燃料供給(同時に量産製造技術実証試験)(燃料製造: 10tHM/y)					
	燃料サイクル実証施設 再処理: 10tHM/y 燃料製造: 10tHM/y			運転開始	設計、許認可、建設、試運転	運転		
			燃料サイクル 実用施設	設計、安全審査、建設、試運転	▽ 運転開始 再処理・FBR燃料製造			



# ロードマップのポイント

- 複数のシナリオを踏まえ、技術的な知見を前倒しで蓄積していくことの必要性、研究開発資源の効率的利用などを考慮し、**再検討を前提にロードマップを想定**

- ◆ 燃料供給に関し高速増殖炉システムと燃料サイクルシステムの**整合性が不可欠**である。(p143)
- ◆ 2015年頃までに、革新的な技術について、その**採用可能性を判断できる**ところに**まで具体化**させ、それらを取捨選択し、組み合わせて高速増殖炉サイクル技術の設計研究を行い、開発目標・設計要求を満足する**概念設計**を得る。(p145)
- ◆ **2015年頃以降**、得られたシステム概念を経済性を含め実証するための**実証炉、燃料サイクル実証施設**において**総合的に実証**する。(p145)
- ◆ 2045年頃に**実用炉を運転開始**できるよう**技術的な知見を整備**する。(p145)
- ◆ **高除染燃料の供給**及び将来に向けた**低除染燃料の量産製造技術**を高除染燃料で実証するため、**既存施設の活用を検討**すべき。(p145)

## 2. 原子力委員会による基本方針(案)の提示

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



# 今後10年程度の研究開発の基本方針(案)

- 原子力委員会は、11月7日に文部科学省より評価結果の報告を受け、11月14日に原子力委員会としての**研究開発の方針案を提示**
- 当該報告を含め、これまでに国の各機関が示した今後の高速増殖炉サイクル技術の**研究開発に関する検討結果を尊重した上で、今後10年程度の間における我が国における高速増殖炉サイクル技術の研究開発に関する基本方針を決定予定**

- ◆ 文科省、経産省、原子力機構は、電気事業者、製造事業者と連携・協力し、選定された概念を中心に研究開発を推進し、高速増殖炉サイクルの**実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を2015年に提示**することを目指す。
- ◆ 2010年頃から開始する**第二再処理工場の在り方に関する議論**に資する**科学技術的な知見を提供**することも念頭において実施する。

『高速増殖炉サイクル技術の今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針(案)』より  
(URL [http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?ANKEN\\_TYPE=3&OBJCD=100185](http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?ANKEN_TYPE=3&OBJCD=100185))



## 研究開発の基本方針(案) (つづき)

- 原子力委員会は、研究開発の進捗状況や設計の具体化に係る検討状況、それらに対する評価について、文科省、経産省から適時適切に報告を受けるとともに、本基本方針の妥当性について評価

- ◆ 国及び研究開発機関は、「常陽」等を活用し、裾野の広い基礎的・基盤的研究開発及び革新的概念に基づく技術システムを実現するための枢要技術の探索にも取り組む。
- ◆ 5者は協議の場を通じて、実証施設への要求及びその後10年程度で実証施設を実現する方策を含む実証・実用段階の在り方並びにその各段階において分担する役割を示す。
- ◆ 原子力機構は、安全の確保に万全を期すことを大前提に、2008年度に「もんじゅ」の運転を再開し、10年程度以内を目途に所期の目標を達成し、その後、実用化に向けた研究開発の場として活用・利用されることを期待する。

**「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」**  
**(旧高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究)**  
**(課題説明資料)**

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

実用化戦略調査研究フェーズの結果に対する評価が、文部科学省(国)の「原子力分野の研究開発に関する委員会」において先ごろ行われ、「今後、国及び関係者は、本報告書を踏まえ、高速増殖炉サイクル技術の研究開発を着実に推進していくことが必要であると考えます」とされた。研究開発・評価委員会による平成 18 年度の間評価では、実用化戦略調査研究フェーズの国による評価結果を報告した後に、プロジェクトレビューとして 2010 年までの研究開発計画と革新技術の採否判断基準及び マネージメントレビューとして研究開発の推進・評価体制についての妥当性を諮問する。

今後の FBR サイクル技術の研究開発(FBR サイクル実用化研究開発)について、原子力機構は定期的に国から施策の評価を受けるが、研究開発機関として外部の有識者による研究成果の詳細な技術的評価を受けることも必要である。このため、プロジェクトレビューに際しては、特定の分野の内容を技術的に掘り下げて評価していただきたいと考えており、委員会運営の効率性を考慮し、評価委員の中で特に FBR サイクル技術に関する専門的知識を有する委員により、委員会活動の一環として作業会方式で詳細な審議を行っていただく。

2010 年までの研究開発計画と革新技術の採否判断基準

- ・ 2015 年までの研究開発においては、その目標である実用及び実証施設の概念設計のとりまとめを目指し、設計研究を進める。技術開発としては、概念設計で採用を見込んでいる革新的な技術、すなわち、ナトリウム冷却炉 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)を中心に研究開発を進める。
- ・ 革新的な技術については、2010 年に予定されている評価において、革新技術の採否、代替技術への変更要否を判断し、2015 年頃に研究開発を終えて実証段階へ移行が可能との見通しを高い確度で得ることを目標とする。また、採用する革新的な技術あるいはそれ以外の技術と当該技術の採用に伴うコストが明かになるよう研究開発成果をとりまとめる。

- ・ 研究開発・評価委員会(作業会)においては、計画の妥当性、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などの視点で 2010 年までの研究計画を評価いただくとともに、目標実現可能性、見込まれる成果、実用化の見通しなどの視点で 2010 年の研究成果に基づく革新技术の採否判断基準を評価いただく。

#### 研究開発の推進・評価体制

- ・ 本年 9 月 1 日付で、理事長をトップとする「FBR サイクル研究開発推進本部」を設置した。
- ・ 同本部の下にプロジェクト会議(技術的事項に係る開発方針決定・自己評価等)、高速炉燃料開発調整会議(燃料開発に係る全社的な意思決定)、FBR サイクル連携推進会議(次世代部門と他部門との効果的な連携を進めるための方策検討)及び国際協力推進会議(GIF、GNEP などの国際協力に関する調整・検討)を設置した。
- ・ 研究開発の個別進捗について、分野ごとに技術検討会・専門委員会を設け、研究開発進捗の詳細なレビューと技術的なコメント・助言を頂く。
- ・ 外部評価として、研究開発・評価委員会により研究開発課題の事前・中間・事後評価を頂くとともに、マネジメントレビュー、プロジェクトレビューを頂く。国際レビューについては別途委員会を設け海外専門家により評価結果への付加的助言を頂く。
- ・ その他に当該研究開発は、原子力委員会(内閣府)、原子力分野の研究開発に関する委員会(文部科学省)、独立行政法人評価委員会(総務省)、科学技術政策委員会(内閣府)とも関連し、また、文科省、経産省、電気事業者、メーカ及び原子力機構による「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」において、今後の研究開発に対するユーザー側の要求、軽水炉から高速増殖炉へのサイクル側(再処理・燃料製造)の移行シナリオ、国際協力のあり方、開発スケジュールと実証ステップのあり方などが検討される予定である。
- ・ 研究開発・評価委員会においては、行政施策への貢献、実施体制の妥当性、目標・達成管理の妥当性などを視点に研究開発推進の取組みを評価いただく。

以 上



資料2-5-2添付  
説明用OHP

高速増殖炉サイクル実用化研究開発  
(旧高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究)  
(課題説明資料)  
【諮問】

平成18年12月18日  
(独)日本原子力研究開発機構

1. 評価を受ける範囲
2. プロジェクトレビュー（技術的評価）
3. マネージメントレビュー（大局的評価）



# 1. 評価を受ける範囲



## 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「**今後5年間の研究開発成果**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。

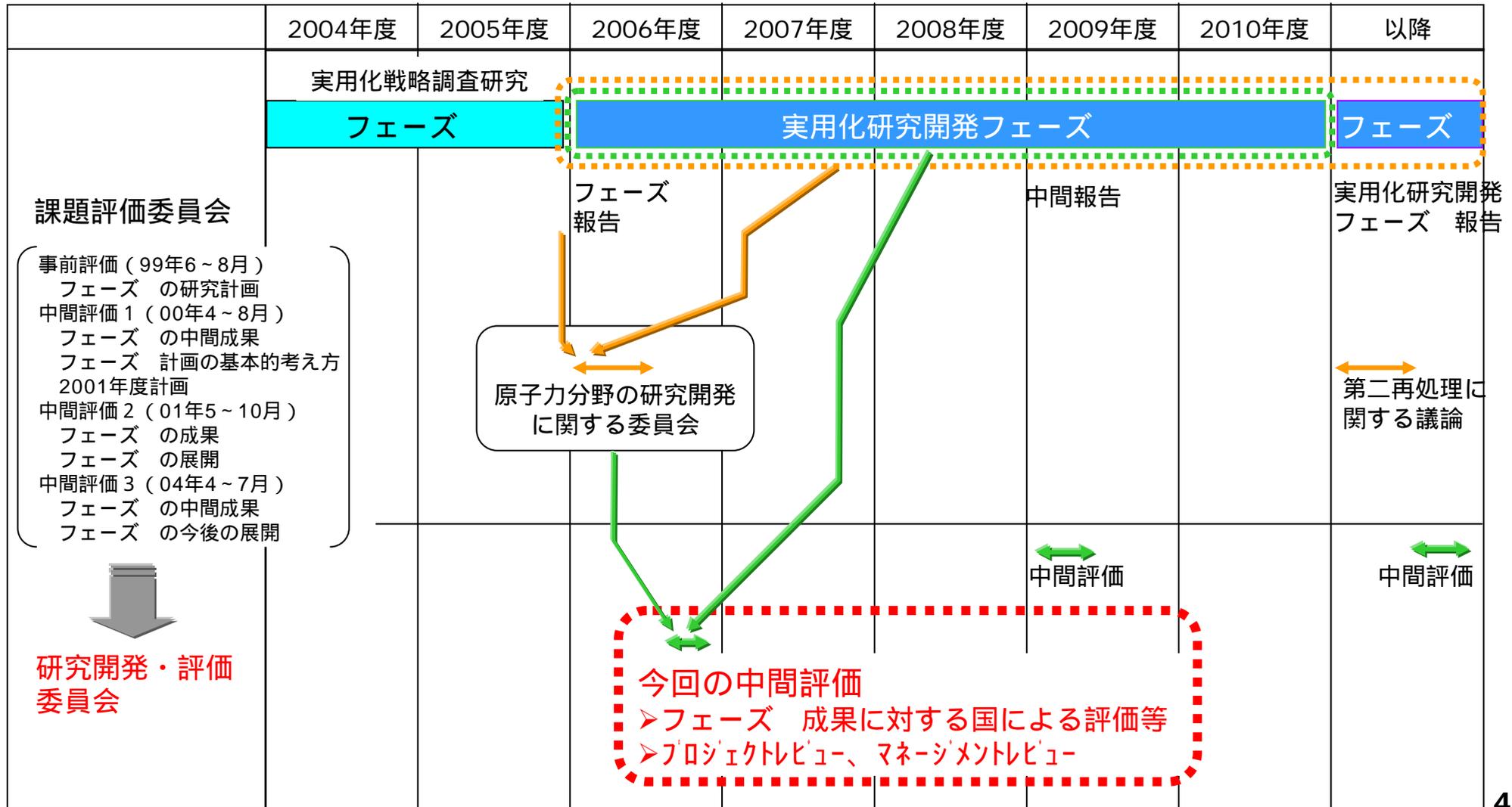
### 評価を受ける範囲

**FBRサイクル実用化研究開発に係る  
今後5年間の計画およびその進め方**



# FBRサイクル技術の研究開発評価

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  
「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」の評価

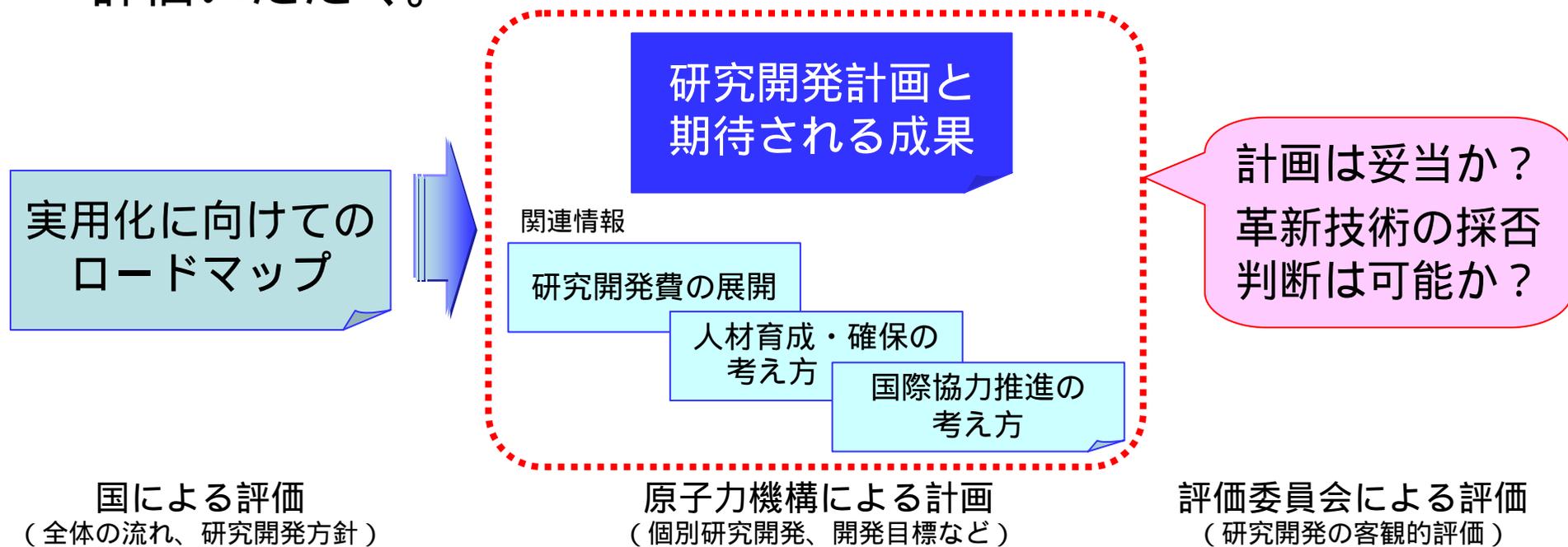




## 2. プロジェクトレビュー（技術的評価）

# JAEA プロジェクトレビューの評価対象と評価項目

- 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13項目、燃料サイクル12項目**（再処理6項目、燃焼製造6項目）の課題が既に挙げられている。
- プロジェクトレビューについては、これらの課題を解決するための**研究開発計画およびその期待される成果**について、主として**研究開発計画の妥当性と革新技術の採否判断基準**を作業会で評価いただく。





# プロジェクトレビューの評価例：計画の妥当性

## ロードマップ\*に基づく2015年までの研究開発計画（原子炉分野）

設計研究	2005	2010	2015	判断のポイント	代替技術
	実用炉の概念構築 実証炉の概念構築 配管短縮のための高クロム鋼の開発 システム簡素化のための冷却系2ループ化 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器の開発 原子炉容器のコンパクト化 システム簡素化のための燃料取扱系の開発 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化 炉心燃料の開発(照射試験) 配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 保守、補修性を考慮したプラント設計 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却 炉心損傷時の再臨界回避技術 建屋の3次元免震技術 大型試験施設 発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立	概念設計研究 予備的概念検討 設計用データ取得(強度、溶接性等) 流体力学試験(水) 振動・伝熱管の耐熱疲労試験 切り欠き型による熱衝撃評価試験 除熱性能、交換 SC造化 炉心燃料の開発(照射試験) 配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 保守、補修性を考慮したプラント設計 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却 炉心損傷時の再臨界回避技術 建屋の3次元免震技術 大型試験施設 発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立	概念設計研究 長時間評価データ取得/交換補修法整備 Na+中エロージョン試験(エルカ) 入口プレ Na) 設計方針策定/適用性確認 除熱性能、交換 SC造化 炉心燃料の開発(照射試験) 配管2重化によるナトリウム漏洩対策強化 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 保守、補修性を考慮したプラント設計 受動的炉停止と自然循環による炉心冷却 炉心損傷時の再臨界回避技術 建屋の3次元免震技術 大型試験施設 発電プラントとしての信頼性実証/ナトリウム取扱技術の確立		

\* p17, 国による評価において策定されたもの

主概念ナトリウム冷却炉

### 配管短縮のための高クロム鋼の開発計画

分類	2010	2015	開発内容
<b>FBR用12Cr鋼の材料強度基準整備</b> ・12Cr鋼の仕様選定と材料強度基準整備 ・最適溶接施工技術試験	試作材製作/改良仕様検討 仕様検討のための材料試験 試作溶接継手製作/施工法検討	材料強度基準策定のための長時間試験* 最適溶接施工法開発のための試験 継手強度検証のための長時間試験*	 クリープ試験装置 ・高温強度と靱性を併せ持つ材料の開発・試験 ・試作材に続き商用材(商業生産用設備で製作)を製作し、長時間クリープ試験(5万時間)、クリープ疲労試験等を実施 ・種々の条件で製作した溶接継手(異材溶接継手を含む)に対する試験を行い、その結果に基づき、溶接材料、溶接方法、熱処理条件等の最適化を図る
<b>改良9Cr鋼の材料強度基準整備</b> ・改良9Cr鋼の材料強度基準整備 ・最適溶接施工技術の開発 ・9Cr鋼-ステンレス鋼異材溶接施工技術の開発	材料強度基準策定のための試験 試作溶接継手製作 継手強度検証のための長時間試験 試作継手製作 継手強度検証・強度評価法開発	材料強度基準策定のための試験 試作溶接継手製作 継手強度検証のための長時間試験 試作継手製作 継手強度検証・強度評価法開発	

計画の妥当性（試験の質・量、組合せは適切か）  
 費用対効果の妥当性（既存施設が活用され、合理性のある計画か）  
 研究開発の手段やアプローチの妥当性（判断と次のステップへの移行の考えは妥当か）  
 見込まれる成果（革新的な技術の採用決定に資するための成果は十分か）  
 人材養成・知的基盤整備（技術継承に繋がるか）

H19 METI発電用新型炉



# プロジェクトレビューの評価例：判断基準

目標実現可能性（革新的な技術の採用決定が可能か）  
 見込まれる成果（成果と基準の対比は可能か）  
 実用化の見通し（革新的な技術の採用判断基準は適切か）

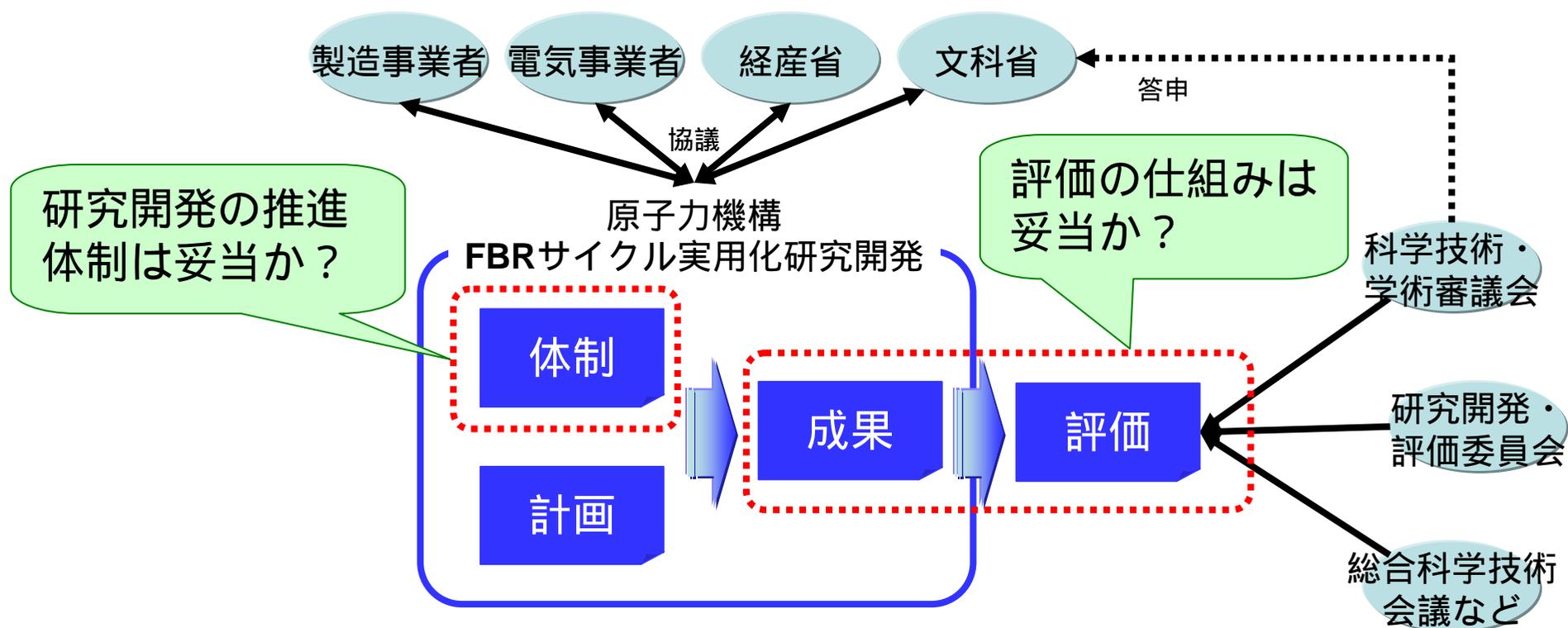
## 配管短縮のための高クロム鋼の採否判断について

課題	フェーズ までの状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
原子力用材料としての条件整備： 大口径配管：改良9Cr鋼 IHX、SG容器：改良9Cr鋼 管板・伝熱管：12Cr鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>12Cr鋼の靱性向上のための熱処理技術、添加元素による効果を把握し、伝熱管としての候補材仕様を選定。</li> <li>改良9Cr鋼の材料データ整備と溶接材は開発済。</li> </ul>	[FBR用12Cr鋼の材料強度基準整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>管板および伝熱管用12Cr鋼の化学成分仕様、ならびに12Cr鋼最適溶接施工法が提案されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>12Cr鋼材料仕様選定、強度基準の整備と溶接技術の確立</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料強度基準案が策定されること（鍛鋼品・伝熱管）。</li> <li>長時間データが整備されること。</li> </ul>
		[改良9Cr鋼の材料強度基準整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良9Cr鋼最適溶接施工法（異材継手を含む）が提案されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>改良9Cr鋼材料強度基準の整備と溶接技術の確立</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料強度基準案が策定されること。</li> <li>長時間データが整備されること。</li> </ul>
		[高温構造設計指針の整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>高Cr鋼製機器・配管の設計評価法の提示されること。</li> <li>改良9Cr鋼製配管のLBB成立性見通しが提示されること。</li> <li>大口径薄肉管、大型球形管板、大型胴ペローズ、二重管-管板溶接構造等の構造物が製作できること。また、それらの構造健全性が短時間試験により確認されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>高Cr鋼製の大型薄肉管、球形管板、胴ペローズ、管-管板溶接構造等の構造物の製作性・成立性の確認</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>提示された高Cr鋼製機器・配管の設計評価法の妥当性が、試験等により定量的に検証されること。</li> </ul>

### 3. マネージメントレビュー（大局的評価）

# JAEA マネージメントレビューの評価対象と評価項目

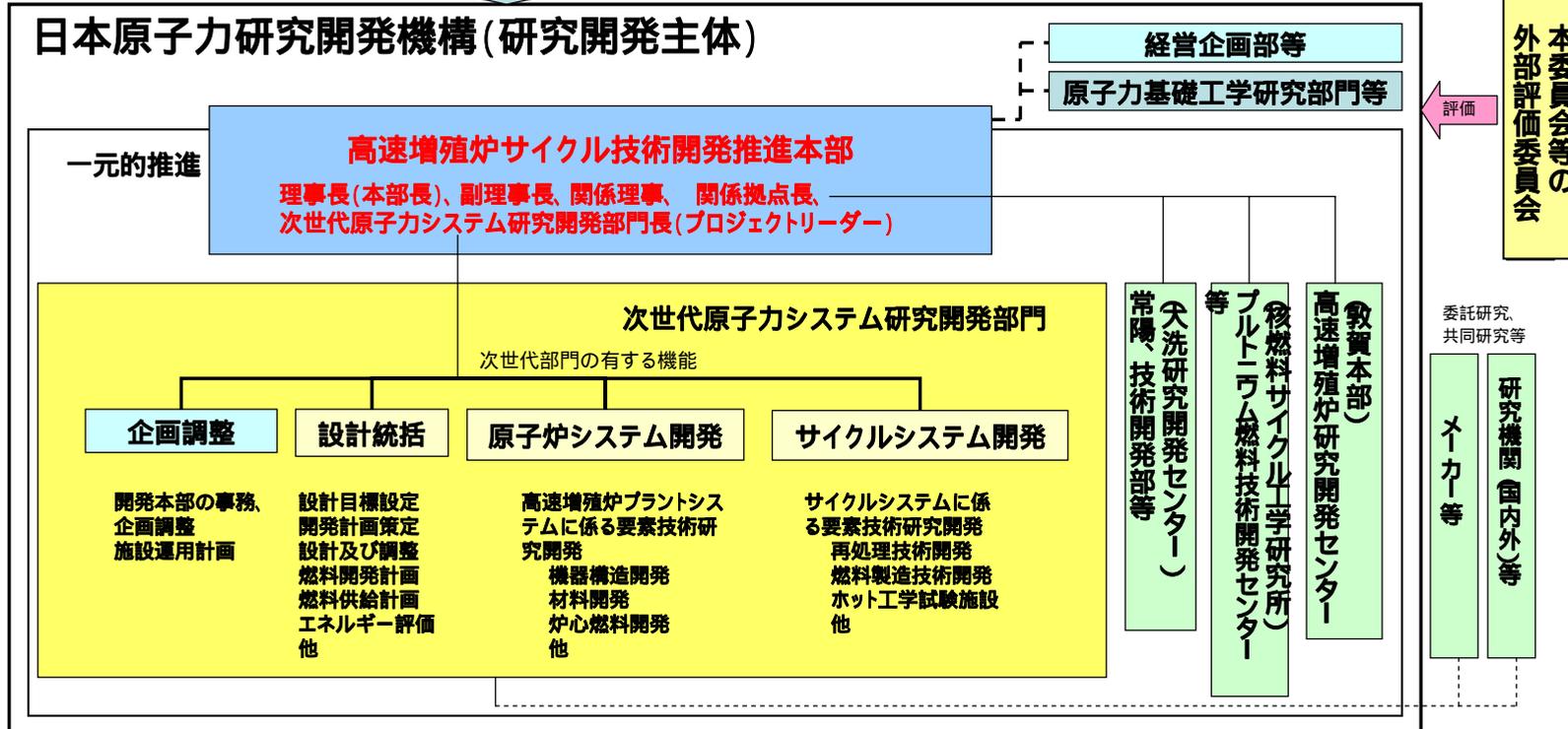
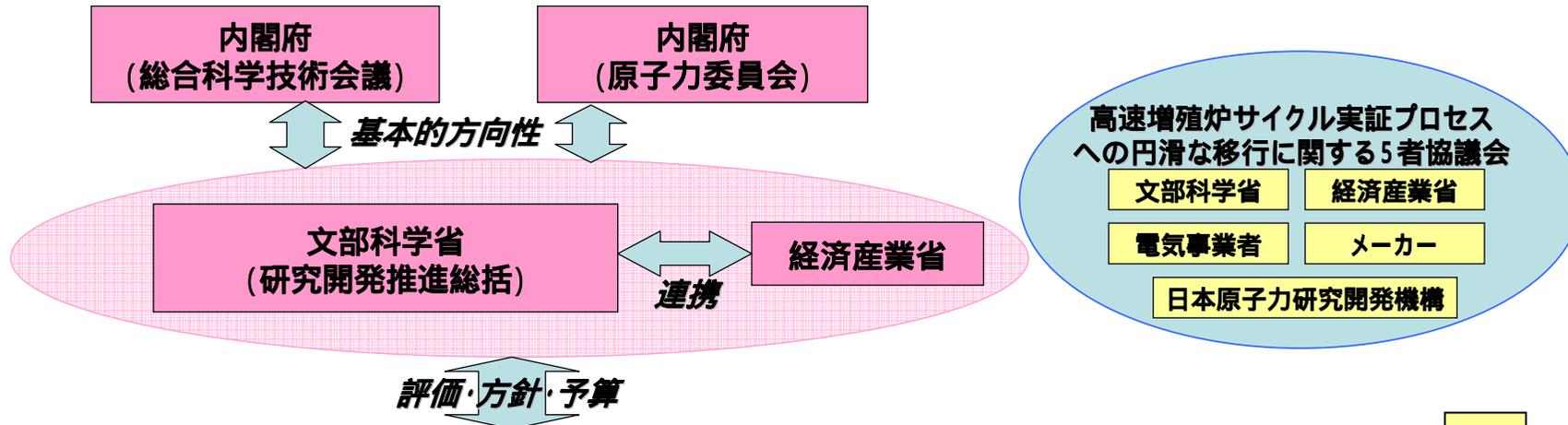
- 「FBRサイクル実用化研究開発」の推進のため、研究開発体制、研究開発の評価体制を構築した。
- マネージメントレビューでは、**研究開発体制、研究開発の評価体制や仕組み**について、主として**研究開発の推進の取組み**を評価いただく。





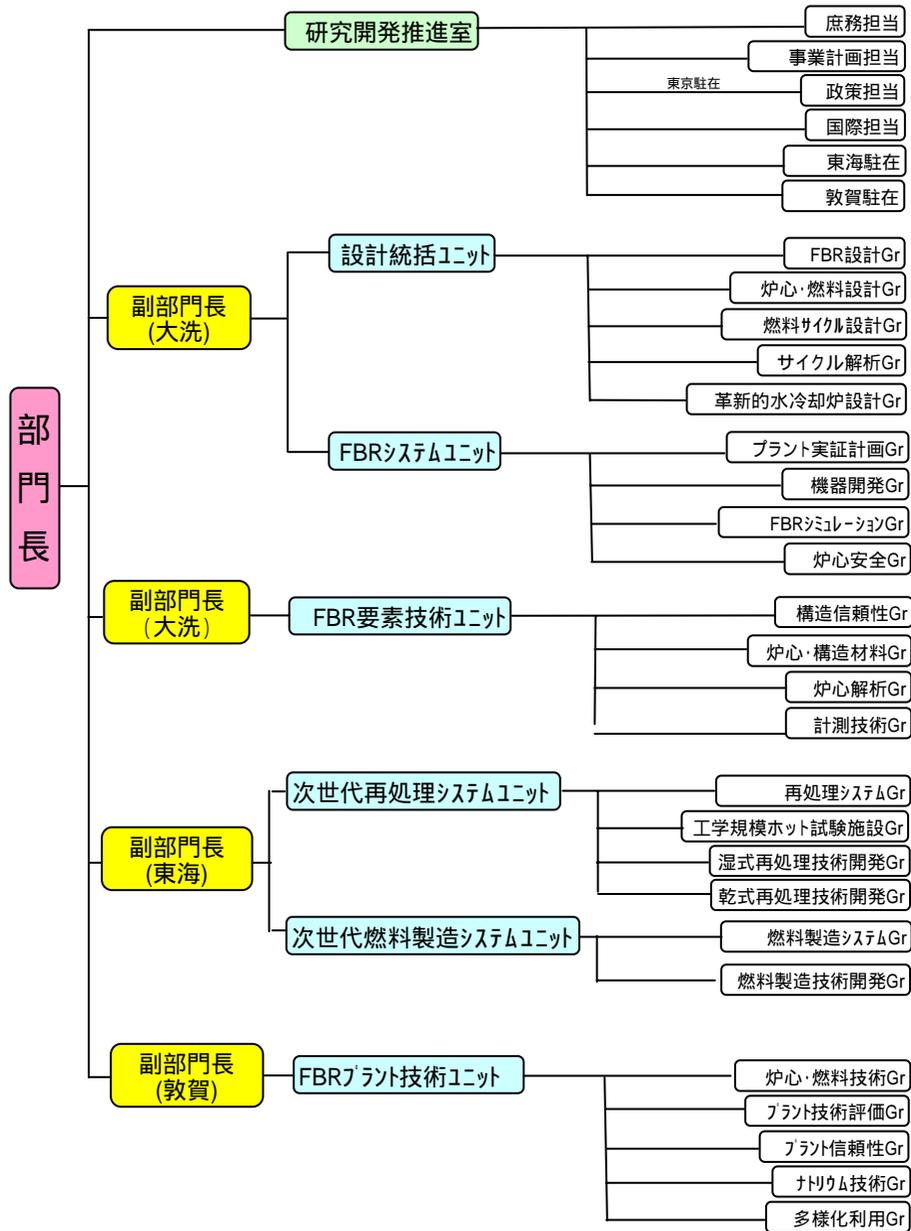
# 研究開発体制 国家基幹技術の推進

## 高速増殖炉サイクル技術(国家基幹技術)研究開発推進体制





# 研究開発体制 部門内の開発体制



プロパー職員	機構内勤務	174名
	外部出向	10名
出向職員（電力など）		13名
技術開発協力員		16名
嘱託		1名
外来研究員		2名
博士研究員		3名
請負作業員		65名
リサーチフェロー		1名
産学連携協力研究員		1名
特定課題推進員		1名
常勤職員		4名
アルバイト員		14名
人材派遣		3名
合計		308名

2006年11月13日現在



# 研究開発の評価体制 運営に係る評価

## 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

- 研究開発課題の事前・中間・事後評価
- マネジメントレビュー（大局的評価）、プロジェクトレビュー（技術的評価）

## 国際レビュー委員会

- 海外の専門家による評価結果への付加的助言

評価・助言

## FBRサイクル技術開発推進本部としての運営

### FBRサイクル技術開発推進本部会議

- 技術開発方針の決定・評価（**運営に係る事項**）
- 理事長**を本部長とする一元的体制

### プロジェクト会議

- 技術開発方針の決定・評価（**技術に係る事項**）
- 国家基幹技術「**FBRサイクル技術**」全般の検討

### 高速炉燃料開発調整会議

- 燃料開発および燃料調達に係る調整・検討

### FBRサイクル連携推進会議

- 次世代部門と他部門の効果的連携に係る検討

### 国際協力推進会議

- GenIV、GNEP等の国際協力に係る調整・検討

意見交換

## 技術検討会、専門委員会、等

- FBRシステム、燃料サイクル、FBR総合評価、燃料・材料、安全、プラント技術ほか
- 技術的な意見交換、助言を頂く場

研究開発の  
計画・実施

Action

Plan

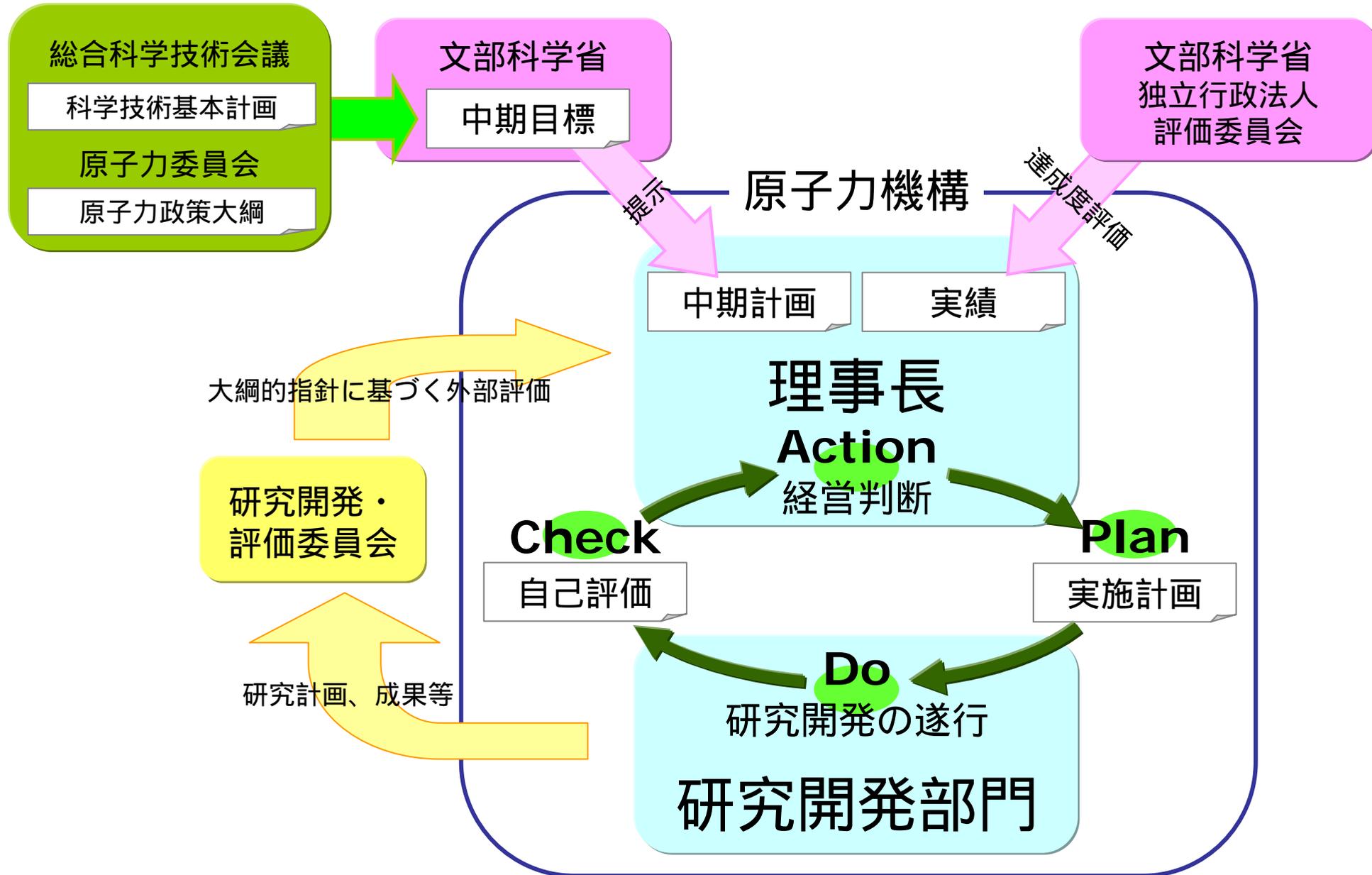
Check

Do

経営管理サイ  
クルへの反映

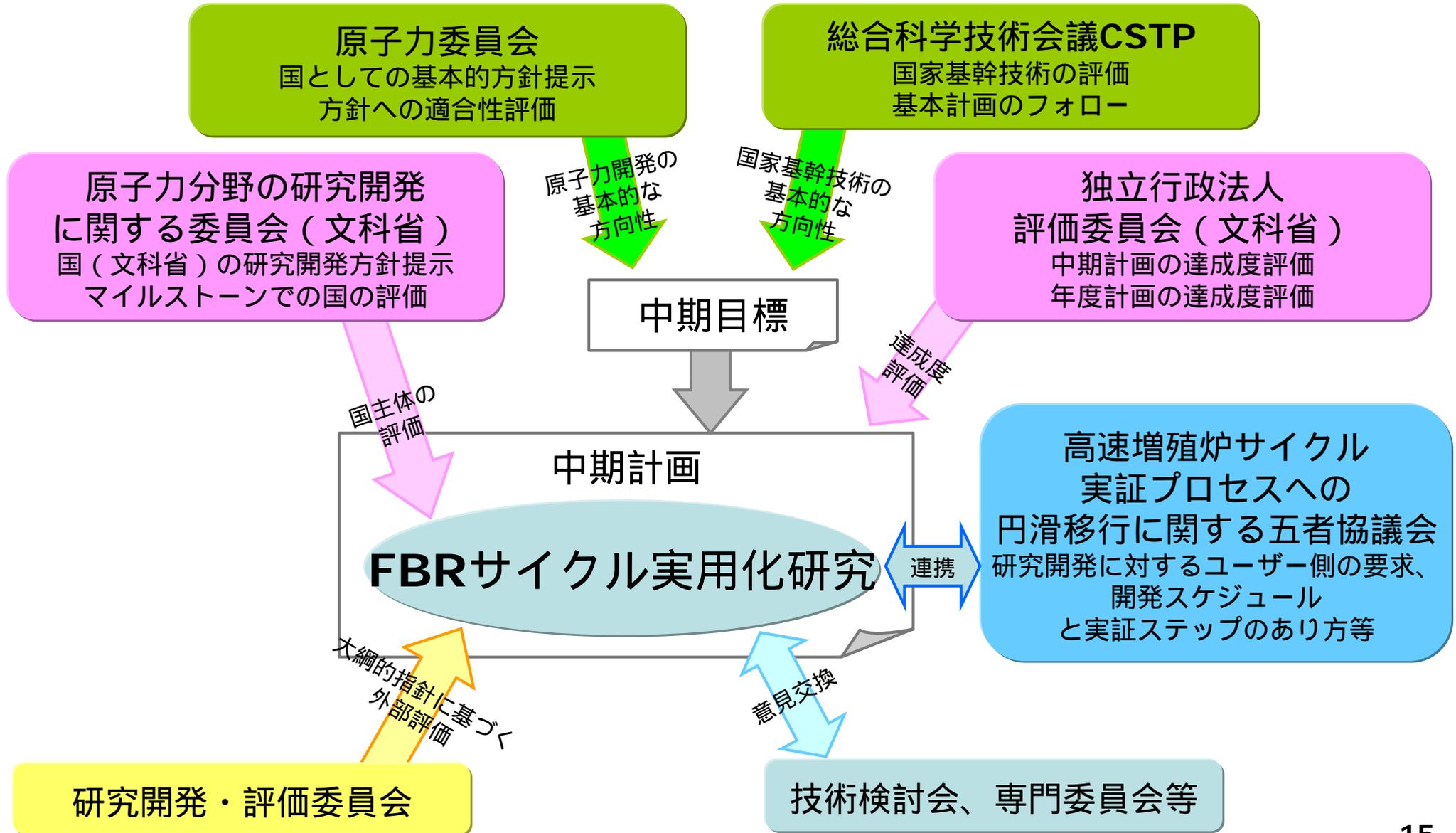


# 原子力機構の経営管理サイクル





# 研究開発の評価体制 国の評価等



## 参考資料 3 - 1

ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について

( 炉システム作業会資料 )

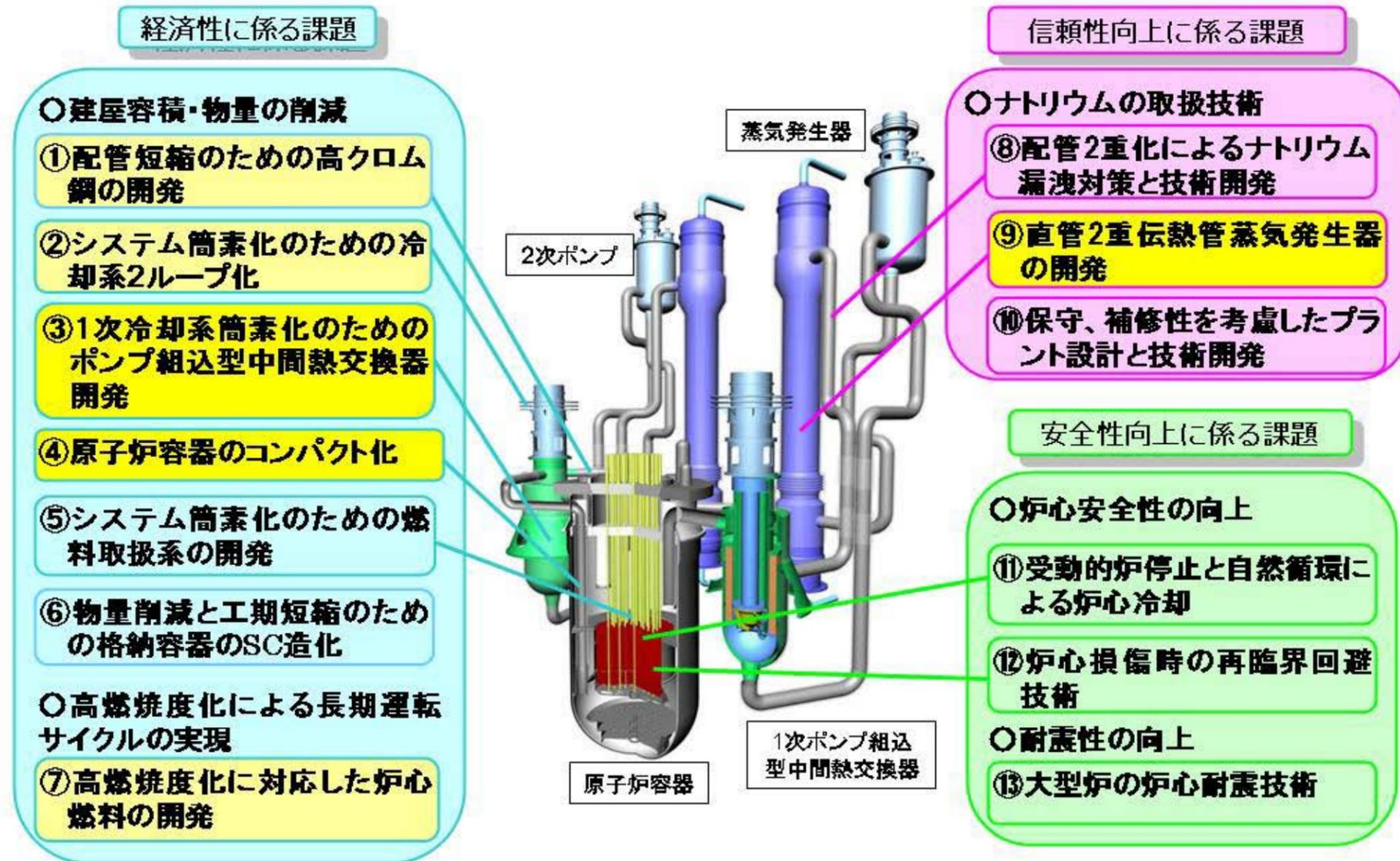
### 平成 18 年度第 1 回炉システム作業会資料

- |          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| 炉作 1-1-1 | ナトリウム冷却炉の実用化に向けた<br>開発課題について         |
| 炉作 1-1-2 | ナトリウム冷却炉の実用化に向けた<br>開発課題について ( 詳細版 ) |

平成19年1月19日

日本原子力研究開発機構

## ナトリウム冷却炉における技術開発課題



## 経済性向上のための革新技术(1)

**原子炉容器のコンパクト化**  
 →ガス巻き込み防止、水中渦の発生防止  
 →炉内熱流動の適正化と高温構造評価手法の構築によるホットベッセルの成立性  
 →ZrH遮蔽体の採用

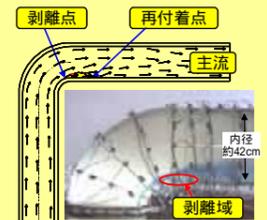
自由液面部の流況



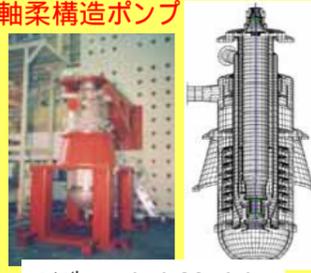
1/1.8<sup>th</sup> scaled Model

**配管短縮のための高クロム鋼**  
 →材料強度データ(溶接部含む)  
 →高温構造の設計評価手法  
 →大型構造物の製作性

**冷却系2ループ化**  
 →大口径配管の流力振動  
 →エロ - ジョン挙動



**ポンプ組込型中間熱交換器**  
 →振動伝達を制御する設計手法  
 →伝熱管磨耗特性  
 →長軸系構造ポンプ



1/4<sup>th</sup> scaled Model

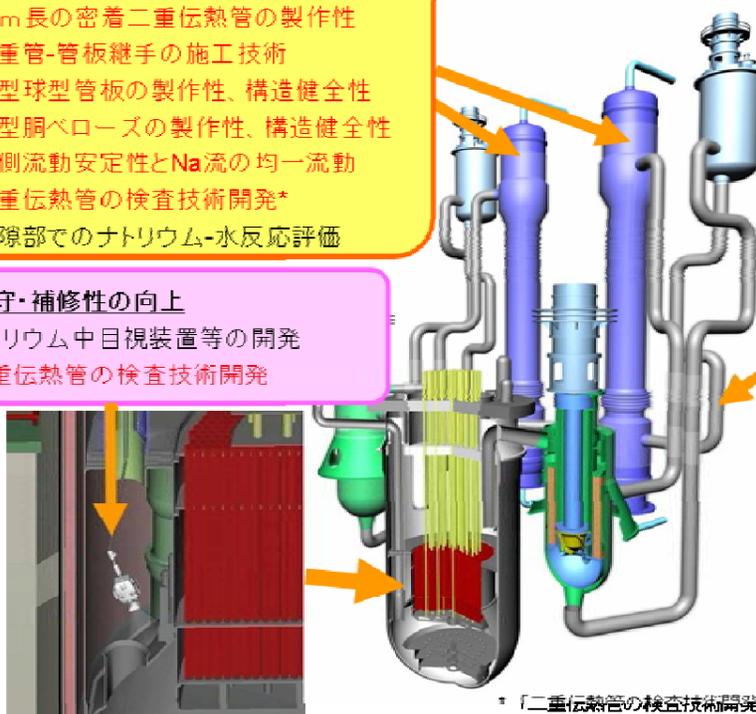
**高燃焼度化に対応した炉心燃料**  
 →ODS鋼被覆管材料  
 →低除染TRU燃料

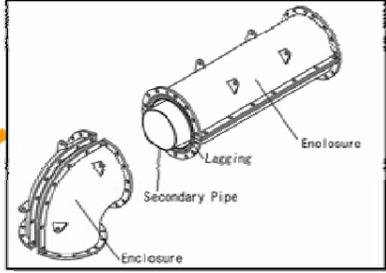
## 信頼性向上のための革新技术

**⑨直管2重伝熱管蒸気発生器の開発**  
 →30m長の密着2重伝熱管の製作性  
 →二重管-管板継手の施工技術  
 →大型球型管板の製作性、構造健全性  
 →大型胴ペローズの製作性、構造健全性  
 →水側流動安定性とNa流の均一流動  
 →二重伝熱管の検査技術開発\*  
 →間隙部でのナトリウム-水反応評価

**⑩保守・補修性の向上**  
 →ナトリウム中目視装置等の開発  
 →二重伝熱管の検査技術開発

**⑧ナトリウム漏えい対策**  
 →外管の設計、間隙部の区画化、定期検査手法など  
 →微小ナトリウム漏えい検出器の開発



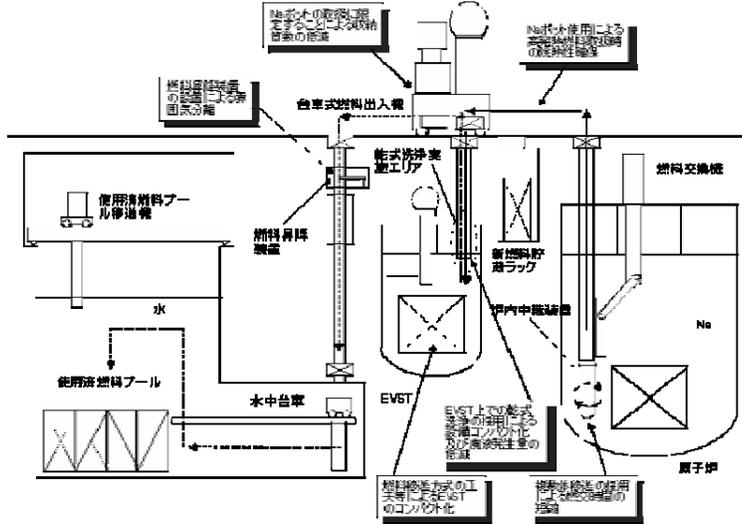


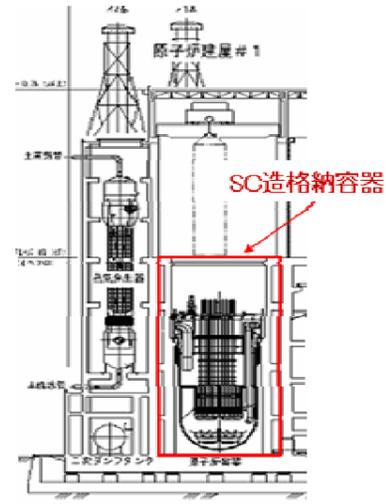
\*「二重伝熱管の検査技術開発」は「保守・補修技術開発」として実施予定。

## 経済性向上のための革新技术(2)

**⑤システム簡素化のための燃料取扱系の開発**  
 →燃料交換機の開発  
 →2体同時移送可能なNaポットの開発  
 →乾式洗浄技術の開発  
 →TRU燃料輸送キャスクの開発

**⑥物量削減と工期短縮のための格納容器SC造化**  
 →適合するSC構造の選定、開発  
 →格納容器設計基準の整備





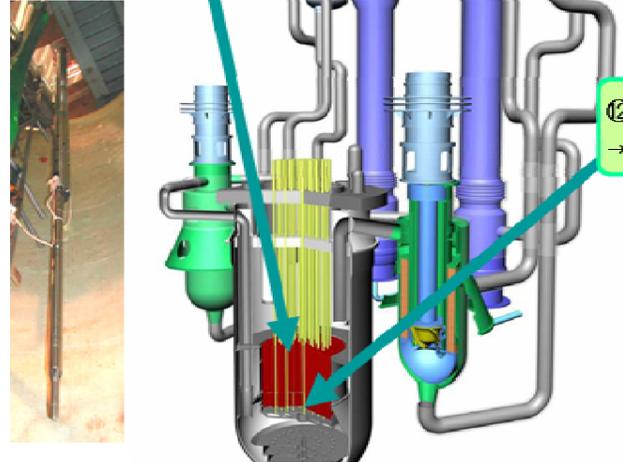
SC造格納容器

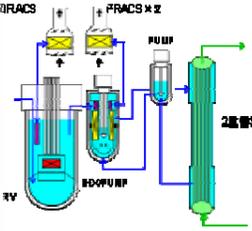
実用FBR概念

## 安全性向上のための革新技术

**①受動的炉停止と自然循環除熱**  
 →自己作動型炉停止機構(SASS)の開発  
 →自然循環による受動的崩壊熱除去システム(DHRS)の開発

「常陽」に装荷された自己作動型炉停止機構

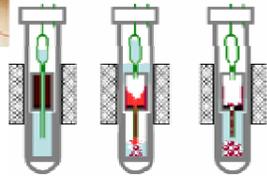




ナトリウム自然循環試験  
 DBE除熱でも自然循環冷却

**②炉心損傷事故時の再臨界回避**  
 →溶融燃料流出挙動の炉内・炉外試験による確認





IGR炉内試験(カザフスタン)

**③大型炉の炉心耐震技術**  
 →大型炉心の群振動評価技術(水平免震)  
 →将来の設計標準化を目指した3次元免震技術

ナトリウム冷却炉の研究開発課題の整理 (経済性に係る課題)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程		2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	
配管短縮のための高クロム・フェライト鋼の開発	・すべてがオーステナイト系ステンレスになった場合、建設費は約4%程度(*)増加する見込み(配管引き回しによる物量増加と建屋容積増大、等)。	・12Cr鋼は溶接材料・施工法などの開発課題があり、強度基準用データの整備が必要。 ・9Cr鋼は溶接材料、強度データはひととおり整備されているが、大型機器・配管の製作性見通しと構造設計法の整備が必要。 代替技術は、12Cr鋼に対しては9Cr鋼、9Cr鋼に対してはオーステナイト系ステンレス鋼。	12クロム鋼の材料仕様選定、材料強度データ取得、溶接施工技術の開発、等 改良9クロム鋼の材料基準整備、溶接施工技術の開発等 高クロム・フェライト鋼の構造設計評価法整備(特定構造部位の製作性と設計評価手法整備)	長時間試験(データ取得) 12クロム鋼の材料基準データ整備 長時間試験(データ取得) 改良9クロム鋼80年寿命対応データ取得 高クロム・フェライト鋼の構造設計評価法指針化 ナトリウム施設での試験	・高クロム鋼の伝熱管と管板の溶接施工法、設計評価手法が提示され構造概念成立性の技術根拠を提示できること。 ・大口径配管と管・管板溶接構造の構造健全性を確保できる技術根拠を提示できること。 ・材料強度基準案、高温構造設計方針の整備は2015年までに完了予定。12万時間程度の長時間データ収集は、2020年頃まで継続する。
システム簡素化のための冷却系2ループ化(流体力学関連)	・2ループを維持できる範囲での配管板厚や口径の増大による影響は少ない。 ・4ループとなった場合、建設費が約10%程度(*)増加する見込み。	・2ループシステムの安全性は、安全解析で成立する見通し。 ・大口径配管の流体力学はホットレグ単エルボの実機条件(Re=4x10 <sup>7</sup> )に対しRe=8x10 <sup>6</sup> オーダまで安定性を確認。 ・大口径配管の製作性は で実施。 代替技術は、2ループを維持しつつ配管板厚や口径を増加させる方法、出力増加に対応してループ数を増加させる方法がある。	流体力学試験(機器要素・水流通試験) 超音波流量計の開発	より大きい応答条件での流体力学試験(機器要素・水流通試験) Na流による優良試験(基礎データ取得) ナトリウム施設での試験	・実機で想定される流体力学に対する構造健全性を確保できる技術根拠を提示できること。 ・安全保護系として超音波流量計の実機適用性が見込めること。 ・エロージョン特性は、既往知見で成立性を見込めると考えるが、2015年までには許認可データ用に取得予定。
1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発	・分離配置になった場合、建設費が約3%程度(*)増加する見込み。(NSSS物量では約7%増加し、これによる格納容器、建屋、補機類の影響評価が必要)	・機械式ポンプ組込 IHX に固有な技術(振動伝達の制御技術、長軸・柔構造ポンプの安定性)について、今後の試験研究と解析手法整備に期待。 代替技術は、「分散配置した機械式ポンプ」と「電磁ポンプ組込 IHX」であり、これらの概念検討、経済性への影響評価が必要。	水中振動伝達試験(機器要素試験) 伝熱管磨耗試験(水中、Na中)(基礎データ取得) 長軸ポンプの軸安定性試験(水中、Na中; 機器要素試験)	ナトリウム施設での試験	・長軸・柔構造ポンプの設計評価手法が整備でき、伝熱管への振動伝達を抑制できる設計概念を構築できること。 ・伝熱管の摩耗量評価法を確立し、同健全性を見込めること。 ・長軸ポンプの軸安定性確保の見通しをつけられること。
原子炉容器のコンパクト化	・過去の実証炉設計となると、建設費は約7%程度(*)増加する見込み。	・切込み入りUISと高流速に伴う炉内流動適正化及びホットベッセルを成立させる高温構造設計技術の整備状況に基づいた成立性評価が必要。 代替技術は、過去の実証炉設計で採用された炉容器板厚50mm、炉壁冷却設備あり、二重回転プラグ。	ガス巻き込み対策試験(機器要素試験) 液中渦対策試験(機器要素試験) 過渡時の温度成層化試験(水中、Na)と評価技術の検証(機器要素試験) 炉心上部でのサーマルストライピング評価試験(水中、Na; 機器要素試験) 高温構造設計評価技術の開発(基礎データ取得、評価手法整備) ZrH 適合性体製造試験(機器要素試験) 破損燃料位置検出系の開発(機器要素試験)	炉内流量配分試験、下部プレナム流動試験、等(機器要素試験) 高温構造設計方針案の策定、適用性確認試験(機器要素試験) ZrH 適合性体照射試験(機器要素試験) ナトリウム施設での試験(回転プラグシール試験)	・ガス巻き込み及び水中渦発生防止対策と実機での有効性見通しを提示できること。 ・炉心上部機構切込部での温度成層化を考慮した構造健全性見通しを提示できること。 ・ホットベッセル概念を成立させられる高温構造設計評価手法と技術根拠を提示できること。
システム簡素化のための燃料取扱系の開発	・原子炉容器の設計変更による建設費増加に含まれる。	・設計変更で対応可能	新型燃料交換機の開発(機器要素試験) 燃料移送ボットの開発(機器要素試験) 乾式洗浄技術の開発(機器要素試験) TRU燃料輸送キャスクの開発(概念検討)	Na中要素試験(機器要素試験) ナトリウム施設での試験(燃料交換機試験) Naボット内自然除熱機能試験(機器要素試験) 大型集合体ガス中落下試験(機器要素試験) 燃料水浸漬試験、ODS鋼水中腐食試験(機器要素試験) 模擬キャスクの除熱試験(機器要素試験)	・実用炉に求められる燃料交換機の基本仕様を確度を持って提示できること。 ・燃料移送設備の事故時の除熱性能が試験・解析により見通せること。 ・ガスによる乾式洗浄によるNa除去能力、蒸気による不活性化が試験により確認できること。 ・輸送条件を満たすキャスクの設計成立性が提示できること。
物量削減と工期短縮のための格納容器のSC化	・従来工法では建設工期が長びき建中利子の増加と、鋼製格納容器およびRC造原子炉建屋によるプラント物量増加が見込まれる。	・SC造自身は建設実績があるため、実現できる範囲でNa炉の設計要求に適合する概念を構築する。	部材特性試験、特定部位試験(基礎データ取得) 解析手法整備	全体特性把握試験(機器要素試験) 実機適用性評価 SC造格納容器の設計基準整備	・格納容器に適用可能なSC造の基本構造を提示できること。 ・SC造格納容器の設計評価手法、概念成立性の技術根拠如を提示できること。
高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	・最高燃焼度が150GWd/t(炉心平均で90GWd/t程度、ブランケットを含む燃焼度は約70GWd/t程度)に留まった場合、燃料製造と再処理費用は0.6円/KWhと、目標燃焼度の場合に比べ60%程度増加する見込み。(目標最高燃焼度250GWd/tの場合は、炉心平均で150GWd/t程度、ブランケットを含む平均燃焼度は110GWd/tで、その時の燃料製造、再処理費用は0.36円/kWh)	・ロシアBOR-60で高燃焼度要ODS被覆管燃料ピンを照射中。目標燃焼度の250GWd/tに対し50GWd/tを達成。2010年には目標燃焼度の60%である150GWd/tまで到達する見込み。目標燃焼度は、「常陽」にて2015年に達成の予定。代替材には、既往材として温度条件は同一だが炉心平均燃焼度が90GWd/t程度に低下するPNC-1520、米国で類似被覆管の開発実績があり、目標燃焼度を達成可能だが、炉心出口温度を20 程度低下させる必要のあるPNC-FMS鋼などがある。	「BOR-60」「常陽」での燃料ピン照射試験、「常陽」での材料照射試験(基礎データ取得) 「常陽」での集合体照射試験(基礎データ取得) 炉外・炉内過渡試験(基礎データ取得) 「常陽」でのTRU燃料ピン等の照射試験(基礎データ取得) 「常陽」での低線量TRU燃料ピン等の照射試験(基礎データ取得) 内部ダクト付集合体の開発試験(基礎データ取得) 「もんじゅ」での集合体照射試験(機器要素試験) 「常陽」での内部ダクト付集合体の照射試験(基礎データ取得)	・BOR-60で150GWd/tまで照射されたODS被覆管の内面腐食深さが、従来のオーステナイト鋼被覆管と同等であること。 ・照射量に対しては、照射特性が類似なフェライト系鋼(HT-9)で、目標照射量の80%まで到達した実績があることから、2010年以降も照射を継続して確認する。	

(\*):ここで記載した数値は、代替技術を採用した設計の物量に基づいた評価結果ではなく、実用化戦略調査研究や電力実証炉の設計研究での経験に基づき推定したものである。

ナトリウム冷却炉の研究開発課題の整理 (信頼性向上に係る課題)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程		2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	
配管二重化によるナトリウム漏洩対策	・配管二重化は技術的には開発済。 ・Na漏洩検出器の感度低下に対応したサンプリング管の増加が必要となるが、建設費や稼働率への影響は小さい見込み。	・配管二重化及び間隙区画化は設計変更で対応可能。 ・レーザー方式の検出器の基本性能は確認されている。 漏洩検出器の代替技術は、ナトリウムイオン化検出器。		二重配管の検査技術・補修法の開発 検出器の開発 (機器要素試験) 性能確認・実証試験 (機器要素試験) ナトリウム施設での試験 (漏えい検出器の試験)	・配管のLBB成立性を見込める漏洩検出器が提示できること。 (2重配管の保守・補修性については、設計研究の中で確認する。)
直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	・伝熱管を単管とした場合、プラント寿命中に水漏洩事故が発生する可能性が残る。漏洩事故を想定すれば、復旧までに数ヶ月から1年程度は運転できない可能性があり、プラント稼働率を低下させる可能性がある。	・2重伝熱管等の製作性、外管の検査技術、大型管板、胴ペロース、水流動安定性など課題が多い。 ・技術開発と並行し、長さ35mの2重管を大量生産する鉄鋼工場、38m長の大型SG製作工場が必要となる。 代替技術は、伝熱管を単管としたヘリカル型あるいは直管蒸気発生器が考えられる。(直管を採用した場合には大型SG製作工場が必要となる)	2重伝熱管製作技術開発 (機器要素試験) 管-管板継手技術開発 (機器要素試験) 大型球形管板の開発 (機器要素試験) 大型胴ペロースの開発 (機器要素試験) 二重管検査技術 (機器要素試験) Na-水反応試験 (機器要素試験) 流動評価手法の整備 (機器要素試験)	評価法検証試験 評価法検証試験 評価法検証試験 評価法検証試験 検査速度の高速化技術開発 (機器要素試験) Na-水反応解析評価手法整備 (機器要素試験) ナトリウム施設での試験	・長尺(35m)、密着2重管が製作でき、所定の面圧、ギャップ幅が確保できる見通しが提示できること。 ・管-管板継手、大型球形管板、胴ペロースの製作性、構造健全性が見通せること。 ・密着2重管・外管での減肉が検知できる検査手法の実用化見通しが提示できること。 ・長尺直管の流動安定性を確保できる試験データと解析手法の整備。 ・2重管界面部で想定されるナトリウム-水反応の影響評価手法の整備見通しが提示できること。
保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発	・ナトリウム中可視化技術は開発されないと、炉内構造物等の検査手段がなくなり、実用炉としての信頼性確保に支障がでる。 ・二重管蒸気発生器の伝熱管検査技術は、同概念の成立性に必須であり、これが開発されない場合には、伝熱管からの水漏洩を早期検出可能な単管伝熱管蒸気発生器の開発が必要となる。	・ナトリウム中可視化技術は、要求される検出精度は概ね得られおり、センサの搬送技術と画像処理技術がポイントであるが、実用化までに時間余裕があり、開発見通しはある。 ・伝熱管の検査技術は、既存の手法(ECTやUT)以外の方法も含め、今後幅広く検討していく必要がある。 伝熱管検査技術の代替技術については、検出系を強化した単管SG。	Na中可視化センサの開発 (機器要素試験) Na中体種検査センサの開発 (機器要素試験) Na中可視化センサ搬送装置の開発 (機器要素試験) Na中補修技術の開発 (機器要素試験)	Na中検査装置実証試験 (機器要素試験) Na中補修装置実証試験 (機器要素試験) ナトリウム施設での試験 (検査機器の試験)	・ナトリウム中可視化装置の解像度、処理時間等の実用化目標を達成できる見通しを提示できること。 ・同装置を原子炉炉器中で、所定の位置に移動及び停止できる搬送装置の実現見通しを提示できること。

ナトリウム冷却炉の開発課題 (安全性向上に係る課題)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程		2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	
受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却	・受動的炉停止機構SASSは開発済であり採用可能。 ・強制循環機能を持たせるためには、非常用電源の容量増加、ポンプ、プロアの追設が必要になる。	・SASS、自然循環ともこれまでの開発実績により採用可能な見通しあり。	「常備」でのSASS要素試験体照射試験 (機器要素試験) 自然循環水流動試験 (機器要素試験) 自然循環Na流動試験 (機器要素試験)	実機仕様SASS機能確認試験：應知安全変更の場合 (機器要素試験) 原子炉停止系モックアップ試験体製作 (機器要素試験) 水中試験 (機器要素試験) ナトリウム施設での試験 「もんじゅ」での自然循環特性試験	・SASS構成材料の照射影響を含む特性データの整備と、概念成立性を示す技術根拠を提示できること。 ・自然循環評価手法を整備し、水流動試験およびNa流動試験データによる検証結果を提示できること。
炉心損傷時の再臨界回避技術	・確率的な安全性評価等の結果を設計に反映して格納系を強化すること(原子炉容器の板厚増加、格納容器の大型化など)が必要になる。	・これまでに実施された試験研究、解析評価に基づく、再臨界回避のための内部ダクト付き集合体の有効性確認、原子炉容器内での損傷炉心の保持冷却を達成できる見通しを得ている。	I GRでの溶融燃料排出挙動試験 (要素試験) 試験技術開発 (要素試験) PSA手法整備 (基礎データ取得) 地震および停止時リスク評価	燃料デブリ安定冷却試験 (要素試験) 概念設計に対するPSA評価	・内部ダクト付き燃料集合体(S-FAIDUS)の溶融燃料の流出促進機能を確認できる試験データと実機適用性評価に必要な解析コードの整備結果の提示。 ・流出した溶融燃料が原子炉容器内で自然循環冷却され、安定に保持されることを解析により提示できること。
大型炉の炉心耐震技術	・水平免震条件での大型炉心の耐震技術が開発されなかった場合には、炉心支持構造や炉容器の板厚を増加させて剛性を高める必要がある。	・大型炉心の群振動挙動性に対する合理的な評価手法の開発は、モデル試験と解析の組み合わせで実現可能な見通し。 ・設計対応により対応可能な見通し。	炉心耐震評価技術の整備 (機器要素試験) 3次元免震要素開発 (機器要素試験) 3次元免震設計方針案の策定 (機器要素試験)	炉容器の耐震性評価 (機器要素試験) 大型振動台での主要機器の検証試験 (機器要素試験)	・大型炉心での燃料集合体の群振動挙動の評価手法を整備し、水平免震条件で炉心安全に影響を及ぼさない見通しを提示できること。

ナトリウム冷却炉の研究開発課題の整理（設計研究）

研究開発課題	実施内容	代替技術、大型試験との関連	概略工程														
			2010年度						2015年度								
<b>「実用炉の概念設計」</b> ・概念設計研究と革新技術の採否判断  ・概念の最適化と実用化に向けた研究開発計画	【2010年度までの概念設計】 ・実用炉の概念設計として、経済性の更なる向上方策と保守・補修性を考慮して、炉心燃料設計、機器設計、構造設計、システム設計、安全設計、プラント設計を実施し、実用炉概念の技術的成立性を見極める。 ・革新技術に対する研究成果を実用炉の設計に反映し、その技術的実現性を評価するとともに、不確かさのある革新技術については代替技術を用いた実用炉設計の結果と比較検討し、革新技術の採否を判断する。  【2011～2015年度概念最適化】 ・2010年の革新技術の採否を反映した実用炉の概念設計を、要素技術開発の成果を反映して進め、実用炉概念の最適化とその成立根拠となるデータ類（炉心性能評価、構造健全性評価、安全評価、経済性評価等）を整備・提示する。 ・設置許可申請書の添付書類八及び十に相当する安全設計及び安全評価書類を作成できる技術レベルを達成する。 ・2050年の実用化に至るための研究開発計画を提示する。	・13の革新技術のうち、ポンプ組込型中間熱交換器、原子炉容器のコンパクト化、直管2重伝熱管蒸気発生器については、代替技術の概念検討を早期に開始し、2010年の採否判断を的確に行えるようにする必要がある。															
<b>「実証炉の概念設計」</b> ・予備的概念検討  ・概念設計	【2010年度までの予備的概念検討】 ・革新技術の実証試験方法を検討し、これに基づき、実証炉のプラント主要目（規模、採用する技術、等）を選定する。 ・具体的には、要素技術開発の成果を順次反映して、設計を詰めていく。  【2011～2015年度概念設計】 ・革新技術の採否を反映し、次期炉として建設を行う実証炉の概念設計を行う。 ・2015年までには、実証炉の設置許可申請書・添付書類八及び十に相当する安全設計及び安全評価書類を作成する。	・2010年までの予備的概念検討では、実証炉の前に実施する大型試験（ナトリウム及び水流動試験）の規模と、実証炉規模との関係を明確にする必要がある。															

# ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について (詳細版)

平成19年1月19日

JAEA

# 目次

配管短縮のための高クロム鋼の開発	3
システム簡素化のための冷却系2ループ化	9
1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発	15
原子炉容器のコンパクト化	21
システム簡素化のための燃料取扱系の開発	29
物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化	35
高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発	40
配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発	45
直管2重伝熱管蒸気発生器の開発	50
保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発	57
受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却	63
炉心損傷時の再臨界回避技術	69
大型炉の炉心耐震技術	75

# 配管短縮のための高クロム鋼の開発

## 配管短縮のための高クロム鋼の開発（概要）

### 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、冷却系配管にステンレス鋼（SUS304，延性に富むが熱膨張大）を使用。熱膨張応力の低減のために、エルボ（曲がり管）を多用した配管引回しが必要となり，原子炉建物の容積増大による建設コストの増加要因となっている。

### 技術開発の概要

実用炉では、冷却系配管等にステンレス鋼に比べ熱膨張率が低く，かつ高強度である高クロム構造材（12Cr鋼もしくは改良9Cr鋼）を使用して配管の短縮化を図り、建設・保守コストの低減を図る設計としている。なお、両材料は、火力発電所等では既に使用実績がある。

そのために、FBR用12Cr鋼あるいは改良9Cr鋼の高温における材料強度基準を整備するとともに、最適な溶接施工技術を確立する。また、高クロム鋼の材料特性を十分に考慮したうえで、高温構造設計指針の整備を図る。

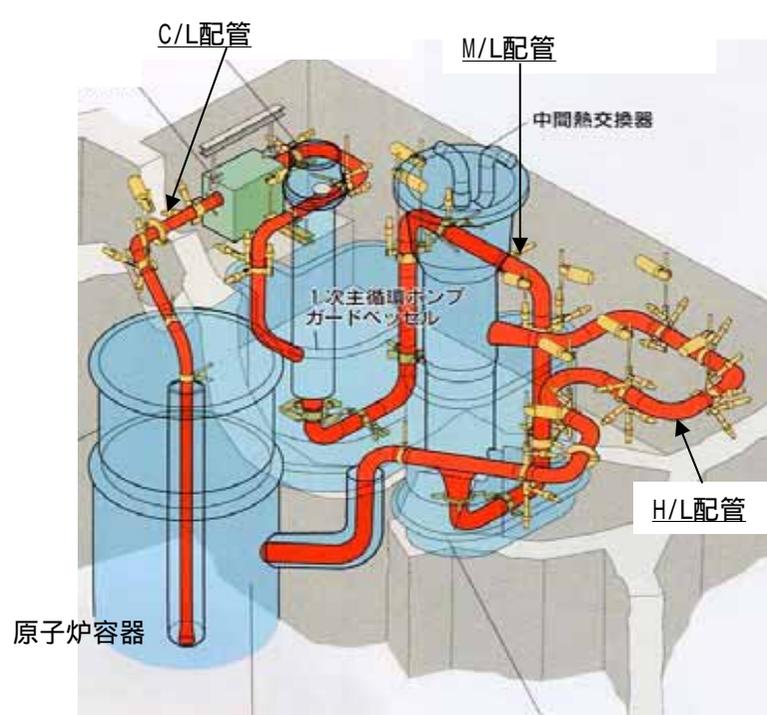
高クロム鋼製の各種構造要素（大型管板、大口径配管、等）の製作性および長時間健全性を試験により確認する。

### 今後の課題

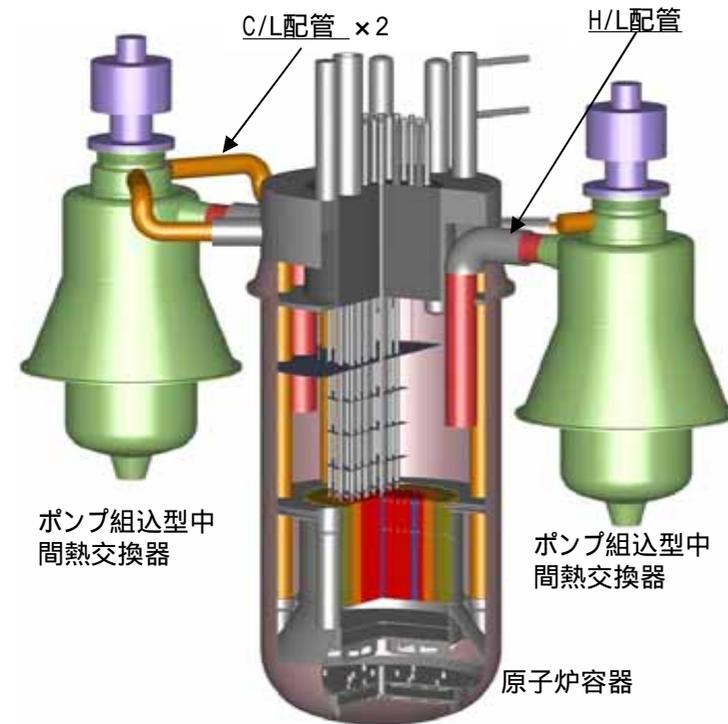
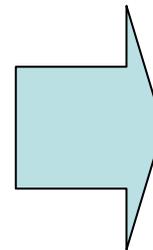
現在までに、基本的な材料開発と適用性判断は完了。

今後、配管材・鍛造材・伝熱管の製品形状ごとに、それぞれの適用部位における最高使用温度を含む温度領域における長時間強度データ（5万時間以上）を蓄積して、材料強度基準を整備するとともに、構造物試験によって検証された高温構造設計指針の整備を図る。

# 配管短縮のための高クロム鋼の開発 (効果)



原型炉もんじゅ



実用FBR

1次系配管設計「もんじゅ」との比較

		口径	配管長/ループ	総配管長
実用FBR 配管材料:高Cr鋼 ループ数:2ループ	HL配管(550 )、1エルボ	127 cm	13.4m	135 m
	CL配管	86 cm	26.9m	
「もんじゅ」 配管材料:SUS304 ループ数:3ループ	HL配管(529 )、8エルボ	81 cm	39m	336 m
	CL配管	61 cm	41m	
	ミドルレグ配管	81 cm	32m	

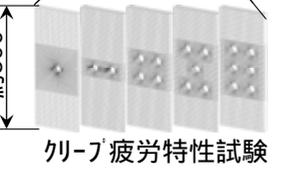
フェーズ 報告書炉技術検討書p607に記載あり

# 配管短縮のための高クロム鋼の開発（工程）

分類	2010	2015	開発内容
<b>FBR用12Cr鋼の材料強度基準整備</b> ●12Cr鋼の仕様選定と材料強度基準整備 ●最適溶接施工技術試験	試作材製作 / 改良仕様検討 仕様検討のための材料試験	材料強度基準策定のための長時間試験*	 <p>クリープ試験装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●高温強度と靱性を併せ持つ材料の開発・試験</li> <li>●試作材に続き商用材(商業生産用設備で製作)を製作し、長時間クリープ試験(5万時間)、クリープ疲労試験等を実施</li> <li>●種々の条件で製作した溶接継手(異材溶接継手を含む)に対する試験を行い、その結果に基づき、溶接材料、溶接方法、熱処理条件等の最適化を図る</li> </ul>
	試作溶接継手製作 / 施工法改良検討 最適溶接施工法開発のための試験	継手強度検証のための長時間試験*	
	試作溶接継手製作	継手強度検証・強度評価法開発のための長時間試験*	
	●12Cr鋼-9Cr鋼異材溶接施工技術試験		
<b>改良9Cr鋼の材料強度基準整備</b> ●改良9Cr鋼の材料強度基準整備 ●最適溶接施工技術の開発 ●9Cr鋼-ステンレス鋼異材溶接施工技術の開発	材料強度基準策定のための長時間試験* 試作溶接継手製作	継手強度検証のための長時間試験およびトリウム環境効果試験* 試作継手製作	 <p>クリープ疲労試験装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●試験研究により精度の高い溶接継手クリープ疲労強度及び寿命評価モデルを構築、その妥当性を検証する</li> </ul>

\* : 2015年以降の試験では長時間のデータを拡充する。

# 配管短縮のための高クロム鋼の開発（工程）

分類	2010	2015	開発内容
<b>高温構造設計指針の整備</b> ・クリープ疲労評価法の検討 ・ <b>特定構造部位の製作性とクリープ疲労評価法の検討</b> ・ラチェット評価法の検討 ・管の設計評価法の検討	クリープ疲労特性確認試験 長時間保持クリープ疲労試験* 球形管板製作 / 製作性・強度確認試験 管-管板溶接試作 管-管板溶接強度試験 銅ハローズ試作 銅ハローズ強度試験	評価法の妥当性検証試験 / 手法改良検討 球形管板評価法検証試験 管-管板溶接評価法検証試験 ハローズ評価法検証試験	 <ul style="list-style-type: none"> <li>高クロム鋼の材料特性を十分に考慮したうえで、高温構造設計指針の整備を図る。</li> <li>蒸気発生器用球形管板の製作性を確認し、強度評価法を提示する。</li> <li>管-管板溶接方法の最適化を図るとともに、強度評価法を提示する。</li> </ul>  <p>約φ500 クリープ疲労特性試験</p>  <p>構造物試験装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>試験研究により、高クロム鋼構造物のラチェット疲労、ラチェットクリープ疲労評価法を提示する。</li> <li>薄肉大口径配管の製作性を確認し、強度評価法を提示する。</li> </ul>  <p>熱クリープ疲労試験装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高クロム鋼配管溶接部の漏えい先行型破損（LBB）成立性評価法を確立する。</li> <li>伝熱管の強度評価法を提示する。</li> </ul>
	ラチェット疲労 / ラチェットクリープ疲労試験 試験装置の整備 薄肉大口径管製作 製作性・強度確認試験	評価法の妥当性検証試験 / 手法改良検討 クリープ疲労強度評価法検証のための試験	
	配管溶接部LBB成立性評価法開発 伝熱管製作	評価法適用性検証試験 評価法検証のための試験	

\* : 2015年以降の試験では長時間のデータを拡充する。

## 配管短縮のための高クロム鋼の開発（クライテリア）

課 題	フェーズ までの状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
原子力用材料としての条件整備： 大口径配管：改良9Cr鋼 IHX、SG容器：改良9Cr鋼 管板・伝熱管：12Cr鋼	<ul style="list-style-type: none"> <li>12Cr鋼の靱性向上のための熱処理技術、添加元素による効果を把握し、伝熱管としての候補材仕様を選定。</li> <li>改良9Cr鋼の材料データ整備と溶接材は開発済。</li> </ul>	[FBR用12Cr鋼の材料強度基準整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>管板および伝熱管用12Cr鋼の化学成分仕様、ならびに12Cr鋼最適溶接施工法が提案されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>12Cr鋼材料仕様選定、強度基準の整備と溶接技術の確立</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料強度基準案が策定されること(鍛鋼品・伝熱管)。</li> <li>長時間データが整備されること。</li> </ul>
		[改良9Cr鋼の材料強度基準整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良9Cr鋼最適溶接施工法(異材継手を含む)が提案されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>改良9Cr鋼材料強度基準の整備と溶接技術の確立</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料強度基準案が策定されること。</li> <li>長時間データが整備されること。</li> </ul>
		[高温構造設計指針の整備]	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>高Cr鋼製機器・配管の設計評価法が提示されること。</li> <li>改良9Cr鋼製配管のLBB成立性見通しが提示されること。</li> <li>大口径薄肉管、大型球形管板、大型胴ペローズ、二重管-管板溶接構造等の構造物が製作できること。また、それらの構造健全性が短時間試験により確認されること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>高Cr鋼製機器・配管の設計評価法の整備</li> <li>高Cr鋼製の大口徑薄肉管、球形管板、胴ペローズ、管-管板溶接構造等の構造物の製作性・成立性の確認</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>提示された高Cr鋼製機器・配管の設計評価法の妥当性が、試験等により定量的に検証されること。</li> </ul>

プラント寿命を60年(50万時間)としていくためには、材料強度基準整備のための長時間クリープ試験等を継続し、10万時間以上の試験データを取得していくことが必要である。2015年以降も継続していくことで、2020年までに12万時間を達成可能な見通し。

# システム簡素化のための冷却系2ループ化

# システム簡素化のための冷却系2ループ化（概要）

## 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、電気出力28万kWで冷却系が3ループあり、これが冷却系配管の物量及び機器量の増大、建屋容積の拡大を招いている。

## 技術開発の必要性

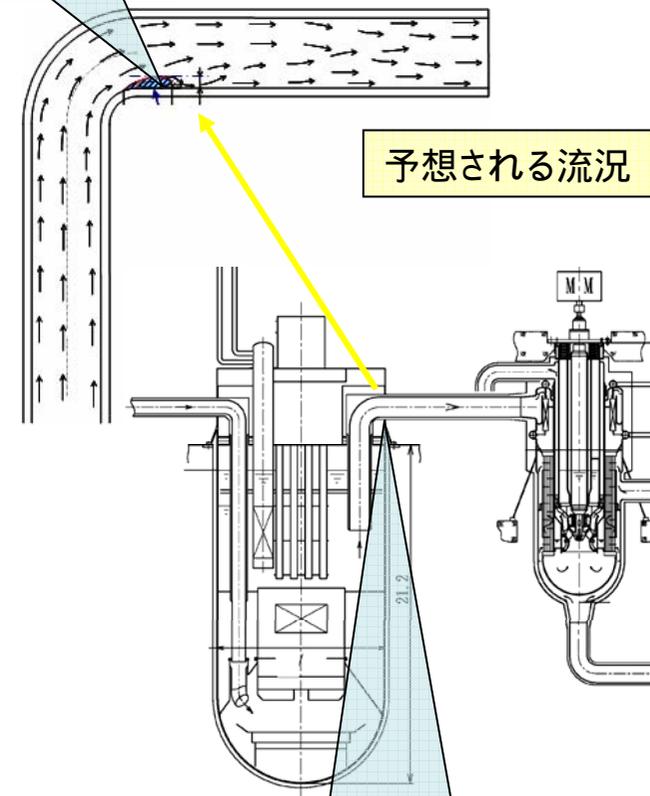
実用炉においては、電気出力150万kWで冷却系を2ループとし、ループ毎の機器を大型化することにより、システムを簡素化し、建設・保守コスト低減を図る。

2ループ化に伴い、配管が大口径化し、冷却材流速も大きくなるが、これにより配管系の破損につながる振動や材料損耗が発生しないことを、試験と解析による確認が必要。

また、大口径の磁性材配管に貫通部を設けることなく流量測定できる技術が必要。（電磁流量計が使用できない）

剥離域  
(振動発生源)

予想される流況



・直径1.2mの大口径配管  
・流速9.2m/sの高流速  
エルボでの乱れによる振動

## 開発課題

流力振動評価手法の確立

ナトリウム中エロージョン特性評価

超音波流量計の開発

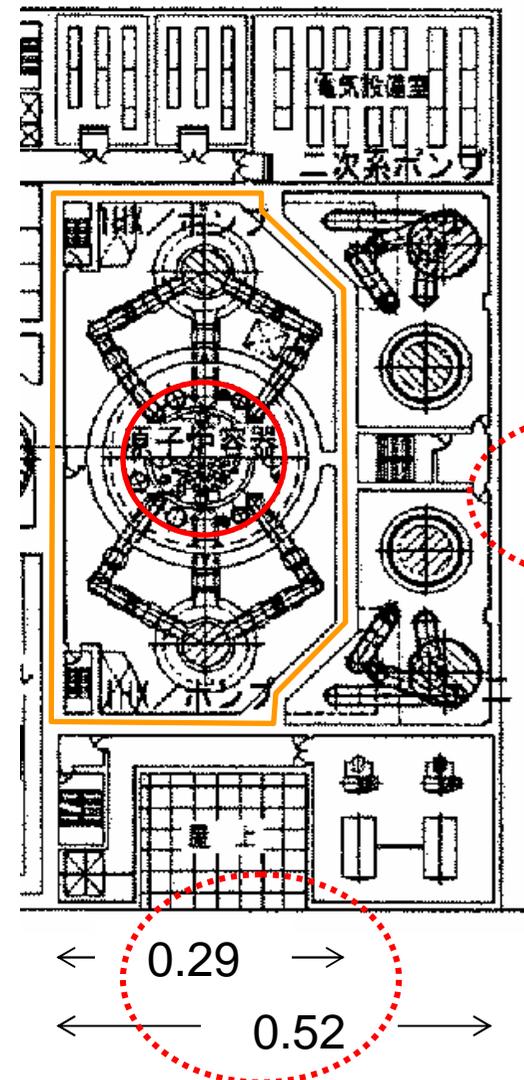
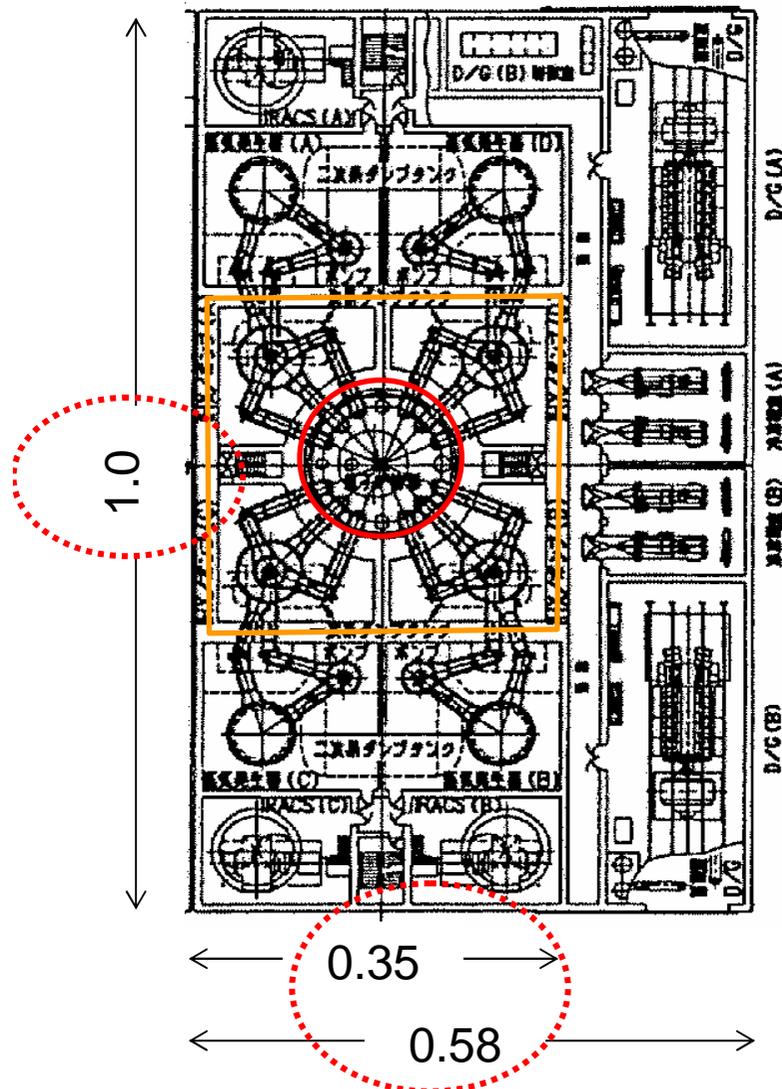
# システム簡素化のための冷却系2ループ化（効果）

合理化効果：

4ループプラントから2ループプラントとすることにより、物量が低減される見込み。

4ループプラント

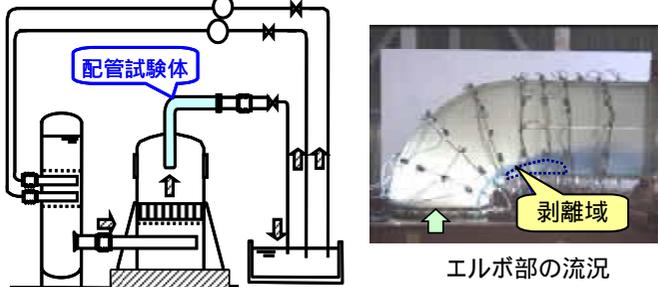
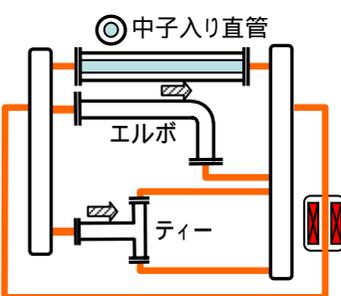
2ループプラント



**コストダウン効果**  
**建設費**  
約9%減少の見込み

長さ：相対値

# システム簡素化のための冷却系2ループ化（工程）

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>流力振動試験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設計に必要な流体励振力データの取得</li> <li>配管系の振動応答評価手法の確立</li> </ul>	<p>ホットレグ水試験 (単エルボ体系)</p> <p>コールドレグ水試験 (多段エルボ体系)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>配管試験体内の流動特性(流速分布、剥離域の範囲)、</li> <li><b>配管壁上での圧力変動、配管系の振動特性の計測</b></li> <li><b>振動試験データによる振動応答評価手法の検証</b></li> </ul>  <p>配管試験体</p> <p>剥離域</p> <p>エルボ部の流況</p>
<p><b>Na中エロージョン試験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>配管損傷防止基準の策定</li> </ul>	<p>エルボ等配管要素試験</p>	<p>侵食発生条件試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>9 Cr 鋼製の配管要素(エルボ、ティー、中子入り配管等)について、Na高速流による浸食試験を実施</li> <li>高温Na( ~ 550 )を高流速で配管要素に流して、減肉量を計測し、エロージョンが発生する限界流速を把握</li> </ul>  <p>中子入り直管</p> <p>エルボ</p> <p>ティー</p>
<p><b>超音波流量計の開発</b></p>	<p>要素開発(センサ、信号処理、遠隔着脱)</p>	<p>ナトリウム施設での試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管材料が磁性体であるフェライト鋼のため、従来の電磁流量計が使用できない。</li> <li>大口径配管、助走距離が短く、乱れが大きい流れに適用可能な多測線式超音波流量計の開発を行う。</li> </ul> <p>(注) 次の段階で安全保護系確証試験が必要</p>

## システム簡素化のための冷却系2ループ化（工程）

分類	2010	2015	開発内容
<b>破損燃料検出系(FFD-DN)の開発</b>		電磁ポンプ開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却系2ループ化、大流量に対し検出感度を向上させるため、原子炉容器内Naサンプリング方式とする。</li> <li>・安全保護系としての信頼要求を満足する小型高効率高温ナトリウム用電磁ポンプを開発する。</li> <li>・検出性能評価は、別途開発される原子炉容器内流動解析評価システムにより行う。</li> </ul> <p>(注) 次の段階で安全保護系確証試験が必要</p>
<b>電磁流動特性評価手法の確立</b>	電磁流動特性評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウムの電磁流動特性を活用して集合体流量計測や電磁ポンプへ応用していくための解析評価手法の高度化を図る。</li> </ul>

## システム簡素化のための冷却系2ループ化（クライテリア）

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
流力振動評価手法確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>1/3スケールの水試験を実施し、入口側が整流された条件では実機流速条件でも破損に繋がる配管振動は生じない。(流速は9.2m/sec、Re数 <math>8 \times 10^6 \rightarrow 4 \times 10^7</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機で想定される流動条件(ベント部上流での旋回流)や多段エルボのコールドレグを対象として、配管系の振動応答評価手法を確立し、実機外挿性を見極める</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機での流力振動評価を可能とする解析評価手法を提示するとともに、成立性を示す評価結果を得ること。</li> </ul>
			(2015年)	
Na 中エロージョン特性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>これまでの先行炉や材料試験などの知見から特に問題にはならないと考えられる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温Na環境でのエロージョン基本特性を確認するとともに、配管損傷防止基準の策定に向けて侵食発生条件を確認</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>高流速ナトリウム流れによるエロージョン特性については、既往知見から問題ないと判断している。但し、許認可には必要なため、2015年までに実機模擬条件でデータを取得する。</li> </ul>
超音波流量計の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温大口径配管への適用性見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサ、信号処理、遠隔着脱装置を含めた検出システムの開発</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全保護系としての実機適用性を示すこと。</li> </ul>
			(2015年)	
破損燃料検出系の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉容器内Naサンプリング方式により検出感度を向上させた破損燃料検出系(DN計)の概略設計を行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全保護系として信頼度要求を満たすことができる小型高效率電磁ポンプを開発する。</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型電磁ポンプは既に実用化された技術であり、設計進捗に合わせ、設計に適合した小型電磁ポンプの開発試験と安全保護系としての機能確認試験を実施する必要がある。</li> </ul>

# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型 中間熱交換器開発

# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発(概要)

## 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、1次冷却系のポンプ及び熱交換器が別々に配置されており、これが冷却系配管、機器物量の増大を招いている。

## 技術開発の概要

実用炉では、1次冷却系の熱交換器にポンプを内蔵することにより、冷却系配管の簡素化、物量削減を行い、建設コストの低減を図る。

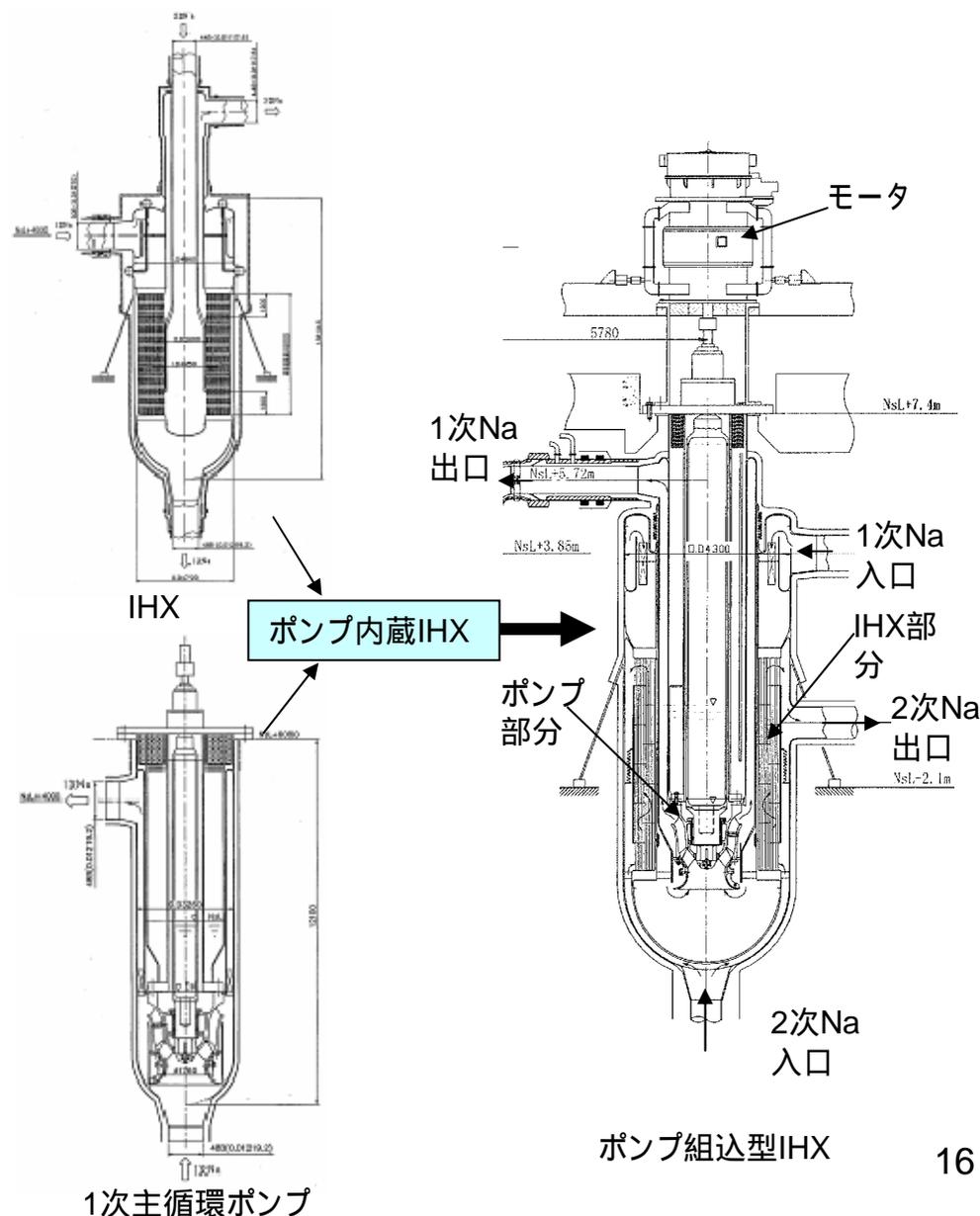
ポンプの回転に伴う振動に熱交換器の伝熱管が耐えうる(伝熱管の磨耗量が規定値内に収まる)こと、長軸ポンプの安定性、原子炉からの流れが伝熱部に均等に流入する流動成立性があることを、解析及び実証試験により確認することが必要。

## 今後の課題

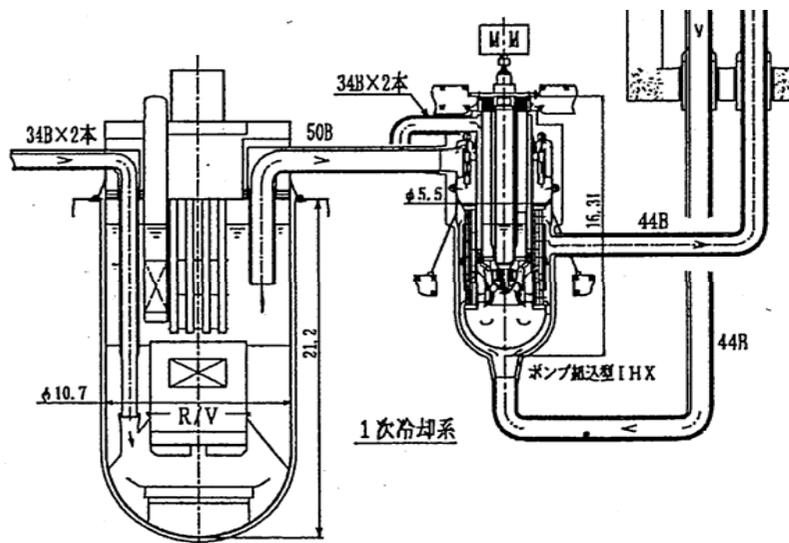
現在までに、1/4スケールによる振動試験で伝達特性データを取得、解析モデルを構築。

今後、実証試験により、伝熱管磨耗量の確認、流動成立性の確認を行うことが必要。

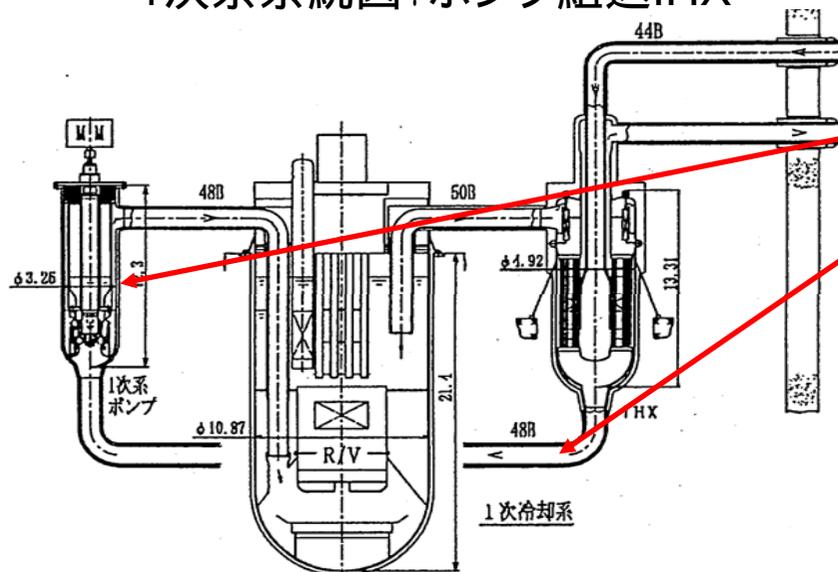
「Na試験施設」で長軸ポンプの実証試験が必要



# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発(効果)



1次系系統図:ポンプ組込IHX



1次系系統図:ポンプ・IHX分離

## 分離配置との比較

コストダウン効果

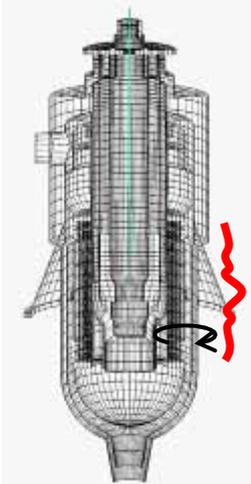
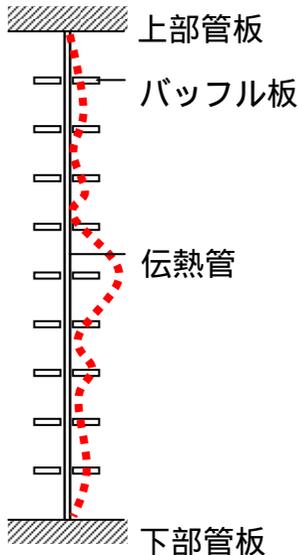
建設費

約3%減少の見込み

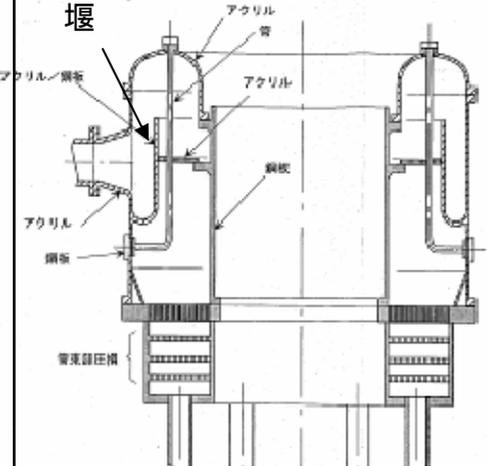
経済性向上のポイント:

- ポンプガードベッセル無し
- ミドルレグ配管無し
- 予熱空調等のBOP設備削減
- 建屋体積削減
- 保守費削減

# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>水中振動伝達試験</b></p> <p>機器振動解析モデル開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/4スケール試験体を用いた振動伝達試験</li> <li>• 実機の振動評価に用いる解析モデルを開発</li> </ul> <p>伝熱管振動解析モデル開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 伝熱管群の冷却材中での振動特性を把握する</li> </ul>	<p>1/4スケール水中振動試験</p> <p>管群水中振動試験</p>		<p>開発内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• フェーズIIで実施した1/4スケール振動特性試験データの拡充</li> <li>• 稠密伝熱管モデルの組込による振動試験</li> <li>• 解析モデルの高度化</li> </ul>  <p>振動解析モデル</p>  <p>1/4スケール振動試験</p>
<p><b>伝熱管磨耗特性試験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高クロム鋼の実寸伝熱管の振動特性の把握</li> <li>• バッフル板との接触摩擦による磨耗特性の把握</li> </ul>	<p>水中振動・磨耗試験</p> <p>Na中磨耗試験</p>		 <p>上部管板</p> <p>バッフル板</p> <p>伝熱管</p> <p>下部管板</p> <p>伝熱管振動試験概念</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 実寸伝熱管の振動特性測定(水試験)</li> <li>• 伝熱管材料磨耗特性データ取得(Na試験)</li> </ul>

# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>長軸ポンプの開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>軸安定性試験</li> <li>Na中実証試験</li> </ul>	<p>軸安定性水試験</p> <p>軸受ナトリウム試験</p>	<p>ナトリウム施設での試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸かつ柔軟な構造を持つポンプの駆動軸の回転安定性を確保するために、有効な軸受けを開発する。</li> </ul>
<p><b>IHX入口プレナム流動の最適化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>堰の設置による周方向流量配分の均一化</li> <li>崩壊熱除去系伝熱管の振動抑制</li> </ul>		<p>水流動試験</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>縮尺水流動試験体(一部アクリル製)により入口プレナム内の流況を測定</li> <li>「堰」の効果により伝熱管へ均一な流量が分配されることを確認</li> </ul> <p>入口プレナム水流動試験装置概念</p>

# 1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発(クライテリア)

課題	フェーズの状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>振動伝達を制御する設計手法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1/4スケールの試験体による振動伝達試験の実施及び評価モデルの開発により、ポンプの通常運転範囲内でポンプ振動と伝熱管振動の共振を回避する設計の見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸・柔構造ポンプの加振源としてのモデル構築。</li> <li>振動伝達解析モデルの精度向上。</li> <li>流体中の稠密伝熱管束の振動解析モデルの評価精度向上。</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸・柔構造ポンプの設計に必要な「解析による設計」手法を提示する。</li> <li>伝熱管への過大な振動伝達を抑制する実機の機器設計を示す。</li> <li>実機伝熱管の振動条件を提示でき、伝熱管摩耗特性評価を可能にする。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>伝熱管摩耗特性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 ¼ Cr鋼材のデータを用いて摩耗量を暫定評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高クロム鋼伝熱管の振動及び摺動摩耗特性の定量的な把握及び評価モデル構築。</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>高クロム鋼製伝熱管の摩耗量評価法を確立し、上記の振動評価手法と併せて実機の伝熱管健全性を示す。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸柔構造ポンプの成立性確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定性を確保するために必要な対策の抽出を行った。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太径高減衰軸受の設計手法の妥当性を確認。</li> <li>ポンプ軸の安定性を実験及び解析的に確認。</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験と解析により軸安定性確保の見通しを得る。</li> <li>ポンプ軸受け部の設計手法を提示し、実機のポンプ軸受け構造を具体化する。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1/4スケール水試験体のポンプ運転により、ケーシングの固有値を超える回転数での安定運転の見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸構造ポンプ軸の安定性を確認</li> <li>ポンプへの熱影響とポンプの耐久性を確認。</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>長軸ポンプの総合的な成立性は、ナトリウム施設を用いて確認する。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>入口プレナムの流動最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計解析により、堰を設置して周方向流量配分の均一化を図る方策を検討した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周方向流量配分が均一になる堰の設計概念の明確化とその有効性確認。</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水流動試験によるプレナム流況の観察と解析により、設計解決方策を見だし、その効果を確認する。</li> </ul>

# 原子炉容器のコンパクト化

# 原子炉容器のコンパクト化 (概要)

## 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、燃料集合体の交換に必要な機器とその作動空間が大きいこと、液位制御系など炉容器に対する熱応力緩和機構が、原子炉容器コンパクト化の障害となっている。

原子炉容器をコンパクト化した場合、炉内のナトリウム流速が大きくなり、炉容器上部の液面から気体を巻き込み原子炉内に気泡を発生させる、スクラム時の熱過渡が厳しくなる等の悪影響が予測される。

## 技術開発の必要性

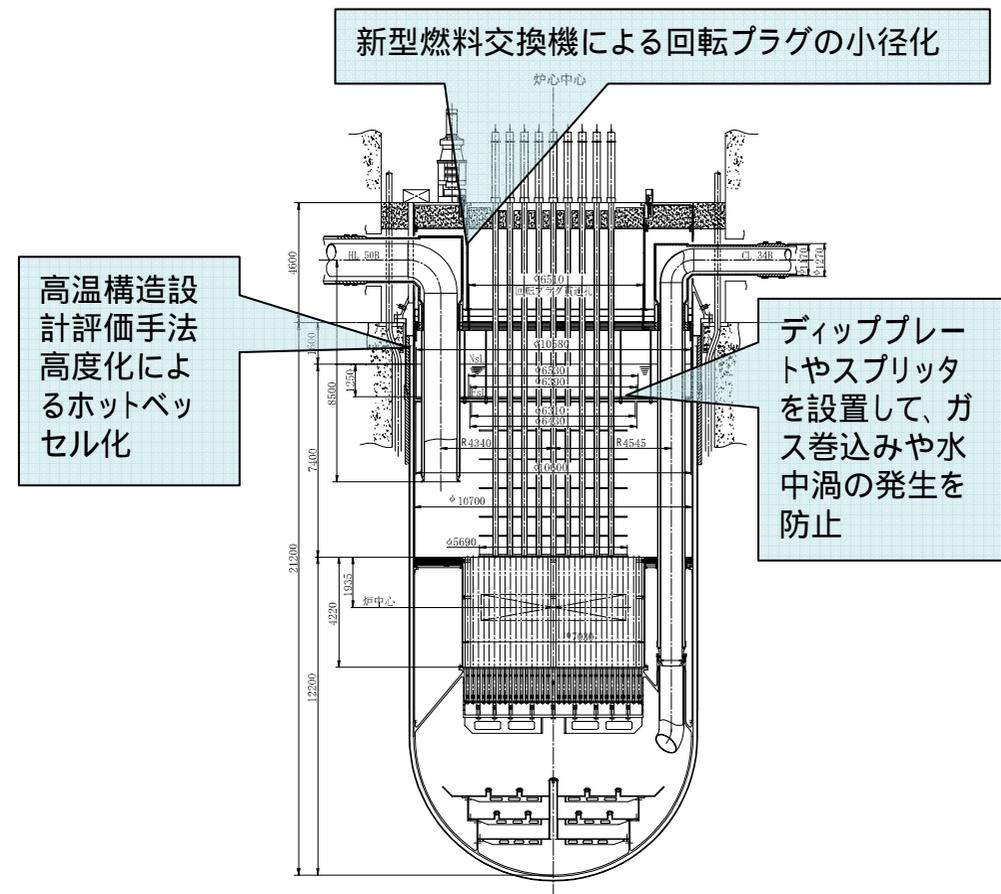
多数の機器類が配置されている原子炉上部に設置可能な、小型の燃料棒交換用機器を開発し、実用炉に適用することにより、原子炉容器をコンパクト化し、建設コストの削減を図る。

原子炉上部でのガス巻きみや水中渦の発生を防止する構造、熱過渡緩和構造 / 評価技術の開発が必要。

特別な保護設備を用いないコンパクトな原子炉容器(ホットベッセル)の構造設計を可能とする、高温構造設計評価手法の開発が必要。

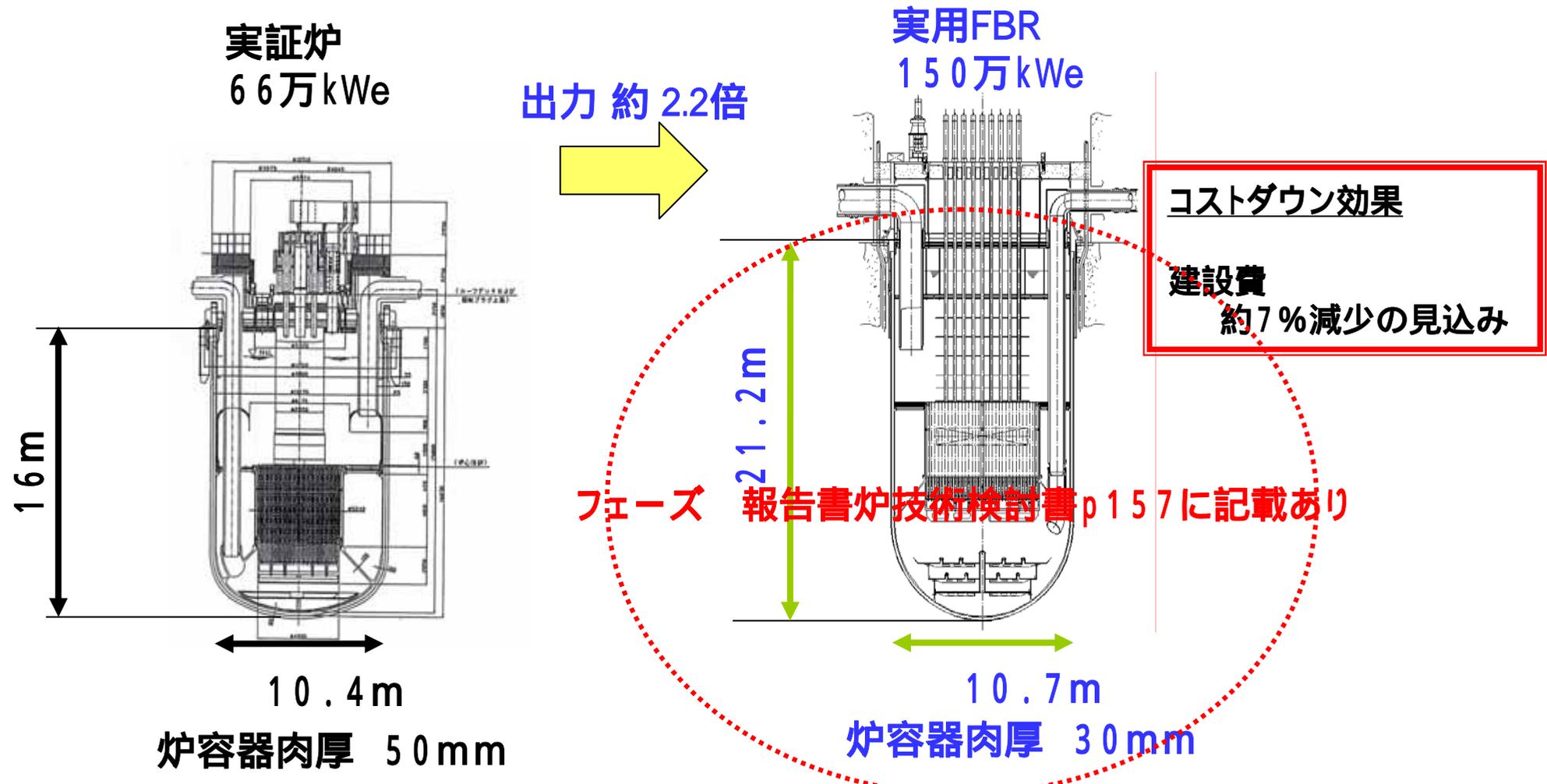
## 開発課題

高流速化に伴う原子炉容器内の流動特性把握と原子炉上部の装置の健全性確認のための設計評価手法整備  
ホットベッセル(壁冷等の特別な保護設備無し)化に伴う高温構造設計基準の整備



原子炉容器コンパクト化を可能とする技術

# 原子炉容器のコンパクト化 (効果)



## コンパクト化方策

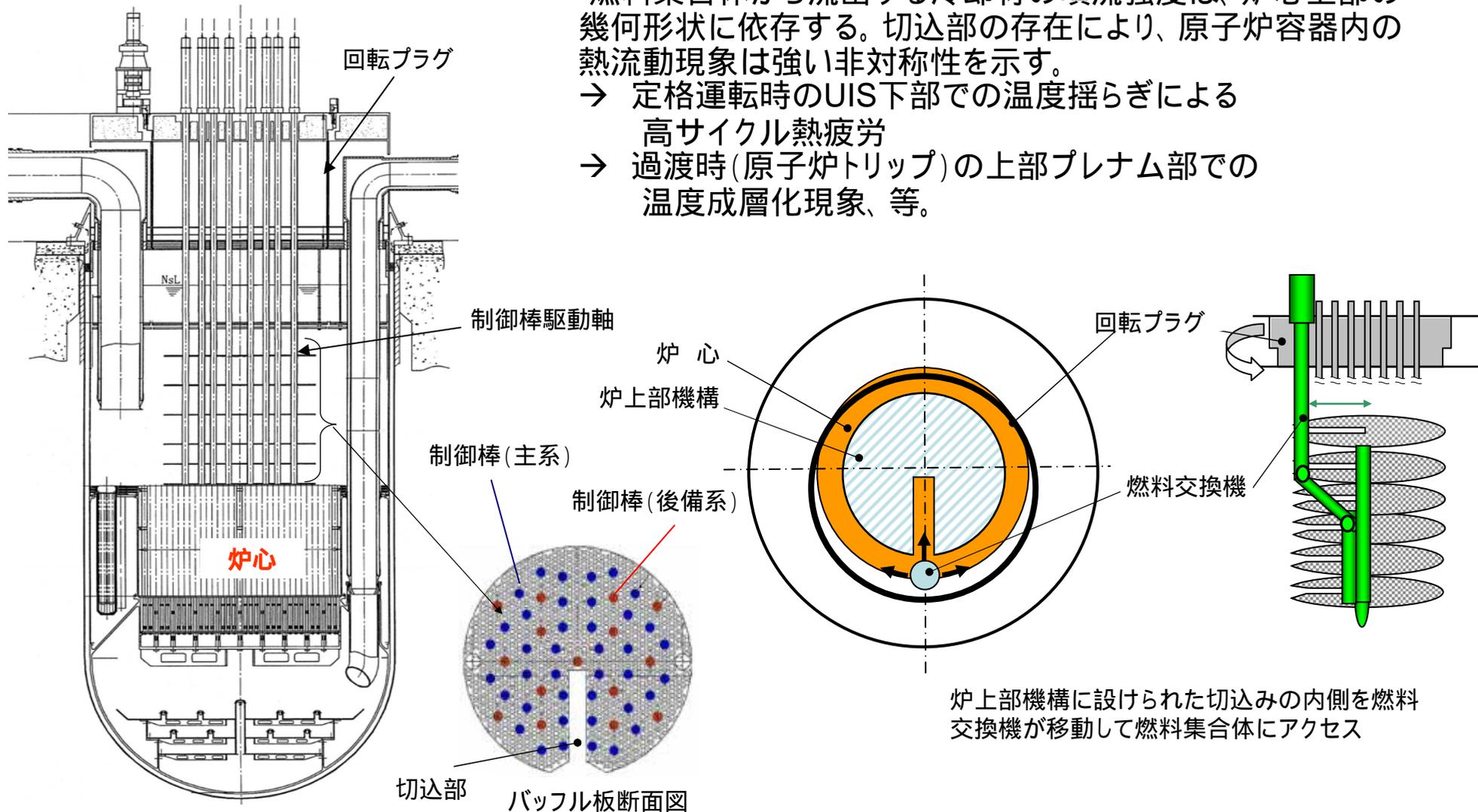
- 燃料取扱系 (回転プラグ径) の小型化 (切込付炉上部機構の採用)
- ガス巻き込み防止等による冷却材の高流速化許容
- 原子炉容器壁の冷却設備削除によるホットベッセル化

# 原子炉容器のコンパクト化 (方策)

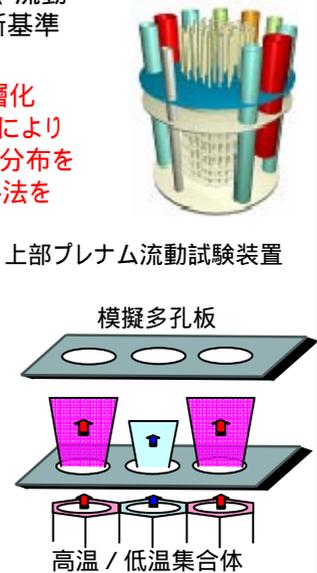
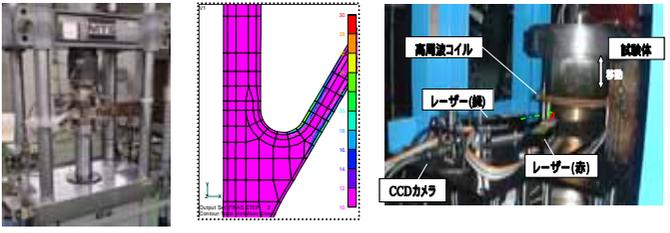
切込付炉上部構造 + 単回転プラグ方式を採用して、原子炉容器径をコンパクト化

燃料集合体から流出する冷却材の噴流強度は、炉心上部の幾何形状に依存する。切込部の存在により、原子炉容器内の熱流動現象は強い非対称性を示す。

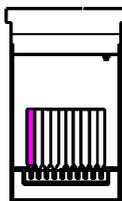
- 定格運転時のUIS下部での温度揺らぎによる高サイクル熱疲労
- 過渡時(原子炉トリップ)の上部プレナム部での温度成層化現象、等。



# 原子炉容器のコンパクト化 (工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>炉内熱流動の適正化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス巻込み、液中渦対策試験</li> <li>・<b>温度成層化試験</b> - 構造設計に必要なデータの取得、熱過渡緩和構造の考案</li> <li>・<b>サーマルストライピング評価試験</b> - 構造設計に必要な温度ゆらぎデータの取得 - 高サイクル熱疲労に対する構造対応策の検討</li> <li>・ガス中熱的境界条件設定手法の開発</li> </ul>	<p>ガス巻込み対策水試験</p> <p>液中渦確認試験</p> <p>温度成層化試験(水、Na)</p> <p>界面を含む熱流動現象評価技術の開発</p> <p>サーマルストライピング評価試験 (水、Na)</p> <p>温度変動評価技術の開発</p>	<p>炉内熱流動の総合評価</p> <p>制御棒集合体周りの集合体 出口領域を模擬した試験装置を製作し、高温側 / 低温側の 流体の混合特性や、構造材の熱疲労に影響する温度ゆらぎデータを計測</p>	<p>・水試験により、ガス巻込み防止策の有効性を確認するとともに、流動解析に基づくガス巻込み判断基準を策定</p> <p>・過渡時に形成される温度成層化現象を模擬した水 / Na試験により成層界面の上昇挙動や温度分布を計測、評価する。解析評価手法を開発・検証する。</p> <p>上部プレナム流動試験装置</p>  <p>模擬多孔板</p> <p>高温 / 低温集合体</p>
<p><b>高温構造設計評価技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱荷重評価技術の開発</li> <li>・非弾性設計解析技術の開発</li> <li>・高温強度評価技術の技術</li> <li>・システム化規格に関する評価手法の開発</li> <li>・高サイクル熱疲労評価技術の開発</li> </ul>	<p>高温構造設計評価技術開発</p> <p>高サイクル熱疲労試験</p>	<p>高温構造設計方針案の策定、適用性確認試験</p>	<p>・新しい高温構造設計評価技術の検証試験を実施</p> <p>実機条件を模擬した精密制御材料試験と解析的検討に基づき設計評価技術を開発し、炉容器の液面近傍部と成層界面部の構造物モデル試験により検証</p>  <p>精密制御材料試験    非弾性解析    炉容器モデル試験</p>

# 原子炉容器のコンパクト化 (工程)

分類	2010	2015	開発内容
<b>破損燃料位置検出系(FFDL)の開発</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>回転プラグコンパクト化のため、スリット付き炉上部構造を採用。</li> <li>もんじゅ(タグガス法)と異なるセクタバルブ方式を採用予定。</li> <li>スリット部では集合体出口直前にサンプリング管を設置できないため、検出方法の開発と性能の確認が必要。</li> </ul>
<b>高性能遮へい体の開発</b> ・ZrH遮へい体の製造法の確立 ・設計に必要なZrH遮へい体の照射データの取得			・ZrH遮へい体の製造法を確立するとともに、実炉環境での照射試験による健全性評価と遮へい性能を確認 
<b>回転プラグシールの開発</b> ・回転プラグのシール機能、Naベーパー蒸着特性等の確認		 	<ul style="list-style-type: none"> <li>もんじゅではジャッキダウン・オフセット構造によるベーパー蒸着防止とフリーズメタルシールによりシールを確保。</li> <li>実用炉ではより構造が簡素・コンパクトなエラストマシール等を採用する計画である。</li> <li>これらのシール機構について試験・開発を行う。</li> <li>もんじゅではGVが短く、RVを直接保温しているが、実用炉ではGV,RV長は同じであり、対流防止板が必要である。</li> <li>GV-RV内カバーガス伝熱特性の試験を行う。</li> </ul>
<b>炉内流量配分の検証</b> ・流量調節機構の開発 ・新型燃料集合体内流動の確認 ・原子炉容器下部プレナム流動データの取得		  	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用炉では炉心の圧力損失が小さいため、エントランスノズルでの炉心流量配分に高い精度が要求されるため、機能の確認が必要。</li> <li>S-FAIDUS型燃料集合体は内部ダクトを有し従来と形状が異なるため、安全審査等のため集合体内部の流速分布を確認する必要がある。</li> <li>下部プレナム内の流れの安定性を確認する必要がある。</li> </ul>

## 原子炉容器のコンパクト化（工程）

分類	2010	2015	開発内容
<b>炉内計装流力振動評価の検討</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/3縮尺モデルを用いた流動試験によりスケール効果の確認を行うとともに、炉内計装流力振動について重要部位の荷重を計測</li> <li>• 炉内計測流力振動評価のための基礎データの取得</li> </ul>
<b>容器内設置一体型純化系の開発</b> • 容器内設置一体型純化系の試作と性能確認			<ul style="list-style-type: none"> <li>• ナトリウム純化系設備コンパクト化のため、一体型純化系システムを原子炉プラグから垂下・浸漬する構造。</li> <li>• 性能を確認するために試作・試験を実施する。</li> </ul>
<b>原子炉計装システムの開発</b>	 		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 初回起動用炉内中性子検出器設置方法を具体化する。</li> <li>• 燃料集合体出口温度計装の有効性について水流動試験等による評価を行い仕様を具体化する。</li> </ul> <p>(注) 次の段階で安全保護系確証試験が必要</p>

## 原子炉容器のコンパクト化 (クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>炉内熱流動の適正化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水流動試験を実施し、 -二重ディッププレートにより、実機条件でガス巻込みは発生しない見通しを得た。</li> <li>-高流速化に伴う水中渦の発生を確認し、対策案(スプリッタ等)の有効性を確認した。</li> <li>予備評価により、耐震性と熱過渡荷重に対する健全性が確保される見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス巻込み及び水中渦対策の最適化</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>最適な設計対策と、実機条件で問題ないことを示す根拠を提示する。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>温度成層化やサーマルストライピングに対する影響緩和対策と評価手法の整備</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価手法を整備し、想定される運転条件で、構造健全性に影響を与えない熱荷重条件であることを確認する。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>ホットベッセル(壁冷構造無し)化に伴う高温構造設計基準の整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>暫定的な非弾性解析に基づく設計評価法により、原子炉容器液面部の構造健全性を評価し、成立見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホットベッセルを成立させる高温構造設計評価技術の開発</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱荷重設定法と非弾性解析法を含む高温構造設計評価技術を提示し、構造健全性が確保できることを示す評価結果を得ること。</li> </ul>
			(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温構造設計評価技術の基準化。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>破損燃料位置検出計の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計研究でセレクトバルブ(SV)法を選定した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SV法の実機適用性の確認</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型炉心(約600体の燃料集合体)をカバーするSV法の設計概念を提示する。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能遮蔽体ZrHの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZrHの基礎物性を測定し、炉心燃料設計に反映した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造法の確立と照射健全性の確認</li> </ul>	2010年 (2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZrH遮蔽体の製造法を提示する。</li> <li>照射健全性を確認する照射データの取得</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉計装システムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計研究で主要計測機器の型式、配置等を設定した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計装機器の構造、配置設計、据付健全性の評価</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要計測機器の流力振動評価手法を整備し、健全性を見通し、取り付け方法を提示する。</li> </ul>
			(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉内に据え付けられた計装機器の流力振動評価による健全性確認。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>回転プラグ、流量調節機構、炉容器内設置純化系の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>先行炉の知見及び設計研究により各概念を構築した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実機適用性の確認と許認可に必要なデータの取得。</li> </ul>	(2015年)	<ul style="list-style-type: none"> <li>回転プラグのシーク機能を確認できる試験データ、流量配分の精度確認が可能な試験データ、純化系の性能確認が可能な試験データなどを提示する。</li> </ul>

# システム簡素化のための燃料取扱系の開発

# システム簡素化のための燃料取扱系の開発(概要)

## 「もんじゅ」の現状

燃料交換時にUIS(炉心上部構造)を炉心上部から完全に移動させる必要があるため原子炉容器径は炉心槽径の3倍以上。

集合体1体当りの燃料交換時間が比較的長い。

ポット収納型EVSTのため集合体収納体数の割りにEVST容積が増大。

EVSTで減衰貯蔵後は湿式洗浄、水缶詰ののち水プール貯蔵。

## 技術開発の概要

切込付UISと可変アーム型燃料交換機の組合せにより原子炉容器径を大幅に低減。

燃料交換機動作の高速化および2集合体ポットを用いた複数体移送により燃料交換時間を短縮。

鋼製プラグおよび液位制御型槽内移送機を採用しEVSTの収納方式を合理化。

乾式洗浄後に水プールに直接浸漬するシステムを採用して洗浄・缶詰設備を合理化。また、これにより缶詰、湿式洗浄廃液等の廃棄物を低減。

## 今後の課題

新型燃料交換機:地震時の切込付UISとの干渉回避、位置決め精度確保などの確認。

燃料移送系:事故時の除熱性能などを考慮した複数体移送方式の成立性確認。

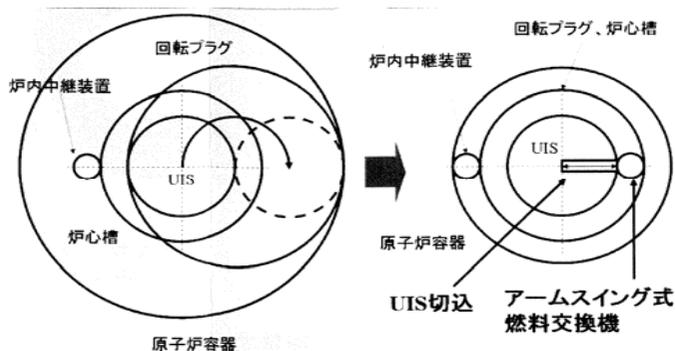
EVST(炉外燃料貯蔵槽):鋼製プラグおよび液位制御型槽内移送機の成立性確認。

燃料水浸漬システム:乾式洗浄方式、使用済燃料の水プール直接浸漬方式などの成立性確認。

新燃料輸送キャスク:低除染燃料による発熱量の増加に対応した輸送キャスクの開発。

# システム簡素化のための燃料取扱系の開発(効果)

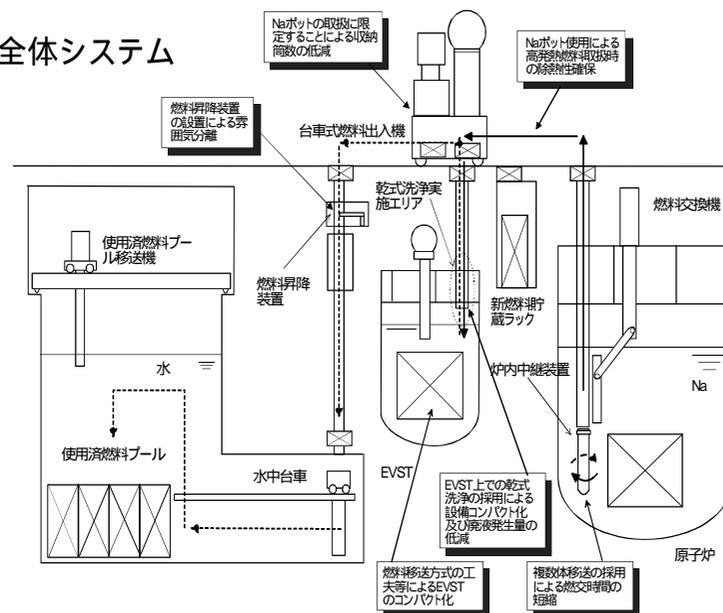
燃料交換装置



単回転プラグ固定アーム方式では、燃料交換時にUIS(炉心上部構造)を炉心上部から完全に移動させる必要があるため原子炉容器径が増大(原型炉もんじゅの方式)

切込付UISと可変アーム型燃料交換機の組合せにより原子炉容器径を低減(実用FBR)

燃料取扱系全体システム



切込付UISと可変アーム型燃料交換機の組合せ

➡ 原子炉容器径の大幅な低減

	原型炉もんじゅ	実用FBR
電気出力	280MWe	1500MWe
		約5.4倍
炉容器径	7.2 m	10.7 m
		約1.5倍

➡ 物量削減による経済性向上

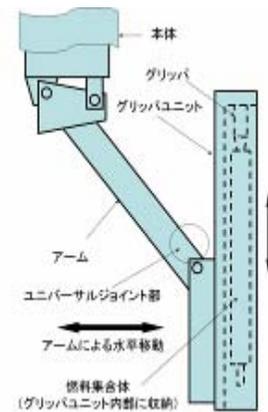
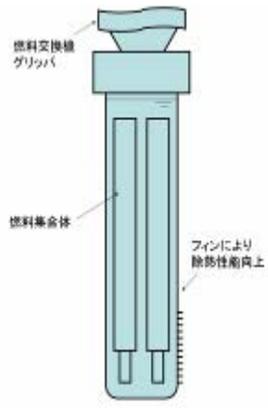
燃料交換機動作の高速化および複数体移送

➡ 燃料交換時間を短縮

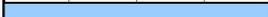
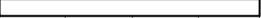
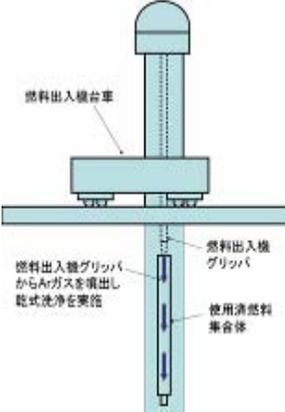
	原型炉もんじゅ	実用FBR
燃料交換本数	93体 / 燃交 (5バッチ)	222体 / 燃交 (4バッチ)
		2.4倍
燃料交換時間	約90分 / 1体	約30分 / 1体
		約1/3倍

➡ 燃料交換期間の増大を回避して、プラント稼働率を向上(経済性向上)

# システム簡素化のための燃料取扱系の開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p>新型燃料交換機の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スリム型燃料交換機的位置決め精度方式の開発</li> <li>・グリッパ作動性の確認</li> <li>・切込付炉心上部機構との干渉回避に関する耐震性評価</li> </ul>	<p>位置決め精度確保機構の開発</p> <p>グリッパユニット作動試験</p>	<p>ナトリウム施設での試験 (燃料交換機試験)</p> <p>Na中要素試験</p>	 <p>切込付炉心上部機構との整合性を考慮したスリム型燃料交換機開発の一環として位置決め精度確保のための機構開発、グリッパ作動性確認を行う。また、地震時の切込付炉心上部機構との干渉回避を確認する。</p> <p>スリム型燃料交換機概念図(例)</p>
<p>燃料移送系の成立性確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・複数体移送成立性確認</li> <li>・改良内部ダクト型集合体の除熱性確認</li> <li>・集合体ガス中落下試験</li> <li>・燃料出入機の開発</li> </ul>	<p>複数体移送ポット除熱評価</p>	<p>改良内部ダクト集合体除熱確認(ポット内自然循環除熱特性))</p> <p>集合体ガス中落下試験</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料交換時間短縮を目的とした複数体移送の成立性を確認する。</li> <li>・改良内部ダクト集合体採用に伴い、内部ダクトの除熱への影響を把握する。</li> <li>・燃料取扱時の事故の評価として集合体の落下試験を実施する。</li> </ul> <p>2集合体ポット図</p>

## システム簡素化のための燃料取扱系の開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
燃料水浸漬システムの開発	<p>燃料洗浄試験</p> 	<p>燃料水浸漬試験</p>  <p>ODS鋼水中腐食試験</p> 	<p>EVSTから取出し後のナトリウムが付着した状態の裸の使用済燃料を直接水プールに浸漬するシステムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アルゴンガスによる乾式洗浄および蒸気によるナトリウム不活性化の確認</li> <li>・ナトリウムが付着した状況における使用済燃料の水浸漬挙動の把握</li> </ul> <p>使用済燃料の水プールにおける長期貯蔵の成立性を評価するために、照射済みのODS鋼による水中腐食試験を実施する。</p> 
新燃料輸送時の除熱性評価	<p>新燃料カスク概念の検討</p> 	<p>模擬集合体による除熱試験</p> 	<p>低除染燃料採用により新燃料発熱量が大きくなっていることを考慮して、新燃料輸送時におけるカスク概念を検討し、模擬集合体試験により評価する。</p>
コンパクトEVSTの開発		<p>EVST槽内移送機作動性などの確認試験</p> 	<p>EVSTコンパクト化のための鋼製プラグおよび液位制御型槽内移送機の成立性を確認する。</p>

## システム簡素化のための燃料取扱系の開発(クライテリア)

課題	フェーズIIまでの状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
システム簡素化の追求に必用な革新的設備・機器の成立性の確認	•フェーズIIでは具体的なR&Dは未着手(設計検討レベルでの評価、課題の抽出など)	[新型燃料交換機]: 位置決め精度、切込付UISとの干渉回避、グリッパ作動性	2010年	実用炉に求められる基本仕様を提示できること(地震時の切込付UISとの干渉回避、位置決め精度確保、グリッパ作動性が試験などにより確認されること。)
			(2015年)	モックアップ試験体を用いたナトリウム中試験による機能確認がなされること。
		[燃料移送系]: 使用済燃料集合体の複数体移送方式の成立性確認。	2010年	複数体移送中の事故時の間接冷却性能など、主要な除熱性能が試験・解析により見通せること。
			(2015年)	改良内部ダクト集合体での移送時の除熱性、燃料交換時の事故時の影響などが試験などにより確認されること。
		[燃料水浸漬システム]: 乾式洗浄方式、使用済燃料の水プール直接浸漬方式などの成立性確認。	2010年	アルゴンガスによる乾式洗浄による残存Na除去能力、および蒸気によるNa不活性化が試験などにより確認されること。
			(2015年)	水プールへの浸漬時挙動の確認がなされること。 水中での照射済みODS鋼腐食量が許容範囲以内であることが確認されること。
		[新燃料輸送キャスク]: 低除染燃料による発熱量の増加に対応した輸送キャスクの開発。	2010年	輸送条件などの制約条件を満たすキャスク設計の成立性が確認されること。
	(2015年)	模擬燃料集合体とキャスクを用いた除熱性の確認がなされること。		
	[EVST]: 液位制御型槽内移送機の成立性確認。	(2015年)	槽内移送機の成立性が試験などにより確認されること。	

# 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化

# 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化(概要)

## 「もんじゅ」の現状

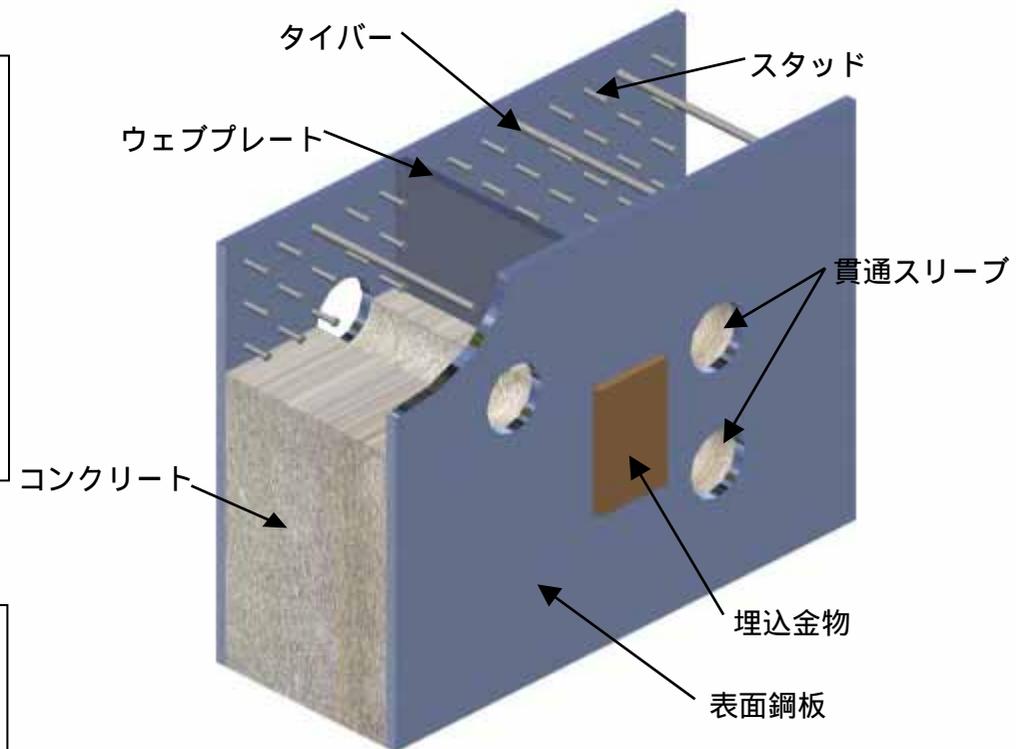
格納容器は従来原子炉と同じ鋼製円筒型であり容積、物量とも大きい  
建設工期が長い

## 技術開発の必要性

経済性目標達成のためには原子炉機器物量の削減のみならず建屋物量の削減が必要であり、建屋一体型の矩形格納容器を採用する必要がある。  
コンクリート構造を従来の鉄筋コンクリートからSC(鋼板コンクリート)とすることにより更なる物量削減と建設工期短縮を図る。

## 今後の課題

SC造矩形建屋一体型格納容器の設計評価法の開発



SC(鋼板コンクリート)構造

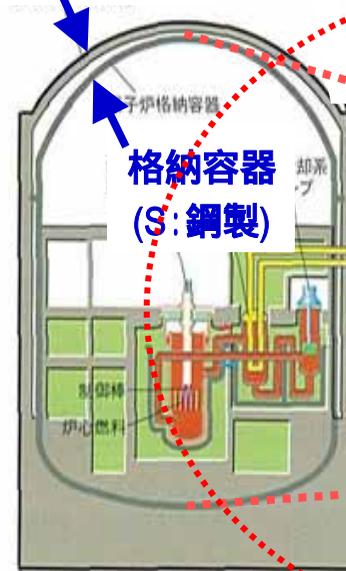
# 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化(効果)

## SC造化による合理化効果

### 物量削減

1. 鋼板(S)とコンクリート(C)の2層構造をSC構造に一体化  
 格納容器(S) + 外部遮蔽建物(C)  
 SC造格納容器
2. SC構造による矩形化により
  - (1) 格納容器を大幅縮小  
 「もんじゅ」の半分の格納容器高さ
  - (2) 建屋容積・配管長さを削減

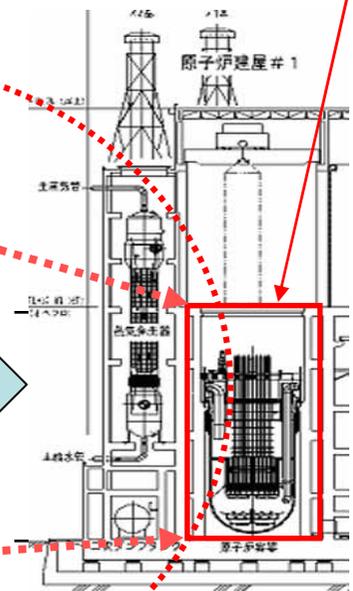
外部遮蔽建物  
(C:コンクリート製)



もんじゅ

「もんじゅ」の  
半分の  
格納容器高さ

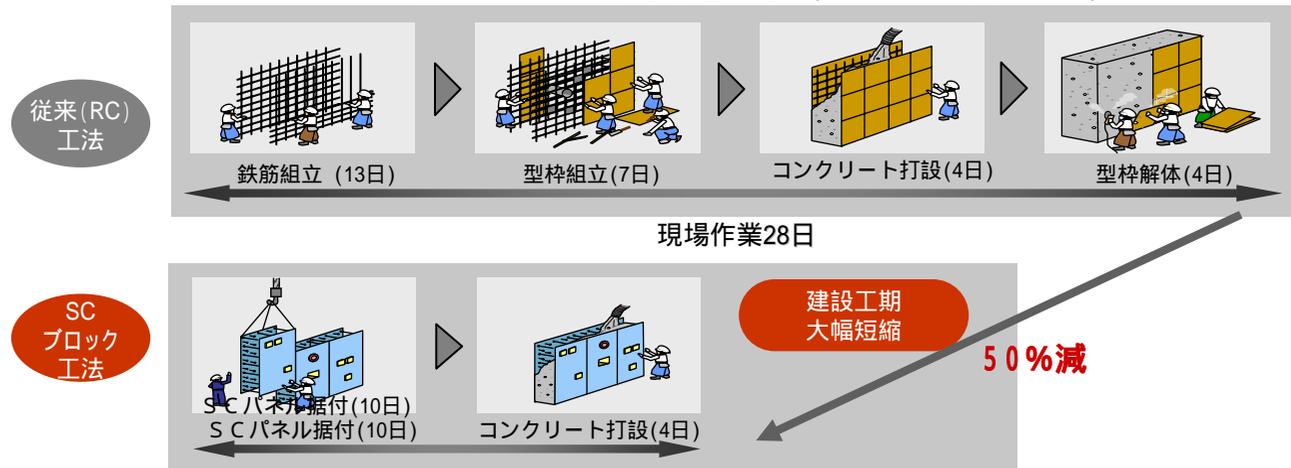
SC造格納容器



実用FBR概念

### 工期短縮

SCブロック工法の手順と工期短縮効果 (原子力施設建屋の一例)



# 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p>自由形状スチールコンクリート製格納容器の設計基準整備</p>	<p>設計、製作上の課題検討</p> <p>部材特性把握試験</p> <p>特定部位特性把握試験</p> <p>解析手法整備</p> <p>基準整備(評価委員会を含む)</p>	<p>全体特性把握試験</p> <p>実機適用性評価</p>	<div data-bbox="1583 412 2070 860"> </div> <p>SC造(スチールコンクリート構造)概念図</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高速炉の格納容器に最適なSC構造を設計するために必要な試験データの蓄積とSC構造の提示。</li> <li>・コンパクトで自由形状に対応可能なSC造の部材特性や特定部位の特性を把握し、それらの挙動を解析できるコードを整備する。</li> <li>・建屋気密性や強度上クリティカルとなる部位の限界耐性について試験研究を行い、限界挙動を把握するとともに、耐震性の確認する。</li> </ul>

## 物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化(クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>SC造矩形建屋一体型格納容器の設計評価法の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フェーズ Ⅰでは具体的なR&amp;Dには未着手。</li> <li>もんじゅの生体遮へい壁、軽水炉の補助建屋等に導入された実績がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウム冷却炉の格納容器に適用可能なSC造技術の開発</li> <li>一部材特性把握試験</li> <li>解析手法整備</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウム冷却炉の格納容器に適用可能なSC造の基本構造の提示</li> <li>設計評価手法の提示</li> </ul>
			(2015年)	(設計評価手法の基準化)

# 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発

# 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発 (概要)

## 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、PNC316被覆管、(U,Pu)酸化物中実ペレット燃料、燃料ピン六角バンドル集合体を採用。被覆管のスエリングによるピン外径増加が燃焼度の制約因子であり、炉心燃料の取出平均燃焼度設計値は8万MWd/t。MAは意図的には含有させていない。

## 技術開発の必要性

経済性向上のためには、燃料サイクルコスト低減の観点から高燃焼度化が必要。耐スエリング性と高温強度を両立させたODS被覆管を開発し、高燃焼度(取出平均15万MWd/t)を達成する。

実用化燃料サイクル技術開発に合わせ低除染TRU燃料・簡素化プロセス中空燃料の照射性能を評価する必要がある。

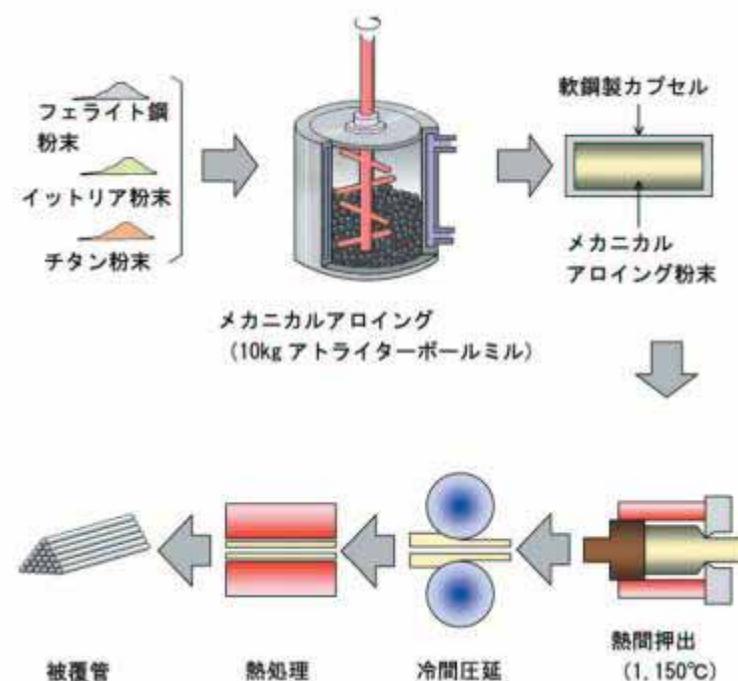
燃料集合体は、実用化プラント概念の安全設計論理に適合する改良型内部ダクト付集合体を開発する必要がある。

## 開発課題

現在までに、ODS被覆管について一部の照射試験に着手し、MA含有燃料の照射試験準備を完了した。

今後、高燃焼度・高中性子照射量までの燃料・材料照射試験、過渡試験を進め性能評価を行う。

改良型内部ダクト付集合体は、構造開発・炉外試験などを進め、照射試験により健全性を確認する。



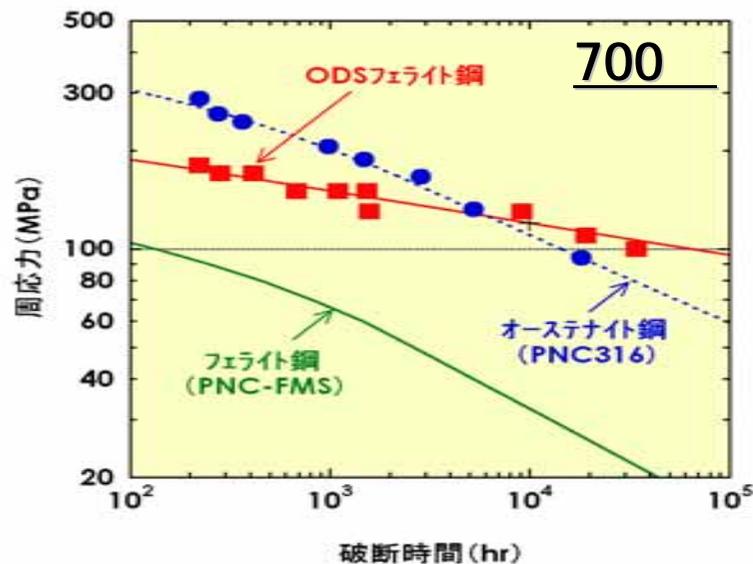
ODS被覆管の製造工程

# 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発 (効果)

実用化段階の高速炉用燃料に求められる目標性能を達成できる被覆管材料として、耐照射性に優れたフェライト鋼中に酸化物粒子を微細分散して高温強度の改善を図ったODSフェライト鋼が最有力候補材として期待されている。

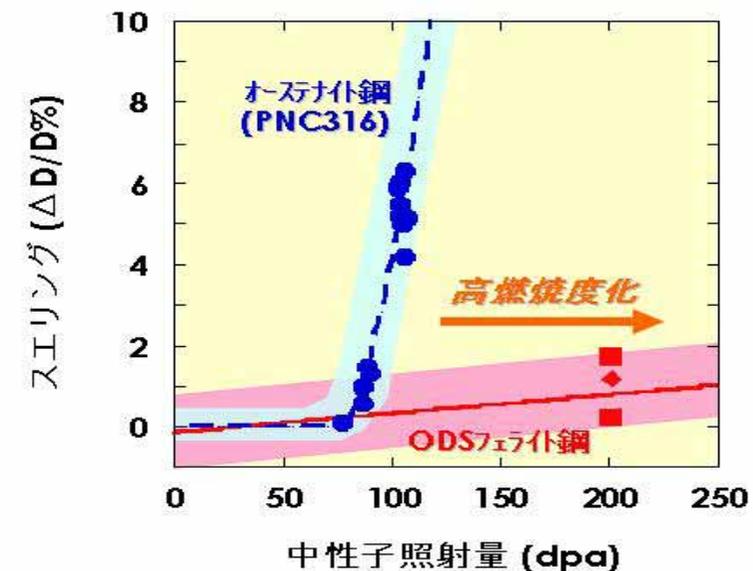
## ODS (酸化物分散強化型) フェライト鋼

優れた高温強度



+

優れた耐照射性



# 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発 (工程)

分類	2010	2015	2015～	試験内容
<b>高燃焼度燃料・材料研究開発</b>	燃料ピン照射試験 (BOR-60, 「常陽」, 目標: 250dpa, 25万MWd/t)			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ODS燃料ピンの250dpa, 25万MWd/t ( )相当までの健全性確認</li> <li>◆ ODS被覆管の250dpaまでの材料照射特性評価</li> <li>◆ ODSバンドルの15万MWd/t程度までの健全性確認および25万MWd/tまでの健全性外挿評価・性能実証</li> <li>◆ 燃料ピンの破損しきい値などの評価</li> </ul>  <p>ODS燃料ピン</p>
	材料照射試験 (「常陽」)			
	炉外・炉内過渡試験			
	15万MWd/tバンドル照射試験 (「常陽」)			
	25万MWd/tバンドル実証照射 (「もんじゅ」)			
低除染TRU酸化物燃料の照射健全性	TRU酸化物燃料ピン照射試験 (「常陽」)			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ TRU酸化物燃料ピン、ショートプロセス中空燃料ピン、低除染TRU酸化物燃料ピン、低除染TRU酸化物燃料バンドルの25万MWd/tまでの性能評価</li> </ul>  <p>TRU燃料製造装置</p>
	ショートプロセス中空ペレット燃料ピン照射試験 (「常陽」)			
	低除染TRU酸化物燃料ピン照射試験 (「常陽」)			
	低除染TRU酸化物燃料バンドル実証照射 (「もんじゅ」)			
再臨界回避集合体研究開発	再臨界回避集合体構造開発			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 改良型内部ダクト付き集合体の詳細構造決定</li> <li>◆ 試作試験、照射試験による性能評価</li> </ul>
	ダクト照射・集合体照射試験 (「常陽」)			

## 高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発(クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>高燃焼度化材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>露の実験炉BOR-60でピン照射試験を実施中。</li> <li>現在、50GWd/tを達成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ODS被覆管を用いた燃料の照射データ取得</li> <li>低除染TRU酸化物燃料の照射データ取得</li> <li>改良内部ダクト付燃料集合体の開発</li> </ul>	<p>[ピン照射] 2009年:150GWd/t 2015年:250GWd/t</p> <p>[バンドル照射] 2015年:150GWd/t 2020年:250GWd/t</p> <p>[新型集合体] 2015年:70GWd/t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピーク燃焼度150GWd/tにおける被覆管の内面腐食深さが従来のオーステナイト鋼被覆管と同等であること。</li> </ul> <p>照射実績による確証データに基づき、被覆管内面腐食深さを評価するとともに、達成可能な燃焼度を段階的に確認 改良内部ダクト付燃料集合体の構造設計を固め照射実績を得る。</p>

# 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発

# 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発(概要)

## 「もんじゅ」の現状

「もんじゅ」では、主冷却系の配管は一重。このため、配管が破損すれば、ナトリウムが建屋内に流出し、特に二次系では空気と反応し燃焼する。

イオン化式ナトリウム微量漏えい検出器を設置し、異常の変化を常時検出。漏えいの兆候が検出された場合に、化学分析により漏えいを判定する2段方式を採用。

## 技術開発の必要性

### 【早期検出による漏えい拡大の防止】

高感度、高信頼性、低コストな検出器を開発し、微少な段階での漏えい早期検出と漏えい判定を実現し、漏えい被害の局限化を図る必要がある。

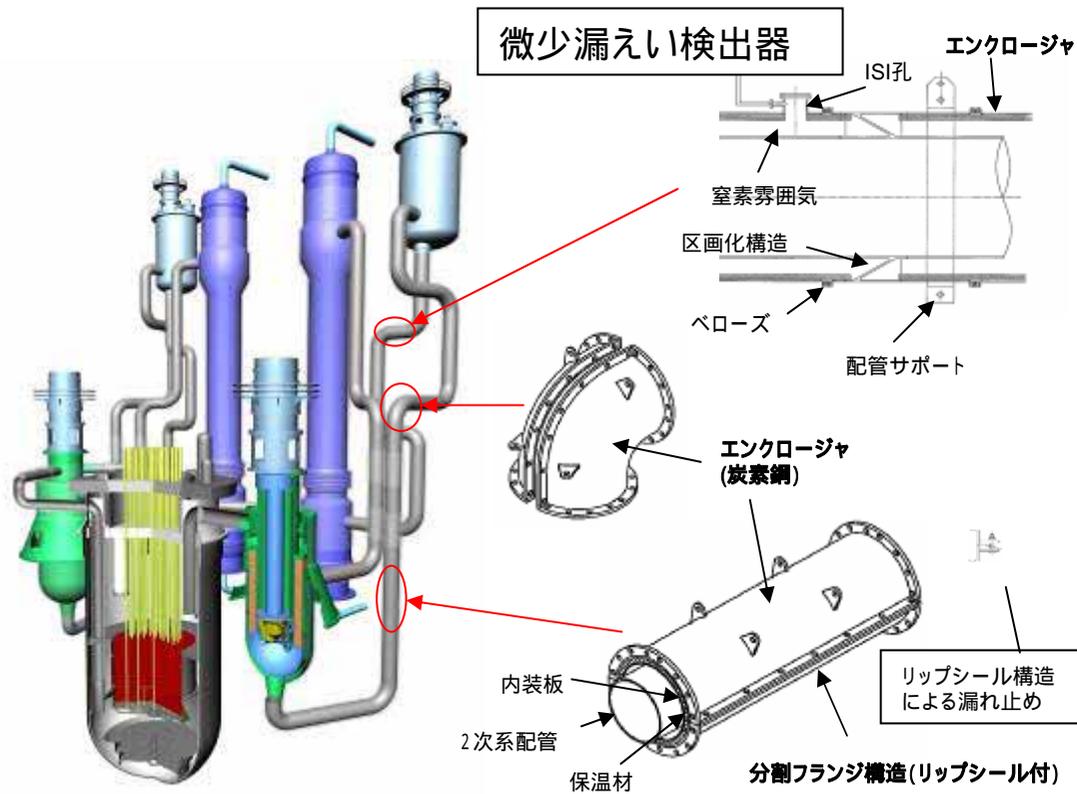
### 【漏えいナトリウムの燃焼抑制】

冷却系配管が破損しナトリウムが空気中に漏えいした場合、激しく燃焼を起こし、反応生成物が建屋内に飛散するため、復旧作業に多くの時間・労力を必要とする。このため、冷却系配管を二重化し、二重配管の隙間は区画化するとともに、窒素を充填しておくことにより、仮に内管が破損した場合でもナトリウムの漏えい量を限定し、かつ、燃焼、飛散を防止し、復旧作業を容易にする必要がある。

## 開発課題

微量漏えい検出器の開発  
二重配管ISI&R技術の開発

# 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発(効果)



2次ナトリウム系の2重化概念

## 微量漏えい検出器の開発

早期漏えい判定を実現

もんじゅ

微量漏えい検出器  
(漏えい兆候の検知)

+

化学分析  
(漏えい判定)

実用FBR

微量漏えい検出器  
(漏えい兆候検知+漏えい判定)

従来よりも早期の漏えい  
判定を実現

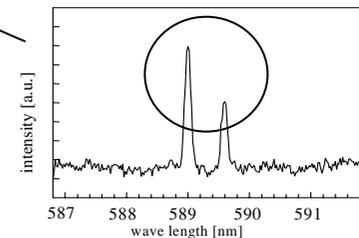
低コストで確実な検出を実現

光センサ

レーザー

漏えいにより雰囲気中に  
飛散する反応生成物

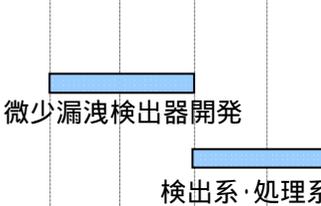
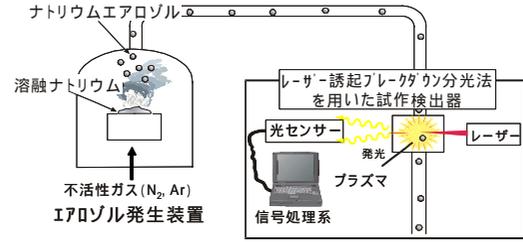
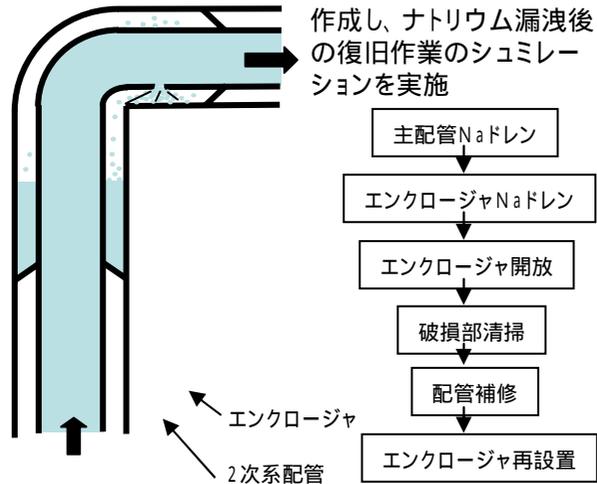
Naの発光スペクトル



ナトリウムのD線を検知  
(漏えいの確実な検知)

レーザーで生成するプラズマを利用し、従来のレーザーを使用した方法よりもシンプルな機器構成で低コストを実現

# 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
微量Na漏洩検出計の開発 ・不活性ガス雰囲気でのNa漏洩検出装置の開発		性能確認・実証  ナトリウム施設での試験 (漏えい監視機能確認)  改良型Naイオン化検出器開発(レーザー誘起ブレイクダウン分光法の開発状況により実施)	【開発課題】 ・微量な段階で確実な漏洩判定が可能な微量漏洩検出器の開発 ・二重配管内(不活性雰囲気)で生じる様々な微量漏洩の検出能力の実証  【開発目標】 2010年:高感度で高信号信頼性を持つ検出要素、検出システムの開発 2015年:設計で要求される検知能力の実証   検出器開発の実験イメージ
2重配管検査・補修技術の開発 ・2重配管のISI装置開発 ・2重配管の補修技術開発	区画内配管(外面)検査装置の開発  二重配管補修法の開発	設計課題としてISI装置の挿入方法、及び補修・交換方法を検討	2次系配管のモックアップを作成し、ナトリウム漏洩後の復旧作業のシミュレーションを実施   主配管Naドレン エンクロージャNaドレン エンクロージャ開放 破損部清掃 配管補修 エンクロージャ再設置  エンクロージャ 2次系配管

## 配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発(クライテリア)

課 題	フェーズ までの状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>Na漏えい検出装置の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用可能な方式を選定し、その実現見通しを確認済。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微量漏えい検出器(レーザー方式)の開発</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管のLBB成立性を見込める漏洩検出器が提示できること。</li> </ul>
			(2015年)	〔実機に適用可能なシステムを構築し、有効性を確認〕
<ul style="list-style-type: none"> <li>二重配管の保守補修技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フェーズ' では具体的なR&amp;Dには未着手(実証炉知見の整理等が主体)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>二重配管ISI&amp;R技術の開発</li> </ul>	(2015年)	〔ギャップ部に装置を挿入した配管検査が可能であること、漏えいが生じた場合の補修が可能であることを確認〕

# 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発

# 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 (概要)

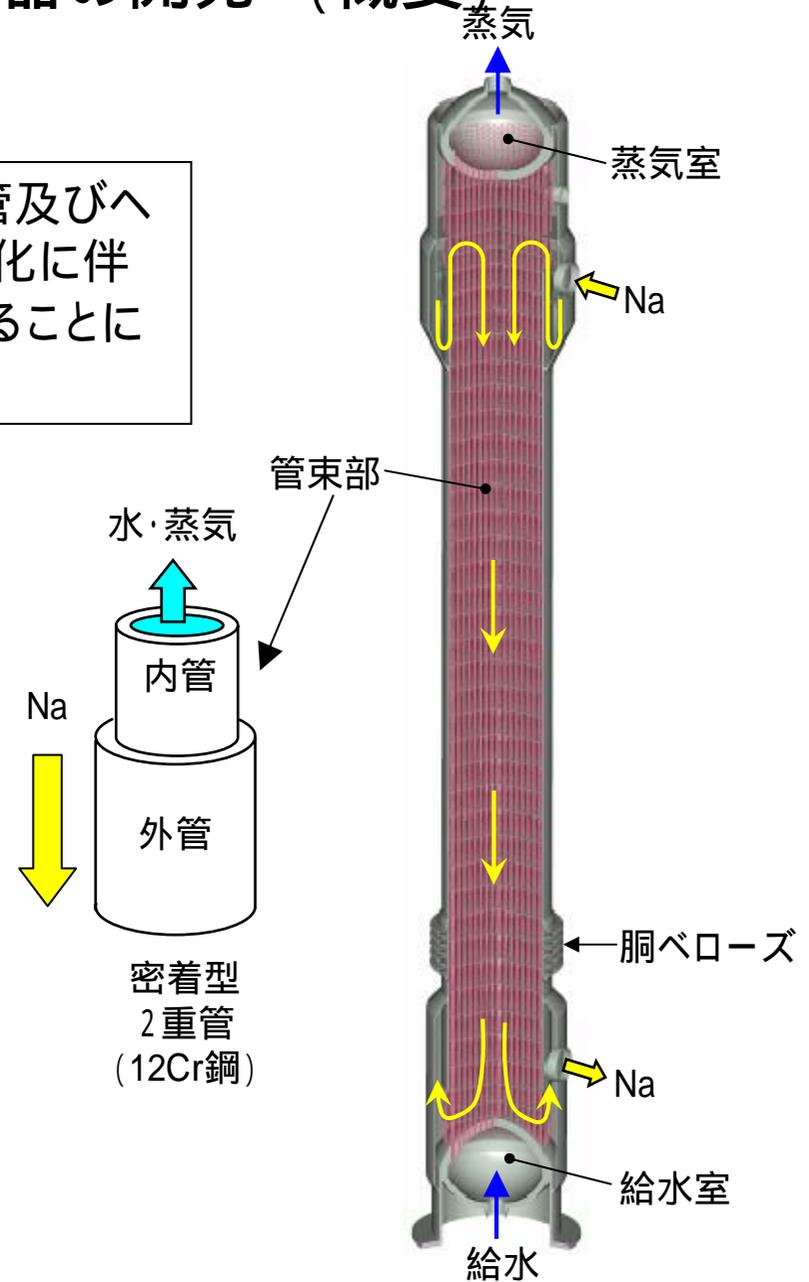
## 「もんじゅ」の現状

原型炉「もんじゅ」では、蒸気発生器の伝熱管は単管及びヘリカルコイル形状としている。実用炉では、SG大型化に伴い水リーク検出が遅延し、また伝熱管が多数存在することにより、破損頻度も増加すると考えられる。

## 技術開発の必要性

大型蒸気発生器において、Na-水反応を排除して稼働率や安全性を向上させる観点で、信頼性の高い2重管方式を採用する。さらに、2重管は管-管溶接構造を無くし、且つ良好な検査精度を確保するために、直管とする。

大型化及び直管2重管構造に伴う主要構造物内の熱流動特性の評価、SG漏洩を早期に検出するためのリーク検出計開発、及び安全論理構築のためのNa-水反応評価手法の高度化と評価が必要。



直管2重伝熱管蒸気発生器 概念

## 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発（概要）

### 開発課題

2010年の技術採否判断のための開発項目

#### 熱流動特性評価

Na入口整流プレナム水流動試験、水側不安定流動電気ヒータ加熱試験、及び過去に実施した試験データに基づき、熱流動解析手法を高精度化し、実機の成立性を確認する。

#### 2重管検査技術開発

外管及び内管の欠陥を検出できる技術開発を行う。2重管は支持板によって保持されているため、支持板が検査精度へ及ぼす影響についても評価する。また、検査速度の向上に関する評価も行う。

#### SG漏えい検出計の開発

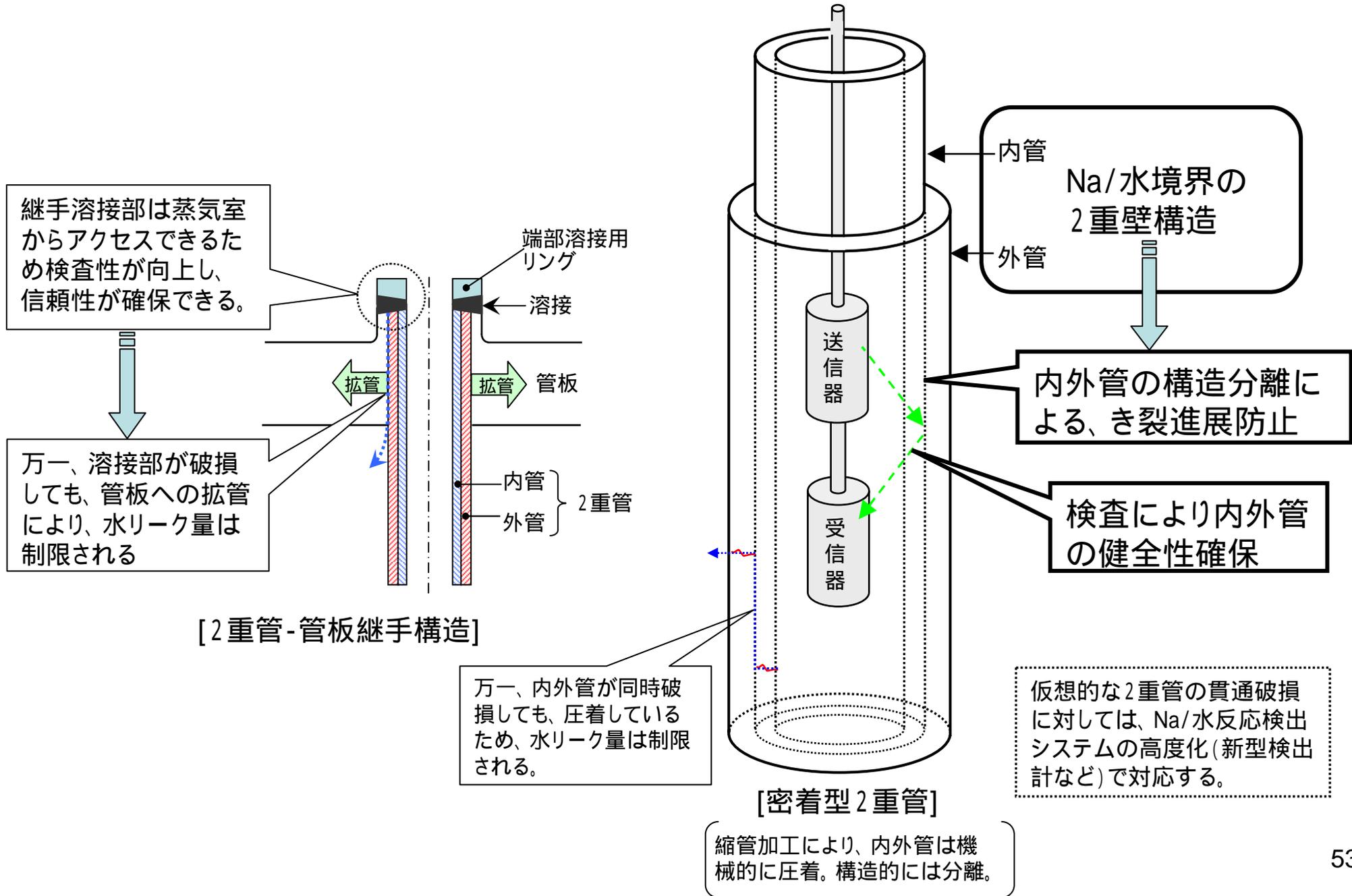
同一2重管における異なる位置での内外管同時破損は設計基準事象としているが、この場合には微量水リークが発生する。これを速やかに検知し破損伝播を防止するために、早期検知可能、且つコンパクトな固体電解質水素計（水素イオン伝導検出計）を開発する。

#### Na-水反応評価

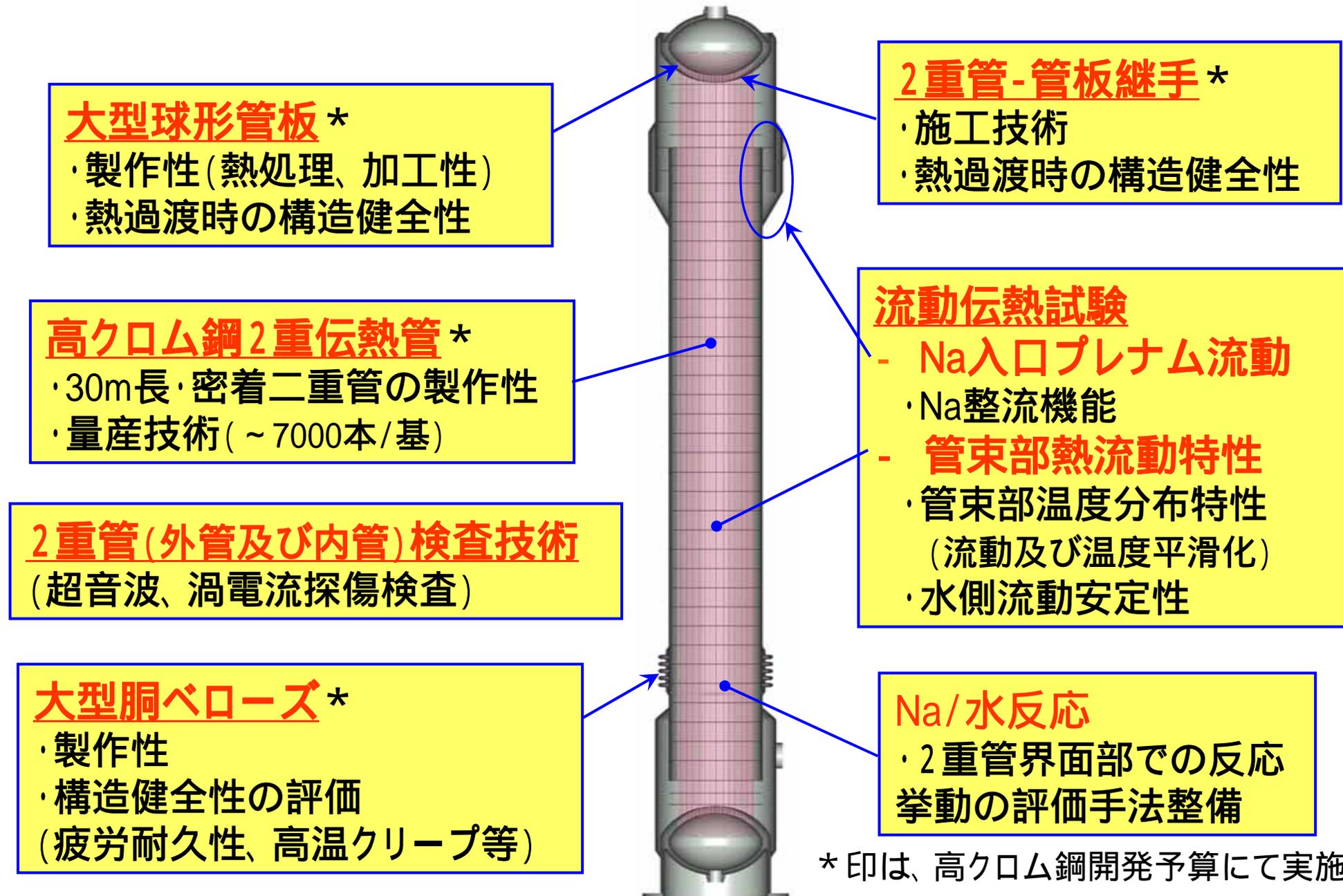
異なる位置で内外管同時破損した場合のギャップ部で水とNaが接触する2重管の特有の現象を把握し、同SGの信頼性評価に反映する。また、設計基準を越える水リーク時の安全評価として、12Cr鋼材におけるウェステージや高温ラプチャー型破損の評価手法を高精度化し、実機解析に反映する。

2011年以降は、機器設計に必要な試験として、Na-水を熱交換させる直管2重管蒸気発生器を大型試験施設において実証し、総合評価することを計画している。

# 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 (概念)

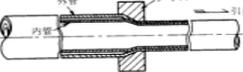
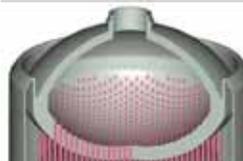


## 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 (開発課題)



\*印は、高クロム鋼開発予算にて実施<sup>54</sup>

# 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 (工程)

分類	2010	2015	開発内容
<b>[高Cr鋼2重伝熱管の開発](*)</b> ・伝熱管の製作方法を開発 ・伝熱管の基礎的な特性を把握	短管試作・試験 長尺管試作・試験	評価法検証のための試験	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・長尺12Cr鋼製2重管の試作</li> <li>・界面部接触熱抵抗測定</li> <li>・界面部き裂進展阻止機能の確認</li> </ul>
<b>[2重管 管板継手手法の確立](*)</b> ・継手施工技術 ・構造健全性	施工技術開発 継手健全性試験	管-管板溶接評価法検証試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械加工及び溶接加工性を確認</li> <li>・継手部リラクゼーション試験</li> <li>・継手部熱過渡試験</li> </ul>
<b>[大型球形管板の開発](*)</b> ・製作技術開発 ・構造健全性評価	製作技術開発 構造健全性確認試験	球形管板溶接評価法検証試験	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・高クロム鋼の厚肉鍛造材製作性、強度を確認</li> <li>・管板の3次元加工精度の確認</li> <li>・熱過渡強度評価試験及び解析</li> </ul>
<b>[大型胴ペローズの開発](*)</b> ・製作技術開発 ・構造健全性評価	胴ペローズ試作 胴ペローズ試験	胴ペローズ評価法検証試験	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・高温クリープ疲労試験</li> <li>・疲労耐久性試験</li> <li>・Na中耐久試験</li> </ul>
<b>[2重管検査技術開発](**)</b> ・超音波探傷技術 ・渦電流探傷技術	基礎試験 性能試験	検査速度の高速化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・疲労き裂欠陥検出性能</li> <li>・減肉欠陥検出性能</li> <li>・伝熱管支持板の影響評価</li> <li>・検査速度評価</li> </ul>
<b>[Na/水反応評価技術の開発]</b> ・2重管ウェステージ試験 ・2重管高温ラプチャー試験 ・固体電解質水素計開発	Na/水反応試験 センサ開発試験	解析評価手法の高度化 Na中耐久性試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内外管界面部でのNa/水反応の現象評価</li> <li>・ターゲットウェステージ及び高温ラプチャー評価手法の高度化</li> <li>・新型水リーク検出計の開発</li> </ul>
<b>[流動伝熱試験及び技術実証]</b> ・Na整流プレナム流動 ・管束部温度流動分布特性 ・水側流動安定性	管束部熱流動解析評価 伝熱流動試験	ナトリウム施設での試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伝熱管温度分布を取得し、応力解析</li> <li>・管束部の熱交換を模擬した試験体による水流動試験</li> </ul>

(\*): 高クロム鋼と同一の内容を記載。 (\*\*): 保守・補修技術と同一の内容を記載。

## 直管2重伝熱管蒸気発生器の開発 (クライテリア)

	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 二重管SGの開発</li> <li>• 製作技術(短尺12Cr鋼2重管の試作)</li> <li>• 構造健全性の解析(球形管板熱過渡、2重管面圧経時変化、等)</li> <li>• 2重管検査基礎試験(外管き裂・減肉欠陥検出)</li> <li>• Na-水反応の解析</li> <li>• 熱流動特性の解析(水側不安定流動、定常多次元解析)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高クロム鋼2重伝熱管                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 長尺(35m)2重管の製作性</li> </ul> </li> <li>• 2重管-管板継手構造</li> <li>• 大型球形管板                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 製作性</li> <li>- 熱過渡時の構造健全性</li> </ul> </li> <li>• 大型胴ペローズ</li> <li>• 2重管(外管/内管)検査技術</li> <li>• Na-水反応評価                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 評価手法の高度化</li> <li>- 新型検出計開発</li> </ul> </li> <li>• 熱流動特性の評価                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 水側流動安定性確保</li> <li>- 温度・流量空間分布の均一化</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 35m長さの2重管において、所定の面圧やギャップ幅が確保できる見通しが得られること。</li> </ul>	2010年	(2015年) (評価法の検証は2015年までに実施予定。)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2重管と管板の接合ができ、健全性確保に必要な強度が得られていること。</li> </ul>	2010年	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 製作性においては、厚肉球形構造物に必要な強度特性を得られること、および、管孔開け加工が所定の精度で実施できること。</li> <li>• プラント寿命中に想定される回数の熱衝撃に対して、管板の構造健全性が確保できること。</li> </ul>	2010年	(2015年) (評価法の検証は2015年までに実施予定。)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 大型ペローズの製作において必要な強度特性が得られ、プラント寿命中における、繰り返し応力や熱過渡に対して、健全性が確保できること。</li> </ul>	2010年	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 外管及び内管において、安全ロジックから要求される欠陥が、検出できること。</li> </ul>	2010年	(2015年) (検査技術の高速化は、2015年までに実施予定。)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2重管界面部で発生するNa/水反応の現象や伝熱管への影響が把握できること。</li> </ul>	2010年	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 試験データと解析手法を整備するとともに、水側流動の安定性が確保できること。SG内部の温度・流速分布については、解析的に均一となる見通しが得られていること。</li> </ul>	2010年	(2015年) (Na/水熱交換によるSG熱流動試験は、2015年までに実施し、解析モデルの妥当性を確認する。)

# 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発

# 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発(概要)

## 「もんじゅ」の現状

ナトリウムは空気・水と反応するため、容易に配管を取り外すことができない。また温度が低下すると固形化するため、配管系の温度を維持する必要がある。また、ナトリウムは水と異なり不透明なため、既存の目視検査用カメラでは、配管あるいは容器内構造物の検査に対応できない。

このため、現在の保守・補修技術では、冷却系配管から加熱状態のナトリウムを全て抜く必要がある等、極めて手間がかかる。

## 技術開発の概要

配管内部の保守については、超音波を用いた探傷技術を開発し、配管取り外し検査の手間を削減。配管表面の保守については、放射能を帯びたナトリウム内でも撮影可能なカメラを開発し、検査の手間を削減。あわせて、保守・補修しやすいプラント設計を実施。

## 今後の課題

現在までに、超音波探傷技術、ナトリウム内で撮影可能なカメラの技術開発見通しを得た。

今後、実証試験による性能確認、実用性の見直し確認が必要。

( 保守・補修しやすいプラント設計については、設計上の問題であり、技術開発要素なし。 )

# 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発(枢要検査技術)

原子炉容器廻り検査装置



(もんじゅ、実証炉)

1次主冷却系配管検査装置



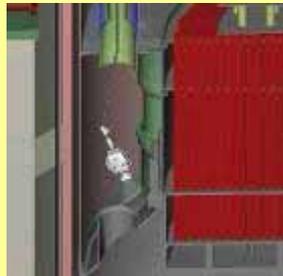
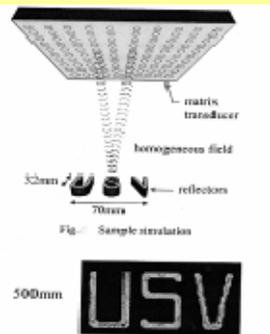
(もんじゅ)

蒸気発生器伝熱管検査装置



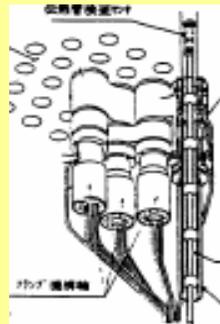
(もんじゅ、実用炉)

ナトリウム中検査装置

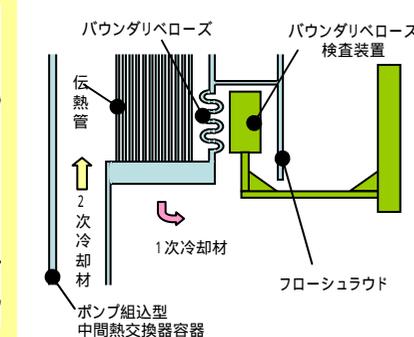


(実証炉、実用炉)

中間熱交換器検査装置

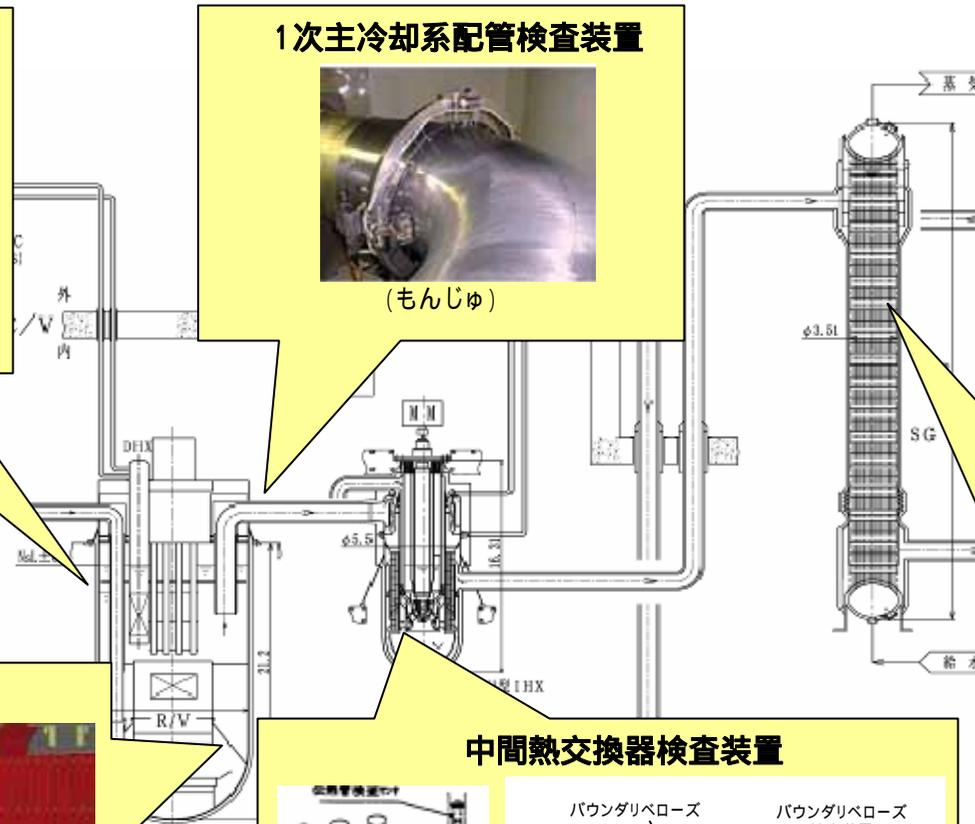


伝熱管検査



バウンダリベローズ検査

(実証炉、実用炉)



## 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p>ナトリウム中検査装置・補修法の開発</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中目視センサの開発</p> <p style="margin-left: 100px;">ナトリウム中目視検査高速データ処理化</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中体積検査センサの開発</p> <p style="margin-left: 100px;">ナトリウム中試験</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中搬送装置の開発</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中補修技術の開発</p>	<p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中目視検査高速データ処理化</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中試験</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中補修試験装置の開発</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中補修装置実証試験</p>	<p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中検査(目視・体積)装置実証試験</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中補修試験装置の開発</p> <p style="margin-left: 40px;">ナトリウム中補修装置実証試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ナトリウム中可視化および体積検査装置の小型化、処理高速化をめざした機器開発(前頁図 )</li> <li>・ センサのナトリウム中搬送、位置決め装置の開発</li> <li>・ ナトリウム除去、溶接等の基盤技術を発展させたナトリウム中補修技術開発</li> </ul>
<p><b>二重管蒸気発生器伝熱管検査・補修装置の開発(*)</b></p>	<p style="margin-left: 40px;">二重伝熱管検査技術の開発</p>	<p style="margin-left: 40px;">検査機器高速化技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検査機器の精度、効率向上と2重伝熱管への適用性確保のための機器開発(前頁図 )</li> <li>・ 不具合伝熱管のプラグ施工と抜管技術の開発</li> </ul>
<p>構造物の欠陥検査技術の開発</p>	<p style="margin-left: 40px;">センサ試作及び基礎試験</p> <p style="margin-left: 40px;">モックアップ伝熱管による試験・評価</p>	<p style="margin-left: 40px;">容器・配管に適用するEMATモニタリングシステムの開発</p>	<p>以下の検査用センサの開発を行う</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子炉容器や配管の検査・モニタリングに適用する高温用電磁超音波探傷器(EMAT)</li> <li>・ き裂やピンホールなどの微小欠陥の検出性能に優れた磁気センサ</li> </ul>

(\*) 直管2重伝熱管蒸気発生器と同一の内容を記載。

## 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発(工程)

分類	2010	2015	開発内容
自己放出ガンマ線を用いたNa透視技術の開発	<p>要素開発(検出系、信号処理等)</p>	<p>可視化システム開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心及び放射化した冷却材から発生する線を線源とした冷却材中可視化技術を開発する。</li> </ul>
IHX伝熱管、バウンダリベローズ検査・補修装置の開発		<p>検査装置の開発</p> <p>補修装置の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IHX伝熱管とバウンダリベローズへアクセスするためのロボティクス技術の開発(前頁図 )</li> </ul>
原子炉容器検査装置の開発		<p>原子炉容器検査装置の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>もんじゅに比べて狭くなった原子炉容器とガードベッセルのギャップ寸法に対応した小型のリモートアクセス・ツールとそれに搭載可能な検出器の開発</li> </ul>

## 保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発(クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
・Na中検査技術、補修技術の開発(炉内構造物、IHX他)	・Na中可視化装置の水中試験により0.2mmの亀裂検出の可能性を確認。 ・Na中搬送装置の試作及び水中移動試験を実施し、適用可能性を確認。	・ナトリウム中検査・補修技術の開発	2010年	・ナトリウム中可視化装置、体積検査装置の解像度、処理時間等の実用化目標を達成できる見通しを提示できること。 ・同装置を原子炉容器中で、所定の位置に移動及び停止できる搬送装置の実現見通しを提示できること。
			(2015年)	〔 ナトリウム中試験により、ナトリウム中検査が可能であることを確認。ナトリウム中補修技術の実現見通しの提示。 〕
・構造物の欠陥検査技術の開発	・「もんじゅ」での検査技術開発の動向を踏まえて、原子炉容器、配管に適用する検査技術の候補を検討	・原子炉容器、配管に適用可能な欠陥検出技術の開発	(2015年)	〔 配管及び容器に対して磁気センサ等の適用見通しを示すこと。EMATの適用見通しを示すこと。 〕
・自己放出ガンマ線を用いたNa透視技術の開発	・計算シミュレーションによる検査技術の原理確認	・外部からの内部構造物の可視化検査技術の開発	2010年	・検査システム概念を提示するとともに、実機への適用見通しを示すこと。
			(2015年以降)	〔 検査システムの構築とナトリウム施設での適用性確認 〕
・IHX伝熱管、バウンダリベローズ検査・補修装置の開発	・検査・補修方法の概念検討	・アクセスのためのロボティクス技術の開発	(2015年以降)	〔 燃料交換機の技術やナトリウム中検査、補修技術の応用が可能 〕
・原子炉容器検査装置の開発	・検査方法の概念検討	・アクセスのためのロボティクス技術の開発	(2015年以降)	〔 「もんじゅ」での開発実績あり 〕

# 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却

# 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却(概要)

## 「もんじゅ」の現状

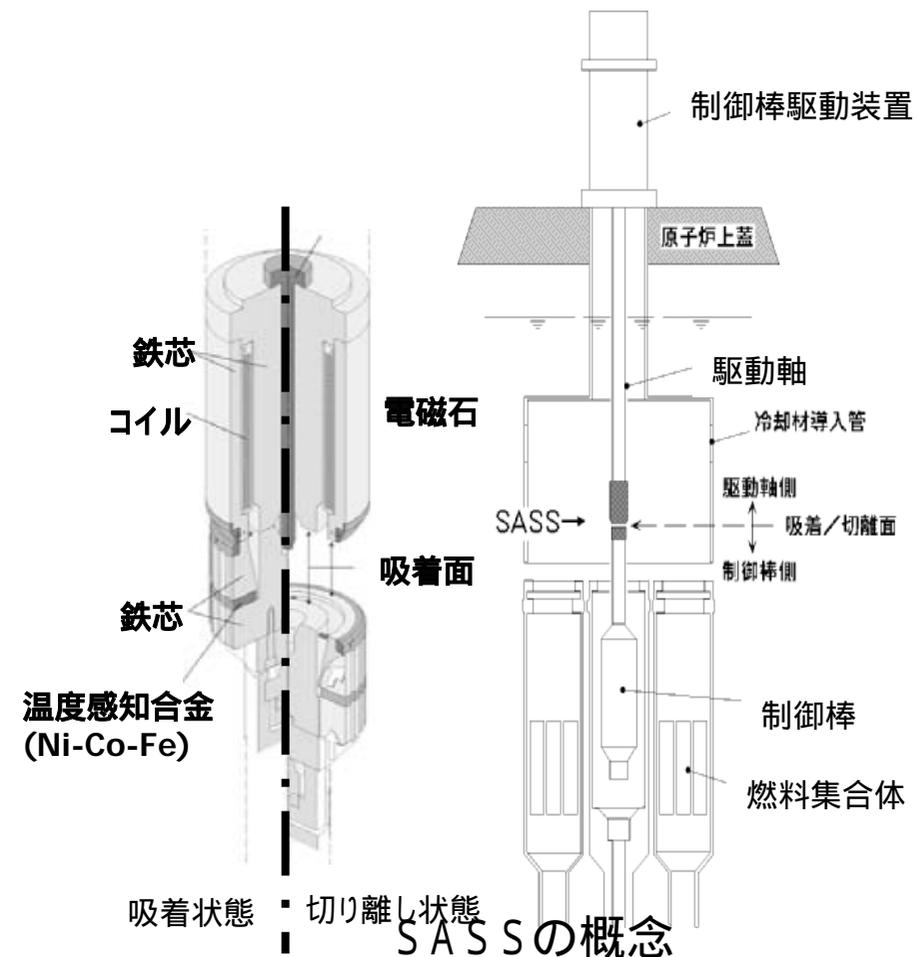
「もんじゅ」では、非常時における炉停止のための制御棒操作は、電気信号によっている。炉停止後の崩壊熱除去は、強制循環による。自然循環による除熱は設計では考慮せず、バックアップの位置づけ。

## 技術開発の必要性

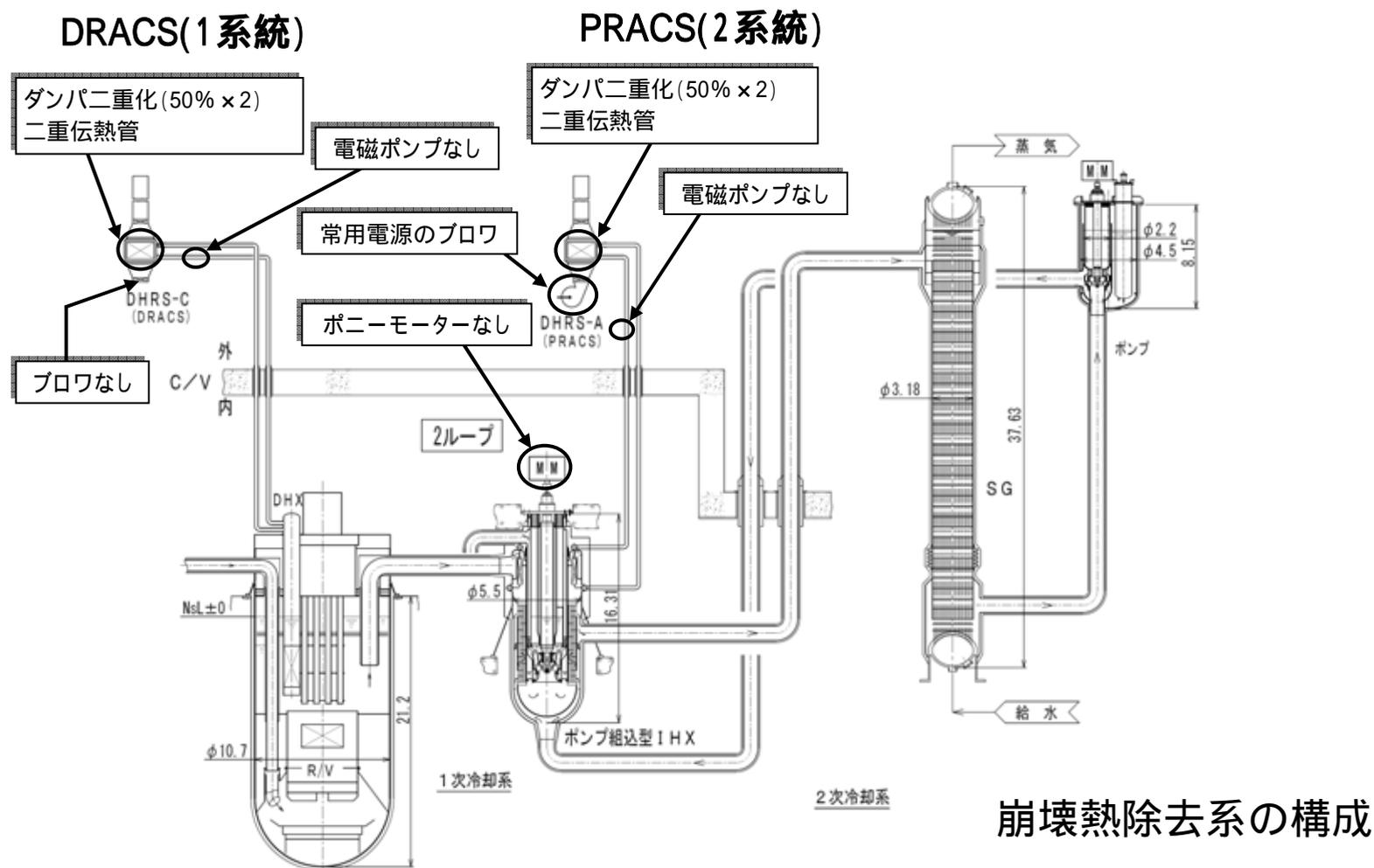
非常時における炉停止のための制御棒操作を、受動的(パッシブ式)システムとし、ポニーモータをなくして設計の段階から自然循環能力を取り入れ、電気停止(外部電源喪失)時にも確実に炉停止・冷却を行えるシステムを開発し、経済性とともにも非常時の安全性をさらに向上。

## 開発課題

自己作動型炉停止機構(SASS)の開発  
自然循環による崩壊熱除去システムの開発



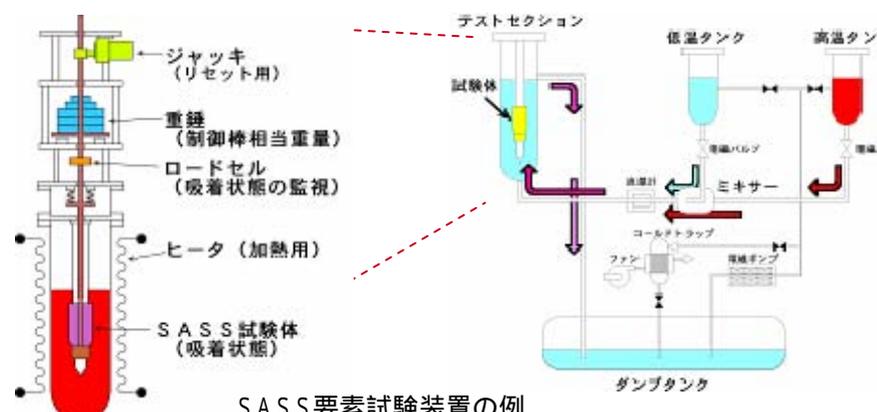
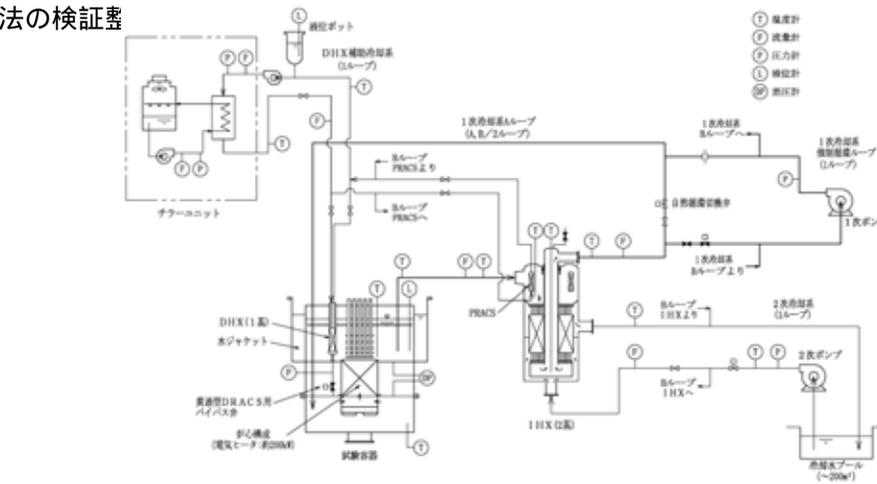
## 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却(効果)



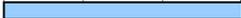
### 自然循環の活用

- ポニーモーターの削除(非常用電源設備の簡素化)
- 崩壊熱除去系の動的機器を空気冷却器のダンパーのみにする。
- 評価手法の高度化による合理的かつ高い信頼性を持った評価

# 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p>受動的炉停止系の開発</p>	<p>要素試験体照射試験(常陽)</p> <p>炉外磁気特性試験</p> <p>主系モックアップ試験体製作・水中試験</p> <p>後備系モックアップ試験体製作・水中試験</p>	<p>実機仕様SASSの機能確認試験</p> <p>(感知合金仕様の見直しが必要な場合に実施)</p> <p>ナトリウム施設での試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>受動的な制御棒切り離し機構(SASS)が通常運転時に誤切離しを生じないことの実証のための常陽炉内試験</li> <li>SASSを含めた原子炉停止系の機能確認のためのモックアップ試験(制御棒駆動、スクラム、燃料交換動作、地震時挿入性を確認)</li> </ul>  <p>SASS要素試験装置の例</p>
<p>自然循環流動試験</p>	<p>水流動試験</p> <p>部分ナトリウム流動試験</p> <p>評価手法開発</p> <p>「もんじゅ」</p>	<p>炉容器コンパクト化の中で炉内熱流動を確認評価</p> <p>自然循環特性試験</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水流動試験体(アクリル製)を製作し、定常運転時の主要部位での流況と崩壊熱除去を含めた過渡時の自然循環による除熱特性に関するデータを取得し、解析手法の検証</li> </ul>  <p>水流動試験装置概念の例</p>

## 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却(工程)

分類	2010	2015	開発内容
長寿命制御棒の開発	 <p data-bbox="725 503 964 530">長寿命制御棒の製作</p>	 <p data-bbox="984 623 1091 650">照射試験</p>	<ul data-bbox="1334 435 2107 498" style="list-style-type: none"> <li>• 炉心の燃料交換サイクルより長い寿命が達成可能な、ナトリウムボンド方式2重シュラウド型制御棒を開発する。</li> </ul>

## 受動的炉心停止と自然循環による炉心冷却(クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>自己作動型炉停止機構(SASS)の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素開発を終了し、常陽での誤落下に対する信頼性の実証試験を経て、常陽での材料照射試験を実施中。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常陽による照射試験等による材料特性データ整備</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>SASS構成材料の照射影響を含む特性データの整備と、設計手法を提示できること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>モックアップによる機能確認</li> </ul>	(2015年)	〔 SASSを含めた原子炉停止系の機能確認 〕
<ul style="list-style-type: none"> <li>自然循環による崩壊熱除去システムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>常陽の自然循環試験、実証炉の1/8水流動試験等を経て開発されてきた手法を用いてシステム成立見通しを得た。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水流動試験と部分Na流動試験による設計評価手法整備</li> </ul>	2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>自然循環評価手法を整備し、水流動試験およびNa流動試験データによる検証結果を提示できること。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>もんじゅを用いた自然循環特性試験等による手法妥当性の確認</li> </ul>	(2015年)	〔 設計評価手法の妥当性確認 〕
<ul style="list-style-type: none"> <li>長寿命制御棒の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ナトリウムボンド方式2重シュラウド型制御棒の概念検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>制御棒の製作と照射挙動評価</li> </ul>	(2015年)	〔もんじゅでの制御棒の高度化研究の成果を踏まえて制御棒長寿命化の可能性を見極めるとともに、段階的に照射実績を得ていく 〕

# 炉心損傷時の再臨界回避技術

# 炉心損傷時の再臨界回避技術(概要)

## 「もんじゅ」の現状

炉心損傷事故の際、溶融した燃料が集中すると、再臨界を起こす可能性がある。

「もんじゅ」では、運転実績が僅少であることから、炉心崩壊事故を想定した保守的な条件の評価を実施し、発生する機械的エネルギーによって噴出するナトリウムの燃焼に対して、原子炉の安全余裕(格納容器の健全性)が保たれていることを確認している。

## 技術開発の必要性

炉心損傷事故時に、溶融燃料を炉心外に排出する経路を取り付けた集合体により、炉心損傷事故時に溶融燃料の再臨界を回避しつつ冷却するシステムを確立し、事故時の安全性向上を図る必要がある。

上述の方策を付加したプラント概念を対象に確率論的安全評価を実施し、安全設計の妥当性を確認する必要がある。

## 開発課題

炉心損傷時の再臨界回避技術については、現在までに、カザフスタンの安全研究炉IGRにて、安全容器内での燃料溶融状態試験を行い、基礎的データ取得済み。

今後、IGRでの試験を通じて燃料の流出挙動を把握し、流出した燃料を安定的に冷却できることを確認する必要がある。

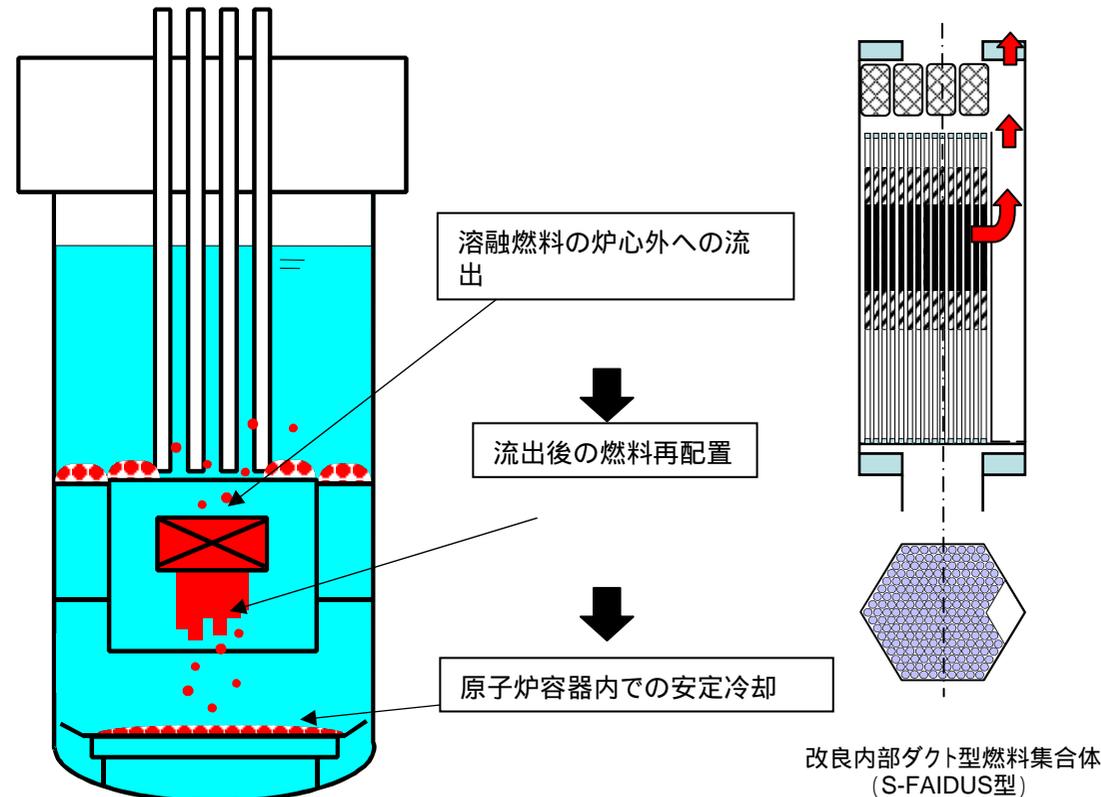
# 炉心損傷時の再臨界回避技術(効果)

炉心損傷事故の際、溶融した燃料が集中すると、再臨界を起こす可能性がある。

「もんじゅ」では、運転実績が僅少であることから、炉心崩壊事故を想定した保守的な条件の評価を実施し、発生する機械的エネルギーによって噴出するナトリウムの燃焼に対して、原子炉の安全余裕(格納容器の健全性)が保たれていることを確認している。

実用FBRでは、炉心損傷事故時に、溶融燃料を炉心外に排出する経路を取り付けた集合体により、炉心損傷事故時に溶融燃料の再臨界を回避しつつ冷却するシステムを確立し、事故時の安全性向上を図る。

炉心損傷時の溶融燃料の集中による再臨界の不安の払拭をめざす。



## 炉心損傷時の再臨界回避技術(工程)

分類	2010	2015	開発内容
炉心損傷挙動 評価試験			改良内部ダクト型燃料集合体における溶融燃料上方流出の原理確認 カザフスタン炉外試験施設、IGR試験炉等を用いた試験研究 燃料流出後に原子炉容器内での安定冷却が可能であることを試験データに基づいた評価で示す。 カザフスタン炉外試験施設、IGR試験炉等を用いた試験研究
確率論的安全性評価(PSA)適用検討			<ul style="list-style-type: none"> <li>PSAを適用して安全設計の妥当性を評価</li> <li>設計概念の妥当性を評価する観点から、以下を先行して実施(評価手法整備を含む。レベル1PSA(炉心損傷発生頻度評価)については、フェーズで見通しを得ている。)                          レベル2PSA(炉心損傷進展過程の現象論と放射性物質移行挙動評価)                          地震時PSA                          停止時PSA</li> <li>設計概念が固まりつつある段階で詳細評価を実施</li> <li>「常陽」「もんじゅ」の運転経験データの収集とデータベース整備を継続的に実施</li> </ul>
放射性物質移行 挙動評価			<ul style="list-style-type: none"> <li>過熱状態にある高速炉燃料からのFPとPuの放出率を測定</li> <li>燃料から放出された放射性物質の1次冷却系内での移行挙動(移行率)を試験により評価</li> </ul>
安全設計・評価方針の整備			<ul style="list-style-type: none"> <li>実用化炉の安全設計方針と安全評価方針を整備</li> <li>安全設計・評価の妥当性を裏付ける技術基準、技術的知見の整理</li> <li>評価事象選定論理構築</li> <li>評価ツールと評価条件整備</li> </ul>

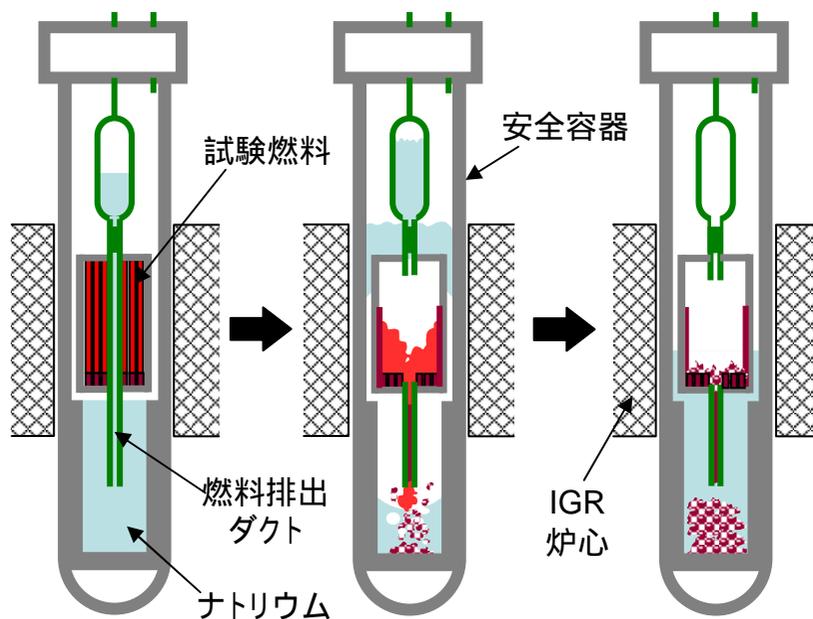
## 炉心損傷時の再臨界回避技術(クライテリア)

課題	フェーズIIまでの状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
・炉心損傷時の再臨界回避技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析コード(SAS4A/SIMMER等)による検討の実施</li> <li>・カザフのIGRを用いたダクト付き燃料集合体の炉内実証試験の実施(基礎的データの取得)</li> </ul>	炉心損傷事故時の溶融燃料の流出挙動の確認	2010年	内部ダクト付き燃料集合体(S-FAIDUS)の溶融燃料の流出促進機能を確認できる試験データと実機適用性評価に必要な解析コードの整備結果の提示。
		流出燃料の原子炉容器内での安定冷却性の確認	2010年	流出した溶融燃料が原子炉容器内で自然循環冷却され、安定に保持されることを解析により提示できること。
			(2015年)	カザフスタン炉外試験施設、IGR試験炉などを用いた試験研究により、流出させた燃料が原子炉容器内のナトリウム自然循環により安定的に冷却できることが確認されること。

## 補足：炉心損傷時の再臨界回避方策 実現のための試験研究

- 炉心損傷時の溶融燃料の集中による再臨界の不安の払拭をめざす。
- 炉心内に溶融燃料排出経路(スチール製のダクト構造)を確保した設計概念を構築(前頁参照)
- 燃料溶融が生じた場合、燃料はスチールダクトを貫通させて炉心外へ流出することを試験により確かめる
- カザフスタンの安全研究炉IGRにて、安全容器内での燃料溶融状態を実現し、燃料流出挙動を把握する

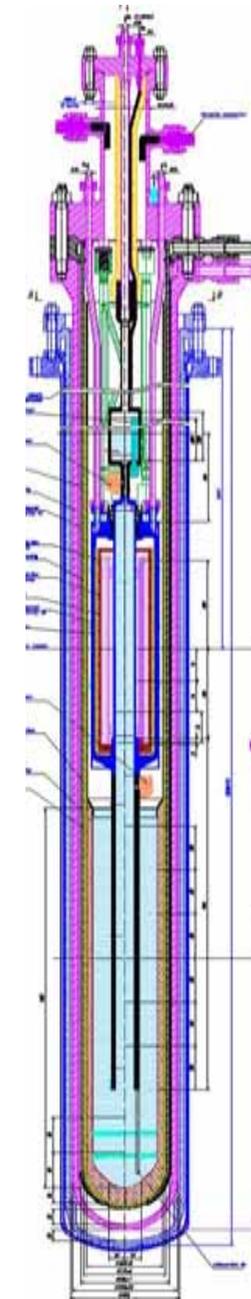
### 予想される燃料流出挙動



### IGR (Impulse Graphite Reactor)



(中央試験孔に右試験体を挿入)



試験体構造図

# 大型炉の炉心耐震技術

# 大型炉の炉心耐震技術(概要)

## 「もんじゅ」の現状

一般軽水炉は耐震設計、「もんじゅ」でも耐震設計を採用。

## 技術開発の概要

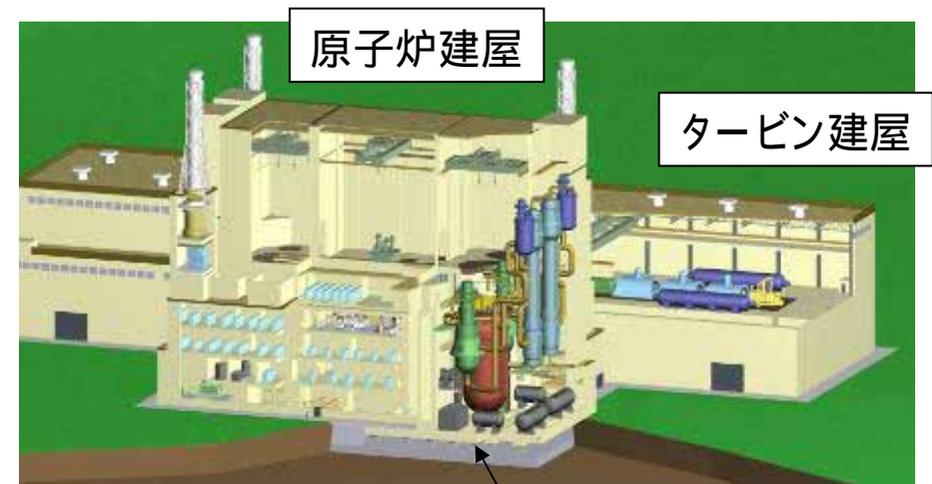
炉心の耐震性として地震時に集合体飛びだし等を抑制する設計が必要である。地震発生時に炉心は燃料集合体同士が摩擦・衝突しながら振動するために、複雑な挙動を示す。安全裕度を確認するために集合体の群振動を明らかとする。

3次元免震を採用した場合、地震荷重の制約から解放されることから、高速炉特有の熱応力に対して最適の設計が可能となる。また、想定内であればいかなる地震動にも対応可能であるため、従来の耐震設計と異なり立地条件にかかわらず建屋設計を標準化することが可能。さらに、今後予想される耐震基準強化への対応にも有効。

## 今後の課題

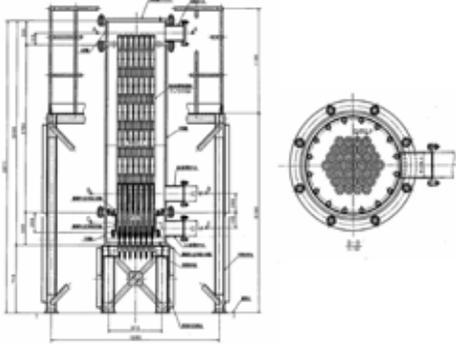
燃料集合体の群振動試験を実施し、炉心の耐震性評価手法を開発する必要がある。  
今後、3次元免震構造の開発・試作を行い、基準化のための確認試験を実施する必要がある。

実用炉プラント鳥瞰図



建屋免震技術を採用

# 大型炉の炉心耐震技術(工程)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>炉心耐震性評価手法の開発</b></p>	<p>3次元群振動試験</p> <p>3次元群振動解析コードの開発</p>	<p>炉容器の耐震性評価</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>模擬燃料集合体(単体、列、群、多数体)を加振台で3次元加振し、群振動挙動を測定する。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>群振動挙動を精度良く解析可能なコードを開発し、合理的な炉心耐震性評価手法を整備する。</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">試験体概念図(群の例)</p> <p>左記以外の構造部位の耐震性の確認試験として、原子炉冷却系耐震総合試験(2015年以降に実施)を検討中。</p>
	<p><b>3次元免震技術の開発</b></p>	<p>免震要素試作・開発</p> <p>3次元免震設計方針案の策定</p>	<p>システム確認試験(大型振動台試験)</p> <p>実機設計方針策定</p>

## 大型炉の炉心耐震技術(クライテリア)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
耐震性評価手法の開発(水平免震条件)	予備評価によって、燃料集合体の浮き上がり量が制限内に収まること、原子炉容器の耐震性が確保されることの見通しを得た。	[炉心耐震評価手法の開発] 3次元群振動挙動データの取得と解析評価手法の開発	2010年	大型炉心での燃料集合体の群振動挙動の評価手法を整備し、水平免震条件で炉心安全に影響を及ぼさないことを示す。
		[機器耐震評価手法の開発] 上下動と水平動を重畳した場合の原子炉容器の座屈に対する評価手法の開発	(2015年)	策定した実用原子炉容器(薄肉容器)の座屈評価法の保守性を確認する。 (主要機器の耐震性確認方策について検討中)
3次元免震技術の開発	実用炉に適用が見込める3次元免震システムの基本概念を選定	免震装置の開発と確認データ整備	(2010年)	(実用炉に適用可能な免震装置の提示(設計成立性上必須ではない))
		大型振動台を用いた実証試験	(2015年)	(3次元免震設計方針案の策定)

## 参考資料 3 - 2

先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の  
実用化に向けた技術開発課題について  
(燃料サイクルシステム作業会資料)

平成 18 年度第 1 回燃料サイクルシステム作業会資料

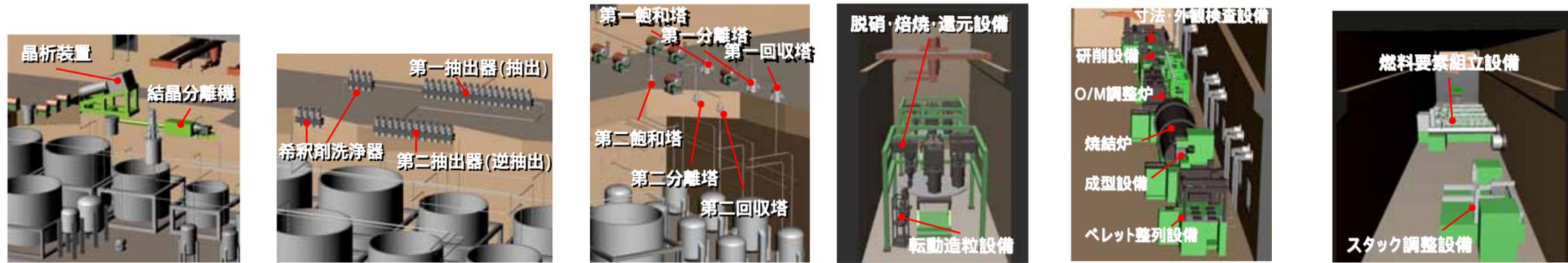
燃作 1-1-1	先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の 実用化に向けた技術開発課題について
燃作 1-1-1	先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の 実用化に向けた技術開発課題について (詳細版)

# 先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の 実用化に向けた技術開発課題について

平成19年1月24日

日本原子力研究開発機構

# (先進湿式法再処理 + 簡素化ペレット法燃料製造)



晶析技術

U,Pu,Np一括回収抽出技術

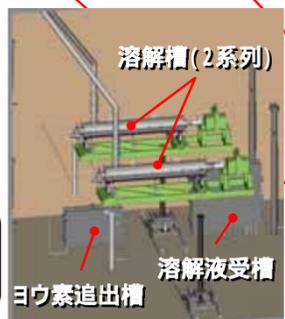
MA回収技術

脱硝・転換・造粒一元処理技術

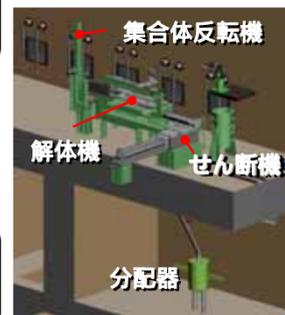
ダイ潤滑成形技術  
焼結・O/M調整技術  
燃料基礎物性研究

燃料要素組立

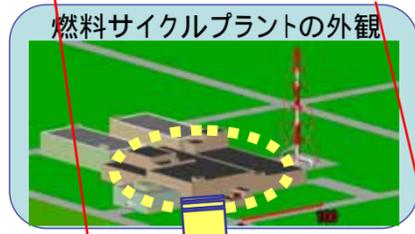
- 解体・せん断技術の開発
- 高効率溶解技術の開発
- 晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発
- U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発
- 抽出クロマト法によるMA回収技術の開発
- 廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発



高効率溶解技術

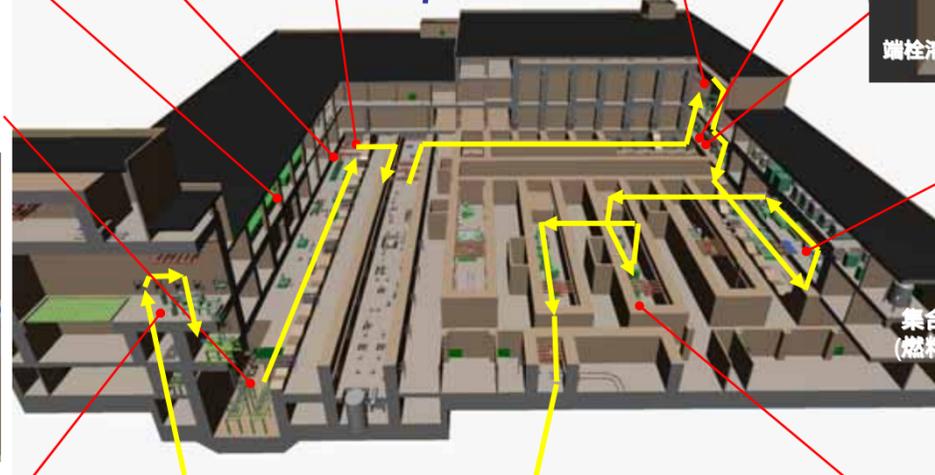


解体・せん断技術



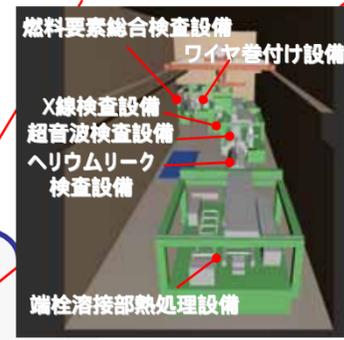
再処理

燃料製造

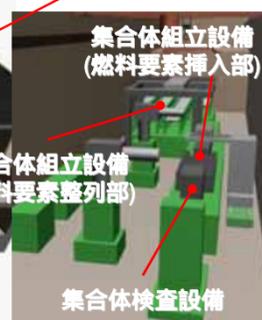


使用済み燃料集合体貯蔵建屋より 新燃料集合体貯蔵建屋へ

燃料の流れ



燃料要素検査



TRU燃料取扱い技術  
(集合体組立・検査)

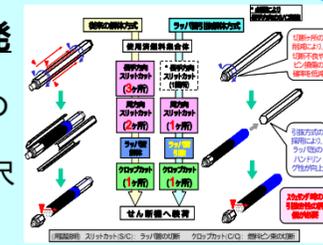
- 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発
- ダイ潤滑成形技術の開発
- 焼結・O/M調整技術の開発
- 燃料基礎物性研究
- セル内遠隔設備開発
- TRU燃料取扱い技術

# 燃料サイクルシステムの実用化に向けた革新技術

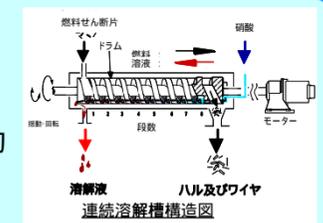
## (先進湿式再処理技術)

## (簡素化ペレット法燃料製造技術)

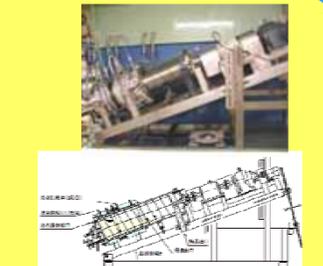
**解体せん断技術開発**  
 ラップ管等の切断技術  
 燃料集合体及びピン束のハンドリング技術  
 粉化燃料片のための短尺せん断技術



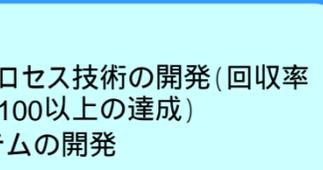
**溶解技術開発**  
 粉化燃料片を対象とした高濃度溶解プロセス技術  
 大容量化に対応した高効率溶解装置の開発



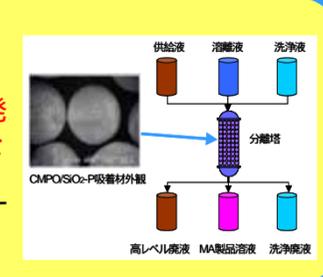
**晶析技術開発**  
 連続晶析プロセス技術の開発  
 工学規模晶析装置及び晶析システムの開発  
 結晶分離技術及び高濃度溶液移送技術の開発



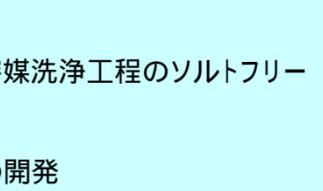
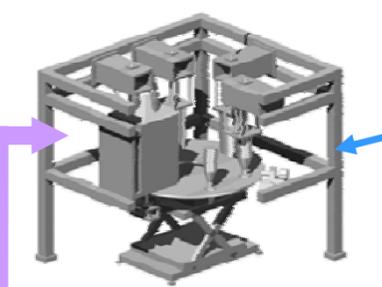
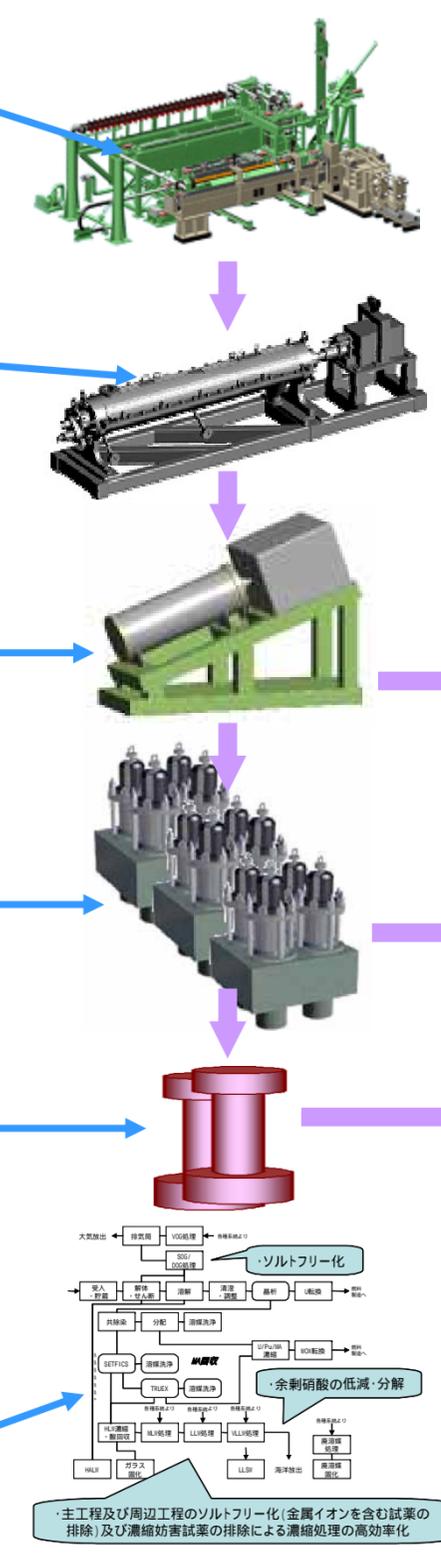
**抽出技術開発**  
 U - Pu - Np一括回収プロセス技術の開発 (回収率99.9%以上及び除染係数100以上の達成)  
 工学規模遠心抽出システムの開発



**MA回収技術開発**  
 クロマトグラフィによるMA回収プロセス技術の開発  
 クロマトグラフィ塔の安全性の評価  
 遠隔自動運転を可能とする計装・制御技術の成立性



**廃液2極化技術開発**  
 オフガス洗浄工程及び溶媒洗浄工程のソルトフリー化プロセスの開発  
 廃液濃縮度の達成  
 余剰硝酸分解プロセスの開発

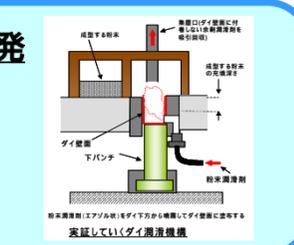



**脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発**  
 原料粉末の流動性改良  
 プロセスの工学規模での成立性  
 量産化に適した脱硝・転換・造粒技術の開発



マイクロ波脱硝造粒装置

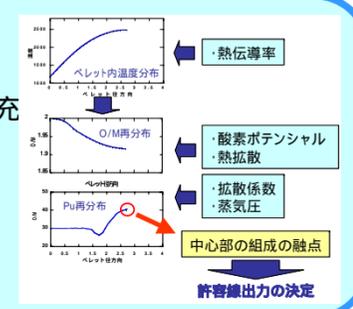
**ダイ潤滑成型技術の開発**  
 ダイ潤滑成型技術の工学規模での成立性



**焼結・O/M調整技術の開発**  
 焼結・O/M調整技術の量産性評価  
 量産化に適した焼結・O/M調整方式、機器製作性

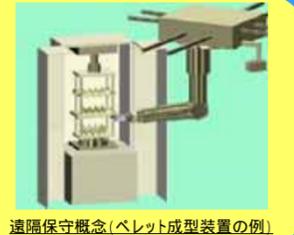


**燃料基礎物性研究**  
 基礎物性データの拡充  
 計算科学による物性データ予測技術の開発



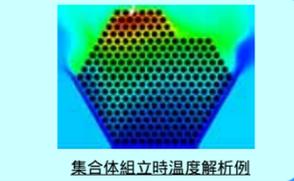
熱伝導率  
 酸素ポテンシャル・熱拡散  
 拡散係数・蒸気圧  
 中心部の組成の融点  
 許容線出力の決定

**セル内遠隔設備開発**  
 モジュール化概念の開発(成型設備のモジュール化)  
 セル内遠隔量産設備の遠隔ハンドリング設備概念  
 セル内遠隔保守補修の共通システム開発



遠隔保守概念(ペレット成型装置の例)

**TRU燃料取扱い技術**  
 燃料要素バンドル冷却システムの開発  
 コールドモックアップによる熱流体解析コードの精度向上



集合体組立時温度解析例

# 先進湿式法再処理の研究開発課題の整理 (1 / 2)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程			2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	2020年度	
① 解体せん断技術開発 機械方式による解体技術 短尺せん断技術	<p>&lt;解体&gt; 機械方式による解体技術が採用できない場合、過去に開発した炭酸ガスレーザー等を用いる解体技術を採用する。この場合、かなりの確率で燃料ピン損傷が避けられず、それに対応した設備（解体オフガス処理設備等）の増強が必要となる。過去に開発したレーザー技術を採用する場合、設備費は約7割程度増大すると見込まれる。</p> <p>&lt;せん断&gt; 短尺せん断技術が採用できない場合、従来のせん断技術を採用する。従来のせん断片長さのままでは高濃度溶解を行うことは困難であり、せん断片の高粉化率のための追加設備（せん断片を振動させ粉化率を高める装置等）が必要となる。これに伴う設備の増加は大きくないが、設備の保守費がかなり増大すると見込まれる。</p>	<p>●技術的実現性 &lt;解体&gt; ・ラッパ管切断等を模擬したコールド試験にて機械方式（砥石）による切断速度や砥石の磨耗程度を把握している。今後、多種類の砥石による切断試験を行い最適なものを選定するとともに、その耐久性を確認する。また、燃料ピンを損傷せずにラッパ管切断を行う制御技術を開発、コールド試験にて確認する。 ・解体設備における燃料集合体のハンドリングについては模擬燃料集合体を用いたコールド試験により見通しを得るとともに課題を整理している。今後、課題への対応方針についてコールドシステム試験を行い、解体手順の妥当性を確認する。 &lt;せん断&gt; ・L再度実用化されている技術を応用しており、せん断長さ短尺化の可能性については模擬燃料ピンを用いたコールド試験にて把握している。今後、実燃料ピン試験により、短尺せん断により高濃度溶解に適した高粉化率せん断片が得られることを確認する。 ・せん断設備における燃料ピン束のハンドリングについては模擬燃料ピン束を用いたコールド試験により見通しを得ている。今後、せん断片長さのばらつきを制御する技術を開発し、コールドシステム試験により確認する。</p> <p>●代替技術 &lt;解体&gt; 機械方式の代替技術としてレーザー方式がある。ピン損傷をさけるレーザー制御技術やパルスレーザー技術の開発を検討する。 &lt;せん断&gt; 短尺せん断の代替技術として振動によるせん断片高粉化技術の開発を検討する。</p>	<p>燃料集合体（ラッパ管切断等）試験 切断速度・耐久性・ピン損傷防止</p> <p>燃料時の燃料集合体ハンドリング試験 燃料手順</p> <p>短尺せん断試験 せん断片長さ・せん断の耐久性</p> <p>せん断時の燃料ピン束ハンドリング試験 せん断長さばらつき制御</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>・ピン損傷確率を抑えた安定した解体（切断）制御技術成立性の技術根拠を提示できること。 ・燃料集合体のハンドリング技術の成立性について技術根拠を提示できること。 ・短尺せん断による所定の燃料粉化率（50%）が得られることの技術根拠を提示できること。 ・燃料ピン束のハンドリング技術の成立性について技術根拠を提示できること。</p>
② 溶解技術開発 連続溶解による高濃度溶解技術	<p>・連続溶解槽が採用できない場合、バッチ式溶解槽を採用する。これに伴う設備費の増加は大きくないが、運転費の増加がある程度見込まれる。 ・高濃度溶解液が得られない場合、溶解液の高濃度濃縮装置が必要となり、溶解設備の設備費が約1割程度増大することが見込まれる。</p>	<p>●技術的実現性 ・連続溶解槽については工学規模試験装置によるウラン試験により、溶解の進行状況や槽内の溶液やせん断片（リル）の移行状況等を把握している。今後、ホット工学試験に適した規模（小型工学規模）での高濃度溶解試験装置の設計、製作、ウラン試験を行い、安定運転の操作条件を確認する。 ・高濃度溶解液を得る安定した溶解プロセス条件についてはホット基礎試験により見通しが得られつつあり、今後の試験を継続しデータを積み重ねていく。</p> <p>●代替技術 ・連続溶解槽の代替技術としてバッチ式溶解槽の採用を検討する。 ・所定の濃度の溶解液が得られない場合は、溶解液の高濃度濃縮装置の採用または晶析工程のプロセス条件見直しを検討する。</p>	<p>小型工学規模溶解槽試験装置の 製作・試験 安定運転操作条件</p> <p>溶解プロセス条件の検証試験 安定した溶解反応・溶解液高濃度化</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>・安定した溶解反応（突沸等の回避）により高濃度溶解液（500 g H M/L）が確保できる技術根拠を提示できること。 ・小型工学規模溶解槽の機器構成成立性の技術根拠を提示できること。</p>
③ 晶析技術開発 晶析による効率的なウラン回収技術	<p>・晶析技術が採用できない場合、溶解液全量をそのまま抽出工程にて処理することとなり、晶析工程導入による経済効果（再処理設備費の約1割削減）が得られなくなる。また右記の代替技術の開発が必要となる。</p>	<p>●技術的実現性 ・晶析プロセスについてはホット基礎試験を行っているが除染係数について要求機能を十分満足できていない。今後、ホット基礎試験を積み重ね、ウラン回収率と合わせ要求機能を満足する最適なプロセス条件を選定する。また、ウラン試験（模擬FPを含む）にて溶解液中に存在が想定される様々な共存物質のウラン晶析に及ぼす影響を把握する。 ・晶析装置については小型試験装置によるウラン試験により、装置内での結晶生成と移動、搬出等の状況を把握している。今後、小型工学規模試験装置の設計、製作、ウラン試験を行い、安定運転の操作条件を確認する。また、軸受部からの漏洩防止等、機器の信頼性についても確認する。 ・結晶分離技術については小型試験装置のウラン試験により結晶に付着している母液の除去状況を把握している。今後、高濃度溶解液移送技術等を含め晶析システム周辺設備として開発を進め、小型工学規模のウラン試験にて成立性を確認する。</p> <p>●代替技術 ・代替技術としてPuを単離しない抽出工程技術（Coproduct等）の開発を検討する。</p>	<p>高濃度プロセス条件の選定・検証試験 ウラン回収率・除染係数・共存物質影響</p> <p>小型工学規模晶析試験装置の 製作・試験 漏洩防止対策・安定運転操作条件</p> <p>周辺機器試験装置の製作・試験 結晶分離装置・高濃度溶解液移送装置</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p> <p>3-41* 試験</p>	<p>・ウラン回収率70%、除染係数100以上の達成が可能である技術根拠を提示できること。 ・小型工学規模晶析装置及び晶析システムの成立性について技術根拠を提示できること。 ・周辺技術（結晶分離技術及び高濃度溶解液移送技術）の成立性の技術根拠を提示できること。</p>

## 先進湿式法再処理の研究開発課題の整理 ( 2 / 2 )

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程			2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	2020年度	
④ 抽出技術開発 遠心抽出器による U-Pu-Np一括回収技術	<p>・遠心抽出器が採用できない場合、ミキサセトラやパルスカラムを採用する。この場合、設備費は低減するが建設費は増加（セル容積が増加）することが見込まれる。</p> <p>・U-Pu-Np一括回収プロセスの開発に成功せず、Npの回収が十分でない場合には別途Npの回収プロセスを追加する必要があり、抽出工程設備の設備費が2～3割程度増加することが見込まれる。</p>	<p>●技術的実現性</p> <p>・遠心抽出器については工学規模試験装置によるウラン試験により、溶液の流動性や分離性能を把握している。今後、ホット工学試験に適した規模（小型工学規模）試験装置の設計、製作、ウラン試験を行う。特に溶液流速が速い遠心抽出器システムの安定運転のため計装制御技術を開発し、安定運転の操作条件を確立する。また、機器耐久性の観点から懸念される軸受部分については長時間連続運転試験を積み重ね信頼性を確認する。</p> <p>・U-Pu-Np一括回収プロセスについてはホット基礎試験により見通しが得られつつあり、今後、試験を継続しデータを積み重ねていく。</p> <p>●代替技術</p> <p>・遠心抽出器の代替技術としてミキサセトラやパルスカラムの採用を検討する。</p> <p>・U-Pu-Np一括回収プロセスの代替技術として、これにNpの選択分離回収プロセスを追加することを検討する。</p>	<p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●小型工学規模試験装置の製作・試験 分離性能・計装制御・安定運転操作条件</p> <p>●小型工学規模試験装置の製作・試験 分離性能・計装制御・安定運転操作条件</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p>	<p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p>	<p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p> <p>●遠心抽出器の最適化・電源試験 抽出率・U-Pu-Np一括回収率・除染係数</p>	<p>・U-Pu-Np一括回収率99.9%以上及び除染係数100以上の達成が可能である技術根拠を提示できること。</p> <p>・小型工学規模抽出システムの計装制御及び軸受耐久性能について技術根拠を提示できること。</p>
⑤ MA回収技術開発 抽出クロマトグラフィーによるMA回収技術	<p>・クロマトグラフィー法が採用できない場合、溶媒抽出法を採用する。この場合、設備費が約2倍に増大するとともに、廃棄物発生量が約2割程度増大することが見込まれる。</p>	<p>●技術的実現性</p> <p>・抽出剤については溶媒抽出法の開発において有力な候補を選定しており、分離性能を把握している。また、これをクロマトグラフィー法に適用した場合の分離性能についてはRI基礎試験により見通しを得ている。今後、抽出剤の比較検討により、いっそう有力な抽出剤を選定し、ホット基礎試験により要求機能を満足する最適なプロセス条件を確認する。</p> <p>・クロマトグラフィー塔について、放射線分解生成物が塔内に滞留、安全上の懸念が生じることが考えられるため、その対応策を検討、ホット基礎試験及び小型工学規模のコールド試験により確認する。</p> <p>また、クロマトグラフィー塔の構造最適化や計装制御技術について小型工学規模のコールド試験により確認し、安定運転の操作条件を確立する。</p> <p>●代替技術</p> <p>・クロマトグラフィー法の代替技術として溶媒抽出法の開発、採用を検討する。</p>	<p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●クロマトグラフィー塔安全性試験 分離性能・塔内流動性</p> <p>●小型工学規模クロマトグラフィー塔 試験装置の製作・試験 構造最適化・計装制御・安定運転操作条件</p> <p>●小型工学規模クロマトグラフィー塔 試験装置の製作・試験 分離性能・塔内流動性</p> <p>●クロマトグラフィー塔の最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●クロマトグラフィー塔の最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p>	<p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p>	<p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p> <p>●MA回収プロセスの最適化・電源試験 抽出率・MA回収率及び除染係数</p>	<p>・MA回収率99.9%、除染係数100の達成が可能であること（吸着材選定及びフローシート確定）の技術根拠を提示できること。</p> <p>・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できること。</p> <p>・クロマトグラフィー塔運転に特有なシーケンス制御（溶液種類に応じたバルブ切り替え等）技術の成立性について技術根拠を提示できること。</p>
⑥ 廃液2極化技術開発	<p>・廃液2極化技術が採用できない場合、廃液処理工程の合理化が図れず、廃棄物処理コストが倍以上に増大すると見込まれる。</p>	<p>●技術的実現性</p> <p>・含塩廃液を発生させない溶媒洗浄工程技術開発として、ソルトフリー試験を用いるプロセスについて模擬劣化溶媒（ウラン及び模擬FPを含む）を用いた基礎試験により洗浄効率等を把握しつつある。今後、ホット基礎試験により洗浄効率等のデータを積み重ねていくとともに、ソルトフリー試験の分解処理の試験装置の設計、製作、コールド試験を行い、その性能を確認する。また、余剰硝酸分解装置や低レベル廃液の高濃縮装置についても同様に開発を進め、その性能を確認する。</p> <p>●代替技術</p> <p>・代替技術として従来の（含塩廃液を含め各レベルの廃棄物が発生する）処理技術についてその一部改良を含め、その採用を検討する。</p>	<p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p>	<p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p>	<p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p> <p>●ソルトフリー溶媒洗浄プロセス試験 洗浄効率・安全性評価</p>	<p>・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できること。</p> <p>・ソルトフリー試験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できること。</p>

## 簡素化ペレット法燃料製造の研究開発課題の整理(1/2)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程		2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	
④脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発  ・Pu富化度調整技術 ・マイクロ波脱硝技術(MH法) ・造粒技術	<マイクロ波脱硝技術> ・マイクロ波脱硝技術の量産化開発(バッチサイズの拡大)に成功しない場合、現行の技術(2kgMOX/バッチ)の多系列化による製造能力の確保が必要となり、経済性が低下すると見込まれる。  <造粒技術> ・造粒技術(原料粉末の流動性改良)の開発に成功しない場合、現行のペレット製造工程と同様の多くの工程が必要となり、経済性が低下すると見込まれる。 ・造粒技術の量産化開発(バッチサイズの拡大)に成功しない場合、多系列化による製造能力の確保が必要となり、経済性が低下すると見込まれる。	●技術的実現性 <Pu富化度調整技術> ・模擬溶液(塩化加めい)を用いた試験(3004/バッチ、実用規模の約3/5)において、現状の送液設備に定量供給槽を追加することで、目標とするPu富化度調整精度を満足できる見通しを得ている。  <マイクロ波脱硝技術> ・円筒容器については、実験室規模(80gUO <sub>2</sub> /バッチ)の脱硝転換試験(U試験)を実施した結果、現行の浅皿容器を用いて得られる粉末と同等の粉末が得られたが、突沸、吹きこまれの防止が課題である。 ・一方、現行の浅皿容器については2kgMOX/バッチ規模での実績があるものの、量産化に向けてバッチサイズの拡大が課題である。 ・今後、U試験などにより、量産化の観点から円筒容器と浅皿容器を比較し、量産性への見通しを確認する。  <造粒技術> ・実験室規模(150gMOX/バッチ)の試験を実施し、粉末の流動性を改良できる見通しを得ている。 ・小規模MOX試験設備(1kgMOX/バッチ規模)を整備し、MOX試験で得られる流動性改良粉末の特性を確認する。  ・今後、U試験などにより、量産化に向けた検討を行い、量産性への見通しを確認する。  ●代替技術 <マイクロ波脱硝技術> 代替技術は現行技術の多系列化であり、経済性への影響評価が必要。  <造粒技術> 代替技術は現行技術の多系列化であり、経済性への影響評価が必要。	MH法の量産化試験 容器製作・ウラン試験	脱硝・転換の遠隔保守量産設備開発 量産性・保守性評価試験	・マイクロ波脱硝技術の量産性見通しに関する技術根拠を提示できること。
			小規模MOX試験 設備の整備	脱硝・転換・造粒の確認試験	・目標値として、粉末流動性指数(Carr指数)が80以上、比表面積が3~5m <sup>2</sup> /gの流動性改良粉末が90%以上の収率で得られること。
			造粒技術の量産化試験 装置製作・ウラン試験	造粒の遠隔保守量産設備開発 量産性・保守性評価試験	・造粒技術の量産性見通しに関する技術根拠を提示できること。
◎ダイ潤滑成型技術の開発	・ダイ潤滑成型技術の開発に成功しない場合、現行のペレット製造工程と同様、粉末と潤滑剤の混合工程及び潤滑剤を除去するための予備焼結工程が必要となる。また、発熱量の増大によりバッチサイズの縮小が必要となるため、これらの結果、生産性、経済性が低下すると見込まれる。 ・ダイ潤滑成型技術の量産化開発に成功しない場合、多系列化による製造能力の確保が必要となり、経済性が低下すると見込まれる。	●技術的実現性 ・流動性改良MOX粉末とシングルパンチ成型機を用い、手作業によりダイ潤滑機構を模擬した実験室規模の試験を行い、潤滑剤を混合方式から塗布方式に変更しても健全なMOX中空ペレットを成型できる見通しを得ている。 ・模擬物質(W, Mo粉末)を用いたコールド試験を実施し、目標サイズの模擬中空ペレットを所定の成型速度(7.5個/分・パンチ)で製造できる見通しを得ている。 ・今後、専用の小規模MOX試験を整備し、得られる成型体(グリーンペレット)の品質などを確認する。  ●代替技術 代替技術は従来技術の多系列化であり、経済性への影響評価が必要。	小規模MOX試験 設備の整備	成型試験	・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。
◎焼結-O/M調整技術の開発	・焼結-O/M調整技術の開発に成功せず、採用できない場合、被覆管内面腐食防止のために被覆管の内面をコーティングするなどの別の方法の開発が必要となる。 ・焼結-O/M調整技術の量産化開発に成功しない場合、多系列化による製造能力の確保が必要となり、経済性が低下すると見込まれる。	●技術的実現性 ・実験室規模の試験を実施し、熱処理時の電気炉内の酸素量を制御することにより、O/M=1.95のペレットを調整できる条件を把握した。同条件に基づき「常陽」照射燃料用O/M=1.95及びO/M=1.98のPu/Am-MOXペレット(Np, Am含有率：各2%)及びAm-MOXペレット(Am含有率：3%及び5%)を実験室規模で製造した。 ・今後、小規模MOX試験設備を整備し、バッチサイズ拡大の影響を確認する。  ・臨界設計、機器製作性、運転性の観点から量産化に適した方式の選定するための検討・試作を実施し、方式を選定する。  ●代替技術 代替技術は少量処理の多系列化であり、その場合、経済性への影響評価が必要。	小規模MOX試験 設備の整備	焼結-O/M調整試験	・焼結密度が95%TD以上、O/Mが1.97以下で良好な外觀と均質な組成を有する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調整設備開発 量産方式検討・試作・選定	焼結-O/M調整の遠隔保守量産設備開発 量産性・保守性評価試験	・焼結-O/M調整設備について、機器製作性見通しに関する技術根拠を提示できること。

## 簡素化ペレット法燃料製造の研究開発課題の整理(2 / 2)

研究開発課題	採用されなかった場合の影響	技術的実現性、代替技術	概略工程		2010年度における判断の主なクライテリア
			2010年度	2015年度	
⑩燃料基礎物性研究	<p>・本課題は、燃料基礎物性データの測定、評価を行うものであり、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。</p>	<p>●技術的実現性 ・Np, Amを含むMOXの融点、酸素ポテンシャル、格子定数などについて測定、評価し、「常陽」照射試験用燃料設計に反映した。 ・今後、物性データの測定および評価を継続するとともに、新たな物性データを測定するために測定装置の整備を行う。</p> <p>●代替技術 基盤的な研究であることから、代替技術はない。</p>		<p>・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、判断のクライテリアはないが、物性データの測定および評価を進める。</p>	
⑪セル内遠隔設備開発	<p>&lt;モジュール化設備の開発&gt; ・セル内遠隔設備に対応できるモジュール化設備開発が成功しない場合、設備の全体交換保守、あるいは個々のケースによる現場補修となる。この場合、機器設備搬送用通路の拡大や補修用セル容量が増大する。また、設備稼働率が低下するため、これを補うために系列数が増加する。これらにより、建設費および運転費が増加する。</p>	<p>●技術的実現性</p> <p>&lt;モジュール化設備の開発&gt; ・セル内設備の遠隔保守について、これまで、一部機器設備の分解・交換手順の概念を検討した。 ・セル内遠隔設備に共通的に適用するモジュール化技術を開発する。多様な機構を有する代表的な設備である成型設備を対象とし、モジュール化設備及びそれをハンドリングするマニピュレータの試作を行い、コールドモックアップ試験を行う。</p> <p>&lt;遠隔保守化量産設備の開発&gt; ・遠隔保守に関する共通的な技術開発成果を反映して、ペレット研削、燃料要素加工・検査、集集体組立工程における量産設備の遠隔保守対応設備を開発する。</p> <p>・ペレット検査及び粉末物性分析設備の遠隔・迅速化設備を開発する。開発成果をその他の分析設備設計に反映する。</p> <p>・遠隔設備の円滑な運転に資するため、成型設備の運転監視・異常診断技術を検討する。検討成果をその他の工程機器設備に対する設計に反映する。</p> <p>●代替技術は設備全体交換保守、あるいは個々のケースによる現場補修となる。</p>		<p>・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が構築されること。</p>	
⑫ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発	<p>&lt;ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発&gt; ・ODS被覆管集合体に対応できる量産技術が開発できない場合、少量生産になり設備稼働率が低下するため、これを補うために系列数が増加し、建設費および運転費が増加する。</p>	<p>&lt;ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発&gt; ●これまで、ODS被覆管については、年間100本程度の製造技術を確認している。また、ピン加工については、コールドでの少量・手作業での溶接、熱処理、超音波検査等の技術を確認している。</p> <p>・今後、原料調整を含む製造バッチの拡大によるODS被覆管量産化技術開発を実施する。 ・遠隔自動運転の燃料ピン端溶接機器を開発する。 ・水を使わない迅速検査機器開発及び量産化に適した溶接検査基準の整備を実施する。 ・自動組み立て工程に適合するフェライト鋼集合体の組部材を開発する。これらの技術をPu-3での製造試験で確認する。</p> <p>●代替技術は少量処理の多系列化となる。</p>		<p>・ODS被覆管の量産、遠隔自動運転の端溶接機器及び溶接検査の迅速測定機器について、見通しが得られること。</p>	
⑬TRU燃料取扱い技術	<p>適切な除熱システムによる集集体組立時の除熱ができない場合は、発熱量低減のため、Cm遅延サイクルやCm除去の検討が必要となる。 ・遅延サイクルの場合、Cm保管のコストが発生する。 ・Cm除去の場合、高レベル廃棄物処分コストの増加のおそれがある。</p>	<p>●技術的実現性 ・これまでの設計検討により、発熱対策として、発熱源の分散、除熱、不活性雰囲気化等の対策の選択、組合せで、概ね5%MA含有燃料への対応が可能であるとの見通しを得ている。 ・集集体組立設備の発熱影響対策として、コールドモックアップ試験により燃料要素ハンドルの除熱システムを開発する。</p> <p>●代替技術としてCm遅延サイクルまたはCm除去による対象燃料の発熱量低減が考えられる。</p>		<p>・集集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を提示できること。</p>	

**先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の  
実用化に向けた技術開発課題について  
(詳細版)**

平成19年1月24日

日本原子力研究開発機構

# 解体・せん断技術の開発 (1/3)

## 技術の現状

レーザーを用いた解体方法では、燃料ピン損傷、切断不良等の発生の可能性が高い。一方、機械式切断法の基本要素技術の成立性は見込まれ、解体手順も合理化可能。  
従来の燃料ピンせん断長(約3cm)では、連続溶解で高效率に高濃度溶解液を得ることは困難。

## 要求される技術仕様

解体システムは燃料ピン損傷等の発生が少なく、所定の処理能力を有し、操作性・保守性の点でも優れていること  
せん断システムは所定の高粉化率のせん断片が得られ、処理能力、操作性・保守性の点でも優れていること。

## 技術開発の概要

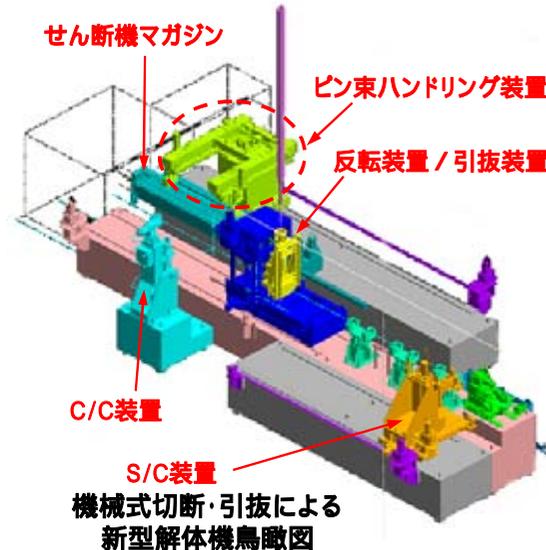
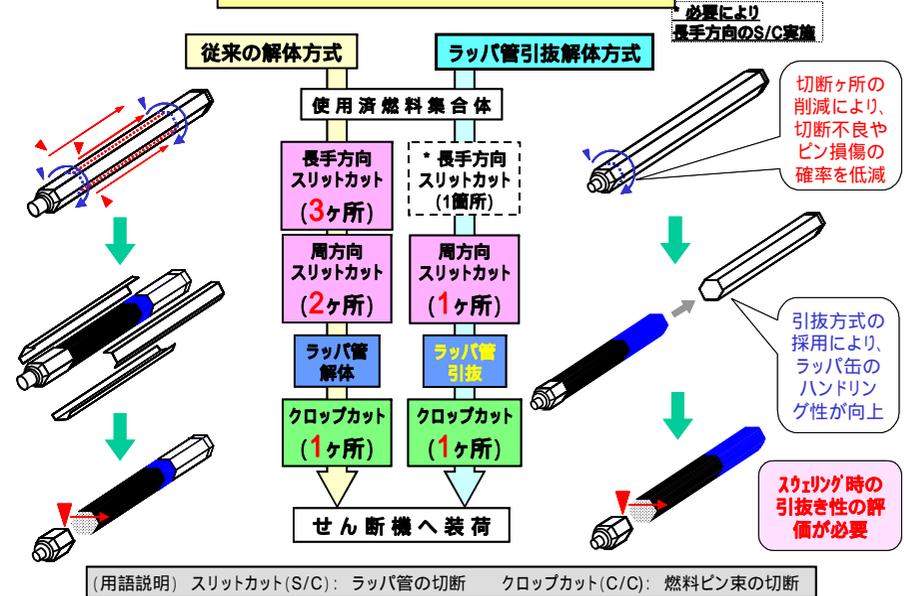
要素試験及び燃料集合体ハンドリング試験により、機械式切断と燃料ピン引抜き方式を組合わせた解体システムを実証する

要素試験及び燃料ピン束ハンドリング試験により、所定の高粉化率のせん断片が得られるせん断システムを実証する

## 主要開発課題

ピン損傷を抑えた解体制御技術  
燃料集合体及び燃料ピン束のハンドリング技術  
短尺せん断による燃料粉化技術

## 集合体の解体方式の合理化



機械式切断治具による切断状況 (キュービトロン砥石)

# 解体・せん断技術の開発 (2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>機械式解体システムの開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・解体要素試験</li> <li>・燃料集合体ハンドリング試験</li> <li>設計・製作</li> <li>試験</li> <li>・遠隔保守検討</li> <li>・ホット工学試験 (ホット工学用試験機)</li> <li>設計</li> <li>製作</li> <li>試験(コールド/ホット)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・要素試験により、ラッパ管切断装置(砥石等)の耐久性等を評価する。</li> <li>・工学規模試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めた解体システム性能の実証</li> <li>・遠隔保守性の検討、実機設計・製作</li> </ul>
<p><b>短尺せん断技術の開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断要素試験</li> <li>実燃料ピンせん断試験</li> <li>・燃料ピン束ハンドリング試験</li> <li>設計・製作</li> <li>試験(コールド)、評価</li> <li>・遠隔保守性検討</li> <li>・ホット工学試験</li> <li>設計</li> <li>製作</li> <li>試験(コールド/ホット)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・要素試験により、燃料の粉化率を評価するとともに、短尺化に必要なせん断刃・ギャグ等の構造改良を行う。</li> <li>・工学規模試験機による燃料集合体ハンドリング、操作性を含めたせん断システム性能の実証</li> <li>・遠隔保守設計の見直しを経て、実機設計・製作</li> </ul> <p>燃料片粉化率の向上</p> <p>せん断片外觀 (通常せん断時)</p>

## 解体・せん断技術の開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア				
		開発課題	完了時期	クライテリア		
<ul style="list-style-type: none"> <li>•燃料集合体解体技術の開発</li> <li>•燃料ピン束短尺せん断技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 燃料集合体解体技術について炭酸ガスレーザー等によるラッパ管切断方法では、燃料ピン損傷、切断不良等の発生が避けられなかった。</li> <li>• 機械方式(砥石)によるラッパ管切断試験(模擬燃料集合体)で良好な切断性能を確認した。</li> <li>• 高濃度溶解液を合理的な時間内に得るためには短尺(1cm)せん断により、燃料粉化率を高めることが必要。工学規模試験装置による試験(アルミナ入り模擬燃料ピン)にて短尺せん断できることを確認した。</li> </ul>	【燃料集合体解体技術の開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 安定したラッパ管等の解体(切断)技術の確立</li> <li>• 燃料集合体や燃料ピン束ハンドリング技術の確立</li> <li>• 切断装置(砥石等)の耐久性評価</li> <li>• 遠隔操作・保守技術の確立</li> <li>• 実用規模解体システム(実用炉燃料対応)の概念設計</li> </ul>	~2010年	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"> <li>• 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</li> <li>• ハンドリング技術成立性の提示</li> </ul>		
				~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ホット工学試験が開始できること。このため、上記技術の確度を高めるとともに遠隔保守技術成立性の提示</li> <li>• 実用規模システムの概念設計の提示</li> </ul>	
				【燃料ピン束短尺せん断技術の開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 所定の燃料粉化率(50%)が得られるせん断技術の確立</li> <li>• 燃料ピン束のハンドリング技術の確立</li> <li>• 実燃料ピンせん断時の粉化率評価</li> <li>• せん断刃等の耐久性評価</li> <li>• 遠隔操作・保守技術の確立</li> <li>• 実用規模せん断システム(実用炉燃料対応)の概念設計</li> </ul>	~2010年	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"> <li>• 所定の燃料粉化率(50%)が得られる短尺せん断技術の提示</li> <li>• 燃料ピン束のハンドリング技術の成立性の提示</li> </ul>
					~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ホット工学試験が開始できること。このため上記技術の確度を高め、特に遠隔保守技術成立性を提示。</li> <li>• 実用規模システムの概念設計の提示</li> </ul>

# 溶解技術の開発 (1/3)

## 技術の現状

従来長さのせん断片溶解では、晶析工程供給に対応する高金属濃度溶解液の調製が困難。高粉体化燃料溶解の有効性を確認。回転ドラム型連続溶解槽は工学規模ウラン試験で基本性能確認。

## 要求される技術仕様

所定の高金属濃度溶解液を効率的に(硝酸濃度や溶解温度の運転条件を厳しくせずに、短時間で)得られること。高粉化燃料の装荷に対応した溶解槽構造を持つこと。

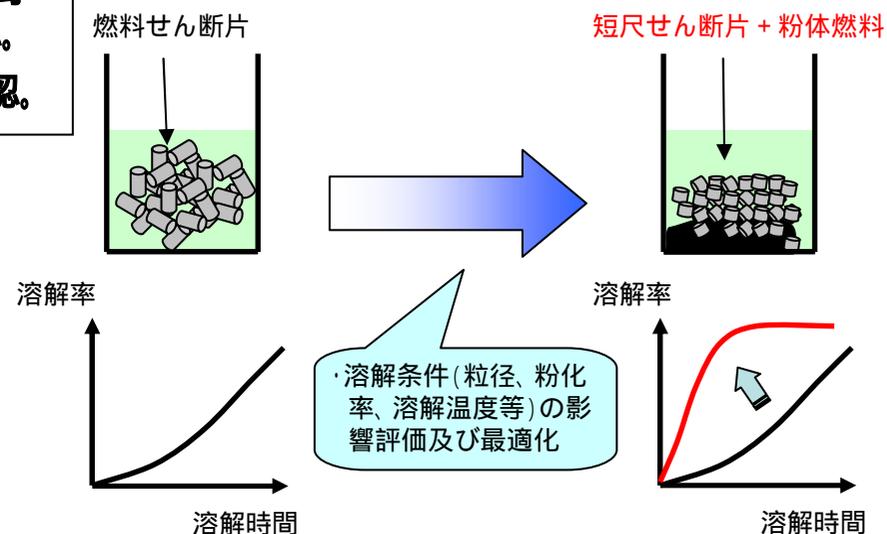
## 技術開発の概要

高粉化燃料の装荷に対応し、高金属濃度溶解液が得られる溶解プロセスについて、燃料粉化率や粒径等をパラメータとしたプロセス試験を実施し、溶解条件を最適化。

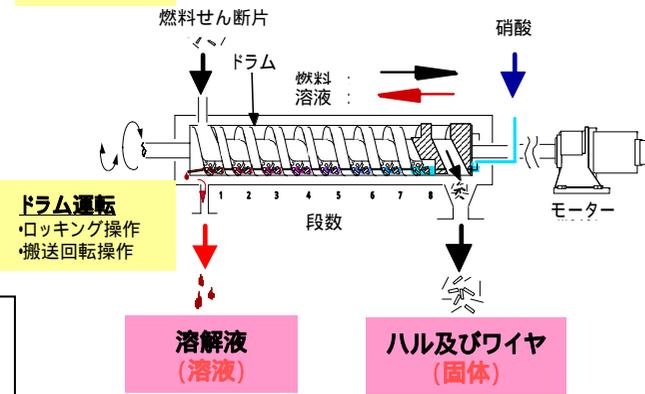
高粉化燃料のハンドリング性に優れ、処理容量の変更が図れる連続溶解槽の基本構造を構築、モックアップ機にて性能を実証。

## 主要開発課題

粉体燃料に適した安定溶解条件(突沸等の回避)の設定  
粉体燃料に対応した小型連続溶解槽構造の確立



- 燃料せん断片:
- ・ハル
- ・ワイヤ
- ・燃料要素
- ・せん断粉



- ### 連続溶解槽の改良点
- ・粉体化燃料対応:  
ドラム内における溶液攪拌性の向上
  - ・処理能力の変更:  
ドラム径, ドラム長さ, 給液方法の変更

連続溶解槽構造図

# 溶解技術の開発 (2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>高効率溶解プロセス開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>安定溶解条件の検討</li> <li>ホット工学試験に向けたデータ整備拡充</li> <li>溶解計算コードの改良 溶解条件最適化 ホット工学試験に向けた拡張</li> </ul>			<p>短尺せん断片 + 粉体燃料</p> <p>せん断片長さ 粉化率 粒径</p> <p>溶解温度 硝酸濃度 溶解槽形状</p> <p>溶解率</p> <p>— : 実測値 ... : 計算値</p> <p>溶解時間</p> <p>高金属濃度溶解条件において</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>せん断、粉碎条件の影響評価</li> <li>温度(低温下)及び硝酸濃度(低濃度下)の影響評価</li> <li>不溶解残渣発生量及び残渣成分評価</li> <li>溶解計算コード改良と拡張</li> </ul> <p>不溶解残渣発生量及び成分</p> <p>計算コード改良・拡張</p>
<p><b>高効率溶解装置開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>小型工学規模溶解槽 構造検討 設計・製作 試験(コールド ウラン)</li> <li>遠隔保守検討・試験</li> <li>実機(ホット工学試験用) 設計 製作 試験(コールド/ウラン/ホット)</li> </ul>			<p>小型溶解槽の構造検討において</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>液ホールドアップ量の向上</li> <li>高粉体化燃料への対応</li> <li>臨界安全性等の評価</li> </ul> <p>小型溶解槽を設計製作し</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本性能(せん断燃料片の攪拌・移送性、溶液の流動等)の確認</li> <li>ウラン濃度プロファイルの確認</li> <li>遠隔保守検討</li> </ul>

## 溶解技術の開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア			
		開発課題	完了時期	クライテリア	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•高効率溶解装置の開発</li> <li>•高濃度溶解プロセス技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高粉化率燃料せん断片の装荷により高濃度溶解(500g/l)が可能であることを確認した(プロセス全体合理化の観点より溶解液濃度は400g/lと設定)</li> <li>• 回転ドラム型連続溶解槽は工学規模試験装置によるウラン試験で基本性能を確認した</li> </ul>	【高効率溶解装置の開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高濃度溶解液に対応した連続溶解槽内部構造の確立</li> <li>• 燃料せん断片、溶解液、ハル等の安定した受け入れ・搬出技術の確立、所定の処理能力の達成</li> <li>• 遠隔保守技術の確立</li> <li>• 実用規模溶解システムのプロトタイプ設計</li> </ul>	~2010年	小型連続溶解槽のコールド試験により <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高濃度溶解液に対応した溶解槽内部構造の確立</li> </ul>	
				~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ホット工学試験が開始できること。このため、上記モックアップ試験装置によるウラン試験により、上記技術の確度を高めること。遠隔保守技術の成り立ち提示。</li> <li>• 実用規模システムのプロトタイプ設計の提示</li> </ul>
			【高濃度溶解プロセス技術の開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 高濃度溶解液(400～500g/l以上)が得られる安定したプロセス条件(温度、硝酸濃度)の把握</li> </ul>	~2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高濃度溶解液が得られる安定したプロセス条件の把握</li> </ul>
					~2015年

# 晶析技術によるウラン回収システムの開発 (1/3)

## 技術の現状

晶析方法の化学的成立性及び連続晶析装置の基本的成立性を確認。

## 要求される技術仕様

所定のDFと回収率にて回収ウランを安定して得られること。  
晶析装置は実証プラント規模(20t/y)に対応する処理能力を見込めること。

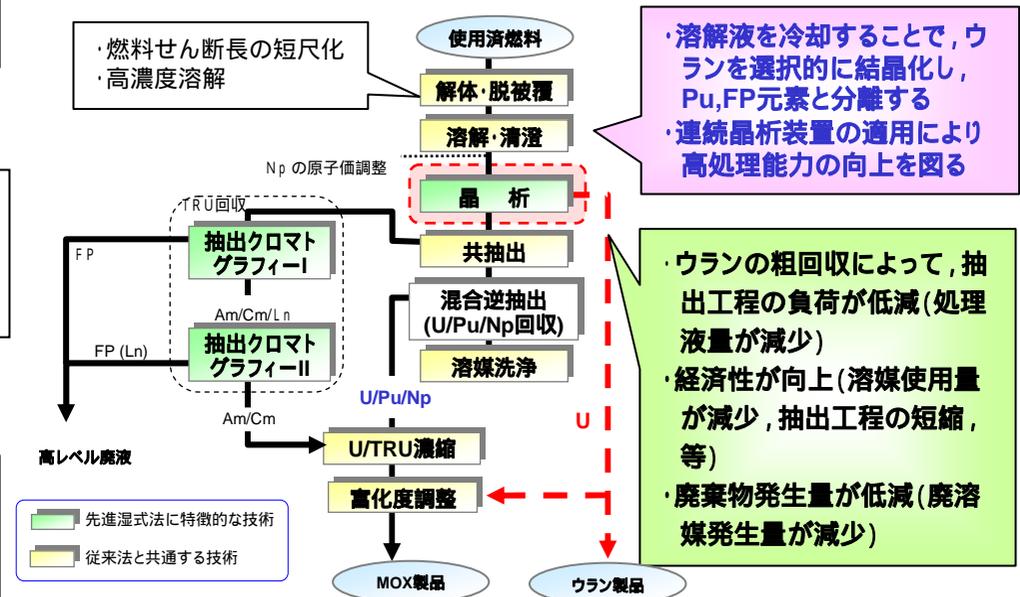
## 技術開発の概要

FP等のウラン結晶への同伴核種の挙動の評価及びこれを踏まえた晶析・結晶洗浄精製手法及び操作条件最適化。  
小型工学規模試験機による高処理能力, 安定性, 操作性に優れた連続晶析装置の実証。高濃度溶液・ウラン結晶のハンドリング技術等の実証。

周辺技術開発として、結晶分離機の装置構造の検討及び高濃度溶解液の移送技術のウラン実証。

## 主要開発課題

U回収率70%、DF100以上を満足する晶析条件の設定  
実証規模に対応した晶析装置構造の確立  
結晶分離装置構造の確立及び高濃度溶解液移送技術の開発



U 結晶中における Pu の存在比

	U結晶の外観	Pu 比
Run1		100 : 0.3 (U) (Pu)
Run2		100 : 5 (U) (Pu)
Run3		100 : 1.5 (U) (Pu)

Pu(IV) のみの場合には母液に付着する  
Pu(VI) の場合には結晶に取り込まれる



連続晶析装置概念 (基礎試験装置)

# 晶析技術によるウラン回収システムの開発(2/3)

分類	2010	2015	開発内容																									
<b>高DF晶析技術の検討</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>FP同伴メカニズムの解明</li> <li>結晶洗浄技術の検討</li> <li>ホット工学試験に向けたプロセスデータ取得(操作条件最適化)</li> </ul>			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)</th> <th>Pu</th> <th><sup>137</sup>Cs</th> <th><sup>155</sup>Eu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Run1</td> <td>洗浄前</td> <td>5.6</td> <td>1.2</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>洗浄後</td> <td>25</td> <td>0.8</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Run2</td> <td>洗浄前</td> <td>4.6</td> <td>0.9</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>洗浄後</td> <td>19</td> <td>0.9</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>FP核種(Cs等)の析出(U結晶への同伴)メカニズム)の解明、移行抑制方策の確立</li> <li>回収U結晶の洗浄技術を確立</li> </ul>	結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)		Pu	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> Eu	Run1	洗浄前	5.6	1.2	4.2		洗浄後	25	0.8	27	Run2	洗浄前	4.6	0.9	3.5		洗浄後	19	0.9	19
結晶中Uに対するPu, FPの除染係数(DF)		Pu	<sup>137</sup> Cs	<sup>155</sup> Eu																								
Run1	洗浄前	5.6	1.2	4.2																								
	洗浄後	25	0.8	27																								
Run2	洗浄前	4.6	0.9	3.5																								
	洗浄後	19	0.9	19																								
<b>連続晶析装置の開発</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>冷却方式の検討</li> <li>計装制御システムの検討</li> <li>装置材料検討・耐久性試験</li> <li>臨界安全性検討・評価</li> <li>小型工学規模試験機 <ul style="list-style-type: none"> <li>設計・製作</li> <li>単機試験・システム試験(ウラン)</li> <li>非定常時運転対応検討・試験</li> </ul> </li> <li>遠隔保守構造の検討・保守試験</li> <li>実機(ホット工学試験用) <ul style="list-style-type: none"> <li>設計・製作・試験(コールド/ウラン/ホット)</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>要素試験機による冷却性能、結晶スラリー排出等の基本構造の成立性を確認</li> <li>計装制御システム、遠隔保守構造を検討、小型工学規模試験機により晶析システムの成立性を実証</li> <li>実用プラント規模を見込んだ臨界安全形状の検討評価</li> </ul> <p>連続晶析装置外観図</p>																									
<b>周辺技術の開発</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>結晶分離機の成立性評価</li> <li>高濃度溶液の移送技術の確立</li> </ul>			<p>結晶分離機概念構造図</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>臨界安全性、閉じ込め性などに合致した装置構造の実証</li> <li>閉塞等検知・解除機構の確立</li> </ul>																									

## 晶析技術によるウラン回収システムの開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 連続晶析装置の開発</li> <li>• 連続晶析プロセス技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ビーカー規模ホット試験(実溶解液)にてウラン回収率80%を達成。</li> <li>• ビーカー規模ウラン試験(模擬FP混合)等によりCsなど一部元素の除染が当初予想を下回る可能性があることが判明。</li> <li>• 円環型キルン式晶析装置については小型工学規模試験装置によるウラン試験により基本的性能を把握(硝酸ウラニル結晶を連続回収)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【連続晶析装置の開発・連続晶析プロセス技術の開発】</li> <li>• FP等のウラン晶析時の挙動把握</li> <li>• 所定のウラン回収率及び除染係数が得られる連続晶析プロセス及び装置の確立</li> <li>• 異常時対応を含め、遠隔自動運転を可能とする計装制御技術等の確立</li> <li>• 溶解液(母液)、結晶等の安定ハンドリングが可能な装置構造の確立、所定の処理能力の達成</li> <li>• 臨界安全解析評価</li> <li>• 結晶分離技術の確立</li> <li>• 高濃度溶解液移送技術の確立</li> <li>• 遠隔保守技術の確立</li> <li>• 実用規模晶析システムの概念設計</li> </ul>	~2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>• 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</li> <li>• 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</li> <li>• 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</li> <li>• 適切な解析条件による臨界安全性評価結果の提示</li> </ul>
			~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ホット工学試験が開始できること。このため上記技術の確度を高めるとともに遠隔保守技術の成立性の提示</li> <li>• 実用規模システムの概念設計の提示</li> </ul>

# 抽出技術開発 (1/3)

## 技術の現状

ホットラボスケール試験にてU-Pu-Np一括回収フローシートの有効性を確認。  
工学規模遠心抽出器システム試験により基本性能を確認。

## 要求される技術仕様

所定の回収率及び精製度を満足するU-Pu-Np一括回収フローシートの提示。  
工学規模における遠心抽出器システムの運転制御技術の確立。

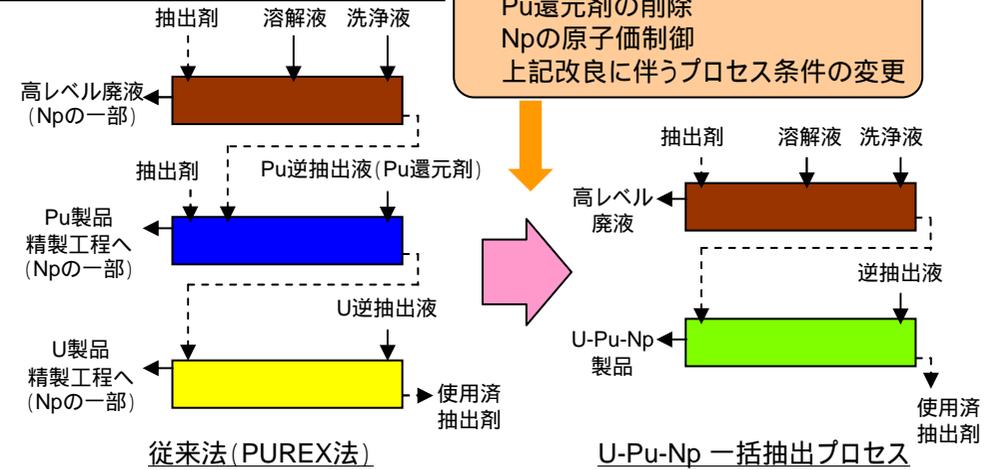
## 技術開発の概要

プロセス試験によるNp抽出挙動把握、低濃度領域におけるプロファイル取得、計算コード改良等。  
工学規模システム試験によるインライン計装技術、異常挙動時対策等の確立。

## 今後の課題

ホット試験によるU-Pu-Np一括回収フローシート最適化。  
工学規模における遠心抽出器システム開発。

### U-Pu-Np一括回収プロセス開発



### 遠心抽出器システム開発



工学規模システム試験機抽出ステージの外観

## 抽出技術開発 (2/3)

分 類	2010	2015	開発内容
<b>U-Pu-Np一括回収プロセス開発</b> フローシート最適化 ・Np抽出挙動把握、低濃度領域におけるプロファイルデータ取得 ・ホット工学試験に向けたデータ整備 ・抽出計算コードの改良・拡張			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 溶解液や洗浄液中の硝酸濃度や亜硝酸濃度がNpの抽出挙動に及ぼす影響を評価</li> <li>• 抽出器内の濃度プロファイルデータの蓄積</li> <li>• 各供給液の流量変動が及ぼす影響評価(マルオペ条件下への対応)によるホット工学規模試験に向けたデータ整備</li> <li>• 上記試験結果を踏まえた計算コードの改良及び拡張</li> </ul>
<b>遠心抽出器システム開発</b> 工学規模システム試験 ・耐久性確認 ・インライン計装技術開発 ・システム制御性確認 ・遠隔保守性検討 ・実機(ホット工学試験用)設計 製作 試験(コールド/ウラン/ホット)			(工学規模システム試験) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 抽出・逆抽出・溶媒洗浄システムの特性データの取得</li> <li>• インライン計測システムの確立</li> <li>• 異常時の抽出システム挙動の把握と対策の確立</li> <li>• 遠隔保守構造を検討</li> </ul>

## 抽出技術開発 (3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>U-Pu-Np一括回収フローシート最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型遠心抽出器によるホット試験(実溶解液)にてU、Puは99.9%以上、Npは約98%の回収率での一括回収を達成。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Np抽出挙動の把握</li> <li>低濃度領域におけるプロファイルデータ取得</li> <li>上記結果を踏まえた一括回収プロセス条件最適化</li> </ul>	~2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
			~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホット工学試験が開始できること。このため、抽出プロセスデータを幅広く把握</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>工学規模における遠心抽出器システム開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工学規模システム試験装置によるウラン試験等により遠心抽出器システムの基本性能を把握(Uの抽出・逆抽出挙動等)、単段停止時の過渡挙動等を把握。</li> <li>遠心抽出器の転がり軸受けの耐久性については5000h(約1年:200日稼働相当)の連続運転を実施。</li> <li>新型軸受け(磁気軸受)型遠心抽出器を設計、試作。基本性能を確認(耐久性試験は未実施)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸受け部分(転がり軸受、時期軸受等)の耐久性把握</li> <li>インライン計装制御システム技術の確立</li> <li>異常時対応を含めた安定運転技術の確立</li> <li>遠隔保守技術の確立</li> </ul>	~2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>工学規模システム試験装置によるウラン試験により</li> <li>所定の処理能力、安定運転、耐久性について成立性を提示</li> </ul>
			~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホット工学試験が開始できること。このため上記技術の確度を高めるとともに遠隔保守技術の成立性提示</li> <li>実用規模システムの概念設計の提示</li> </ul>

# MA回収技術開発 (1/3)

## 技術の現状

抽出クロマト法のMA回収工程への適用に関し、その基本性能を確認。

## 要求される技術仕様

所定の処理能力、回収率及び除染係数を満足する抽出剤・吸着材の選定、MA回収フローシートの提示。  
工学規模装置(10kg/h)による成立性実証。

## 技術開発の概要

プロセス試験による各種吸着材(抽出剤)の比較・評価(分離性能、安全性、廃吸着材処理)・選定、フローシート構築  
工学規模試験による分離塔の安全性(火爆防止)及び長期運転時耐久性評価、並びに計装制御技術及び遠隔運転保守技術の開発

## 今後の課題

プロセス試験による吸着材選定・MA回収フローシート構築。  
工学規模(要素試験)における分離塔安全性及び耐久性評価。  
工学規模における計装制御技術及び遠隔運転保守技術開発。

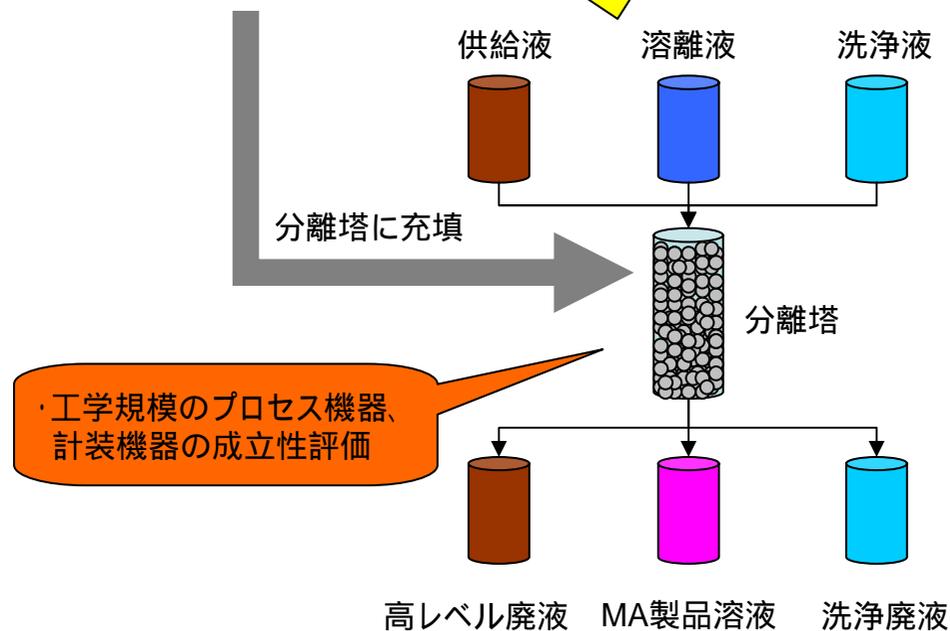
多孔質SiO<sub>2</sub> 粒子の表面にポリマー(スチレンジベニルベンゼン)を被覆(SiO<sub>2</sub>-P)  
SiO<sub>2</sub>-Pの表面に抽出剤(CMPO, TODGA, BTP等)を固定化



CMPO/SiO<sub>2</sub>-P吸着材外観

抽出剤の比較・評価・選定

・フローシートの作成  
・MA及びFP元素の挙動確認



## MA回収技術開発 (2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<b>抽出クロマトプロセス開発</b> 吸着材選定・フローシート構築 ・吸着材分離性能比較評価 ・吸着材安全性評価 ・使用済吸着材処理方法検討 ・回収フローシート構築 ・回収フローシート改良			<ul style="list-style-type: none"> <li>各種吸着材(抽出剤)の性能比較・評価</li> <li>各種吸着材(抽出剤)の耐放射線性等、安全性評価</li> <li>使用済吸着材の処理方法評価</li> <li>上記各試験結果を基にした抽出剤の選定及びMA回収フローシート構築</li> <li>上記試験結果等を基にしたフローシート改良</li> </ul>
<b>抽出クロマト機器開発</b> 要素試験 ・カラム内流動性把握 ・安全性評価 ・耐久性評価  工学規模機器開発 ・遠隔操作性検討 ・計装・制御法検討 ・評価試験 ・遠隔設計・評価試験 ・実機(ホット工学試験用) 設計、製作 試験(コールド/ホット)			<p>(要素試験)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>種々の条件におけるカラム内流動性、熱的安全性、耐久性評価</li> </ul> <p>(工学規模機器開発)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>吸着材交換等の遠隔操作性の確認</li> <li>溶出液区画のための計装・制御方法評価</li> <li>工学規模プロセス機器による各種安全性(臨界、熱的等)評価、運転性確認、異常時における発熱、気体発生等の挙動評価</li> <li>実機の設計製作</li> </ul>

## MA回収技術開発 (3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>吸着材選定・MA回収フローシート構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>抽出剤であるCMPOのMA分離回収性能については、溶媒抽出法(SETFICS法)の小規模ホット試験により、MA回収率99%以上を確認。</li> <li>無機多孔質シリカ粒子をCMPOの保持担体とした陽イオン交換体を合成し、希土類元素の吸着特性、熱分解性等の基礎データの収集を開始。</li> <li>抽出クロマトグラフィ技術の適用にあたっての懸念を検討。(線等の放射線による抽出剤の分解、酸や発熱による抽出剤の保持担体からの遊離の可能性等)</li> </ul>	【抽出クロマトプロセス開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>吸着材分離性能比較評価</li> <li>吸着材安全性評価</li> <li>使用済吸着材処理方法検討</li> <li>回収フローシート構築</li> <li>回収フローシート改良</li> </ul>	~2010年	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
			~2015年	ホット工学試験が開始できること。このため、MA回収プロセスデータを幅広く把握
<ul style="list-style-type: none"> <li>工学規模(要素試験)における分離塔安全性及び耐久性評価。</li> <li>工学規模における計装制御技術及び遠隔運転保守技術開発。</li> </ul>		【抽出クロマト機器開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>抽出クロマトグラフィ塔の内部流動性把握、安全性評価</li> <li>自動遠隔運転を可能とする計測制御技術の確立</li> <li>遠隔保守技術(抽出剤交換等を含む)の確立</li> </ul>	~2010年	工学規模試験装置のコールド試験により <ul style="list-style-type: none"> <li>装置安全性の提示</li> <li>所定の処理能力、安定運転成立性の提示</li> </ul>
			~2015年	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホット工学試験が開始できること。このため、上記技術の確度を高めるとともに遠隔保守技術成立性を提示</li> <li>実用規模システムの概念設計の提示</li> </ul>

# 廃液2極化技術開発 (1/3)

## 技術の現状

オフガス処理工程等周辺工程における金属イオン(主にNa)を含む試薬の使用に伴い、塩廃棄物が発生。

## 要求される技術仕様

周辺工程のソルトフリー化によるプロセス成立性確認。  
 余剰硝酸分解プロセスの成立性確認。

## 技術開発の概要

オフガス処理工程等、周辺工程におけるソルトフリー化(濃縮妨害試薬の排除を含む)を、種々の試薬を対象にプロセス試験にて実証。

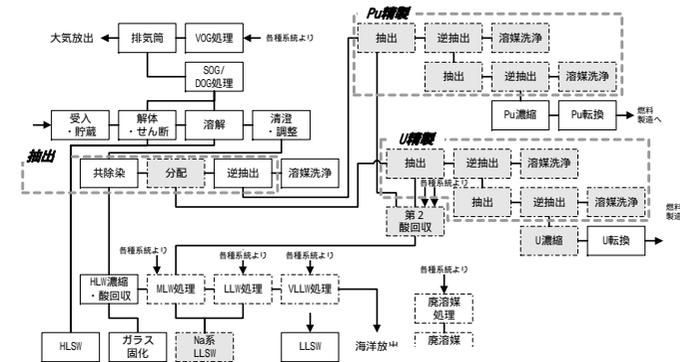
触媒等を利用した硝酸の分解技術について、その適用性を確認。

ソルトフリープロセス条件に対応した工学規模装置の実証。

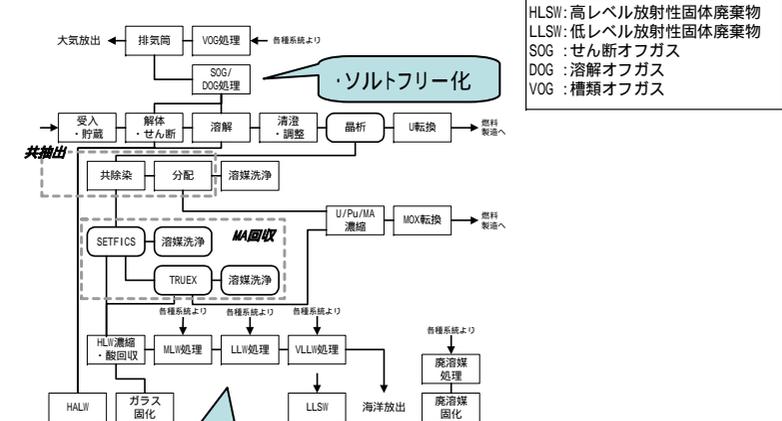
## 今後の課題

ソルトフリー化を図った周辺工程の基本性能評価  
 濃縮妨害試薬の排除後の濃縮操作条件評価  
 余剰硝酸分解プロセスの基本性能評価

従来湿式法



先進湿式リファレンスシステム



HLW : 高レベル放射性廃液  
 MLW : 中レベル放射性廃液  
 LLW : 低レベル放射性廃液  
 VLLW : 極低レベル放射性廃液  
 HLSW : 高レベル放射性固体廃棄物  
 LLSW : 低レベル放射性固体廃棄物  
 U : せん断オフガス  
 SOG : 溶解オフガス  
 DOG : 溶解オフガス  
 VOG : 槽類オフガス

主工程及び周辺工程のソルトフリー化(金属イオンを含む試薬の排除)及び濃縮妨害試薬の排除による濃縮処理の高効率化

## 廃液2極化技術開発 (2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>ソルトフリープロセス技術開発</b>            周辺工程におけるソルトフリー化検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• オフガス洗浄工程</li> <li>• 溶媒洗浄工程</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">濃縮妨害試薬排除検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 分析工程ソルトフリー化</li> <li>• 濃縮操作条件検討</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">硝酸分解技術検討</p>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水スクラブ等による洗浄効率評価、条件最適化</li> <li>• ソルトフリー試薬による洗浄効率評価及びソルトフリー試薬分解方法検討、条件最適化</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">濃縮妨害試薬排除検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 分析試薬の代替検討(ソルトフリー化、計測対応)</li> <li>• 所定の濃縮度を達成するための濃縮条件検討、最適化</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">硝酸分解技術検討</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 触媒等を利用した硝酸分解技術評価、条件最適化</li> </ul>
<p><b>ソフトフリー機器開発</b>  <b>ソルトフリーオフガス洗浄装置</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 要素試験</li> <li>• モックアップ装置・遠隔保守</li> <li>• 設計・製作</li> <li>• 試験</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;"><b>硝酸分解装置</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 要素試験</li> <li>• モックアップ装置・遠隔保守</li> <li>• 設計・製作</li> <li>• 試験</li> </ul>			<p>(オフガス洗浄装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 要素機による洗浄性能の確認</li> <li>• モックアップ機による洗浄性能及び遠隔保守性の確認</li> <li>• 実機設計・製作</li> </ul> <p>(硝酸分解装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 要素機による基本構造(触媒形状,電極配置)の確認</li> <li>• モックアップ試験機による分解性能、耐久性及び遠隔保守性の確認</li> <li>• 実機設計・製作</li> </ul>

## 廃液2極化技術開発 (3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と採否判断(2010年)のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周辺工程におけるソルトフリー化検討</li> <li>• 濃縮妨害試薬排除検討</li> <li>• 余剰硝酸分解プロセス技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ソルトフリー化を図った溶媒抽出プロセス(U-Pu-Np一括回収プロセス及びMA回収プロセス)について、所定の分離・回収性能が得られることを確認している。また、分析試薬に起因する自己反応性物質(アルコール系及びアンモニア系の試薬)を可能な限り抑制し、代替試薬を導入したほうがベターであるとの結果を得ている。</li> </ul>	【ソルトフリープロセス技術開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• オフガス処理工程、溶媒洗浄工程のソルトフリー化による洗浄効率等基本性能の評価</li> <li>• ソルトフリー試薬分解処理方法の検討</li> <li>• 分析工程のソルトフリー化(計測適用)</li> <li>• 濃縮操作条件検討</li> <li>• 触媒等を利用した硝酸分解技術評価</li> </ul>	~ 2010年	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
			~ 2015年	ホット工学試験が開始できること。このために必要なプロセスデータを幅広く把握。
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ソルトフリーオフガス洗浄装置開発</li> <li>• 硝酸分解装置開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ソルトフリー溶媒洗浄試薬の分解については、RETF用試薬分解試験装置(電解槽)の開発として、工学規模のワールド試験、遠隔保守設計等を実施している。また、分析試薬及び余剰硝酸分解については、機器開発については着手していない。</li> </ul>	【ソフトフリー機器開発】 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 要素試験等によるソルトフリーオフガス洗浄装置開発</li> <li>• 要素試験等による硝酸分解装置開発</li> </ul>	~ 2010年	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)
			~ 2015年	ホット工学試験が開始できること。このために必要なデータを把握。実用規模システムのプロトタイプ設計の提示

# 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(1/3)

## 技術の現状

所定のPu富化度調整精度を達成できる見通しを得た。  
脱硝転換工程において、実験室規模(150g MOX/バッチ)での造粒試験を実施し、粉末の流動性をペレット成型に適するように改良できることを確認した。

## 要求される技術仕様

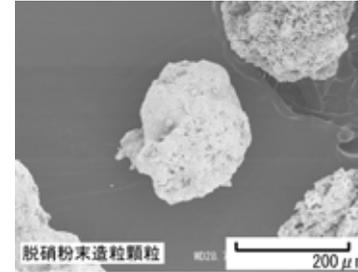
ペレット製造に適する仕様の原料粉末を工学規模で製造する条件の提示。  
目的とする製造能力を有する遠隔保守対応の脱硝・転換・造粒設備の設計図書提示。

## 技術開発の概要

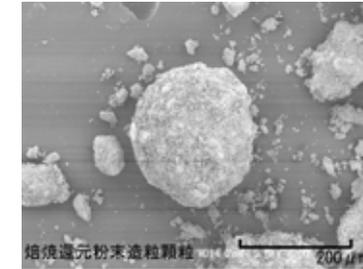
脱硝転換工程に造粒機能を組み込み、流動性の良い造粒粉末を得られる条件を小規模MOX試験により確認する。  
遠隔保守を考慮して脱硝・転換・造粒設備の方式検討を行い、選定した方式に基づき設計・製作し、コールド試験により機能や遠隔保守性を評価する。

## 今後の課題

マイクロ波脱硝技術の量産化および遠隔保守化  
造粒技術の確証、量産化および遠隔保守化

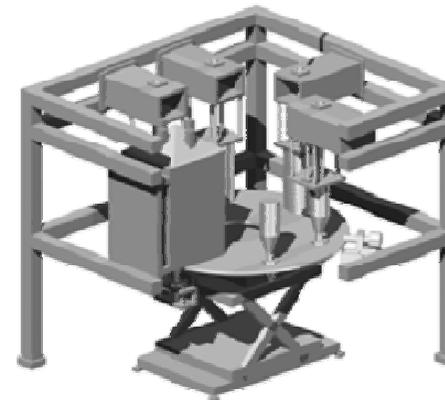


焙焼還元前

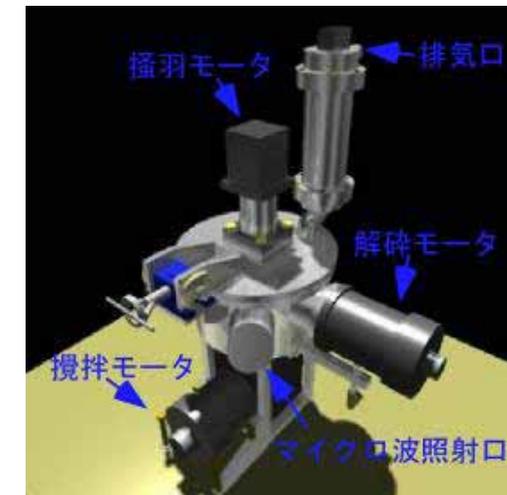


焙焼還元後

## 造粒MOX粉末のSEM写真



脱硝転換焙焼還元装置



マイクロ波脱硝造粒装置

## 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<b>マイクロ波脱硝技術の開発</b> (1)量産化技術開発 (2)遠隔保守量産設備開発			<p>再処理製品硝酸溶液を酸化物粉末に転換するマイクロ波脱硝技術の量産化及び遠隔保守技術を開発する。</p> <p>(MH法の量産化試験) 量産用円筒型脱硝容器が有する課題解決及び浅皿型脱硝容器の大型化のための開発試験を実施し、量産化に適した脱硝容器形状を選定するとともに、量産化への見通しを得る。</p> <p>(脱硝・転換の遠隔保守量産設備開発) 遠隔保守対応の脱硝転換設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守性を評価する。</p>
<b>造粒技術の開発</b> (1)技術の成立性評価 (2)技術の確証 (3)量産化技術開発 (4)遠隔保守量産設備開発	<p>小規模MOX試験設備の整備</p> <p>小規模MOX試験</p> <p>成立性評価</p> <p>脱硝・転換・造粒の確証試験</p> <p>造粒技術の量産化試験</p> <p>方式選定</p> <p>造粒の遠隔保守量産設備開発</p>	<p>マイクロ波脱硝技術で得られた粉末の流動性を改良して、ペレット成型に適した粉末とするための造粒技術を開発するとともに、量産化及び遠隔保守技術を開発する。</p> <p>(小規模MOX試験設備の整備) 1KgMOX/バッチ規模設備の設計、製作、据付</p> <p>(小規模MOX試験) ・造粒ステップの最適化(焙焼還元前後での比較評価) ・原料粉末の品質評価(収率、流動性、比表面積、O/Mなど)</p> <p>[成立性評価]: 得られる原料粉末の品質や収率を評価し、本技術の工学規模での成立性に見通しを得る。</p> <p>(脱硝・転換・造粒の確証試験) ・MA(Np, Am)、FP元素(模擬)の影響評価(処理条件、品質) ・原料粉末調整工程一連の条件(脱硝条件、焙焼還元条件、造粒条件)の最適化を図るとともに、原料粉末の品質(流動性、粒度分布、成型性、焼結性など)を評価し、原料粉末としての仕様を決定し、運転条件の安定性を確認する。</p> <p>(造粒技術の量産化試験) ウラン試験などにより量産化に向けた検討を行い、量産化に適した造粒方式を選定するとともに、量産性に見通しを得る。</p> <p>(造粒の遠隔保守量産設備開発) 遠隔保守対応の造粒設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守性を評価する。</p>	

## 脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
マイクロ波脱硝技術の開発	・模擬溶液を用いた試験において、現状の送液設備に定量供給槽を追加することで、目標とするPu富化度調整精度を満足できる見通しを確認した。	・これまでに実施したPu富化度調整技術に関する試験結果を評価し、実用プラントの概念設計としてまとめる。	(2015年)	採用すべきPu富化度調整設備の設計情報を実用プラントの設計評価に提示する。
	・円筒容器については、60gUO <sub>2</sub> /バッチ規模のウラン試験の結果、現行の浅皿容器を用いて得られる粉末と同等の粉末が得られた。浅皿容器については、2kg MOX/バッチ規模での実績がある。	・量産化に適した脱硝・転換方式を選定するとともに、量産化の見通しを評価する。	2010年	・マイクロ波脱硝技術の量産性見通しに関する技術根拠を提示できること。
		・遠隔保守対応の脱硝・転換設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守性を評価する。	(2015年)	採用すべき脱硝・転換設備の設計情報を実用プラントの設計評価に提示する。
造粒技術の開発	(プロセス成立性の確認、確証) ・Pu転換施設での実験室規模(150gMOX/バッチ)での試験により、原料粉末の流動性を改良する方法として転動造粒法が有効であることを確認した。	・小規模MOX試験設備(1kgMOX/バッチ規模)を整備し、MOX試験で得られる流動性改良粉末の特性を確認する。	2010年	目標値として、Carr粉末流動性指数が60以上、比表面積が3~5m <sup>2</sup> /gの流動性改良粉末が80%以上の収率で得られること。
		・原料粉末の品質(流動性、粒度分布、成型性、焼結性)を評価し、原料粉末としての仕様を決定するとともに、運転条件の安定性を確認する。	(2015年)	1kgMOX/バッチ規模の試験により条件の最適化を図り、この条件を実用プラントの設計評価に提示する。
	(量産技術開発) ・未実施	・ウラン試験などにより、量産化に向けた検討を行い、量産化への見通しを評価する。	2010年	造粒技術の量産性見通しに関する技術根拠を提示できること。
		・遠隔保守対応の造粒設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守性を評価する。	(2015年)	採用すべき造粒設備の設計情報を実用プラントの設計評価に提示する。

# ダイ潤滑成型技術の開発(1/3)

## 技術の現状

流動性改良MOX粉末とシングルパンチ成型機を用いた手作業によるダイ潤滑模擬成型試験を行い、現行法(潤滑剤混合法)と同等の中空MOXペレットを成型できる見通しを得た。

模擬粉末 (Mo, W)と6連パンチのダイ潤滑成型機を用いたコールド試験を行い、7.5個/分・パンチの成型速度が得られる見通しを得た。

## 要求される技術仕様

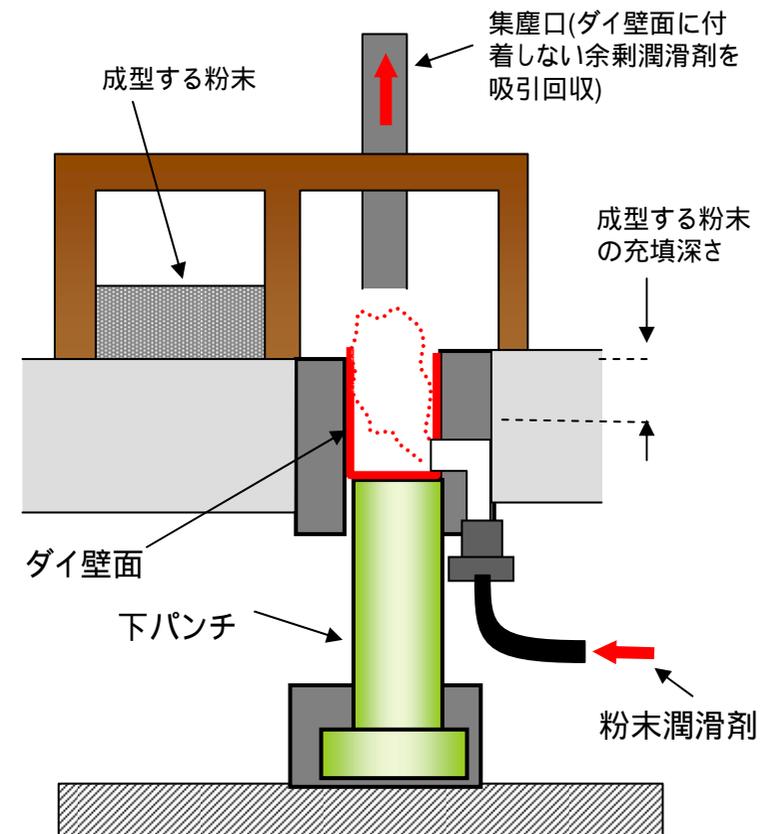
割れ、欠けのないグリーンペレットを99.8%以上の収率で得られること。  
成型速度が7.5個/分・パンチ以上であること。  
遠隔保守が可能な量産用設備が製作できること。

## 技術開発の概要

流動性改良MOX粉末を用いた連続成型試験を実施し、ダイ潤滑成型技術の工学規模での成立性を評価する。  
成型試験の結果を転換工程にフィードバックして簡素化プロセス全体の最適化を図り、得られた収率、製造時間などのデータを実用プラントの設計評価に資する。

## 今後の課題

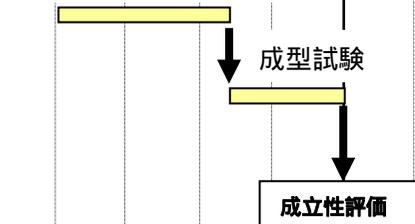
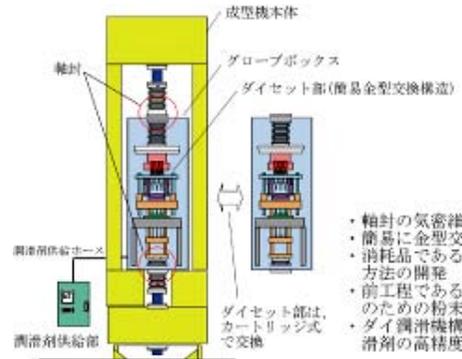
ダイ潤滑成型技術の工学規模での成立性評価  
成型試験結果の転換工程へのフィードバックによるプロセス全体の最適化  
遠隔保守型の量産用成型設備の開発



粉末潤滑剤(エアゾル状)をダイ下方から噴霧してダイ壁面に塗布する

## 開発するダイ潤滑機構

# ダイ潤滑成型技術の開発(2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>ダイ潤滑成型技術の開発</b> (1)ダイ潤滑成型技術の工学規模 成立性評価</p>	<p>小規模MOX試験設備の整備</p> 	<p>成立性評価</p> <p>確認試験</p>	<p>ダイ潤滑成型技術について、1kg/バッチ規模で転換した流動性改良MOX粉末を用いた連続成型試験を実施し、工学規模における技術的成立性を評価する。</p> <p>(小規模試験設備の整備)          ・数kg/バッチ規模に相当する小規模MOX試験設備の整備          ・保守機能評価 [金型セットの交換性、交換時間など]</p> <p>(成型試験)          ・成型体の品質評価 [外観、収率など]          ・成型速度の評価</p>  <p>小規模 MOX 試験用ダイ潤滑型成型設備の概念</p> <p>確認試験          ・ペレットの品質評価結果を脱硝-転換-造粒条件にフィードバックし、簡素化ペレット法全体としてのプロセス確認を図り、最適条件下での収率、製造時間などのデータを得て実用プラントの設計評価に資する。</p>
<p>(2) 成型結果の転換工程への フィードバックによるプロセス全 体の確認</p>		<p>量産性・保守性評価試験</p>	<p>設備のモジュール化による遠隔保守可能な量産対応のダイ潤滑成型装置を開発する。</p> <p>遠隔保守対応のダイ潤滑成型設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能保守補修性を評価する。</p>

## ダイ潤滑成型技術の開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
ダイ潤滑成型プロセスの工学規模成立性評価	・プルトニウム燃料第一開発室において、流動性を向上した原料粉末(MOX)を用いた実験室規模の試験によって、ダイ潤滑を模擬(手作業での潤滑剤塗布)することにより、中空ペレットが成型できることを確認した。	・専用設備を用いた小規模MOX試験(数kgMOX/バッチ)により、割れ、欠けのない良好な成型体を得られることを確認する。	2010年	・数kgMOX/バッチ規模の試験を実施し、得られる成型体の品質などから、ダイ潤滑成型プロセスの工学規模成立性見通しに関する技術根拠を提示できること。
プロセスの最適化	・未実施	・専用設備を用いた小規模MOX試験(数kgMOX/バッチ)により、得られる原料粉末の品質向上を図り、高収率で成型体を得られる条件を設定する。	(2015年)	数kgMOX/バッチ規模の試験によりプロセスの最適化を図り、この条件を実用プラントの設計評価に提示する。
遠隔保守量産設備の開発	・模擬物質を用いたコールド試験の結果、所定の成型能力を達成できることを確認した。	・遠隔保守対応のダイ潤滑成型設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守補修性を評価する。	(2015年)	採用すべきダイ潤滑成型設備の設計情報を実用プラントの設計評価に提示する。

# 焼結・O/M調整技術の開発(1/3)

## 技術の現状

流動性改良MOX粉末をダイ潤滑機構を模擬して成型したグリーンペレットを焼結し、95%TD以上のMOX中空ペレットを得た。  
熱処理時の電気炉内の酸素量を制御することにより、O/M=1.95のペレットを調整できる条件を見出した。

## 要求される技術仕様

量産工程において、焼結密度 95%TD、O/M 1.97、良好な外観と均質な組成を有するMOXペレットが90%以上の収率で得られること  
遠隔保守が可能な量産用焼結・O/M調整設備が製作できること。

## 技術開発の概要

MOXペレットの小規模焼結試験を実施し、高密度、低O/Mのペレットを工学規模で製造することの見通しを得る。  
焼結試験の結果を原料組成、転換、成型条件にフィードバックしてプロセス全体の最適化を図り、得られた収率、製造時間などのデータを実用プラントの設計評価に資する。

## 今後の課題

焼結・O/M調整技術の工学規模での成立性評価  
焼結試験結果のフィードバックによるプロセス全体の最適化  
遠隔保守型の量産用焼結・O/M調整設備の開発



中空MOXペレット(焼結後)

### 焼結-O/M調整炉の概念

- ・ バッチサイズの拡大  
(1kg/バッチ 300個ペレットに対応)
- ・ 雰囲気ガスの酸素ポテンシャル制御機能
- ・ 降温時のO/M変化防止のための急冷機能
- ・ ペレット検査時のO/M変化防止のための雰囲気制御機能

## 焼結・O/M調整技術の開発(2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<p><b>焼結・O/M調整技術の開発</b></p> <p>(1) 焼結・O/M調整技術の工学規模成立性評価</p> <p>(2) 焼結・O/M調整及び全体プロセスの確証</p>	<p>小規模MOX試験設備の整備</p>	<p>高密度で低O/Mのペレットを得るための焼結・O/M調整技術について、1kg/バッチ規模で転換した流動性改良MOX粉末をダイ潤滑によって成型した中空ペレットを用いた試験を実施し、工学規模における技術的成立性を評価する。</p> <p>(小規模MOX試験設備の整備)          ・小規模MOX試験設備(3kgMOX/バッチ)の整備</p> <p>(焼結-O/M調整試験)          ・O/M調整のための熱処理時間の短縮          ・ペレットの品質評価 [密度、O/M、収率]</p> <p>確証試験          ・Pu富化度をパラメータとした試験を実施し、焼結-O/M調整条件の最適化を図る。          ・焼結ペレットの品質評価の結果を原料組成、脱硝-転換-造粒条件、成型条件にフィードバックし、簡素化ペレット法全体としてのプロセス確証を図り、最適条件下での収率、製造時間などのデータを得て実用プラントの設計評価に資する。</p>	
<p><b>遠隔保守量産設備の開発</b></p> <p>・量産方式選定</p> <p>・遠隔保守量産設備開発</p>	<p>量産方式選定</p>	<p>設備のモジュール化を図ることにより、遠隔保守可能な量産対応の焼結・O/M調整設備を開発する。</p> <p>・プロセス開発の成果を評価するとともに、臨界管理の方式を質量管理とするか形状管理とするかを検討した上で量産化の方式を選定し、量産化への見通しを評価する。</p> <p>・遠隔保守対応の焼結・O/M調整設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能保守補修性を評価する。</p>	

## 焼結・O/M調整技術の開発(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
焼結・O/M調整プロセスの工学規模成立性評価	・熱処理時の電気炉内の酸素ポテンシャルを制御することにより、O/Mを調整できることを見出した。この結果を元に、O/M=1.95及び1.98のNp/Am-MOXペレット(Np,Am含有率:各2%)及びAm-MOX(Am含有率:3%及び5%)の燃料ペレットを、「常陽」照射試験用燃料として製造した。	・小規模MOX試験(数kgMOX/バッチ)により、焼結密度が95%TD以上、O/Mが1.97以下のペレットが得られることを確認する。	2010年	・焼結密度 95%TD、O/M 1.97のMOXペレットが安定的に得られること
焼結・O/M調整及び全体プロセスの確証	・未実施	・焼結・O/M調整条件の最適化を図る。 ・焼結試験の結果を原料組成、脱硝・転換-造粒条件、成型条件にフィードバックし、簡素化ペレット法全体としてのプロセス確証を図り、最適条件下での収率、製造時間などのデータを得る。	(2015年)	〔最適条件下での収率、製造時間などのデータを実用プラントの設計評価に提示する〕
遠隔保守量産設備の開発	・未実施	・量産化に適した焼結・O/M調整用の炉方式を選定するとともに、量産化への見通しを評価する。	2010年	・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的根拠を提示できること。
		・遠隔保守対応の焼結・O/M調整設備を製作し、コールド試験を通じて設備の改良、最適化を図り、機能や遠隔保守補修性を評価する。	(2015年)	〔採用すべき焼結・O/M調整設備の設計情報を実用プラントの設計評価に提示する。〕

# 燃料基礎物性研究(1/3)

## 技術の現状

Np、Amを含むMOXの物性として、融点、酸素ポテンシャル、格子定数などを測定、評価した。

## 要求される技術仕様

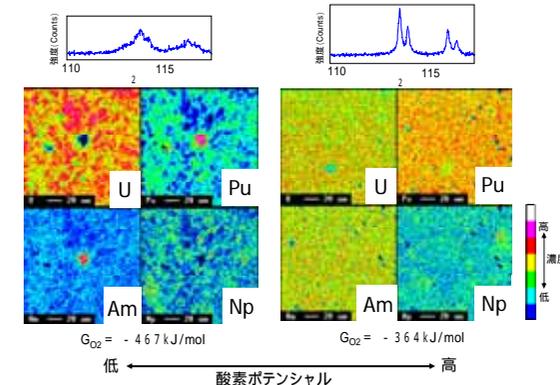
燃料製造あるいは燃料設計に反映できる物性データの整備

## 技術開発の概要

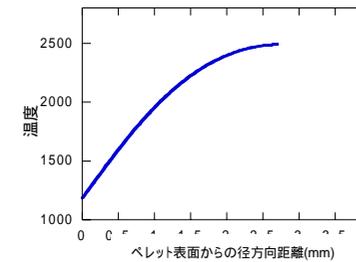
Np、AmあるいはFPを含むMOXの物性(融点、熱伝導率、状態図、拡散係数、蒸気圧など)を測定してデータの拡充を図るとともに、理論的に評価する。

## 今後の課題

物性データの拡充  
物性データの理論的評価に基づく予測手法の開発

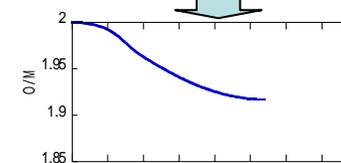


1600 焼結ペレットのEPMAによる元素分布測定  
熱処理条件によって均質性が大きく異なる  
燃料製造と物性(酸素ポテンシャル)

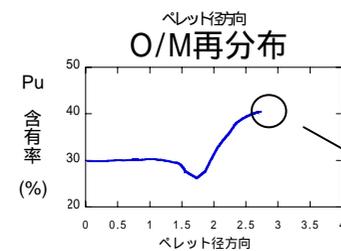


ペレット内温度分布

・熱伝導率



・酸素ポテンシャル  
・熱拡散



・拡散係数  
・蒸気圧

中心部の組成の融点

Pu再分布

許容線出力の決定

燃料設計の考え方

## 燃料基礎物性研究 (2/3)

分類	2010	2015	開発内容
<b>物性データの測定評価</b>	物性データ測定		<ul style="list-style-type: none"> <li>・融点、熱伝導率、拡散係数などの物性データを測定する。</li> <li>・蒸気圧測定装置を整備し、蒸気圧の測定を行う。</li> <li>・熱膨張計(ディラトメータ)を整備し、様々な雰囲気での焼結挙動を評価する。</li> </ul>
	装置製作	↑	
(1)物性データの拡充	物性データの評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・測定した物性データを評価するとともに、計算化学による物性データ予測手法を開発する。</li> </ul>
	計算化学による物性データ予測手法の開発	↓	
(2)物性データの理論的評価	↓		<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な挙動が混在する初期の焼結メカニズムについて、焼結速度を測定し、焼結挙動の速度論的評価を行う。</li> <li>・熱処理中のO/M変化挙動、組織変化を評価する。</li> </ul>
	↓		
<b>物性データの反映</b>	↓		<ul style="list-style-type: none"> <li>・得られたデータをもとに焼結挙動モデルを作成する。</li> </ul>
	↓		
(1)燃料製造条件への反映	↓		<ul style="list-style-type: none"> <li>・「常陽」での照射試験の結果として、照射初期及び定常状態での照射挙動を評価し、燃料設計コードの信頼性向上を図る。</li> </ul>
	↓		
(2)燃料設計への反映	照射挙動評価/燃料設計コード開発への反映		
	↓		

## 燃料基礎物性研究 (3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の開発内容と開発目標		
		開発内容	完了時期	開発目標
<b>物性データの測定評価</b>  (1) 物性データの拡充  (2) 物性データ予測 手法の開発	・Am/MOX, Np/Am/MOXの融点、酸素ポテンシャル、格子定数などの基礎物性の一部を測定評価し、「常陽」照射試験用燃料設計に反映した。  ・熱力学データベースの作成と第一原理計算による評価に着手した。	現在、測定・評価を進めている物性データに加えて、蒸気圧、拡散係数などの物性データを測定、評価する。  さらに、実験上、困難または難しい領域の物性データを評価するために計算科学を用いた物性データの予測技術を確立する。	(2015年)	( 物性データを測定して拡充を図ると共に、理論的な評価に基づく物性データ予測手法を開発する。 )

# システム開発:セル内遠隔設備開発 (1/4)

## 技術の現状

低除染TRU燃料の製造は、遠隔運転のセル構造施設が必要となるが、JAEAプルトニウム燃料第三開発施設及び日本原燃(株)MOX燃料工場等既存の施設はグローブボックス設備であるため、完全な遠隔保守補修対応の設備にはなっていない。利用可能な技術としては、再処理施設、照射後燃料試験施設等の既存技術があるが、精密機械が多い製造設備の遠隔保守対応に開発課題が存在する。

量産対応のための分析、検査技術開発が必要である。

## 要求される技術仕様

セル内遠隔保守対応モジュール開発、モジュール交換に最適化したロボットアーム。故障モジュールを分解除染する高自由度マニプレータの開発。

量産対応のための粉末分析、ペレット検査技術開発。

## 技術開発の概要

コールドモックアップ試験を中心に、製造設備のモジュール開発、モジュール開発に連動した遠隔ハンドリング機器開発。

インライン粉末分析、ペレット検査迅速化技術開発。

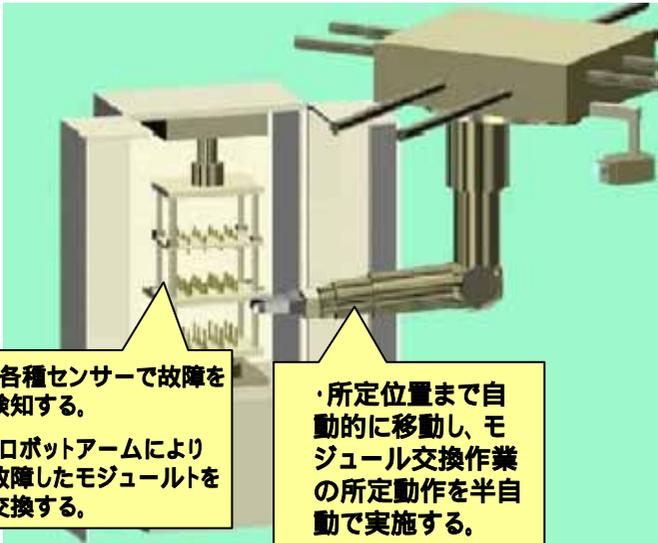
## 今後の課題

遠隔ハンドリング機器開発の実施、ホット試験施設による実証



## 遠隔による保守・補修の概念

## システム開発:セル内遠隔設備開発 (2/4)

項目	2010	2015	実施内容
1. 遠隔保守共通技術開発	[Progress bar from start to approx. 1/3]		<p>(遠隔保守共通技術開発)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>成型設備を代表例とした遠隔保守補修の共通技術の開発</li> </ul>
2. 遠隔保守化設備開発	[Progress bar from start to approx. 3/4]		<p>(遠隔保守化設備開発)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記の遠隔保守補修の技術開発成果を反映し、燃料要素加工設備、燃料要素検査設備、集合体組立設備等のモジュール化設備の開発</li> <li>その他セル内遠隔設備に必要な技術の開発</li> </ul>
・ペレット研削、燃料要素加工、集合体組立設備等の遠隔保守設備開発  ・機器監視異常診断技術の開発  ・分析、検査迅速化技術開発			<p>(ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原料調整を含むバッチサイズ拡大によるODS被覆管量産技術開発</li> <li>自動運転溶接機の開発及び量産に適した溶接検査技術の開発</li> </ul>
3. ODS被覆管燃料ピン集合体の量産技術開発	[Progress bar from start to end]		 <p>遠隔保守概念(ペレット成型装置の例)</p>
・被覆管の量産技術開発  ・遠隔自動端栓溶接機の開発  ・溶接検査技術の開発  ・フェライト鋼集合体組部材の開発			<p>・各種センサーで故障を検知する。 ・ロボットアームにより故障したモジュールを交換する。</p> <p>・所定位置まで自動的に移動し、モジュール交換作業の所定動作を半自動で実施する。</p>

## システム開発:セル内遠隔設備開発(3/4)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔保守共通技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セル内設備のモジュール化による遠隔保守補修の開発については、一部の概念検討に留まっており、今後のシステム開発が必要である。</li> <li>セル内燃料製造設の遠隔保守補修対応設備開発として、まず、成型設備を代表例としたモジュール化設備概念と遠隔ハンドリング設備概念を明確化し、セル内遠隔保守補修の共通的なシステム開発を行い、それらを修正しながらその他の設備に適用する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>成型設備のモジュール化設備の開発</li> <li>遠隔ハンドリング設備の開発</li> </ul>	2010年	セル内遠隔量産設備の保守補修技術の共通的なシステム技術の概念が、成型設備を例に、コールドモックアップによる技術的根拠に基づき構築されること。
			(2015年)	この概念を実用プラントの設計評価に提示する。
<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔保守化設備開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔保守補修に関する共通的な技術開発成果を反映して、ペレット研削、燃料要素加工、集合体組立設備の遠隔保守補修対応設備を開発する。</li> <li>分析設備の遠隔・迅速化設備を開発する。</li> <li>遠隔設備の円滑な運転に資するため、運転監視・異常診断技術を開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料要素加工設備、検査設備、集合体組立設備のモジュール化設備の開発</li> <li>ペレット検査迅速化技術、粉末のインライン分析技術及びその他の工程の検査分析設備開発</li> <li>機器遠隔監視、異常診断技術開発</li> </ul>	2010年	機器設備開発の進捗状況に応じ、モジュール化設備の見通しを得る。
			(2015年)	この概念を実用プラントの設計評価に提示する。

## システム開発：セル内遠隔設備開発(4/4)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ODS被覆管燃料ピン集合体の量産化技術開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ODS被覆管は、年間実績100本程度の製造技術を確立している。</li> <li>・ODSピン溶接加工について、コールドでの少量・手作業による溶接、熱処理、超音波検査等の技術を確立している。</li>   <li>・原料調整を含む製造バッチの拡大によるODS被覆管量産技術開発を実施する。</li> <li>・遠隔自動運転の燃料ピン端栓溶接機器を開発する。</li> <li>・水を使わない迅速検査機器開発及び量産化に適した溶接検査基準の整備を実施する。</li> <li>・自動組み立て工程に適合するフェライト鋼集合体の組部材を開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ODS被覆管量産技術開発</li>   <li>• 遠隔自動加工検査設備開発</li> </ul>	2010年	ODS被覆管の量産、遠隔自動運転の端栓溶接機器及び溶接検査の迅速測定機器について見通しが得られること。
			(2015年)	<div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発成果を実用プラントの設計評価に提示する。</li> </ul> </div>

# TRU燃料取扱い技術：原料発熱影響評価(1/3)

## 評価の現状

FS燃料集合体の温度評価についてはこれまでに、もんじゅ燃料でのモックアップ試験からの外挿、計算コードを用いた熱流動解析を行った。

2百数十本の被覆管と螺旋状に巻かれたラッピングワイヤで仕切られた流路は形状が複雑で、詳細なモデル化が難しく、今後の詳細評価が必要である。

## 要求される技術仕様

擬似体系での実測データによる計算モデルの構築。  
モックアップによる除熱機能の確認。

## 技術開発の概要

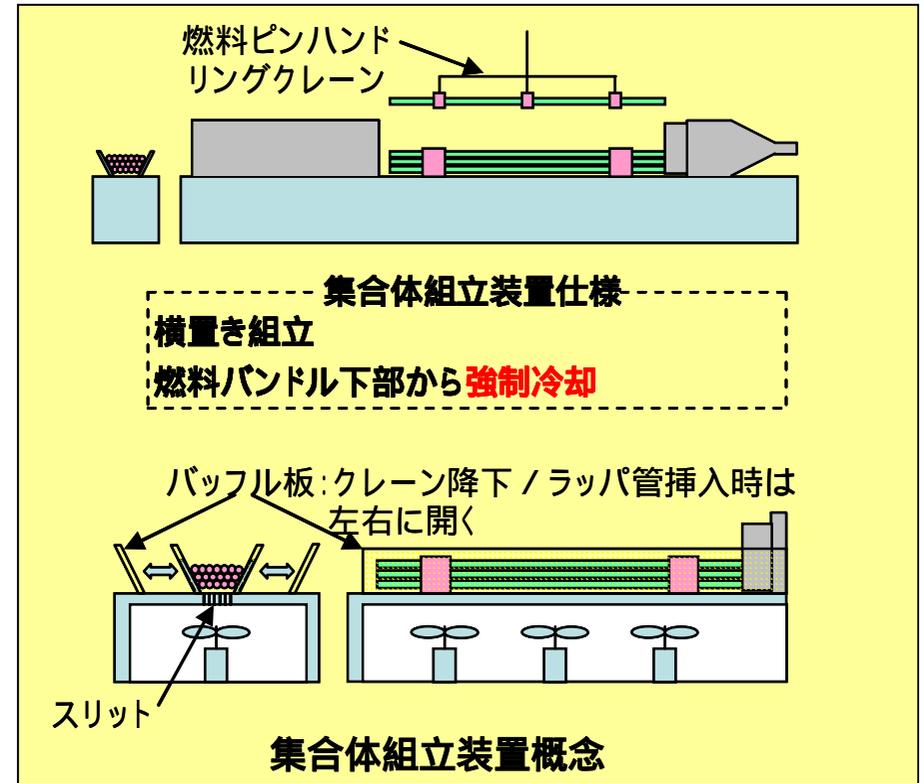
燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。

集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。

## 今後の課題

燃料サイクルシナリオに応じて多様な発熱の燃料に対する、改良モデルによる温度分布評価。

高発熱燃料に対応した集合体組立装置の設計への反映。



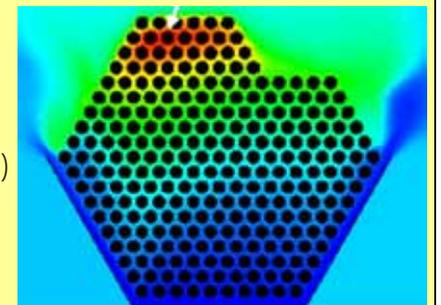
## 集合体組立時温度解析例

強制冷却、セル内気温: 25

集合体設計: フェーズ2最終設計

HM重量: 127.9kgHM(軸ブラ除く)

三次元熱流動解析コード  
AQUA および Fluent 使用



## TRU燃料取扱い技術：原料発熱影響評価(2/3)

単位：億円

分類	2010	2015	試験内容
<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱流動シミュレータによる計算モデル開発</li> <li>・コールドモックアップ試験</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料集合体内流路の典型的な形状に対し詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験機を製作し、試験結果から詳細なモデルを構築する。</li> <li>・集合体組立装置および燃料バンドルを模したコールドモックアップ試験装置を作成し、除熱効果を確認する。</li> </ul>

## TRU燃料取扱い技術(3/3)

課 題	フェーズ の状況	今後の課題と2010年時点での採否判断のクライテリア		
		開発課題	完了時期	クライテリア
低除染燃料ピン、燃料集合体の組立の成立性確認	<p>・燃料集合体の温度評価については、簡易な計算コードを用いた熱流動解析を実施。但し、横方向の集合体に対し直行する冷却方式では、ラッピングワイヤなどで仕切られた複雑な流路を十分模擬するには至っていない。</p>	<p>・除熱装置設計への反映のため、燃料集合体内の詳細な流速分布や温度分布を計測できる試験体や実規模の試験体による試験を実施し、詳細評価手法を整備し、最適な冷却システム概念を構築する。</p>	2010年	<p>・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。</p>
			(2015年)	<p>（この条件を実用プラントの設計評価に提示する。）</p>

## 参考資料 4

### 補足説明資料集

研究開発の構成（Work Breakdown Structure）

組織の要員構成

予算・要員展開（見積もり）

研究開発の推進体制

研究開発に係る部門間の連携

FBR サイクル開発に係る国際協力の現状と今後

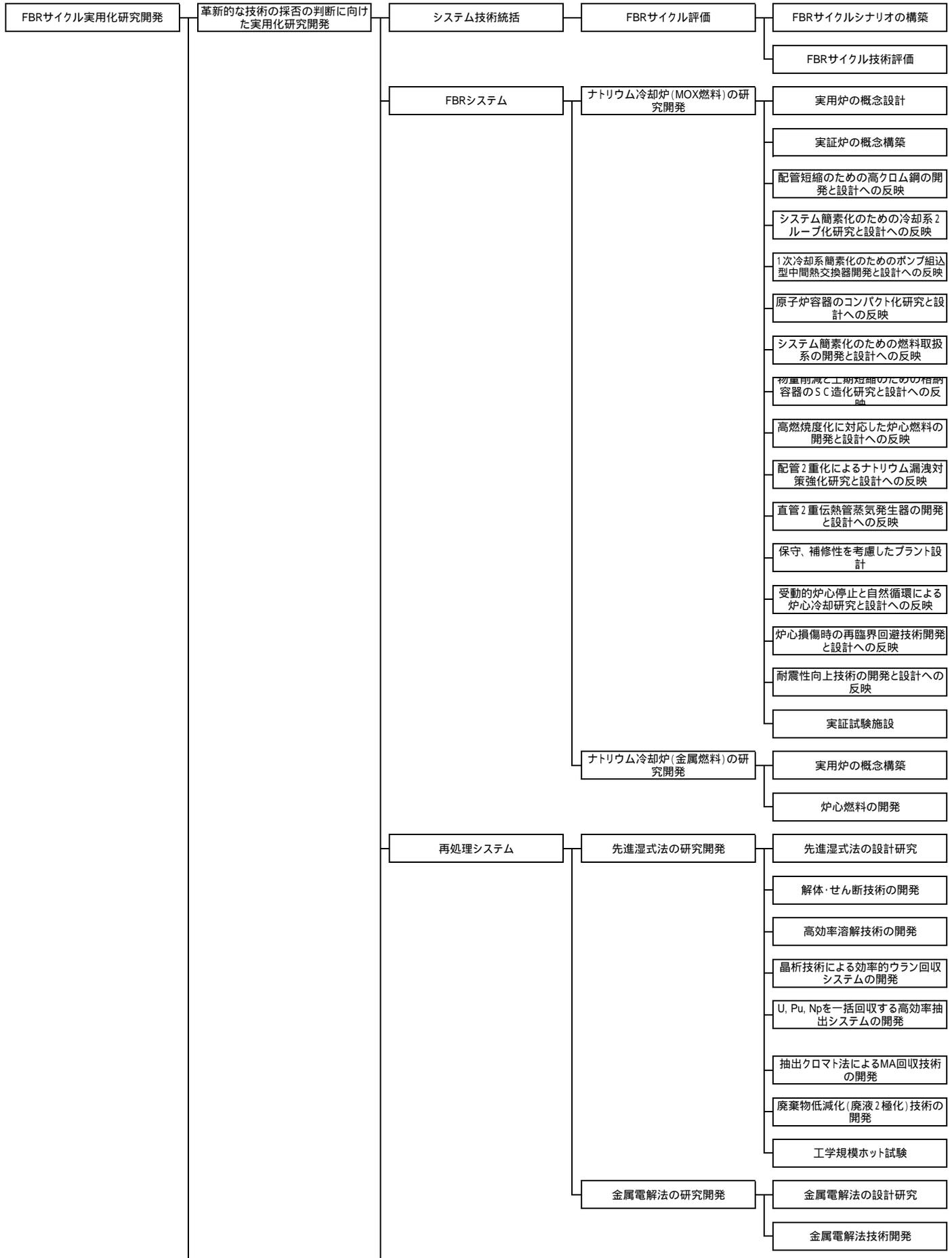
技術開発の評価と推進の流れ

原子力機構の評価制度について

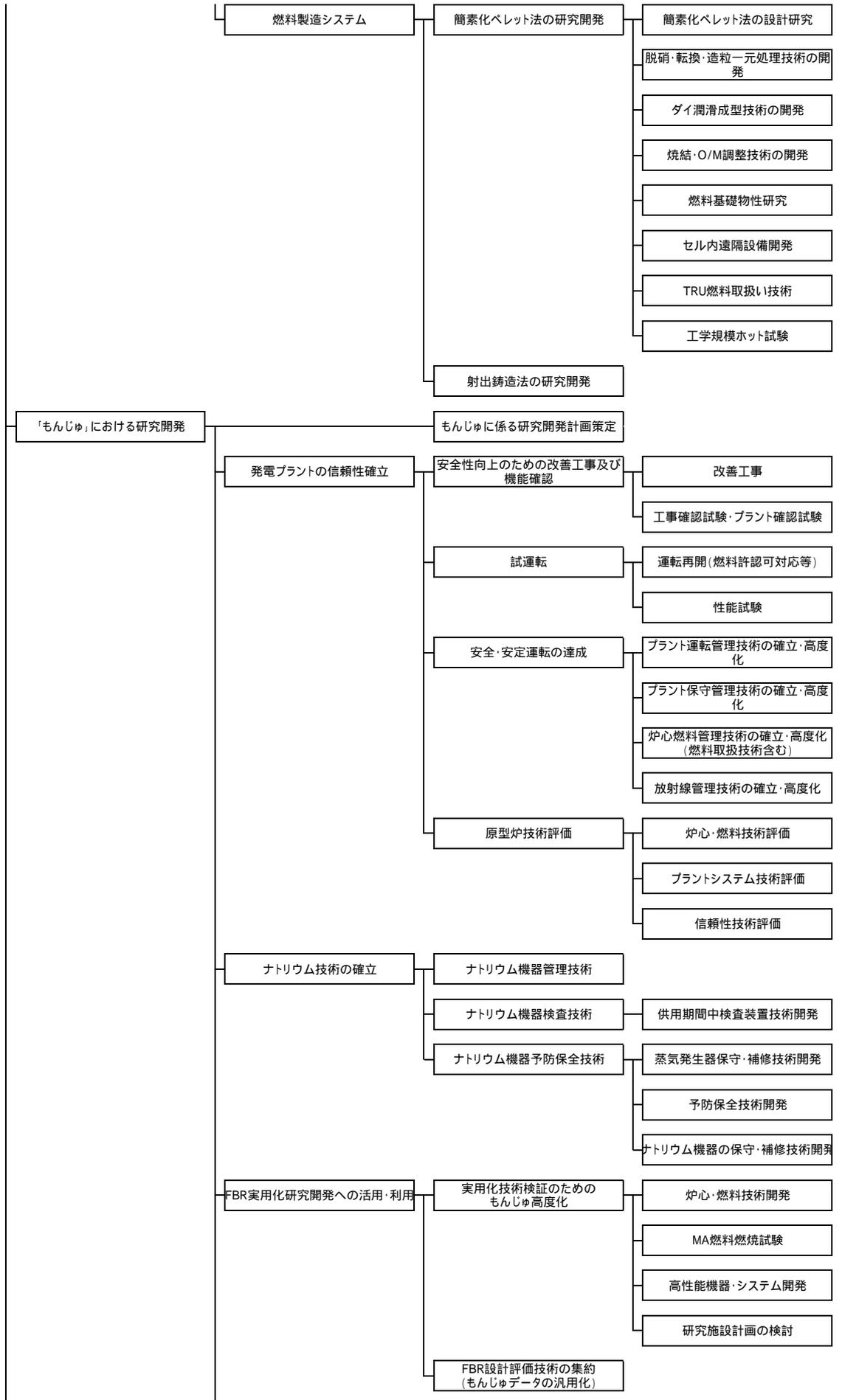
TRU 酸化物燃料の照射試験

## 研究開発の構成（Work Breakdown Structure）

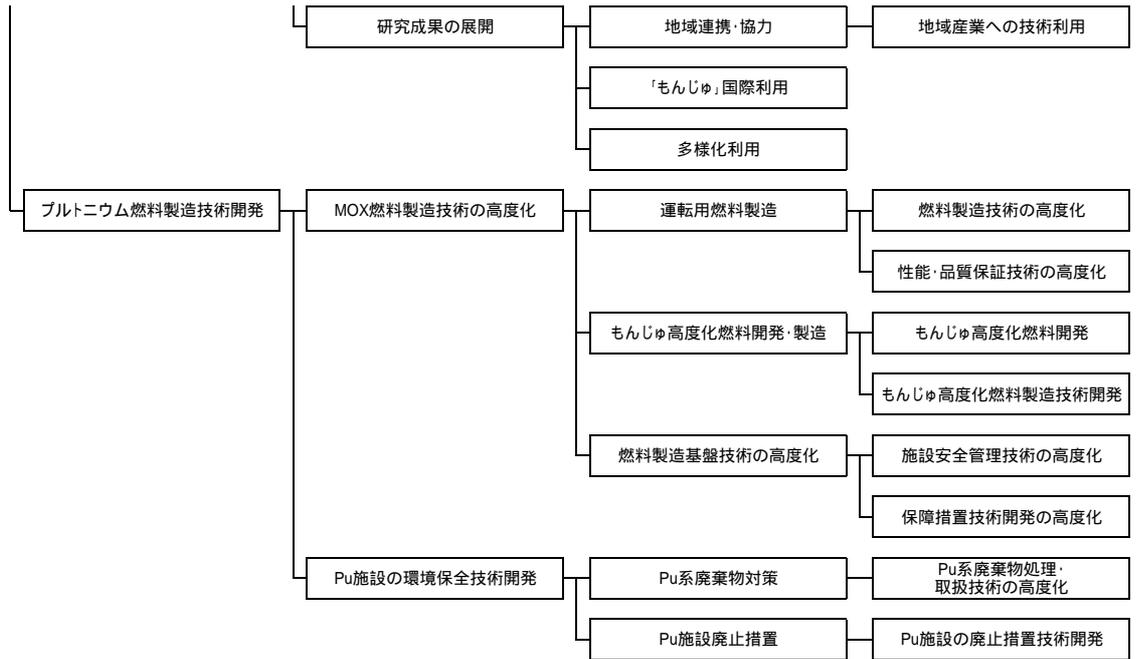
# FBRサイクル実用化研究開発に関する研究開発WBS (1/3)



FBRサイクル実用化研究開発に関する研究開発WBS (2/3)



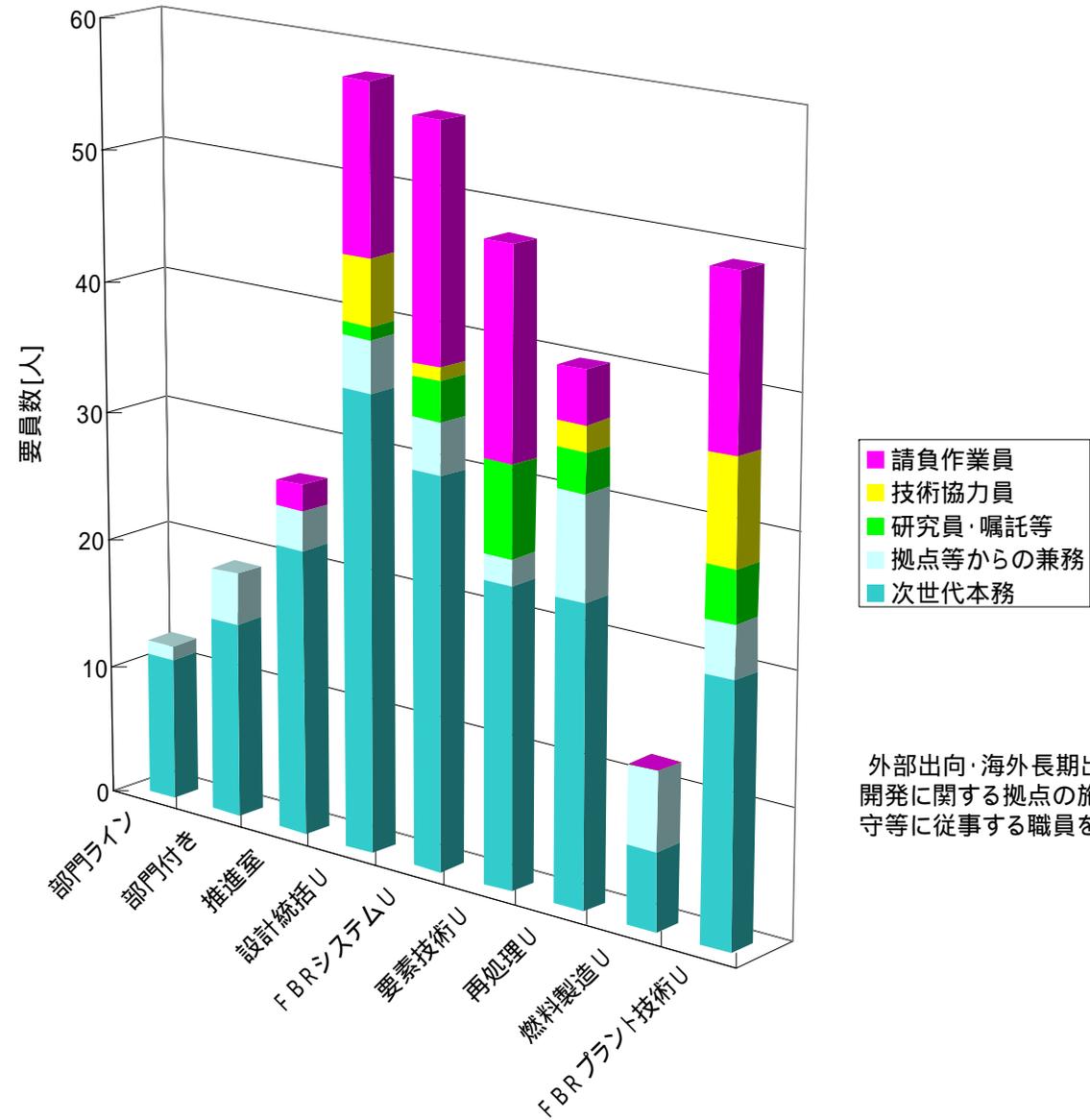
# FBRサイクル実用化研究開発に関する研究開発WBS (3/3)



## 組織の要員構成

# JAEA 組織要員構成

## 高速増殖炉サイクル実用化研究開発に従事する者



予算・要員展開（見積もり）



# 研究開発及び関連する経費

## 2010年までの研究開発及び関連する経費見積もり (単位:億円)

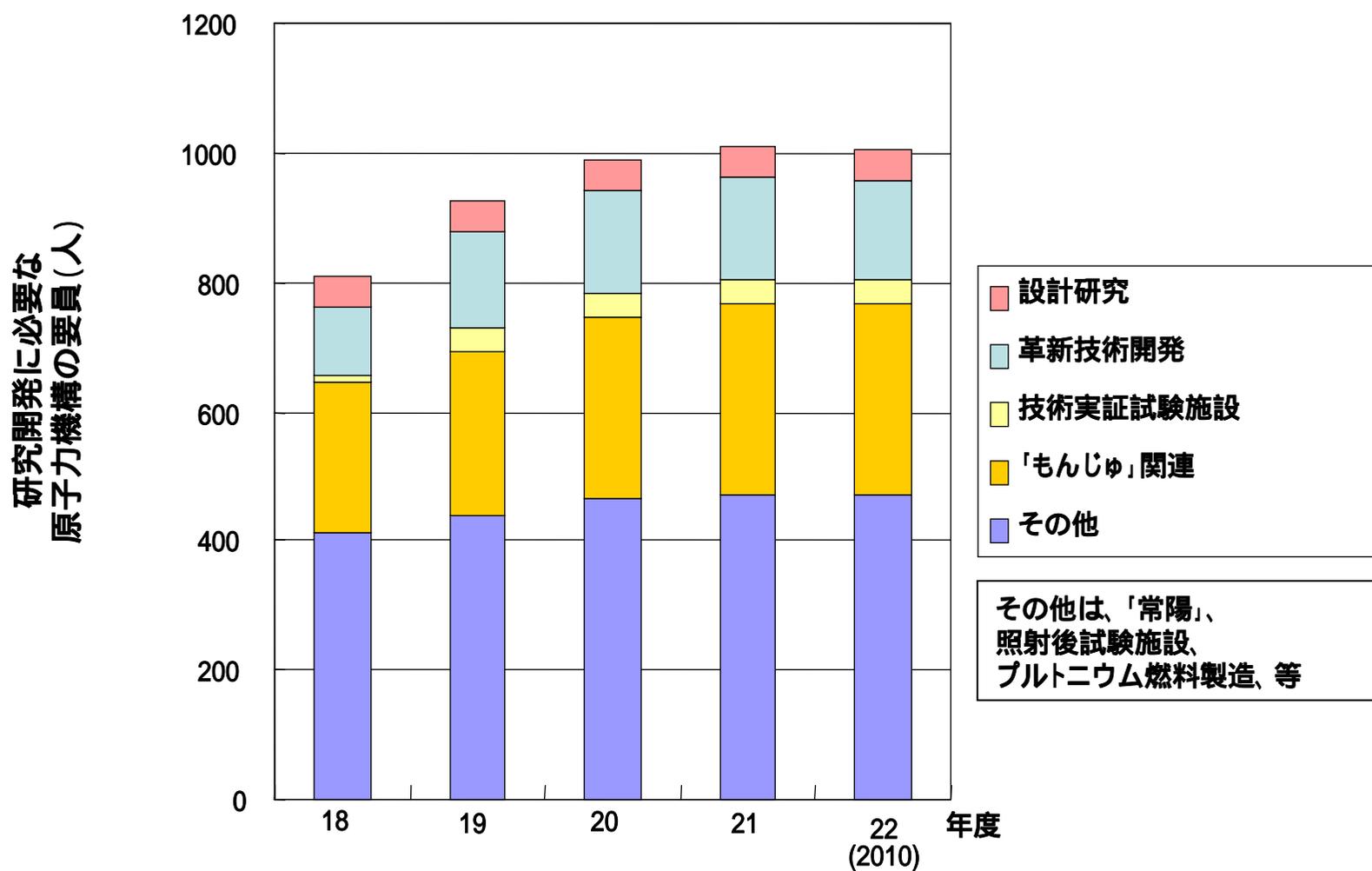
研究開発課題	年度	2006	2007	2008	2009	2010	計
設計研究(高速増殖炉システム)		5	9	8	8	8	37
設計研究(燃料サイクルシステム)		2	3	3	4	3	15
革新技術(高速増殖炉システム)		10	57	79	51	37	233
革新技術(燃料サイクルシステム)		11	40	49	39	26	164
工学規模ホット試験施設		0	18	17	18	16	70
「もんじゅ」維持管理費		80	91	150	166	208	694
「もんじゅ」改造工事等		139	133	67	1	0	340
「もんじゅ」性能試験費		4	2	4	21	11	42
「もんじゅ」関連技術開発		8	8	8	8	8	41
「常陽」		29	50	59	59	55	250
CPF等		8	10	15	15	15	64
プルトニウム燃料製造		46	71	72	70	73	332
照射後試験施設		7	8	15	12	13	55
その他(コールド試験、施設維持等)		21	18	21	44	44	148
<b>総計</b>		<b>370</b>	<b>518</b>	<b>566</b>	<b>513</b>	<b>516</b>	<b>2,484</b>

長期停止設備点検検査+安全対策を含む費用



# 研究開発及び関連する施設運転等の要員

## 2010年までの研究開発及び関連する施設運転等の要員見積もり



## 【これまでの経営努力】

- 原子力機構が行う研究開発の意義・重要性に対する国家的合意形成を、内閣府・文部科学省・経済産業省・自由民主党・日本経済団体連合会・原子力産業協会等に要請。
  - ◇ 総合科学技術会議の第3期基本計画において、次のように位置づけられた。
    - 「国家基幹技術」・・・高速増殖炉サイクル技術
    - 「戦略重点科学技術」・・・ITER計画、高レベル放射性廃棄物処分技術
  - ◇ 経済産業省の「原子力立国計画」において、高速増殖炉サイクル技術開発等が重点化された。
- 研究開発の重点化と効率化を推進。
- 外部資金(競争的資金の獲得など)の導入拡大。
- 経費と人員の削減による経営の合理化、事務処理の簡素化と迅速化を推進。



## 【更なる経営努力】 研究開発を実施するための資源(予算、人材)の確保

### 〔予算〕

- 中期目標を達成するための研究開発費が、原子力機構の合理化努力をもってしても確保できないため、以下を努力。
  - ◇ H18年度特別会計から一般会計に繰り入れた予算(約300億円)を、特別会計への戻し入れを働きかけ。
  - ◇ 民間の拠出金(再処理役務廃棄物拠出金約2,000億円)等の受取制度の早期整備。
  - ◇ 文部科学省並びに経済産業省における予算獲得のしくみの見直し等を要請。
    - (例：共用促進法適用による補助金の拡大、特別会計利用勘定と立地勘定比率の見直し)
- 更なる合理化努力の継続と発想の転換による合理化を追求。

### 〔人材〕

- プロパー職員の削減により、技術基盤維持やプロジェクト推進に支障が出る恐れがあるため、研究員・技術員の任期付任用などによる人材確保策の検討。
- 次世代を支える人材確保のため、広く民間事業者、産業界の人材の拡充や技術継承のための体制づくりなどの検討。

## 研究開発の推進体制

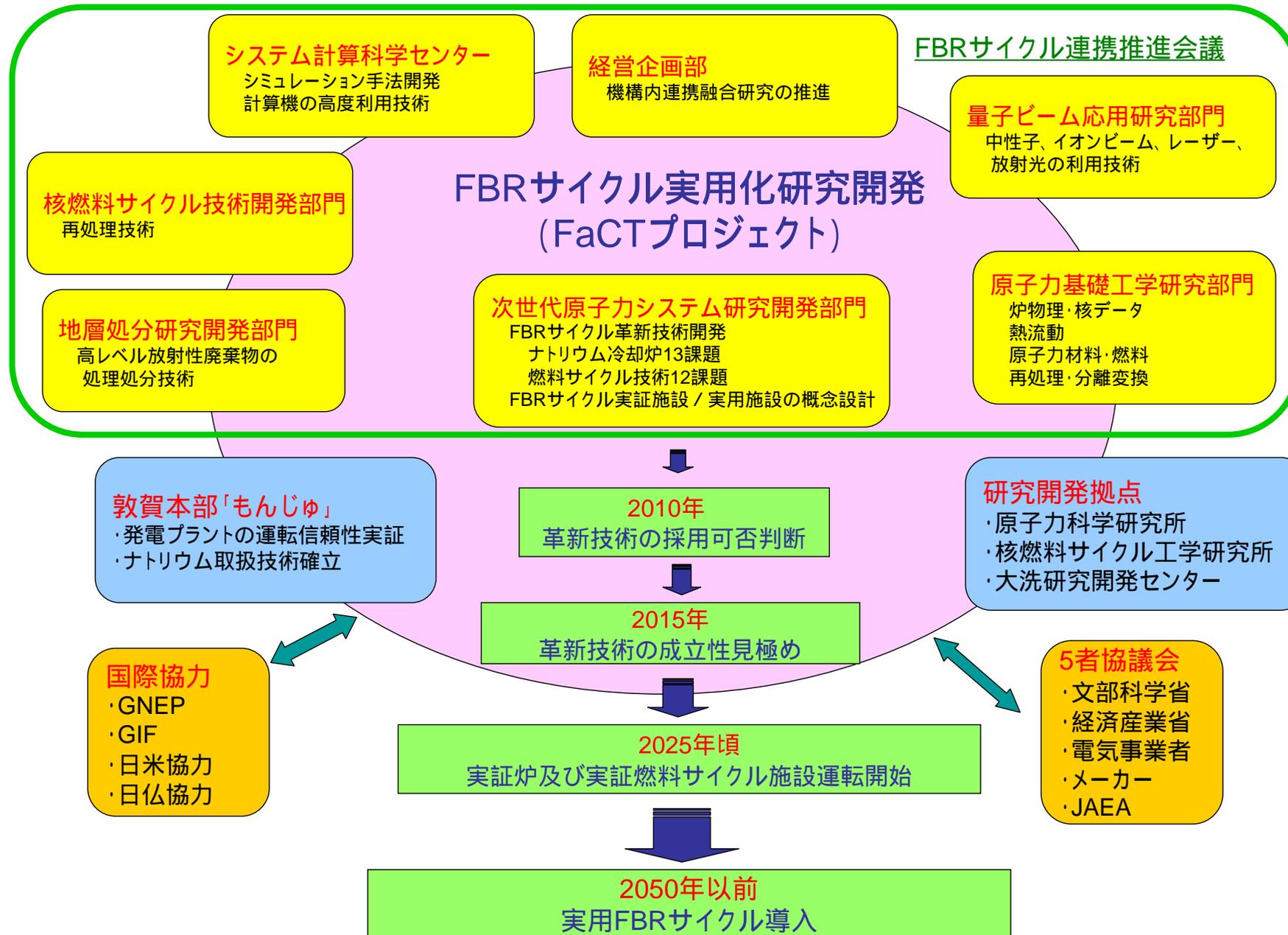


# 会議体と部門・拠点の連携

- 会議体に拠点・他部門の長が出席し、施設運用や部門間連携等の方針を検討

	役員 〔理事長、副理事長、 担当理事〕	次世代 部門	拠点 〔東海、大洗、 敦賀〕	他研究開発 部門 〔核燃料サイクル、 原子力基礎工学等〕	事業 推進部門 〔経営企画部 等〕
FBRサイクル技術開発推進本部会議	○	○	○		○
プロジェクト会議		○	○	○	○
高速炉燃料開発調整会議		○	○		○
FBRサイクル連携推進会議		○		○	○
国際協力推進会議		○			○

# FBRサイクル実用化研究開発推進のための連携体制



## FBR サイクル開発に係る国際協力の現状と今後



# 国際協力の例 現状と今後

関係	名称	概要	現状	今後
多国間	第4世代原子力システムに関する国際フォーラム (GIF)	多国間協力のもと持続性、安全性、経済性、核拡散抵抗性・核物質防護を目標として2030年までの実用化を目指す第4世代原子力システムを開発する。	ナトリウム冷却高速炉の開発に関する共同研究のシステム取決めが2006年2月に締結され、設計・安全性、新型燃料、機器設計・BOP等の分野での具体的な協力が開始されようとしている。	国際共同開発を本格化させる。本国際共同研究は主としてプラントシステム技術及び炉心燃料技術を中心にした要素技術開発への貢献が期待される。プラントシステム技術については、概念選定の主体となることにより、ナトリウム炉に関する技術の国際的な標準化をリードしていく。炉心燃料技術等の要素技術開発においては、データ拡充、工学実証の先行が可能になり、研究開発のリスク低減や資源負担の低減を目指す。
多国間	革新的原子炉・核燃料サイクルに関する国際プロジェクト (INPRO)	開発途上国を含めた参加国とともに、各種の高速炉サイクル技術を対象としたINPRO評価手法による評価について共同研究を行う。	2006年4月に共同研究に正式参加した。	開発途上国からの参加もあることから、我が国の技術が国際的に活用されていくものとするため、開発途上国も含め、幅広く国際的な理解を得るよう努力していく。
日本-フランス (仏CEA、日JAEA)	原子力研究開発分野における協力のためのフレームワーク協定	原子力研究開発に関する協力の枠組み。	高速炉プラント設計研究、構造健全性、熱流動、炉物理、安全性、炉心燃料開発、プラント運転技術、再処理プロセス技術、燃料製造プロセス技術、およびFBRサイクル導入シナリオ研究などについて情報交換を継続実施している。	今後はGIF等の多国間協力と並んで、個別・具体的で緊密な協力をを行うためにこのような二国間協力を活用することも視野に入れる。仏国との間の人材交流については、フェニックス炉と「もんじゅ」との間で技術者研究者交換を実施している。また、再処理技術の分野でもCEAとの間で若い研究者の交換を計画している。



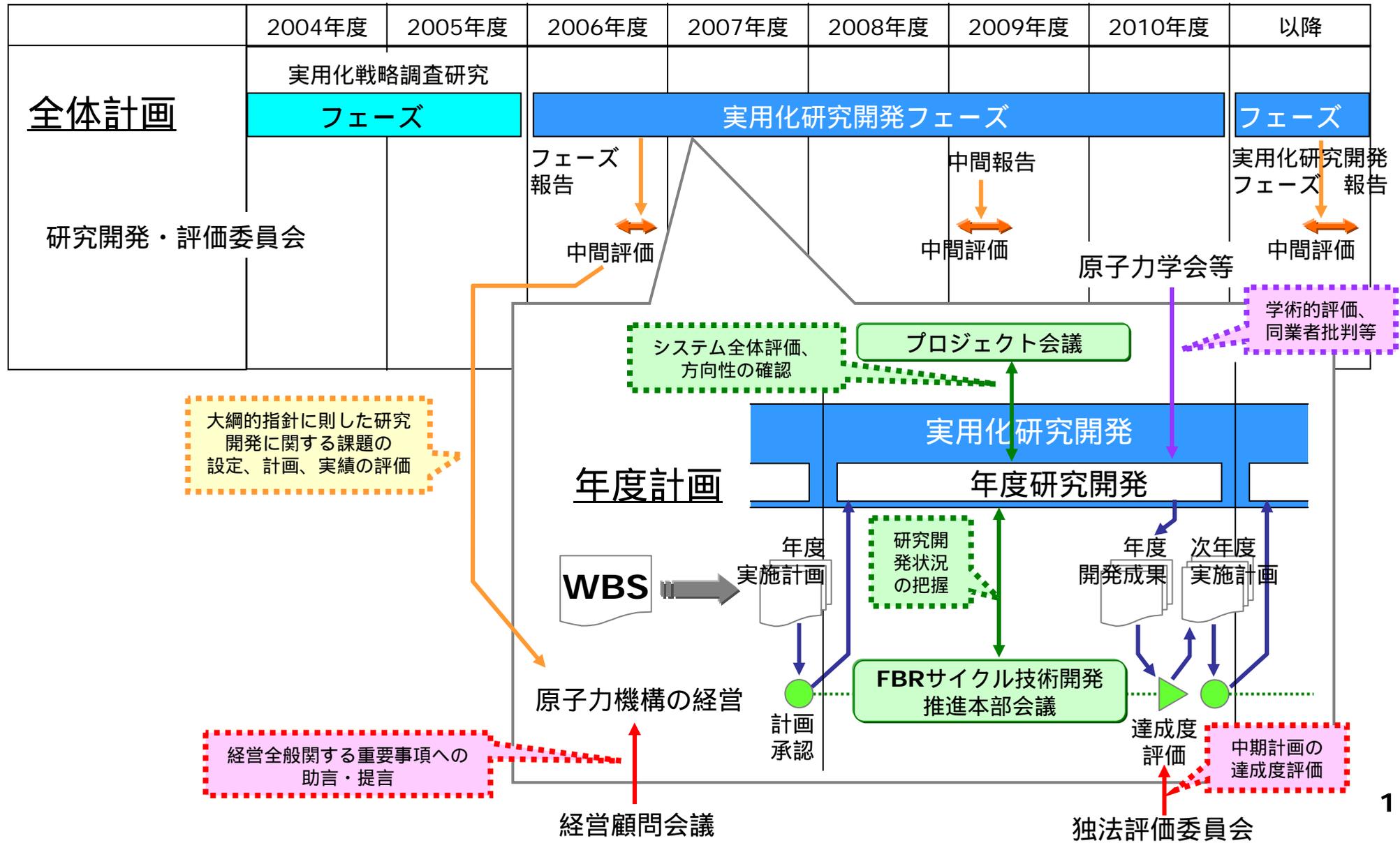
# 国際協力の例 現状と今後

関係	名称	概要	現状	今後
日本-アメリカ (米DOE、日JAEA)	原子力技術分野における協定	原子力研究開発に関する協力の枠組み。	過渡事象試験炉TREATを用いた新型燃料の安全性試験準備等を実施している。	協力継続の可能性を追求し、国際標準化概念の構築と開発リスクの低減に寄与するよう努める。
日本-カザフスタン (カザフ国立原子力センター、日JAEA)	高速炉の炉心安全性に関する共同研究	カザフスタン国立原子力センターが有するIGR (Impulse Graphite Reactor) 施設等を用いた試験研究を実施。	世界的にも類をみない炉心損傷時の熔融燃料流出挙動に関する炉内試験をこれまでに3回実施。また補完的な炉外試験を5回実施。	より具体的な設計条件での試験データを取得するとともに、計算科学との連携を含め実用FBRの安全性を実証してゆく。
	国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP)	米国から世界に向けた提案。米国内、および世界的な原子力の利用拡大に対応するとともに、これに伴って発生する使用済み燃料と核不拡散の二つの問題に対処するための国際的なシステムを構築しようとするもの。	DOEより示された「技術提案に関する関心表明の募集」に対して、2006年9月に技術提案とともに関心がある旨を表明した。	米国との協議を通じてGNEP構想の内容を詳細に検討し、共通点及び相違点を明確にしていく必要があるが、前述の基本的な考え方に沿って、GNEP構想に対して積極的・戦略的に対応する。

## 技術開発の評価と推進の流れ



# 技術開発の評価と推進の流れ



# 原子力機構の評価制度について

# 研究開発課題評価委員会と 日本原子力研究開発機構の 評価制度について

平成18年7月  
評価室

# 日本原子力機構における評価活動の現状

- 経営管理制度
  - 機構の研究開発活動をはじめとする業務運営全般の基本的管理法として平成17年度より着手
- 独法評価に向けた自己評価
  - 機構内関係部門に対する独法制度及び独法評価制度のガイダンスを実施
  - 機構内の自己評価体制を整備
  - 自己評価及び業務実績報告書の作成準備
- 研究開発課題評価
  - 大綱的指針に基づく研究開発課題の評価
  - 8研究開発部門について7課題評価委員会を設置予定

先端基礎研究・評価委員会

原子力基礎工学研究・評価委員会

量子ビーム応用研究・評価委員会

核融合研究開発・評価委員会

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

地層処分研究開発・評価委員会

バックエンド推進・評価委員会

# 研究開発・課題評価委員会の設置について

## 研究開発・評価委員会の役割

「理事長の諮問に応じ、所掌する部門が進める研究開発に関して「国の研究開発評価に関する大綱的指針」に基づく研究開発課題の評価を実施し、理事長に答申する。」の役割を有し、  
「部門長の求めに応じ、部門の進める研究開発について討議し、その推進に資する意見を部門長に述べる。」機能を併せ持つ  
委員会として設置する。

## 委員構成

評価対象の研究開発分野に精通しているなど、十分な評価能力を有し、かつ、公正な立場で評価できる機構外の専門家  
大規模プロジェクト及び社会的に関心の高い課題の評価においては、研究開発を取り巻く諸情勢に関する幅広い視野を評価に取入れるため、外部有識者を加えることに配慮  
研究開発の性格や目標に応じ、社会・経済のニーズを適切に評価に反映させるため、産業界や人文・社会科学の人材、研究開発成果の産業化・市場化の専門家などを加える。

## 委員の任期

任期は、3年。ただし、再任は妨げない。

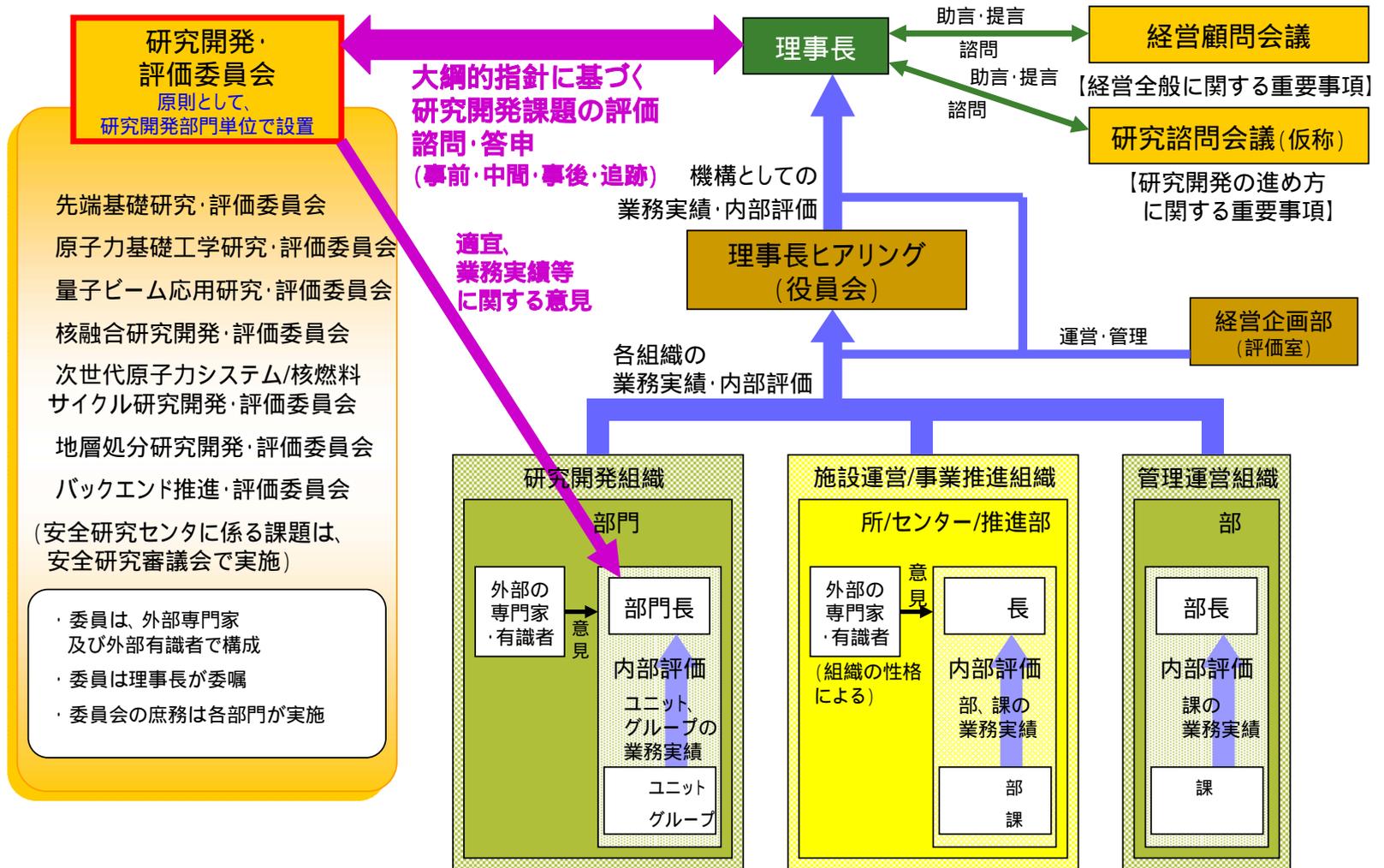
## 委員長の選任

委員長は、委員の互選により決定。

## 委員会の運営

各部門が担当する。

# 研究開発・評価委員会の位置づけ



# 【参考1】研究開発課題評価の種類について

## 事前評価

予算概算要求等実施に向けた意思決定を行う前に実施

新たな研究開発課題を開始する場合、課題の選定、方向性・目的・目標等の妥当性、研究開発の進め方の妥当性、研究資金・人材等の研究開発資源配分の妥当性などを評価

## 中間評価

5年以上の研究開発期間を有する、または期間の定めがない課題に対し、原則3年程度を目安に実施  
研究開発の進捗状況、情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などの見直しの必要性、  
研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性などを評価

## 事後評価

研究開発課題の終了後、速やかに実施

研究開発の達成度、成功・不成功の原因の把握・分析、当初の研究開発計画の妥当性、研究開発成果の波及効果の把握・普及、将来への研究開発の展開などを評価

## 追跡評価

研究開発課題の終了後一定の期間を経過してから、必要に応じて追跡評価を実施

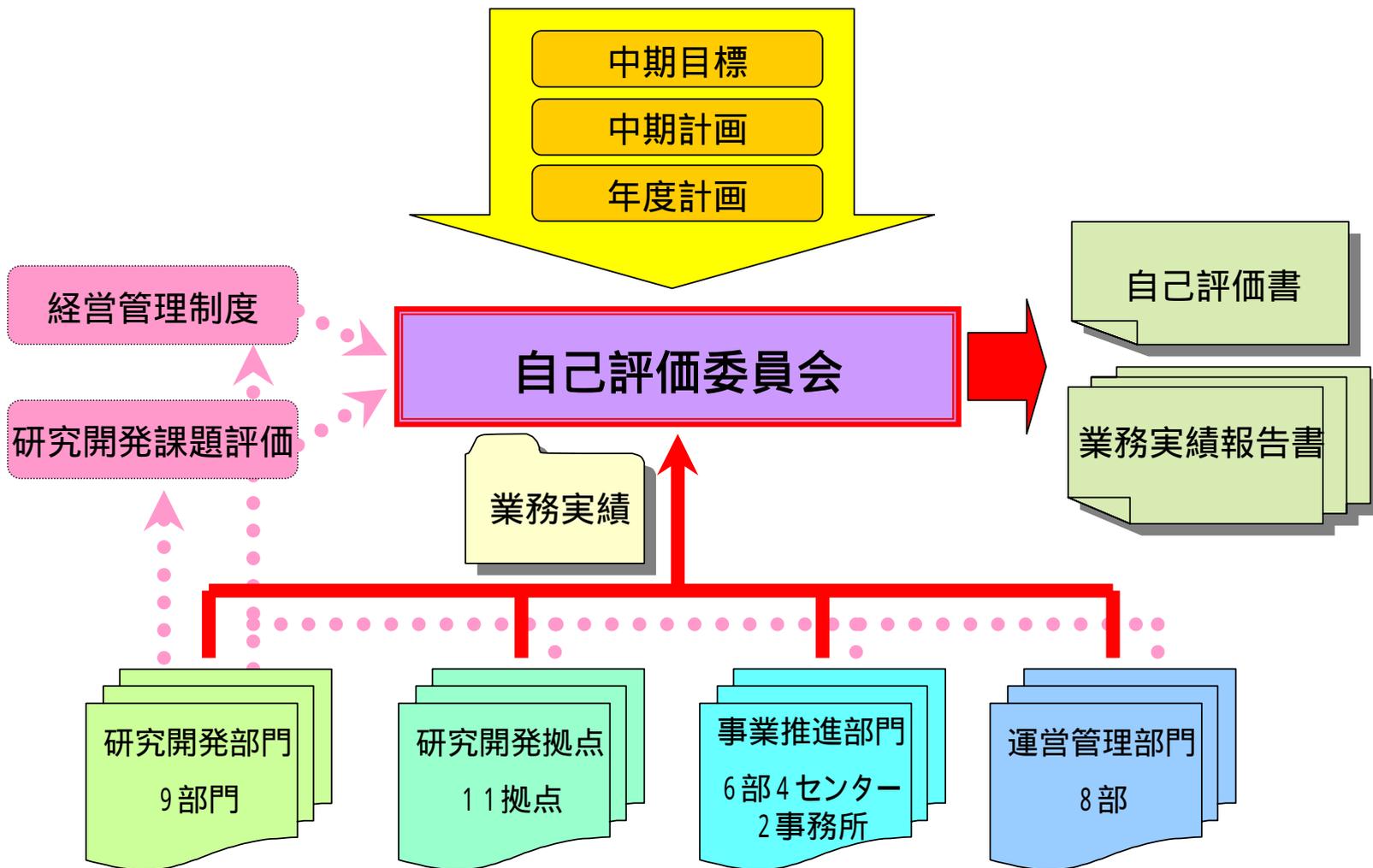
副次的効果を含め、研究開発の直接の成果(アウトプット)から生み出された社会・経済等への効果(アウトカム)や波及効果(インパクト)を評価

## 【参考2】 部門に対応する研究開発・評価委員会の構成

研究開発・評価委員会	研究開発部門
先端基礎研究・評価委員会	先端基礎研究センター
原子力基礎工学研究・評価委員会	原子力基礎工学研究部門
量子ビーム応用研究・評価委員会	量子ビーム応用研究部門
核融合研究開発・評価委員会	核融合研究開発部門
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	次世代原子力システム研究開発部門
	核燃料サイクル技術開発部門
地層処分研究開発・評価委員会	地層処分研究開発部門
バックエンド推進・評価委員会	バックエンド推進部門

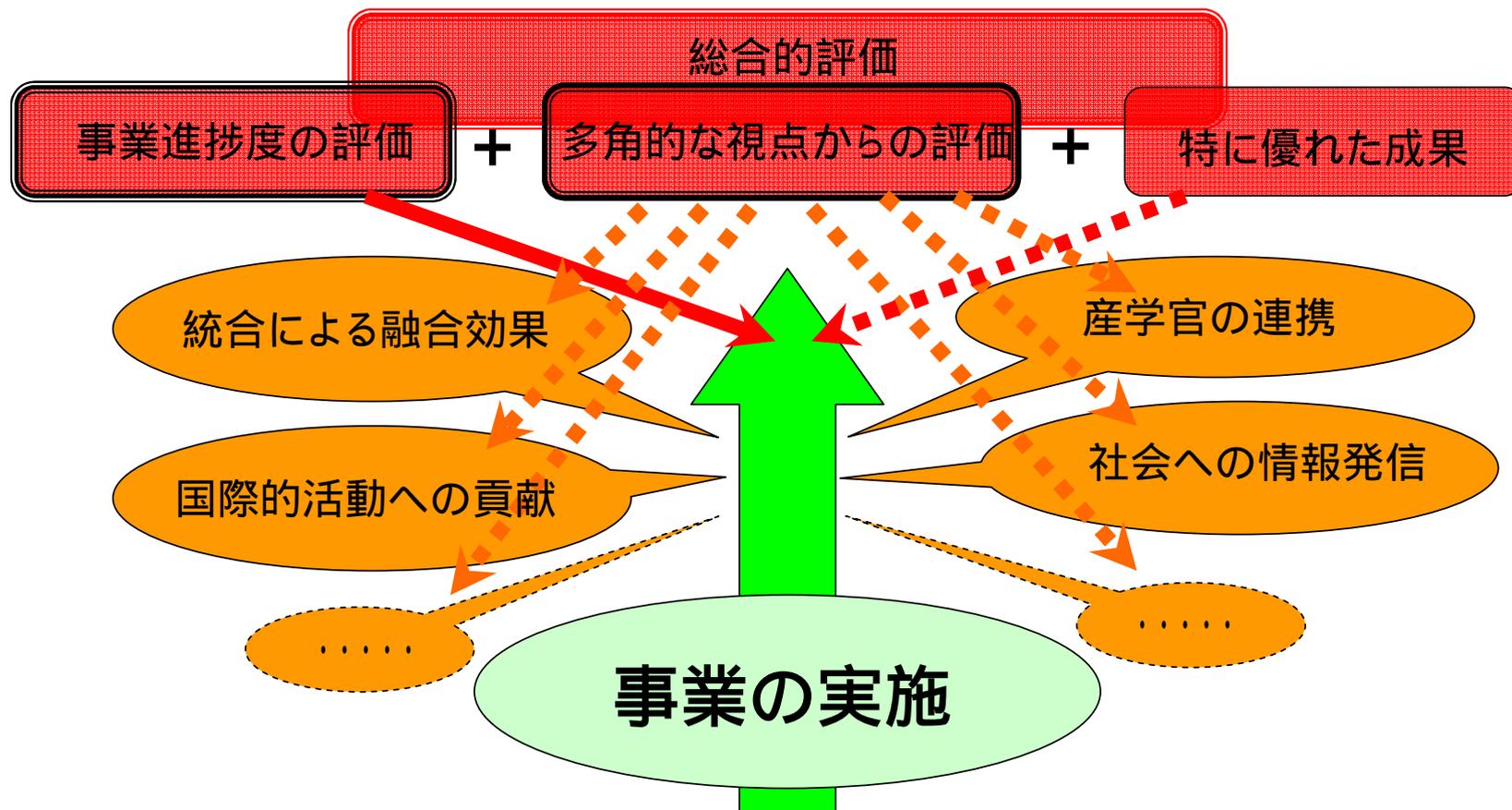
(安全研究センターについては、安全研究審議会にて課題評価を実施)

### 参考3 日本原子力研究開発機構における独法評価のための自己評価体制



参考4. 日本原子力研究開発機構における独法評価のための自己評価の考え方

事業進捗度の評価に加え個別の事業内容に即した視点に  
立った評価を行うことにより総合的な評価体系を検討中



# TRU 酸化物燃料の照射試験

# TRU酸化物燃料の照射試験計画

Category	2010	2015	2015 ~	Outline
TRU酸化物燃料の 燃料開発	Am, Np含有酸化物燃料ピンの 照射試験(「常陽」)			MA含有酸化物燃料ピンの照射挙動評価 燃料は、Am,Np含有酸化物燃料
	簡素化ペレット法燃料の 燃料ピン照射試験(「常陽」)			簡素化ペレット法少量製造試験により製造したペ レットの燃料ピン照射挙動確認 燃料は、(U,Pu)混合酸化物燃料
	Cm含有酸化物燃料ピンの 照射試験(「常陽」)			Cm含有酸化物燃料ピンの照射挙動評価 燃料は、Am, Np, Cm含有酸化物燃料
	TRU含有酸化物燃料集合体 の実証照射(「もんじゅ」)			発電炉のドライバ燃料集合体としてのTRU酸化物燃 料集合体の実証照射試験

## 参考資料 5

研究開発・評価委員会の評価意見に対する原子力機構の見解

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
1. 研究開発計画	
全体に係る意見	
全体に良くできていると思う。かえって、少々やりすぎの部分もあるように思える。必要最小限の機能を満たした設計概念と、それにマージンを見込んだ場合の設計とが慎重に対比されて、その間で最適の設計概念が選択されるべきと思う。	拝承。 これから開発を進める炉であることから、構造設計や安全設計における裕度の取り方については、慎重に検討したいと考えます。
個々の研究計画として見た場合は妥当である。	拝承。
安全研究開発は、個々の開発課題を見て評価するだけではバランスを欠く課題評価になる(可能性がある)ことに留意して評価すること。	拝承。 これら技術の採否判断を行うにあたっては、設計概念に対する安全設計評価を合わせて行い採否判断に資することにしたいと考えます。
研究開発が必要なテーマとは、新たな目標を既存の技術で達成できない場合や、新しい技術が新たな目標を可能にする場合に立てられるテーマであろう。したがって既存の実証された技術(開発が不要とみなされる)でどこまでできるのか確認し、それに比べてどれくらい改善されるのかの見込みがあって開発に踏み込む必然性が示されていて当然である。	簡略ではありますが、提示した資料において、実証された技術として「もんじゅ」の状況を、開発の見込みについては、実用化戦略調査研究フェーズ までの状況を記載しており、これらによって開発の必然性を説明することを意図しております。
将来目標とされるプラントは、国内建設のみでなく、国際的な市場に打って出ること、海外(米国)の規制をクリアできることを念頭にされているか。米国 NRCの許認可、型式認証取得を前提としたプロジェクト推進体制になっているか。念頭になくとも、国際市場で十分に商品価値(競争力)を有することを確認することが必要。	実用化研究開発では、1999年の実用化戦略調査研究の開始当初より5つの開発目標(安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性)を掲げ、これら5つの開発目標に対する設計要求への適合性可能性などに基づき、ナトリウム冷却大型高速炉を将来の有望な実用化候補概念として選定してきています。他方、後発の第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)プロジェクトにおいても、同様の5つの開発目標を設けて研究開発がこれまで進められてきています。これらの事実より、5つの開発目標を基本として選定されたナトリウム冷却大型高速炉は、国際標準プラントとしてのポテンシャルを有し、国際市場での十分な商品価値(競争力)を持つものであると考えています。なお、次期炉の開発体制は現在議論は途上にあり、許認可取得に向けた体制などは今後の検討事項であると認識しています。
コスト、リスク、理解のし易さ、安全論理などの観点からバランスのとれた安全設計かを確認することが必要で、2010年の見直し、チェックの要諦となるであろう。そのためには決定論的アプローチと確率論的アプローチの組み合わせによる、バランスの取れた安全設計のあり方について議論して示すべきであろう。	拝承。 ご指摘のように決定論的アプローチと確率論的アプローチを組み合わせた安全設計評価を行い、結果を提示していきたいと考えます。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>研究開発計画はおおむね妥当である。産業界との一体化に留意する必要がある。また、材料開発においては長時間データが必要である等、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。</p>	<p>拝承。 特に高クロム鋼製の鋼材の調達を円滑に行えるよう、鉄鋼各社との緊密な協力が不可欠と考えています。本研究開発は、プラント設計の動向を睨んで計画を適時見直しつつ、着実に進めてゆく予定にしています。</p>
<p>研究開発計画はおおむね妥当である。燃料照射等長期間を要する課題では、長期にわたり着実な研究開発の推進が必要である。</p>	<p>拝承。 高燃焼度を追求することもあり照射試験を含めた開発期間が長期におよびますので、着実に進められよう計画立案および進捗に応じた計画のチェックアンドレビューにより適切な時期に必要なに応じて計画を見直すなど、開発計画を適切に管理して進めてまいります。</p>
個別課題に係る意見	
配管短縮のための高クロム鋼の開発	
<p>これまで開発してきた9Cr鋼の開発経験に基づいて12Cr鋼の研究開発計画が立てられており、計画はおおむね妥当である。 また、高クロム鋼採用による高速炉建設コスト低減効果が大きいことから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。</p>	<p>拝承。 12Cr鋼の基準類の整備については、9Cr鋼における経験に基づいて行うことを予定しています。</p>
<p>次期炉で12Cr鋼が採用できることが期待されるが、その建設時期が早まる場合は9Cr鋼を採用することが予想される。バックアップがあるという点では、段階的、着実な研究開発計画である。 2010年の12Cr鋼採否判断のクライテリアとしては、材料強度基準、構造設計基準のひな形までできていることが望ましい。9Cr鋼については本計画で十分実現可能であると思われる。</p>	<p>拝承。 12Cr鋼および9Cr鋼それぞれの開発リスクを十分考慮しつつ、研究開発を進めてゆく予定です。</p>
<p>今後の基準化に向けて、学識経験者、産業界の意見を十分取り入れる必要がある。また、鋼材の供給、プラント機器の製造建設のためには、研究開発の段階から産業界の十分な参画が必要である。</p>	<p>拝承。 基準類の整備は、大学関係者や鉄鋼メーカー、製作メーカーの技術者等から、幅広く意見を聞きつつ進めて行く予定です。また、特に発注から納入まで時間を要すると予想される鋼材の調達においては、鉄鋼メーカーと緊密な協力関係が必要と考えています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>システム簡素化のための冷却系2ループ化</b>	
<p>ループ数を削減する場合、ループ数に反比例してループ中の機器の故障等が施設全体に与える影響が大きくなる。施設全体の安全性や信頼性が最適化できているか、検討する必要がある。</p>	<p>ループ数を削減して機器数を減らすことが、本概念の建設コスト削減方策の柱となっているため、大型の機器や配管の信頼性が3ループや4ループシステムのそれと比較して遜色ないことが本概念を成立させるための必要条件と認識しております。このため、ここで採用を目指している革新的機器の信頼性を技術的根拠を持って示せるように研究開発を進めていくことが重要と考えています。</p> <p>万一の事故の影響については、2ループであることを考慮しても、3ループ、4ループのシステムと同様に判断基準を満足する安全設計が必要と考えています。2ループとしたことにより1次ポンプの軸固着事故の影響が懸念されますが、炉心圧損の低減や健全ポンプのトリップ時間に遅れを設けるなどの工夫によって、事故ループの逆流を考慮しても安全に炉心冷却できる見通しを得ています。また、大型化に伴い、微小リーク段階での検出が難しくなるSGについては、2重伝熱管の採用によって、ナトリウム-水反応の発生頻度の低減を図っています。</p>
<p>ループ数削減に応じて冷却系機器が大型化するが、現状(常陽、もんじゅ)の機器サイズと本提示概念の機器サイズとの差(スケールアップ比)の関係を検討し、途中段階の炉も含め、実用化に向けたスケールアップの最適化について検討する必要がある。</p>	<p>拝承。</p> <p>実証プロセスにおけるスケールアップの考え方と、必要となるコールドナトリウム試験の仕様や実用化までに建設が必要な原子炉の基数や出力を含めた仕様については、関係者間(METI、MEXT、JAEA、電力、メーカー)で検討されているところです。</p> <p>技術的観点のみから決められない面もありますが、技術的に無理・無駄のない研究開発計画となるよう努力する所存です。</p>
<p>配管直径を代表長さとするマクロなレイノルズ数が実用炉規模の大口径配管に適用できるのかが疑問である。ミクロな流動がクリティカルになるおそれもあり、代表長さの取り方も含め、十分に検討する必要がある。</p>	<p>拝承。配管壁への荷重条件(流体圧自己パワースペクトル密度)は、エルボ下流に発生する循環剥離域の過渡特性に大きく影響されることがフェーズ までの検討で明らかになってきています。この過渡特性をミクロな視点で定量化する観点より、大学において1/10スケール水実験装置を用いた詳細試験を開始し、循環剥離域の現象論的な解釈を行う予定にしています。このような検討結果に基づき、実機外挿評価を行う場合のマクロな観点での支配パラメータ、代表長さの考え方などを整理するとともに、大口径配管試験を通じてそれらの適用性を確認することとしています。</p>
<p>超音波流量計を安全保護系として用いる場合、何を示せば「実機適用性」が示せたことになるのか、十分に検討しておく必要がある。</p>	<p>拝承。現状、センサについては、気中での耐熱性、耐温度サイクル性を有するとともに、信号処理に可能なレベルの出力が恒常的に得られること、センサ遠隔交換機構については、気中でのセンサ着脱ができること、信号処理系については、性能要求(直線性・再現性: ±2%、出力変動: 中央値の ±5%、信号処理時間: 0.3s)に適合する見通しが得られることを実機適用への指標と考え、研究開発を進めています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>1次冷却系簡素化のためのポンプ組込型中間熱交換器開発</b>	
この合体機器は建屋容量の削減と、配管の短縮による漏洩の確率削減の上で非常に有効な方法と評価できる。	<p>拝承。 ご指摘のとおり、ポンプ組込IHXは物量削減による経済性向上ばかりでなく、ミドルレグ配管削除によるNa漏洩の可能性の低減、ポンプ引き抜きによるIHX構造へのアクセスルート確保による保守・補修性の向上など、多くの特長を持つ設計としています。</p>
長いポンプ軸も従来実績に比して長さで1.2倍、直径で0.75倍に収まっており、特に設計開発上の基本的な問題はないと考える	<p>拝承。 1/4スケールの水流動試験を実施し、ポンプの基本的な性能・特性を把握しました。これまでの試験結果からも、安定な運転が可能なが示されております。</p>
ポンプとIHX伝熱管の隣接による、機械振動については慎重にスケールモデルと解析によるR&Dが進められており、手法としては信頼感を有するものであるため、このまま着実に開発が進められることを期待する。	<p>拝承。 これまでの1/4スケールの試験及び解析によるR&amp;Dに加えて、今後は1/1スケールの伝熱管、軸受けの試験を経てNaポンプの実寸試験も計画しており、着実な開発が可能と考えています。</p>
伝熱管が納められる円環状の部分は半径方向の幅が薄く、直径が大きくなるので、断面内で見た周方向への流量配分が均等かどうか、またその補正方法についての検討が必要と考える。半径方向の構造が少々複雑でNaの滞留部などが生じたり、色々予想外のトラブルが起こりやすい構造と思われるので、慎重にR&Dをされることを期待する。	<p>拝承。 ご指摘の点は重要な課題と認識しております。堰による流量配分の均一化を設計として採り入れておりますが、その効果について水流動試験等を実施し、慎重に確認していく計画です。</p>
例えば、1次Na入り口部をもう少し太らせるなど、流配の確実な方法があるかを検討されたら如何か。併せて、下側の軸受けをポンプベーンの下側のポンプ軸延長線上に置く構造はないのかなど、自由な発想で内部構造を最適化していくことを期待する。	<p>拝承。 流動解析及び上記の水流動試験で最適形状について追求する所存です。また、軸受けの位置に関しては、軸長を可能な限り短くすること、軸下端がポンプ水力部の位置としては最適であること、ポンプの吐出圧を利用する静圧軸受けの位置としては水力部直上が適していることから設定されています。ご指摘の様に内部構造の最適化にあたっては柔軟な発想で取り組みたいと考えます。</p>
<b>原子炉容器のコンパクト化</b>	
「ホットベッセル化」については、課題が評価手法のみであるが、熱荷重軽減化に関する設備対策の検討に課題はないのか。例えば、従来の多くの炉で苦勞した液面付近の応力問題については、慎重に対応する必要がある。特に、ガス対流については、非対称流動や、非対称流動域の移動など、難しい課題があると思われ、的確な設備対策を検討する必要があるのではないかと。	<p>液面近傍の応力低減については、ガードベッセルの一部に熱伝導度の高い材料を付加することで、炉容器の上部を暖めるといった対策を検討中であり、重要な項目として対応する計画としています。また、デッキアニユラス部でのカバーガスの対流については、先行炉の経験を踏まえ、検討を進めることとしています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>システム簡素化のための燃料取扱系の開発</b>	
<p>燃料交換機の開発について、軽水炉と異なりナトリウムという不透明で高温に維持することが必要な冷却材に適用することで特別に配慮することがあれば、それへの対応も含めて示してください。</p>	<p>炉内の燃料交換作業は全て遠隔となり、また動作状況を直接監視できないことから燃料交換機の各可動部は既存の機械要素を組合わせて構成し、使用条件が厳しい要素についてはナトリウム中での動作確認試験を実施することにより、機構、構造の信頼性を確保することとしています。また、運転状態を監視する計器類は多重化を図り、信頼性を確保する方針としています。</p>
<p>燃料交換時間を、「もんじゅ」では約90分/1体に対して、約30分/1体に短縮できる根拠を示して下さい。高速で燃料集合体を移動すると、燃料集合体の揺れが落ち着くまでの待ち時間が増えると思いますが、これを考慮していますか。</p>	<p>燃料交換時間の算出根拠を別紙に示します。燃料交換時間は、もんじゅに比べて駆動部の動作を高速にし、また、2体の集合体を同時に移送することで短縮化を図っています。燃料交換時間の約30分/1体は、取扱い時間が長い原子炉容器から炉外燃料貯蔵槽までの移送(炉外燃料移送時間)時間を示しています。また、燃料集合体は剛性のある燃料交換機グリッパ部の収納ケース内に収納した状態で炉内を移動しますので移動時及び停止時に揺れの影響はないものと考えています。</p>
<p>燃料交換機については、本体自体は60年間なり、原子炉寿命中は取替えずに使い続けることになると思います。その間に、ユニバーサルジョイント部の固着とか、グリッパ部の変形・摩耗など、いろいろな故障が考えられると思います。想定している故障と、その対策を示してください。</p>	<p>燃料交換機は約2週間の燃料交換作業終了後、炉外に取出して十分に洗浄し、動作確認を行い、保管ピットに収納します。このとき不具合のあった部品は交換します。また、再使用前には作動確認を行うことにより運転中の故障の発生を防ぐこととしています。ご指摘のユニバーサルジョイント部等の摺動部はプラント寿命60年中の燃料交換回数には耐えませんが別途計画する要素試験により寿命を確認し、適切な時期に取り替える設計としています。</p>
<p>燃料洗浄方式として、アルゴンガスによる乾式洗浄及び蒸気によるナトリウム不活性化を選択していますが、この方式を選択した理由(他の方式と比較して、燃料を水浸漬できる見通しが得られている)を説明のこと。</p>	<p>本方式は、従来の蒸気・水洗浄方式に比べて放射性廃液の発生量を低減できること及び洗浄設備の合理化ができることが選択した理由です。乾式洗浄については、90年代に実施した電力実証炉の試験で洗浄性能データを取得し、水浸漬できる見通しは得られていますが、特進公募において実用炉燃料集合体について実規模模擬集合体での洗浄試験を実施し、洗浄性能(ナトリウム残留状況)を確認することとしています。</p>
<b>物量削減と工期短縮のための格納容器のSC造化</b>	
<p>パネル構造は基本的に面で荷重を支える構造とできるため、強度が維持し易い。</p>	<p>本技術は建屋の物量削減と構造簡素化を狙って軽水炉で検討されているものであり、FBRへ取り入れることで合理化効果に期待しています。</p>
<p>工場製作できるプレハブ部が多く、工程短縮にも繋がるので、非常に良い選択と評価できる。</p>	<p>本技術の採用による工期短縮効果にも期待しています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>区分されたパネルを現場で組み立てる際に、表面鋼板を溶接後に、その部分は内部にコンクリートを流し込む必要があり、貫通部の処理、外面側の表面鋼板の接続など、最後まできっちとコンクリートを流し込めるのかが不明である。</p>	<p>本技術は軽水炉を対象として開発が進められてきており、軽水炉では部分的な適用と付属の焼却炉建屋の建設実績があります。また「もんじゅ」では、生体遮へい壁への適用実績があります。これらの開発、施工実績から、工法等に関する基本的な技術はすでに確立の域にあるものと考えています。適用対象としている概念では、格納容器を原子炉建屋と一体の矩形構造としていることから、このような形状への適用性の検討と、格納容器としての機能を満たしうるかどうかの検討が必要と考えています。</p>
<p>工期短縮と工程簡略化のためには外面部は機械式接続も可能となるような工夫が必要と考えられる。</p>	<p>ご指摘の点は、構造の矩形化と格納容器としての気密性、耐圧性を確保する観点から検討していきたいと考えています。</p>
<p>工場製作部分と現地組み立て工法について、更なる検討と、各部の組み立て工法の全体的な最適化が必要である。</p>	<p>本技術をFBRの格納容器に適用した場合にどのような仕様とすべきかを見極めた後、工法の最適化についても検討したいと考えます。</p>
<p>コンクリートと表面鋼板の接着強度について、評価法が確立されるべき。</p>	<p>軽水炉を対象とした場合、鋼板内面にスタッドを立てて内部コンクリートと結合させるといったのが一般的なようですが、FBRの格納容器に適用するにあたって、また矩形構造とするにあたって、必要な強度や耐熱性が確保できる構造を検討したいと考えています。</p>
<p><b>高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発</b></p>	
<p>高燃焼度化はFBR開発の重要な開発目標である。また、低除染燃料の利用もFBRの重要な利点である。高い経済効果、環境効果が期待できる。BOR-60、常陽、もんじゅでの照射計画があり、合理的な計画である。特に常陽、もんじゅでの経験蓄積に期待したい。</p>	<p>拝承。 高燃焼度化につきましては、ドライバ燃料の高性能化だけでなく、炉心設計の工夫による平均燃焼度の向上なども含め、高い経済性効果を追求する努力をしております。また、「常陽」「もんじゅ」での照射計画につきましては、ODS被覆管燃料、MA含有燃料の性能評価、燃料ピンの健全性確認、燃料ピンバンドル・集合体の実証を進め、挙動データの蓄積とともに、燃料製造を含めた経験を蓄積するよう開発を進めていきたいと思っております。</p>
<p>再臨界回避集合体については、これまでも構造の改良が図られてきたが、今後一層の改良合理化を期待したい。</p>	<p>拝承。 現在までに、集合体構造について、安全性上の要求を満足しつつ、炉心性能や燃料集合体の製造性などの観点から「より良い」構造を検討してきましたが、今後も一層の改良合理化を追求する姿勢で、かつ適切な時期に実機概念への反映が図れるようスケジュールにも注意して、さらなる改善の可能性について検討を進めてまいります。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
再臨界回避集合体は国内だけで開発可能であるが、これを利用した炉心の安全性向上確認のためには海外の適切な炉の活用を含め海外研究開発機関との連携が必要である。	<p>拝承。</p> <p>再臨界回避集合体の機能確認については、カザフスタンのIGRを利用した炉内試験を進めており、その成果が得られつつあるところです。今後も、一連の試験を継続して進め、安全性向上機能を実験的に確認するとともに評価モデルの整理など実用炉の安全評価の技術基盤の確立に努めます。</p>
<b>配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発</b>	
配管からのナトリウム漏洩対策を、極めて微少な段階で早期に検出・漏洩判定し、さらに漏洩ナトリウムを漏洩箇所の小空間に限定する技術の開発である。共にあるレベルまでの技術は開発されており、このコンセプトは、「もんじゅ」に適用されている漏洩検出器により、また配管の2重化と間隙区画化については設計対応により、代替できるものであるが、LBB成立性にはこれだけでは不十分である。	<p>拝承。</p> <p>ご指摘のような認識に基づいて、以降に記述する計画を策定しております。</p>
配管のLBB成立性を確立するために、極めて微少な漏洩早期の検出・漏洩判定が可能な漏洩検出器の開発が必須で、2010年までに、基本性能が確認されているレーザー方式の漏洩検出器を開発する研究開発計画は適切である。	<p>漏えい検出器に対する要求感度については、LBBの成立性に関係する漏えい率とともに漏えい連続監視の考え方等を考慮する必要があります。これらを考慮して、もんじゅで想定した100g/hrの漏えいを24時間以内に検出するために必要となる検出感度を指すこととしています。これを達成するためには、外管との間隙の不活性雰囲気サンプルリングして検出するという設計上の特徴を考慮すると1E-11g/cc以下の検出感度が必要との見通しです。これを達成可能な微小漏えいの検出が可能な手段として、高感度、高応答でしかもNaの選択的検知が可能な高信頼性の実現が期待できるレーザー方式に着眼して研究を進め、これまでに感度や応答性等の基本性能の確認を終え、今後2010年までに前述目標の達成を目指した計画としています。</p>
漏洩検出器の方式について、特に、2010年までの5年間の研究はこれのみにかかっており、以降の研究を左右するものとして、提案のレーザー方式に特化する理由をもっと明確に示していただきたい。	<p>拝承。</p> <p>微小漏洩検出器に対する設計要求としては、高感度であると同時に高い信頼性(早期検知且つNa選択的検知能力に優れ、誤判断を排除)を持っていることがあげられます。表1に示しました通り、レーザー方式はイオン化電流検出方式に比べ、感度および信頼性ともに良好な特性を持っています。またレーザー方式の利用に当たっては、検出系がシンプルであるとともに、低コストで高い耐久性を持っていることも求められます。表2に示した通り、ブレークダウン蛍光分光法はレーザー誘起蛍光分光法に比べ、これらの要求を全ての面で満足することをこれまでの研究で確認してきています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>区画化されたエンクロージャ内の間隙空間に漏洩ナトリウムを限定するうえで、漏洩部分を固化ナトリウムでプラグングする、さらにエンクロージャを超えて外部へ漏洩するのを防ぐために、エンクロージャにナトリウム固化を加速するための冷却系(窒素ガス等)を持たせることは有効ではないでしょうか。</p>	<p>外管構造を漏えいナトリウムによる熱負荷に対しても、冷却なしで機能を維持できるように設計する上で、区画化した外管構造内の容積制限により安全設計上の漏えい量を制限しようと考えています。また、配管等のバウンダリ構成機器の信頼性を確保して、まずは漏えいが生じない設計を追求することが、安全確保上のみならず、プラント稼働率向上の観点から重要と考えています。</p>
<p>目的も明確で、全体としての研究工程、及び2010年における判断クライテリアも適切である。以上要するにこの課題に関する研究開発計画は適切と判断する。</p>	<p>拝承。</p>
<p>配管の2重化は重要と思うが、ここで設計されている方法は、少々やりすぎではないかと思う。外側のカバーは機能上必ずしも円筒形状でなくても良く、例えばエルボ部分などは、まとめてボックス構造にするなど、全体構造の簡略化が可能ではないか。</p>	<p>ISI 性も考慮した設計を今後進めていくこととしており、その段階で検討していきたいと考えます。</p>
<p>LBB成立性を確立するための研究開発については、使用する材料の特性に基づく破損メカニズム(亀裂進展メカニズム)の解明が最も大事です。 軽水炉のような1次応力主体の荷重環境やSCCが懸念される環境と高速炉のような2次応力主体でSCCの懸念がない環境では、亀裂の進展、貫通挙動はまったく違うことになるはずで、高速炉のロジックをきっちり確立すべく、研究開発計画を策定すべきと考えます。</p>	<p>LBBを成立させるために要求される検出器の感度は、漏えいを想定する配管の破壊力学評価によって想定される安定な開口面積との関連で決定されるものであり、漏えい検出器の開発と並んで、LBB成立性に係る破壊力学評価法(き裂進展と不安定破壊限界の評価)と関連データの整備が必要と考えています。ナトリウム冷却炉配管では、ご指摘のように腐食が生じる環境ではないことに加えて、主たる荷重が変位制御となるため、軽水炉などの荷重制御型の荷重が支配的な配管と比べ、不安定破壊が生じにくいという特徴があります。しかし、ナトリウム冷却炉配管に使用される予定の高クロム鋼は、従来のオーステナイト系ステンレス鋼と比較して靱性が相対的に低く、不安定破壊に対する余裕の減少が懸念されることから、その破壊挙動を正確に把握し評価に反映するための研究も、「高クロム鋼の開発」の中で併せて実施する計画です。従来のLBB評価では考慮されなかったこのような特徴を的確に反映した、ナトリウム冷却炉配管にふさわしいLBB成立性評価法の開発を、ナトリウム漏えい検出器の開発と平行して進めていくことを計画しています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>直管2重伝熱管蒸気発生器の開発</b></p> <p>提示されている小課題の内、(1)高クロム鋼2重伝熱管、(2)2重管 管板継手構造、(3)大型球形管板、(4)大型胴ペローズ、(5)2重管検査技術、の課題は</p> <p>a. 高クロム鋼という新しい材料が要求される性能をもって開発される。  b. これらの要素技術はそれらが一体となって、クライテリアをクリアする開発が完了したときに、提案の直管2重伝熱管蒸気発生器本体が成立する。  c. 大型SG工場が必要になる。</p> <p>という点で、大変チャレンジングであるが、大きなリスクを持っている。比較できる既存の技術、経験が乏しく、かつ予定の計画研究期間内にその開発が進展して、2010年の時点でどのような要素開発の状況になるのか、定量的に見通すことは難しいといえる。それ故、2010年での正否の判断クライテリアは、提案のようにあいまいな部分を残した定性的なものにならざるをえないと考える。</p> <p>そのため、</p> <p>a. 高クロム鋼という新しい材料が開発困難となったときの代替蒸気発生器  b. 上記5つの要素開発が困難となったときの代替要素技術と代替蒸気発生器</p> <p>を提示し、5つの小課題について必要度の順位と共に、それが欠けた場合のFBRプラントのデメリット(影響)を併せて示していただくことはできないだろうか。それを踏まえて、現時点で、この課題に対する評価を0か1か判断するのではなく、「2010年の判断クライテリアを、2010年までの小課題の開発研究を進行する過程で定量化し、2010年の時点で先述した提案の直管2重伝熱管蒸気発生器本体(代替を含める)が成立すれば、その蒸気発生器コンセプトをもって小課題の見直し・整理を行って2010年以降の開発研究工程に入り、開発研究を進める。」という考えもありうる。リスクを慎重に評価しなければならない。</p>	<p>【代替蒸気発生器概念について】</p> <p>a.高クロム鋼代替材を適用したSGの開発について  理想的な新しい高クロム鋼開発が困難となった場合の代替材料としては、既に国内外で規格化されているMod.9Cr-1Mo鋼の適用を検討しています。この場合、SG単体で約10%の物量増加につながります。</p> <p>b.直管型2重管SGの要素技術について  要素技術の必要度順に代替案を以下に示します。  (1)高クロム鋼2重伝熱管：設計で目標としている、長尺・薄肉・2重伝熱管が開発困難となった場合は、短尺化、単管化が代替案となります。短尺化には管板径の増大や熱効率の低下による伝熱面積増大のデメリットがあり、定量的な設計は未了であるが、建設コスト増加につながると考えられます。単管化では、設計目標である「伝熱管破損時に破損伝搬しないこと、及び補修が必要な伝熱管の低減」のため、検出速度が早い新型破損検出センサー等の開発が必須となります。  (2)2重管検査技術：設計で目標としている内外管のISIによる健全性保証では外管の検査(超音波検査を想定)が大きな課題となります。外管健全性の保証が困難の場合には、外管の冷却材バウンダリとしての機能を期待できないため、外管は内管を事故時のNa-水反応物質から保護する機能のみを期待できることが代案となります。その場合は、設計基準水リーク率が大きくなるため、伝熱管設計が厚肉となり建設コストが増大することになります。  (3)2重管-管板継手構造、大型球形管板、大型胴ペローズ  これらの要素技術開発は製作上の課題を解決するためであり、今後の開発により達成可能と考えています。</p> <p>【今後のSG開発ステップについて】  現在のSG開発計画は2015年に原子炉設計のための技術基盤を整備し、2025年運転開始の次期炉に繋げる計画に基づいています。2010年時点で幾つかの要素技術が完成しない場合でも、客観的に成立見通しがあると判断できる技術については2015年までの研究を継続することを予定しています。</p>
<p>(6)Na/水反応評価、及び(7)熱流動特性の評価、については成立する蒸気発生器の構造に大きく依存する部分が多いが、現在のJAEAの研究開発の実績と現状からその進展を見通すことはできると思われ、いくつかについては大変困難な内容も解決できると期待できる。</p>	<p>拝承。  Na/水反応評価、熱流動特性評価に関し、JAEAはデータ蓄積、解析ツール、試験施設を有し、ご指摘のとおり、今後のデータ拡充により2010年の判断が可能と考えています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>水側の流速が高いと思われる、いわゆるエルボー、継手、その他流動の変化する配管のエロージョンは、既知あるいは予測可能のものもあるが、提案されているような高性能・コンパクト化を図るプラントでは、新しい材料、構造に対して、なお、それらの検知、保全を念頭においた研究課題があると考ええる。</p>	<p>ナトリウム冷却大型高速炉の直管二重伝熱管蒸気発生器の管内は、水単相流 (約 1.2 m/s) 沸騰二相流 過熱蒸気流 (約 15.4 m/s) と相変化を伴う流れとなります。この内、沸騰二相流部では管壁への液滴流の衝突など、エロージョン特性に影響を及ぼす流体力学的因子が卓越することが予想されます。しかしながら、現行火力発電所などではより高圧条件での厳しい運用がなされており、今後、ここでデータ等を適宜ナトリウム冷却大型高速炉の直管二重伝熱管蒸気発生器の設計評価に反映していく予定です。</p>
<p>必要性、目標は理解できる。ただし、材料開発の成否に依存していること、小課題がこれから挑戦するもので、全要素が開発されて提案の蒸気発生器が成立する、大型のSG製作工場が新たに必要となるなど、本開発研究には技術的に高いハードルを越す必要がある、また大きな開発投資を要するなど、その実施にあたっては大きなリスクを十分に検討、評価する必要がある。また、実施する場合には、チャレンジする領域の成果を有効に他分野へも活用する道を事前に十分に検討しておくことも肝要である。</p>	<p>拝承。 ご指摘のとおり、材料開発、要素技術開発には多くの課題があると認識しています。その後の実証試験、製作工場整備等に際しては、研究開発の成果を十分に評価した上で判断していく考えです。</p>
<p><b>保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発</b></p>	
<p>原子炉容器内の検査では、容器構造とセンサを搭載する検査機器の大きさ、遊泳できる範囲の関係で、検査することが困難な部分が生じるというように、検査ごとに検査が困難な部分が生じるかと思えます。これについて、どのように対応するのかを示して下さい。</p>	<p>炉容器内の検査については、全ての部位を検査するのではなく、発生応力の大きさ、及び機能維持に関する多重性・多様性の観点などから検査対象候補となる部位を整理するなど、その考え方についての検討を進めております。炉容器内のNa中では、炉心支持構造物の支持スカート溶接部を検査対象候補としており、対象部位のき裂進展解析の結果などとあわせて大規模な不安定破壊を防止するための検査要求やその検査方法を検討しています。これまでの検討結果では、現在開発中のナトリウム中可視化装置での目視試験検査により機能確認が可能との見通しが得られております。この他の部位としては、上部プレナムと中間プレナムを仕切る隔壁、ディッププレートなどがありますが、発生応力が低く、取り付け部分が多重化されていることから、これらの機器の機能を確認する観点からは、検査の重要性は低いと考えられますが、取り付けボルトの脱落等ルースパーツ発生要因となりうることから可視化装置での検査を検討しています。これら検査対象候補部位への検査装置のアクセス性については、具体的には今後検討する必要があります。アクセス性が十分でない場合には、アクセスルートの見直し、取り付け方法の工夫等を検討したいと考えています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>受動的炉停止と自然循環による炉心冷却</b></p>	
<p>安全設計の中で、他のテーマと比較して敢えてSASS、完全NC-DHRを安全性に関わるキー研究開発テーマとしてとりあげた理由を再確認すること。能動安全と受動安全の適切な組み合わせとしてSASS、完全NC-DHRの採用が妥当であるのか、すなわち、プラント全体の安全性向上に最も寄与することを確認すること。</p>	<p>拝承。 研究開発の成果に基づき、関連する安全設計の妥当性についての評価結果を、必要に応じて設計の見直しや代替技術へのおきかえと合わせて提示したいと考えます。</p>
<p>現在、炉心再臨界回避という積極的な設計対応を行うことが重要である。このことと、将来的には、再臨界回避のために行う特殊な集合体設計を採用しない方向で進むべきこととの間にある矛盾を説明するとともに、その矛盾をどのように解決していくのか、説明すること。</p>	<p>現在、関係者間で実証プロセスについての検討を行っているところですが、そこでの意見として、開発段階にあるとはいえ技術実証のための炉は、実用炉と同じ技術に基づくべきであるとの指摘があります。この意見に沿うのであれば、再臨界回避方策を将来にわたってどうすべきかは早期に決定し研究開発を進める必要があると認識しています。内部ダクト付燃料集合体とすることなく問題解決できれば理想的ではありますが、現状ではその方向での開発の方向性と見通しは明らかとはなっていません。このため、内部ダクト付燃料集合体を具体化するための研究開発を進めるとともに、これを不要とできる概念もしくは簡略化できる概念の検討についても進め、開発方針をできるだけ早期に明確にしたいと考えています。 なお、内部ダクトのような特殊な設計としない集合体を用いるとしても、燃料の流出に関連するメカニズムはEAGLE試験で確認されつつある現象と同一であると考えられるので、同試験計画の方は主要な現象を把握しつつ進めることを考えています。</p>
<p>もんじゅから実用炉へ安全論理の変化があればそれを説明してください。もんじゅにおける5項事象の扱いは、実用炉の設計の中でどのように考えていくのか。具体的に、分かり易いロジックで示すこと。</p>	<p>軽水炉の安全設計審査指針、安全評価審査指針を参考として、ナトリウム冷却高速増殖炉の設計上の特徴を考慮した安全設計、評価を実施する点では「もんじゅ」と共通と考えます。 (5)事象については、「もんじゅ」では、設計基準を越える事象について、LMFBRの運転実績が僅少であることに鑑みた念のための評価と理解します。実用FBRでは、軽水炉においても設計段階からシビアアクシデントを考慮している現状を考慮すると、規制上の要求は別として、シビアアクシデントを積極的に防止あるいは緩和するための対策を導入するとの考えにたっている点が「もんじゅ」と異なっていると考えます。具体的な設備対策としては、ここで課題としてあげているSASS、NC - DHR、再臨界回避が挙げられます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>実用炉開発における、炉心損傷頻度・リスクの低減の追求、EPZ不要の追求のあり方の整理を行うこと。</p>	<p>実用化研究開発の開発目標については、実用化戦略調査研究フェーズ のそれを見直し、安全性を含めて検討を行っているところです。炉心損傷頻度・リスク低減の追求については、原子力安全委員会の安全目標の検討を踏まえて目標を設定しているところです。</p> <p>EPZの関連としては、「避難不要概念」とこれに対応する設計要求を設定することを検討しております。ここでは、EPZ不要化を追求するのではなく、IAEA-INSAGでの定義を参考として、緊急時敷地外対応を深層防護の第5レベルとして位置づけ、オフサイトセンターが立ち上げられた状況において、避難が必要となる事態が回避できる手段と判断材料を当事者に提供することを、目的としています。</p>
<p>NC-DHRが採用されなかった場合の影響として、電源容量の増加、ポンプ、プロアの追加が必要、との説明がある。しかしながら、この記述は自然循環が採用されなかったら強制循環になるといっているだけで意味のない説明である。NC-DHRが採用されなかったときの構造材料への熱過渡の影響の増減、信頼性の増減、リスクの増減、コストの増減、などを定量的に評価した結果について説明すべきであることに留意すべきところである。</p>	<p>強制循環機能を取り入れた設計については、フェーズ の段階で検討しており、動的機器の設置と非常用電源容量の増加等に伴うコスト増加はあるものの、熱過渡に対する構造健全性や崩壊熱除去系に係わる安全性確保の見通しを得ており、自然循環型のバックアップとなりうると考えています。</p> <p>このフェーズ の概念では、1次ポンプにポニーモータ、崩壊熱除去系の2次系に電磁ポンプ、空気冷却器にプロアを備え、これらに駆動電力を供給するための非常用電源設備を備えた設計としていますが、低頻度の全交流電源喪失事象に対応する必要があることから、自然循環による除熱機能を備えています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>完全自然循環除熱を採用するに至った最大のインセンティブは何か？単に信頼性が高いから、ということではなく、様々な要素を考慮して最適(に近い)解として採用に至ったものと考えられるが、その論理の詳細を示してください。また、通常停止時(起動時、定常運転時から停止時含む)の自然循環除熱に対する技術的裏づけは何か、他の工学的施設・設備や他の産業界からの事例を含めて確認すること。</p>	<p>モータ、プロアとこれらに動力を供給する非常用電源等を削除することで、物量削減による経済性向上と信頼性確保の両立を狙うというのが最大のインセンティブと考えています。高い信頼性が要求される安全系の設備は、コスト増要因であり、これらを極力減らすことで建設コストの低減につながるだけでなく、設備のメンテナンスの手間も省けるので、運転までを考慮すると、物量以上のコスト削減効果が期待できます。安全性については、発生頻度が比較的高い異常な過渡相当の状態でも信頼できる除熱性能が得られることを前提とすれば、もともと、動力電源に依存しない設計であることから、長時間の全交流電源喪失にも対応可能とできます。また、系統構成を、中間熱交換器の上部プレナムに熱交換器を設置するPRACSを2系統と原子炉容器の上部プレナムに設置するDRACS1系統の3系統として信頼性の確保を図っています。このシステムの信頼性を確保する上では、空気冷却器のダンパの信頼性向上が重要であり、多重化または、多様化を考慮した構造とすることとしています。このようにポンプとプロアに依存することなく安全性確保が可能な設計としておけば、合理的な範囲で常用系設備としてプロア等を設置することで、1系統あたりの除熱量を増加させることが可能となり、多重故障を想定しても有効な事故管理方策を用意できる点も信頼性向上につながる要素と考えています。</p> <p>このようなシステムの除熱特性については、予備的ではありますが、1次元モデルによる系統全体の特性解析、プレナム内流動の3次元過渡解析などを実施して評価しています。これらの解析のベースには、常陽やもんじゅ及び電力実証炉での研究開発の成果があり、今後、実用炉を模擬した試験研究での解析技術の検証整備は必要ですが、見通しの判断は可能であると考えています。本概念検討の出発点となった、フェーズⅠの段階では、上記回答で述べたように強制循環機能を有する設計としていました。フェーズⅠの検討において、フェーズⅠの検討の結果を踏まえて、経済性と安全性向上のポテンシャルに着目し、完全自然循環型の崩壊熱除去系の開発に取り組むこととしました。</p> <p>通常停止時の自然循環除熱に対する技術的裏づけについては、現状では上述の予備解析の結果のみですが、今後の研究開発で根拠をそろえていく必要があると考えています。この際、ご指摘いただいた点は検討していきたいと考えます。自然循環の他での活用については、PWRにおいて外部電源喪失時にSGに補給水を注入して1次系の自然循環によって除熱する方法が採用されている例があります。このような例を参考として検証方策を検討していきたいと考えます。</p> <p>なお、本概念では、通常の起動停止においては、水・蒸気系を活用し、水・蒸気系が異常や検査のために使用できない場合に崩壊熱除去系を使用することとしています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>自然循環力は伝熱中心差と温度差がないと発生しない。つまり通常時においても燃料の最高温度、構造材への熱過渡は強制循環の場合に比べ厳しい側になる。起動時、停止時の流動不安定性、温度成層化界面の不安定性などの可能性の除去は容易でない。とくに事故時におけるシステム内温度分布の設定に対し循環力は敏感に左右される。このような通常運転モードとして自然循環除熱を採用する場合の短所、マイナスは何か分析して示すこと。これらのマイナスをなくすために新たに考慮しなければならない技術、新たなシステムなどは発生しないか。</p>	<p>これまでの予備的な解析の結果によれば、本概念における自然循環除熱への移行過程において、自然循環流量が立ち上がる時点(炉停止後約200秒後)と自然循環流量が確立する時点(炉停止後約1000秒)において燃料被覆管温度にピークが現れるが、これらのピーク温度とその継続時間が燃料健全性を確保する上で重要となっています。このような挙動は強制循環では見られないので、自然循環除熱を採用する上での課題ではありますが、予備解析の結果は、燃料健全性が確保される見通しを示しています。このような解析結果の妥当性に裏づけを与え、定量化できるデータ取得と解析手法の整備が必要であり、今後取組んでいこうとしています。</p> <p>これまでの、予備解析の結果からは、このような挙動を逸脱するような不安定性は予測されていませんので、今後の評価の詳細化の中で不確かさをどれだけ減らせるかを検討し、必要に応じ、過渡時の流動性を安定させるための方策について検討したいと考えます。</p> <p>なお、自然循環とすることで、過渡時の燃料被覆管温度は高くなる傾向にありますが、構造材の温度変化は緩慢となりコールドショックを緩和する面もあります。</p>
<p>NC-DHR熱流動上の重要な課題はカバーしていると考えられる。その課題解決方針も相似則に基づく水実験、Na実験、数値解析などによつて、試験計画も概ね妥当と判断できる。最終的な実機評価は3次元評価手法に依存すると考えられるが、解析コードがその評価手段として十分信頼性が高く、客観性を持った結果を示し、品質保証を経ることが肝要である。</p>	<p>拝承。</p> <p>ナトリウムを作動流体とした場合の自然循環は、評価の対象とするシステム内の流動特性と伝熱特性とが相互に強く影響を及ぼし合った結果として、その挙動が規定されません。従いまして、解析コードにより、実機体系での自然循環挙動を評価する観点から、解析コード自体の不確定性に起因した誤差要因(数学モデル、物理モデルなど)の把握はもちろんのこと、原子炉容器内の下部プレナム、炉心部、上部プレナムなどの多次元領域を対象とした試験による模擬精度の確認、システム試験による模擬精度の確認を客観性を保ちながら順次行っていく計画としており、結果として評価結果全体に対する品質保証を担保する予定です。</p>
<p>実用炉開発研究の中で、計算による設計(Design by Analysis)の実現に一歩でも近づいて欲しい。ここに技術の革新がある。</p>	<p>拝承。</p> <p>解析コード自体の不確定性に起因した誤差要因の把握、多次元領域を対象とした試験やシステム試験などを通じた評価精度確認などの作業を通じて解析コードの客観的信頼性を担保し、設計段階で利用可能なツールとして仕上げていく予定です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>3次元評価手法は既に開発されて利用に付されているものがベースにあるものと考えられる。新たに開発するものについては、常に合理的な開発計画に従い、徹底的な検証をJAEAの研究者が自ら行う必要がある。既に十分検証されたと考えられる解析コードであっても新しい体系に適用する場合はあらためてモデルの確認や検証を実施する必要がある場合があることに留意すること。この作業区分は人材育成・知的基盤整備に直結する。</p>	<p>拝承。 上記の通り、ナトリウムを作動流体とした場合の自然循環は、評価の対象とするシステム内の流動特性と伝熱特性とが相互に強く影響を及ぼし合った結果として、その挙動が規定されます。従いまして、自然循環特性は評価しようとするシステム個々に異なることから、多次元領域を対象とした試験やシステム試験などを通じて、定量的な現象模擬性の確認を行いながら、自然循環特性の評価を進めていく計画です。なお、研究の実施にあたっては、人材育成・知的基盤整備の観点から、JAEA、機器製作メーカーなどとの間での適切な役割分担の下、研究実施の効率性も考慮したものとする予定です。</p>
<p>これまでのSASSの開発経緯からして実用化段階に入っているものと考えられる。</p>	<p>炉外での過渡応答特性試験や材料試験、常陽での照射試験等必要な項目をカバーして要素開発を実施してきており、その設計技術はほぼ確立されつつあるレベルにきていると考えています。ただし、これまでの研究開発は、電力実証炉の炉心仕様に合わせた設計を対象に行われてきている関係上、燃料集合体サイズを大型化させている実用炉に対応した設計と検証データの取得が必要と考えています。</p>
<p>SASSの炉内照射による材料特性データ取得と機器要素試験は実用化に向けてのステップとして重要であり、試験の質・量に関して概ね妥当なものと判断する。ただし炉内における、SASSの誤落下なしなど、異常作動に対する信頼性は得られるが、正常にSASSが作動する試験は炉内環境で実施するのは困難であろう。炉心異常に対しSASS作動の信頼性をどのように実証するのか、ロジックを示すこと。</p>	<p>拝承。 定期検査等における機能確認方法についても今後検討を進めることとします。 これまでの炉外試験によって、異常時の感知合金の温度応答やそれに伴う磁気特性変化等のSASS切離れ特性については把握されているので、これらの知見をベースにして機能確認方法を検討したいと考えます。具体的な方法としては、電磁石に流す電流を除々に下げていき、制御棒が切り離される時の電流値から温度感知合金の特性を評価する方法が考えられます。</p>
<p>SASSがカバーする事故事象と本来受動的炉停止機能が要求される事故事象を対比して示すこと。その結果SASSでカバーできない事象があった場合のSASSに対応する対処(安全設備)は何か？</p>	<p>受動的炉停止が必要な事象としてはATWS(ULOF、UTOP、ULOHS)を想定しています。これまでの予備解析で、これらの事象に対する成立見通しを得ています。今後の詳細評価の結果によっては、これらATWSについてもカバーできない条件が出てくる可能性はありますが、その場合には感知合金の応答温度の見直し、あるいは、炉心反応度特性等の設計条件に制限を加えることで対応を検討したいと考えています。感知合金については、これまでの検討結果から、要求される切離れ温度に応じた合金成分の調整方法を把握できており、設計条件に合わせた柔軟な対応が可能と考えています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>炉心損傷時の再臨界回避技術</b>                      FAIDUSによる炉心物質の挙動とくに炉心からのリロケーションについてIGRや炉外試験による知見の蓄積がなされてきた。本知見に基づく炉心燃料集合体としてFAIDUSの採用が現実味を帯びてきつつある。</p>	<p>スチールダクトを通じた下方への溶融燃料流出挙動については、昨年度までにIGRで模擬度の高い実験を実施しています。試験後検査は継続しており、評価を継続する必要がありますが、ダクト内にナトリウムがある条件においても溶融燃料が早期流出する結果が得られています。</p>
<p>炉内試験、炉外試験は現象の解明に貴重なデータを提供していると考えられる。必ずしも実用炉のPrototypicalityを全うしているわけではない以上、実用炉の溶融燃料リロケーションは計算による。その場合、多成分多相流のモデリングに計算の信憑性が依存する。こうした解析コードの整備や検証は人材養成や知的基盤形成の重要な要素となる。</p>	<p>拝承。                      試験の規模は燃料集合体規模に限定されることから、実機炉心の挙動評価には解析コードの適用が必要と考えています。これまで解析コードの検証は包括的・系統的に実施してきましたが、解析の精度・信頼度の向上のために多成分多相流モデルの高度化を継続して進めていきます。また、3次元解析などの詳細解析も進めていきます。このような解析コードの開発・検証に当たっては、人材養成や知的基盤形成への貢献を考慮します。</p>
<p>本技術は炉心損傷事故(EAC)を想定し、小規模炉心溶融の段階で溶融物質の挙動の制御を狙うものである。制御とはいえ、自然現象を駆動力とする受動的なメカニズムによるもので、自然現象を制御するには制約が多く、必ずしも想定した物質挙動が保証されるとは考えがたい。したがって、本技術が実際に炉心集合体に適用されるためには、狙った溶融物質移動を常に実現できることが証明される必要がある。</p>	<p>ご指摘のように、本技術は自然現象を駆動力とする受動的なメカニズムを活用していることから、基本的には、境界条件が整えば所定の効果は必然的に表れると考えられます。従って、炉心設計条件との関連において、本技術が効果的に機能するということが、実験結果に基づいて論証することが重要と考えています。ただし、実炉においては、その境界条件には不確かさがあり、これに対応できるよう可能な限り包絡的条件で試験データを取得できるよう努力することを考えていますが、内部ダクトからの十分な流出を期待できないような境界条件となるシーケンスがあり得ることについては、各々の事象推移に沿って他の流出経路も含めた確率論的な評価を合わせて実施していくことを考えています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>本来なら、FAIDUS、内部ダクト付集合体のように燃料の均質性、対称性を喪失するような体系を導入することは、熱流動上、中性子経済上、また構造上好ましいとは考えにくい。また、仮に炉心損傷が生じた条件下で本機構が期待通り機能する確率が十分高いとは考えられない場合もある。こうしたネガティブな側面があっても、再臨界回避技術の採用によってもたらされるプラスの側面が大きいことを示すこと。</p>	<p>内部ダクト付集合体の概念は、模擬性の高い試験の結果によって再臨界回避が可能であることを示すことができる設計方策を導入するとの考え方から考案されています。このことから、試験で模擬可能とみなせる燃料集合体規模の現象において燃料流出が実現できる概念として、燃料集合体内に燃料排出のためのダクトを設置しています。ご指摘のように、このようなダクト構造の設置は、熱流動や中性子経済上望ましいものではありませんが、フェーズ Ⅱ の検討により、増殖や燃焼度といった炉心性能上の特性は、内部ダクトの設置を考慮しても満足できる結果が得られていることから、熱流動や集合体構造上の課題はあるものの、この概念の実現に取り組むこととしています。</p> <p>この再臨界回避技術を導入しない場合、再臨界に伴う機械的エネルギーに対する格納機能を持たせた設計とする必要が出てくる可能性があります。現状では、そのような対策は考えられていません。このような耐衝撃設計の不要化がプラスの側面として考えられます。具体的には、原子炉容器の薄肉化や格納容器の低耐圧化による物量削減に寄与しています。これに加えて、機械的エネルギー放出抑制のために積極的な設計対策を採ることで社会的な安心感を高めることにも期待しているところです。</p>
<p>炉心核特性、炉心損傷防止と本回避技術との相関を明らかにしつつ、本技術の開発の必然性を世に明らかにすることが重要である。</p>	<p>拝承。 本技術開発の進捗と関連する燃料集合体開発の進捗を踏まえて、本技術の有効性と実現性を示して行きたいと考えます。</p>
<p><b>大型炉の炉心耐震技術</b></p>	
<p>燃料集合体の群振動については、もんじゅや実証炉でも試験を実施しているが、炉心の大型化、燃料集合体の形状変更(再臨界回避炉心)、地震入力条件(耐震、水平免震、3次元免震)等の変更があることから、2010年までに成立性の確認とコード整備しておく計画はおおむね妥当である。原子炉容器及び炉心支持構造の合理化が図れることから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。</p>	<p>拝承。</p>
<p>3次元免震については、これまでの研究開発により現時点で最良と考えられる免震要素が特定されているが、さらに優れた3次元免震要素を開発することは重要である。2010年までに要素開発及び3次元免震設計方針案を検討しておく計画はおおむね妥当である。3次元免震技術は、2次元免震技術と比較しても、プラント機器の標準化により大幅コストダウンが期待できることから、本研究開発計画の費用対効果も妥当である。</p>	<p>拝承。 実用化戦略調査研究フェーズ Ⅱ の設計では、水平免震としており、現時点では3次元免震は必須ではありません。2010年までの概念設計研究の中で3次元免震を取り入れることによる設計標準化等の効果を早期に見極め設計への反映を検討していきたいと考えます。</p>
<p>再臨界回避燃料集合体の荷重、強度の非等方性、非均一性をきちんと評価する必要がある。</p>	<p>燃料集合体のコーナー部にダクトを設置した設計を考慮できるように試験計画を検討しています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
3次元免震要素については、水平免震要素と比較して、これを採用するだけの経済性（要素コスト、メンテナンスコスト）が得られるものとする必要がある。また、3次元免震設計方針案の策定に当たっては、学識経験者、産業界の意見を十分取り入れる必要がある。	拝承。
研究開発計画はおおむね妥当である。耐震性評価は厳しく評価されるようになってきている。試験においてはより厳しい入力条件までも考慮しておくことが望ましい。	拝承。
<b>2. 期待される成果</b>	
<b>全体に係る意見</b>	
採否判断のクライテリアについて、現時点では具体性、定量性に欠けることはやむを得ないが、完了時期に適用し、判断するに際して困らないよう、判断基準の具体化、定量化を継続的に進めていく必要がある。	拝承。 各課題についての開発を進めていく中で採否判断のクライテリアを具体化し、定量化していきたいと考えます。ただし、特定の設計条件の下に設定したクライテリアに照らして一意的に判断を行うのは適切ではなく、研究開発を実施した結果、当該技術をプラント設計に適用するための付帯条件あるいは制約条件が明らかになってくる場合には、その条件がプラント設計上許される範囲であるか、あるいは条件を緩和できる設計方針がありうるのか等も含めて適用性を判断する必要があると考えています。
<b>個別課題に係る意見</b>	
<b>原子炉容器のコンパクト化</b>	
ガス巻き込み抑制については、抑制できていることの判断基準を十分に検討する必要がある。制御棒からのガスやFPガスなどで主流に乗るガスが存在する。	ご指摘の通り、制御棒からのヘリウムガスや、液面でのアルゴンガスの溶解は重要であると考えており、系統内の移行挙動を解析する手法の開発を行っています。このような系統内に取り込まれたガスの系外への放出方法や、炉心への影響（冷却性、反応度印加など）を踏まえ、判断基準の検討を進めています。
<b>高燃焼度化に対応した炉心燃料の開発</b>	
これまでの開発経験から見て、目標実現の可能性は高い。また、常陽、もんじゅ活用の最も重要な開発課題である。常陽、もんじゅで高燃焼度燃料、低除染燃料の実績を十分積むことが期待される。	拝承。 上述のように、「常陽」「もんじゅ」での照射計画につきましては、ODS被覆管燃料、MA含有燃料の性能評価、燃料ピンの健全性確認、燃料ピンバンドル・集合体の実証を進め、挙動データの蓄積とともに、燃料製造を含めた経験を蓄積するよう開発を進めていきたいと思えます。さらに、「もんじゅ」では、「もんじゅ」自身の高性能化の観点も含め高燃焼度燃料の炉心実証を進め、その成果を次期以降の高速炉に反映することを目標に開発を進めたいと思えます。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>高燃焼度燃料、低除染燃料の照射試験については可能な限り、海外の研究開発機関との連携を取ることが望ましい。</p>	<p>拝承。                      ODS被覆管燃料やMAなどを含む低除染TRU燃料については、国際協力により研究開発を進める計画を米仏と議論を進めており、できるだけ早期に具体的な協力を着手できるように計画とりまとめを急いでおります。また、GIF(Generation IV International Forum)国際協力では、EUや韓国も含めてナトリウム冷却高速炉の高燃焼度TRU開発を協力実施するプロジェクトの実施計画を取りまとめ、正式調印する段階に至っております。</p>
<p>本研究開発を通じて、FBR炉心燃料に関する人材養成、知的基盤整備が期待される。また、FBRへの理解も深まると思われる。</p>	<p>拝承。                      燃料の開発を進めるにあたっては、燃料設計部署や照射試験実施部署だけでなく、燃料製造側、「常陽」「もんじゅ」の炉心燃料管理部署、旧原研の燃料開発専門家などと緊密に連携して計画立案・実施・評価を進め、その過程を通じて人材の育成とデータ蓄積・評価技術の高度化を含めた知的基盤整備を進めます。また、燃料の設計技術や評価技術については、メーカや大学などと協力することにより外部の人材育成も努めたいと思います。</p>
<p><b>配管2重化によるナトリウム漏洩対策と技術開発</b></p>	
<p>2010年の判断クライテリアを、LBB成立性を担保する検出器を提示できる、とすることは妥当である。レーザー方式の漏洩検出器については、基本性能が既に確認されていることから、2010年までの4年間で、LBB成立性を担保するクライテリアを満たす要素開発、及びその検出系・処理系の開発を完了し十分な成果を得られると考える。</p>	<p>拝承。</p>
<p><b>直管2重伝熱管蒸気発生器の開発</b></p>	
<p>目標とする成果は、本課題の前提となるa.(高クロム鋼の開発)、b.(SG本体の成立)、c.(大型SG工場)の3つの条件のため、達成できるかどうか現状での判断は困難であると思う。従って、各小課題の内容に踏み込んで何が成果として期待できるか、ここでは示すことは控えたい。全課題の成果が2010年における判断クライテリアをクリアすることが極めて難しい場合には、一部代替の小課題技術の採用によって、目標とする蒸気発生器にどれだけ近づけたものがその時点で成立するか、必要なデータとともに提示していただき、十分な検討評価を加えて2010年以降の開発研究の有無を勇気を持って判断することとなる。</p>	<p>拝承。                      ご指摘のように研究開発を進め、2010年の判断に臨みたいと考えています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>保守、補修性を考慮したプラント設計と技術開発</b></p> <p>FBR実用炉が導入される頃の軽水炉と同程度の稼働率を目指すとなると、原子炉容器廻り検査、SG伝熱管検査などの検査に要する時間をどの程度にするべきか、という目標値を算出することができると思います。標準的な定期検査工程を想定して、たとえばSG伝熱管の検査ならば、伝熱管の中をXm/sで動く検査機器が必要になって、何日間で全数検査を完了できる、原子炉容器内の検査ならば……、というような数値を示して下さい。</p>	<p>大型炉では、連続運転期間を26ヶ月とすることで、95%程度の稼働率を目指しています。標準の定期検査工程日数は、発電機解列から発電機併入まで41日を想定しています。SGの検査については、2通りの検査(ECTおよびRF-ECT, UT)を考えていて、ECTおよびRF-ECTについては毎回の定検ごとに2基あるSGのうち2基の伝熱管全数を、UTについては、1基の伝熱管全数を検査することを想定しており、この伝熱管検査が定期検査のクリティカルパスとなっています。ECTおよびRF-ECT検査(内管内面検査、外管減肉検査)では、伝熱管長さ35mに対して、同時探傷本数10本、探傷速度10m/min.を想定すると、位置決めや引き抜き作業を含めて10本検査に約10.5分。7220本の全伝熱管に対して1日22時間の作業時間を想定すると6日を要します。UT検査(回転プローブ、外管き裂検査)では、同時探傷本数10本、探傷速度20mm/sec.を想定すると、位置決めや引き抜き作業を含めて10本検査に約37分。7220本の全伝熱管に対して1日22時間の作業時間を想定すると21日を要します。これらの時間にNaドレン、検査準備作業および復旧に係わる期間の合計:11日を加えて、SGの伝熱管検査には38日を要する結果となっています。このように定期検査日数と頻度の関係から、検査速度に関する要求が求められます。</p> <p>原子炉容器内の炉心支持構造等の検査については、毎回の定検ごとに25%の検査を行うこととしています。この場合、全体工程に対してクリティカルとされない程度の合計6日間として、検査速度要求を検討しています。</p>
<p>ナトリウム中可視化装置、体積検査装置の解像度、処理時間の実用化目標を、具体的な数字で示すことはできないでしょうか。</p>	<p>検査装置への具体的な性能要求は、検査対象部位や検査精度の要求などのISI方針と密接に係わるものでありますが、可視化装置開発の際の暫定目標値としては、リアルタイムセンサ(圧電素子方式:機器の変形、脱落等の確認を目的とする)で、分解能1.0mm、処理時間0.5sec/flame 高解像度センサ(光ダイアフラム受信方式:き裂の検出を目的とする)で分解能0.3mm、処理時間24sec/flameを設定しています。また体積検査装置では、例えば炉心支持部の60mmの板厚に対して約10%厚のき裂の検出を目標としております。</p>
<p>SG伝熱管の検査・補修装置の開発について、クライテリアについても、「直管2重伝熱管蒸気発生器の開発」の記載と合わせる方がよいと思います。</p>	<p>拝承。 添付のように見直します。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>受動的炉停止と自然循環による炉心冷却</b>	
<p>NC-DHRが実現するためにチェックすべき技術的項目、それらの細目をテーブル化したクライテリアを作成する。</p>	<p>拝承。 上記回答で述べた段階的研究開発ステップ(解析コード誤差要因の把握、多次元領域を対象とした試験やシステム試験による模擬精度の確認)のそれぞれについてチェックポイントを設定して開発を進めるようにします。具体的なチェック項目については、評価上着目している燃料被覆管最高温度やバウンダリ最高温度とこれに影響が大きいパラメータを選定して、クライテリアとして評価精度を設定することが考えられるので今後具体化を図っていきたく思います。</p>
<p>クライテリア策定においては、概念が成立するために要求される技術的要件を同定し、その細目について達成レベルを設定してテーブル化する。</p>	<p>拝承。 SASSの設計要件としては、キュリー点温度を含む磁気特性(保持力特性)とその安定性、感知合金の温度応答時間、デラッチ時間などが考えられるので、炉心設計との関連におけるこれらへの要求条件をクライテリアとして考慮することを検討します。</p>
<b>大型炉の炉心耐震技術</b>	
<p>本研究開発計画の実施により、2010年までに水平免震条件での燃料集合体の3次元群振動挙動が評価でき、耐震安全性の見通しが得られる。</p>	<p>拝承。</p>
<p>炉容器の耐震性評価については、2015年までには3次元的地震入力条件に対して炉容器座屈評価手法の整備ができ、設計の妥当性を確認できるようになることが期待される。その他の機器構造に対しては、2015年以降の原子炉冷却系耐震総合試験で妥当性が確認できることが期待される。</p>	<p>設計概念の具体化を図りつつ耐震設計の妥当性を確認していきたく考えています。</p>
<p>炉容器等の大型機器構造の耐震性評価については、設計対応の確認という性格が強いので2010年以降の計画としていることは妥当である。</p>	<p>拝承。</p>
<p>2010年までに現在想定している3次元免震要素が開発され、実機での適用性が確認できる。実機で採用するには大型振動台を用いた実証試験が必要であるが、これを2015年頃までに実施し、3次元免震設計方針案が策定されることが期待される。</p>	<p>2010年までに3次元免震の採否を見極め、その結果を反映してその後の開発を進めることとしています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え プロジェクトレビュー「ナトリウム冷却炉の実用化に向けた開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
2010年以降の技術実証を含む展開についての考慮事項	
<p>2010年以降の研究開発は本コンセプト全体の実証であり、他の技術についても実証を十分に見通せる条件が十分に整えられている必要がある。</p>	<p>拝承。</p>
<p>2010年以降では、2重配管によるこの検出器の実証試験、検査・補修等の保全技術の開発、並びにナトリウム施設による試験を経て実用化する計画であり、本技術開発は十分に目標の成果を挙げ、その完成されたコンセプトを期待できる。</p>	<p>拝承。</p>
<p>実用段階での「最適化」をねらって開発を進め、途中段階で「試験炉」、「実用化推進炉」を設置する場合、途中段階の炉については、その設置意図を明確にしておく必要がある。途中段階の炉については、その設置意図を最も合理的に達成できるようにすることが最適化であり、その段階での経済性(建設費、運転コスト等)からの「最適化」とは合致しないこともありうる。</p>	<p>拝承。 開発段階にある炉の基数、位置づけを関係者間で協議し合意の上で、その目的に沿った最適化を図って行きたいと考えます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>1. 研究開発計画</b>	
<b>全体に係る意見</b>	
現開発計画は概ね妥当であるが、開発遅れのリスクを下げ開発費用を合理化するために、様々な視点について検討する事が望まれる。	拝承。
現計画を基本にして、個別コメントに記した各視点からの検討を行いながら、開発を遅滞なく進めることが妥当である。	拝承。
留意点を踏まえた計画として開発を進めれば、所期の成果が期待できるものと判断される。	拝承。
現時点の研究開発計画としては概ね適切と考えるものの、これを基本にして、様々な各視点からの検討を行いながら、開発を遅滞なく進めることが適切である。	拝承。
革新技術の採否を判断する2010年までは、工程の基礎原理確認や運転条件・課題の抽出を行なうプロセス研究を主体に行い、その成果を見極めて2010年以降は機器開発に移っていくという道筋は適切と考える。	拝承。
夫々の技術課題の採否判断にいたるまでの研究開発をより効率的に進める必要がある。	拝承。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>(1)開発規模の合理的なステップアップ戦略</b>                      各要素技術別に、コールド試験・ウラン試験・小規模ホット試験・工学規模ホット試験のそれぞれの重み付けをより明確にするとともに、工学規模ホット試験に入る前に、相当レベルの技術判断を行えるような開発取り組み(装置規模、試験の時間、枢要部分の重点的確認等)を行えるような努力を期待する。</p>	<p>各要素技術別の各試験の重み付けを考慮して開発を進めてまいります。重み付けの考え方については、対象とする技術の特徴により、研究開発の段階は自ずと異なるものと認識しています。ご質問にあった分類につきましては次のように考えられます。</p> <p>化学反応を伴わない工程装置である解体機、せん断機、清澄機。                      スケールアップに関して比較的柔軟な工程装置・プロセスである溶媒抽出プロセス。                      ウランが主たる成分の対象を取り扱い、スケールアップに関する配慮が必要な工程装置・プロセスである溶解槽、晶析装置。                      対象のモデル化が十分になされている工程装置・プロセスである溶媒抽出プロセス。</p> <p>また、このような分類は実用に向けての研究開発段階の検討に重要であると認識します。</p>
<p>社会や技術のあり方がグローバル化していく中で、研究開発の時間軸も世の中の流れの影響を受けざるを得ないことは、直近の1年間だけの変化を見ても明白である。この中において原子力の研究開発の難しさは、結論を出すまでに長時間を要することである。研究開発を加速させるには、費用と人材をバランス良く投入することで、どちらが欠けても時間的ターゲットを守るのは難しくなる。予算、要員の確保には時間軸を決めることが必要だが、それ以上に重要なのは、開発すべき項目の技術的ステップを明確に設定することだろう。それが確立していれば、時間的ずれはあっても確かな成果が得られよう。</p>	<p>開発すべき項目の技術ステップを明確に設定することのご指摘に対しまして、今後とも検討してまいります。各技術課題に対しましてそれを構成する開発項目にブレークダウンし、その各々について開発段階、関連する一般産業界の状況、必要とされる成果レベル(開発目標)を設定する形で検討してまいりたいと考えます。</p>
<p>達成段階の評価の判断基準が、せん断・溶解・清澄のHE部分と晶析・抽出・MA分離等の分離精製部分或いはその境界とでは、差異があり、開発の展開の仕方が異なるのではないかと考えます。</p>	<p>ご指摘のとおり、要素技術によって、装置の機械的動作上の課題や化学反応制御等の課題等の比重が異なり、それぞれの特徴を踏まえた開発の展開が必要と考えます。開発の今後の展開は基本的には2015年までに工学規模ホット試験実施に向け、各要素技術開発を集約していきますが、それ以後の展開については上記特徴を踏まえ検討して参ります。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>FSで最適とした候補概念全体としての、工学的(例えば、処理能力2kg/h)規模の達成が期待される。また、コールドやホットの段階的実証すべき課題があれば明示可能な方向付けを望みたい。</p>	<p>工学規模ホット試験施設にて最適候補概念全体の試験を行うことを計画しています(処理能力は4～10kg/hで検討中)。                      各開発課題については、コールド、ウラン(またはRI)、ホット試験と、また、要素試験、工学規模システム試験と段階的に実証していく計画を検討します。</p>
<p>全体的候補概念に基づく、2010年迄の研究開発の実施の進め方は適切であると判断する。ただし、工学的に早期に見通せる分野と技術開発の展開をさらに段階的に進めるべき分野を区分して進めると、より明確な指標が得られるものと判断する。</p>	<p>概念的には、解体せん断、溶解、抽出については工学的に早期に見通せる分野であり、晶析、MA回収については技術開発をさらに段階的に進めるべき分野と区分できると考える。各々の開発課題の特徴に対応して開発指標を設定することを検討していきます。</p>
<p>2010年までは4ヵ年ほどしかなく、さらに提案されている12の革新技術には、まだ基礎試験(CPFレベルでの適用判断のための基礎試験)の段階のものや工学的な試験(コールド試験でよいものからホット試験が必要なもの)まで実施して判断しなければならないものがある。このような状況を考慮すると試験についてすべて実施するのではなく、適切な判断・評価のもと効率的に進める必要がある。</p>	<p>各課題における開発計画は、2010年にこれらの革新技術の採否を判断するために最低限必要な項目に限定した内容となっています。特に、燃料製造については再処理技術開発に比べ5年程度の進捗ラグがあるため、実際に全てを同時にスタートさせることが適切でなく、それぞれの実施グレードにバラツキがありますが、できることから開始する計画としています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>(2) プラントエンジニアリング開発の強化</b>	
<p>FBR再処理開発では、過去での各要素技術の機能確証(装置の試験量の経験)実績が不十分である事を直視し、今後短時間でクリティカルな機能の確証実績を積み上げることが重要である。同時に、各要素技術を連結して総合的に確実なプラントとして構築するための「プラント設計開発」を重視する必要がある。</p>	<p>過去において装置の機能確証実績が少ないのは、コールド試験でも試験供試体(模擬燃料集合体等)の手配に予算(時間も)要すること、1回試験を行い、ほぼ機能が確認されれば、その後さらに愚直に試験を積み重ね課題を徹底して洗い出すとの考え方に(予算や時間の制限もあり)やや欠けていたと考えております。今後は確認すべき機能の特徴を踏まえた機能確証試験を計画し、可能な限り多くの試験実績を上げるよう検討していきます。</p>
<p>プラントの信頼性(機能確証)の確証(即ち稼働率の確保)を得る事が最大の目的であるが、このために必要な、「要素技術の機能と信頼性」「保守を含むプラント設計」が車の両輪として必要である。両者に十分な技術力を傾注した上で、最も信頼性の高いプラント像を絞り込む取り組みが重要である。</p>	<p>ご指摘の点を踏まえ、取り組んで参ります。</p>
<p>研究開発の比較的早い段階から、将来実用化された姿をできるだけ具体的にイメージしながらプロジェクトを推進することが望ましい。燃料サイクルシステムについては、技術を選択する際に、プロセス選定の段階からエンジニアリング開発も併行して進めるべきであろう。両者を同時にイメージすることにより、実用化されたときの姿がより鮮明になり、研究開発の後戻りが少なくなるとともに、項目の採否の決断を早めることも可能になる。</p>	<p>ご指摘のとおり、プロセス開発と工学規模機器開発を整合性を図りつつバランスの取れたタイミングで開発していくことが重要と考えます。</p>
<p>2010年の革新的技術の採否判断のため、クリティカルな課題について確認試験を実施することは必要と考えられる。一方、現時点の設計概念に基づく装置仕様を前提とし今後の試験を継続するのではなく、エンジニアリングとして実用化することを念頭に、例えば装置にトラブルがあった場合に、「なぜ、上手く行かなかったのか」を同定できる様、内部で起こっていることを把握し、プロセス化学と機器設計を繋ぐ様な試験が今後必要と考える。</p>	<p>2010年の採否判断に向け、基本的には実験室規模のホット試験と工学規模のウラン試験を重点的に実施する計画であり、工学規模ウラン試験装置は現時点の設計概念(工学規模ホット試験施設での試験装置)と基本的には同型のものを考えています。しかし、ご指摘のとおり装置内部状況を把握するためには、工学規模試験の前に小型装置にて試験を行うこと、工学規模装置の構造について工夫を行うことが必要と考えており、検討してまいります。</p>
<p>基盤的なエンジニアリングについては、東海再処理工場、プルトニウム燃料施設、六ヶ所再処理工場技術などの先行プラントに多くの実績や経験があるので、その技術や技術者を多用することが必要ではないか。</p>	<p>高速炉サイクルの技術はその根の部分で軽水炉サイクルの技術に依存しているという点にご指摘のとおりと考え、研究開発にあたります。先行施設との協力についても可能な限り緊密に行っていくよう努めます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>安全審査をゴールに見据えた、設計の具体化と施設・設備のステップアップの位置づけ等を明瞭にされたい。また遠隔保守性の課題も段階的に明らかにすべきである。</p>	<p>安全審査に向けた工学規模ホット試験施設の詳細な設計スケジュール及び試験施設と実証施設の規模上の関係等について現在検討を進めております。機器開発においては、遠隔保守性を考慮した構造検討を平行して進め、課題を早期に明らかにし、対応していく計画です</p>
<p>施設の安全審査に耐えうる基本データの取得が重要であり、安全設計や安全性研究をより強化する必要があるのではないか。</p>	<p>安全審査に十分対応できることが、プロセスや機器開発においても最優先に取り組む必要があり、体制等を含めて検討してまいります。</p>
<p>安全設計を含むプラント設計は、概念設計に工学的規模を見通せる部門から進めるべきと考えます。この時点である程度、安全審査におくべき項目を描くべきと考えます。その為に、実証的経験を有しているTRP経験を早めに段階的に生かすべきと考えます。</p>	<p>ご指摘の点を含め、東海再処理工場(再処理センター)との協力を進めていく計画です。</p>
<p>FBRサイクルについては、開発目標として軽水炉並みの発電コストの実現を目指すこととされており、したがって、そのサイクルの一部を占めるFBR再処理についても、目標とする事業コスト、建設コストの設定が必要とされる。六ヶ所再処理工場のコスト構造については、原子力部会にて検討されている。</p> <p>FBR再処理についても、このようなコスト構造を想定し、それを更に建屋や工程ごとに細分化し、コストの実現可能性の観点からそれぞれの技術開発課題を評価することが必要と考える。このようなアプローチを取ることにより、技術開発課題の重点化や開発の進捗を管理することができるとともに、将来のユーザーが事業化の判断をする際に必須の情報を開発段階から共有できることになる。</p>	<p>「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズ の統合評価において、同様のコスト分析を実施しています。その結果を含めた国の評価において、主概念は現在の知見で実用施設として実現性が最も高く、経済性を含むすべての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性があると考え、主概念の具体化に必要な革新的技術の研究開発を「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として今後重点的に実施することとしました。したがって、現在挙げている炉13、サイクル12の課題の成立性を見極め、機器・設備レベルで具体化することが、経済性の実現につながるものと考えています。本研究開発の成果は広く公開しており、これは将来のユーザーが事業化の判断をする際に必要な情報であると考えます。</p> <p>例として挙げられている、マイナーアクチノイドの回収に伴う経済的なデメリットと、処分や核拡散抵抗性のメリットの比較については、指標の選択を含め評価手法の研究やINPRO等国際的な燃料サイクル評価の中で明らかになっていくものと考えています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>(3) 燃料開発への取り組み</b>	
燃料の照射性能試験に遅れが生じないように進めることが期待される。	基本的にMA及びFP含有量が最大5%MA+0.7%FPと小さいことから、照射挙動で高除染MOXに比べ顕著な差異が生じることはないと考えております。高除染燃料と最も差が大きいと予想されるのがMAの移動に伴う熱的な挙動変化であることから、昨年、NpとAmを含むMOX燃料の短期照射を『常陽』において実施し、照射後試験中です。『もんじゅ』での集合体照射の実証に向け、段階的に照射試験を拡大していく計画ですが、日仏米の三国協力による照射計画も含め照射試験を着実に進めていく所存です
転換も含め燃料製造においては、仕様(特に公差)の収率に及ぼす影響が大である。従って、目標とする公差を暫定的に定めて研究開発を進め、その進捗を踏まえて原子炉側・燃料側が共に仕様を見直して行くという、フレキシブルな視点が必要と思われる。(「研究開発の手段やアプローチの妥当性」の視点)	ご指摘のとおり、仕様が収率へ与える影響が大きいことから、製造側と炉心設計側の調整は適宜実施されるべきと考えています。特に、従来の燃料製造に比べ、高線量、高発熱、多元系という新たな課題が付加されることから、なおさらこの点は重要と考えております。また、従来の高除染体系でのMOX燃料製造技術開発においても燃料仕様緩和による燃料製造性の向上を図る課題が追求されており、低除染TRU燃料製造技術開発においても、同じ課題が存在します。しかし、この課題の追求は、今後のプロセスの確証の次に位置するものと考えており、現在はまず、通常の仕様での実現性の確認を基本として開発を進めようとしています。
<b>(4) 総合的な取り組み</b>	
工程個別の課題、炉とサイクル個別の課題とするのではなく、上流に遡り条件の最適化を図ることが重要である。研究開発においては、燃料仕様を含め前後の工程や製品仕様との取合いを確認しつつ実施すべき。その様な意味で上記をクライテリアに対する留意点とすべき。	サイクル全体としての機能要求を個別工程に役割分担させ、各工程のクライテリアとしております。この「役割分担」が最適なものであるかについては適宜確認していく必要があると考えます。
これまでの高速炉再処理試験研究や軽水炉再処理の経験を踏まえ、核燃料サイクル全体を俯瞰した検討が今後必要と考えられる。	これまでの再処理側の研究開発は炉側の検討で定められた燃料仕様を条件に、これに対応するべく実施しております。この考え方(順序)は今後も基本的には変わらないと考えますが、再処理側からもその研究開発成果を踏まえ適宜炉側にもサイクル全体としての最適化の観点から仕様検討を提案していくことが必要と考えております。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>(5) 国際協力</b>	
<p>国際協力の効率化、実質化の必要性:これまでの情報交換、特に仏などとの間でどんな実質的なメリットが得られたかよく評価を行ない、不必要なものは減らし実質的なものを積極的に進めるようにすることが必要である。</p>	<p>国際協力については、情報交換を出発点としつつもさらなる実質的な協力に発展できるよう検討してまいります。再処理においては仏国と分離技術開発についての協力を進めるよう協議しております。燃料製造においては、現在、米仏と協力してMA含有酸化燃料の物性データを分担取得して評価する計画を含むMA酸化燃料の実証計画を進める協力をほぼ合意しており、今後はこの協力を通じてMA酸化燃料の実用化に反映できる知見が整備できると考えています。</p>
<p>実用化の経験などを踏まえると仏よりも遅れている我が国の再処理技術開発をそれと競合できるような段階にまで持ち上げていくためには、研究開発計画の一部に述べたような要素技術の共同開発を立ち上げていく必要性を強く感じる。</p>	<p>要素技術の共同開発については、個々の開発項目についての双方の状況等を見極め、検討したいと考えます。</p>
<p>再処理分野は国際協力には困難な分野であるが、我が国だけの独自の道一本だけを進むことは、実用技術採用時にはオール・オア・ナッシングになってしまい、今後投資する開発資源(人、資金)を考えるとリスクが大きすぎる。また再処理技術は世界的に認知を受けることが今後不可欠である</p>	<p>再処理分野の国際協力については、最近の米国の状況等を踏まえ、可能な限り積極的に行い、開発の効率化を図ると共に、わが国の再処理技術が世界的に通用するものとなるよう努めて行きたいと考えています。</p>
<p>廃棄物処理処分の観点からの研究の必要性:仏ではこれまでの研究開発により発生廃棄物の大幅な低減を達成してきた、さらにより経済性や効率化を目指して新固化技術開発(中低レベルのガラス固化、コールドクレーシブル固化)などに取り組んでいる。再処理技術開発には低減化を目指した廃棄物処理技術開発は不可欠である。本技術開発についても積極的に取り組む必要がある。</p>	<p>廃棄物低減化の技術開発は重要と考えており、LWR再処理の開発や廃棄物処理処分分野の開発と協調しつつ進めたいと考えます。</p>
<p>実質的な国際協力を進めることが必要である。特に、リスクの低減、世界認知の技術確立、という観点から要素技術について我が国から積極的に共同開発を作っていく必要がある。</p>	<p>国際協力については相手国の状況、開発計画等を踏まえ、実質的な成果があげられるよう進めてまいりたいと考えます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>(6) 施設の利用など</b>	
<p>夫々の課題について採否に必要な項目をよく検討し、2010年までのより効率的な計画(どんな具体的な試験項目をどこの施設を使って)を策定して進める必要がある。</p>	<p>個々の課題についてその構成している技術項目をブレイクダウンし、その試験に必要な施設設備を明確化し、効率的な施設利用、役割分担を図ってまいります。</p>
<p>工学規模ホット試験(旧RETF)については、工程全体の連続試験よりも、各工程(装置)毎の信頼性確認試験(機能確認試験)に重きを置くことが望まれる。そのためには、装置の交換や改良が容易であり、必要に応じて小規模な試験が行えるような自由度の高い設計が望まれるのではないかと。</p>	<p>工学規模ホット試験施設では各試験装置毎の試験に重点を置くべきと考えます。しかし現実的には再処理は連続プロセスであり、例えば溶解槽が不調な場合でも抽出の試験を行うためには、そのための槽類が必要になります。また、装置の交換を容易にすべく保守設備設計で対応することが重要ですが、いったんホットで用いた大型装置を交換することは、それに要する時間(その間、他の試験も実施できないと懸念)、廃棄物となること等を勘案し、試験施設として最適な設計を行うよう検討を進めます。</p>
<p>費用および時間の削減には、当然のことながら既存施設の活用が望ましい。また新しいホット施設を作る前に、できるだけコールド試験、モックアップ試験等を実施し、全体の費用対効果を高めることも計画的に行う必要がある。</p>	<p>既存施設の活用として、今後、工学規模装置の開発にも重点を置くことからコールド試験施設やウラン試験施設の整備、利用を図ってまいります。</p>
<p>抽出クロマトグラフィーやODS被覆管に供する、樹脂や素材の供給体制の確保策・コスト等の課題を明示する必要があるのではないかと！プラント成立性を考えると遠隔保守・安全・核不拡散・廃棄物低減性等別途取り組む必要がある。</p>	<p>抽出クロマトグラフィーで用いる吸着材については、今年度100 kgの担体(支持体)の合成を検討しています。これは、工学装置の試験で用いることを想定した量であり、抽出剤の調達を含めて工学規模での試験利用については供給源を確立しつつあります。コストの課題は実際に調達を行う中で抽出したいと考えております。各機器固有の遠隔保守性や安全性の課題は、機器開発の中で対応することとしております。各プロセス開発において廃棄物低減等も十分考慮するが、再処理プロセス全体としても廃液処理等の合理化の検討を進める計画です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
(7) 関連課題についての取り組み	
<p>廃棄物の発生量は再処理技術採用の大きな決定要因の一つと考える。取り上げた革新技術への取組と同時に、発生廃棄物の低減化、安定化(処理・固化)技術開発には積極的に取り組む必要がある。</p>	<p>再処理の技術選択においては、FSにおいても廃棄物量は重要な指標としておりますが、今後とも廃棄物処理の合理化に向けた開発を進めて参ります。</p>
<p>高レベル廃液固化工程(LFCM)や高放射性廃液蒸発缶など、軽水炉再処理(六ヶ所)、JMOXに対し、さらに高度化が期待される技術も少なくない。FBR再処理および燃料製造技術の確証は、要素技術の革新的部分の成立性だけでなく、より基本的な部分(軽水炉再処理やプルサーマル燃料製造レベルでも共通の)に大きく依存していることを忘れずに、この基盤的部分への取り組みをより強化して行く事が必要ではないか。</p>	<p>高速炉サイクルの技術はその根の部分で軽水炉サイクルの技術に依存しているという点にご指摘のとおりと考え、研究開発にあたります。先行施設との協力についても可能な限り緊密に行っていくよう努めます。</p>
<p>軽水炉サイクルのコスト構造の背景には、工場の稼働率に関する仮定があり、六ヶ所工場の場合には、処理能力に関して最大4.8tU/dに対して、通常時は4 tU/dと想定し、稼働日数については、1年365日のうち、定期検査やPIT(実在庫調査)のために115日要し、残り250日を稼働可能日数として、その間の稼働率を80%と見ること、  <math>4 \text{ tU/d} \times 200 \text{ d/y} = 800 \text{ tU/y}</math>                      としている。定期検査等の期間を原子力発電所並みに50日程度とできれば、  <math>4 \text{ tU/d} \times 315 \text{ d/y} \times 80\% = \text{約}1,000 \text{ tU/y}</math>                      となり、2割程度のコスト削減が実現できる。                      このためには、PSA手法を用いた定期検査箇所の重点化や定期検査の間隔の延長など規制の高度化などが必要と考えられ、これを開発課題の1つに挙げる事が重要と考える。また、実証プラントは、高度化した規制体系の実証の場とすることにより、将来のユーザーがFBR再処理工場の建設・運転を行う際のリスクの低減を図ることが可能と考えられる。</p>	<p>「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズ の設計研究では、燃料サイクル施設の稼働日数を同様の考えで200日/年に設定しています。燃料サイクル施設の稼働率向上については、施設の実体化のための研究開発のなかで、国内の再処理工場の運転実績をにらみつつ検討していく課題と考えています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>個別課題に係る意見</b>	
<b>解体・せん断技術の開発</b>	
ピン束せん断・キルン型溶解・遠心清澄等ヘッドエンド工程は早期に東海再処理工場の知見等反映したエンジニアリングスキムを固めるべきである。	東海再処理工場のヘッドエンド工程の運転経験、保守経験について、工場の協力を得て、収集把握し、実用化研究開発の計画等に反映する計画です。
使用済み酸化燃料を機械的性質の観点から種々の条件を模擬した複数の燃料ピンを層状化して束ねた模擬小集合体を用いたせん断試験により、所定の粒度の粉体が得られるかの確認	ご指摘の試験は計画しております(燃料ピンの層状の「厚さ」もパラメータとして試験することを考えております)
<b>高効率溶解技術の開発</b>	
溶解～晶析関連技術の物理・化学的組成変化に対する安全性等データベースの対象を明示すべき。	溶解反応及び晶析反応における核種の挙動データ(特にPu等)溶解反応速度(影響因子の把握)等について、(安全性に限らず)技術開発の基礎データとしてデータベース化を図る計画です。
CPFレベルの試験で照射済み燃料(高燃焼度までの燃料とMOX燃料)を使って、所定の目標(500gHM/l、溶解性(非溶解率)等、定量的に定めておく必要有)が達成できるかの試験での確認	ご指摘の試験は計画しております。
<b>晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発</b>	
晶析技術とクロマト分離技術については、工学規模ホット試験に入る前に「採否技術判断」を行えるような取り組みの努力が期待される。	晶析技術については実験室規模のホット試験と工学規模のウラン試験を行い、プロセス及び装置としての成立性を把握すること、クロマト分離技術については分離性能のみならず、装置の安全性、遠隔操作性を含めた成立性を把握するよう開発を行ってまいります。
別途FSの成果を使って工学規模装置の設計は進めてもよいが、採用可否を判断するにはCPFを使ってホット試験を繰り返し、所定のDFがコンスタントに達成できるかの確認、さらには清澄した後でもモリブデン酸塩等の沈殿ができることは十分考えられる。それらがあっても実際に適用可能かも重要な判断項目である。	ご指摘の試験は計画しております。ただ、ホット試験施設の能力等の点より試験回数は限られますので、試験条件等を十分検討し、実施します。モリブデン酸塩についてもその性状把握等の試験を計画しております。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発</b>	
<p>抽出技術は比較的開発が進んでおり、機械的な課題が主要であると考えている。一方、工業機器としての運転性を考えて設計する必要がある。試験研究を進めつつ、その成果を反映していく設計が今後必要になる。抽出技術の世界にアピールしていくうえで、運転性まで説明できることが必要となる。「何をもちえて成立性とするか」を示すことが大切である。現時点では開発計画に不確かさがあるため厳密なものである必要はないが、比較検討のFSでは求められずとも、実用化を目指したFaCTではしっかりした研究開発、明確な成果が必ず求められることに留意すべき。</p>	<p>ご指摘のとおり実用化を目指したFaCTでは、最終的には実用施設を操業する事業者を受け取って頂けるよう、開発段階において高いレベルでの「成立性アピール」が必要と考えており、この点に留意して研究開発を進めてまいります。</p>
<p>ホット試験によりU-Pu-Npの一括抽出については見通しが得られつつありとあるが、2010年における判断のクライテリアにある目標値が恒常的に達成できるか試験を積み重ねることが必要である。</p>	<p>ご指摘の試験は計画しております。ただ、ホット試験施設の能力等の点より試験回数は限られますので、試験条件等を十分検討し、実施します。</p>
<p>遠心抽出機はMAリサイクルに向けてJAEAだけでなく、仏、中、EU等でも開発を行っている。ここには夫々のノウハウが入っていると思うが、日仏間での共同開発の要素技術として立ち上げていく努力をしてもよいのではないか。</p>	<p>共同開発項目の候補とは考えられるが、機器開発は製造メーカーのノウハウ等が関係し、実施に移すことはかなり困難と予想している。</p>
<p>遠心抽出機が採用できない場合には、ミキサーセトラーやパルスカラムを利用するとあるが、高速炉再処理ではMOX燃料や高燃焼度燃料が対象となり、極めて放射線が高い燃料や溶解のために酸度を上げなければならないことが考えられる。このような代替機器を使う場合、両者による溶媒劣化の影響をよく調べ評価することが必要である。</p>	<p>代替技術利用の場合の溶媒劣化の問題は深刻な問題と考えており、この点からも遠心抽出器の実用化に向け全力をあげたいと考えている。</p>
<b>抽出クロマト法によるMA回収技術の開発</b>	
<p>晶析技術とクロマト分離技術については、工学規模ホット試験に入る前に「採否技術判断」を行えるような取り組みの努力が期待される。</p>	<p>晶析技術については実験室規模のホット試験と工学規模のウラン試験を行い、プロセス及び装置としての成立性を把握すること、クロマト分離技術については分離性能のみならず、装置の安全性、遠隔操作性を含めた成立性を把握するよう開発を行ってまいります。</p>
<p>MAの抽出剤選定の基礎試験の継続に加え、クロマトグラフィが実用化装置として適用できるかの検討が2010年までの判断に必要である。特に、運転保守性からの評価が最も重要である。現行の高レベル廃棄からも想像できる様に、固形物除去後であっても、条件によりモリブデン酸塩等の固形分(スラッジ)が生成しやすい。それらによる目詰まりなど十分考えられる。また装置は運転中には水垢のような皮膜が固体表面に発生すると考えられる。このような場合への保守補修方策が適切に考えられない限り、採用は困難な技術ではないか。</p>	<p>抽出クロマトグラフィ塔の内部のプロセス流体等の流動性把握と遠隔保守性は重要な試験項目と考えており、今後重点的に実施していく計画です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>廃棄物低減化(廃液2極化)技術の開発</b></p>	
<p>廃棄物処理の合理化、量の低減化は重要な技術開発である                      ソルトフリー化の技術開発を積極的に行うとともに、廃棄物固化の観点からも改良技術や革新技術の開発が望まれる。</p>	<p>廃棄物低減に向けての技術開発については今後とも幅広く検討していく考えです。</p>
<p><b>脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発</b></p>	
<p>遠隔燃料製造については、脱硝・転換・造粒プロセスの確証に優先度をあてて開発することが期待される。</p>	<p>ご指摘のとおり、燃料製造においては、一定の性状を有する原料粉末(顆粒)をいかに安定的に製造するかがペレット製造の成否に大きな比重を占めるとの認識から、脱硝・転換・造粒プロセスの確証に優先度を上げて開発していく所存です。また、2010年の革新技術の採否に際しては、セル内遠隔設備の実現見通しについても大きな比重を占めることから、コールドモックアップ試験レベルでのこれらの開発試験も合わせて可能なところから進めて行きます。</p>
<p>造粒技術の開発において「Carr粉末流動性指数60以上、ほか」をクライテリアとしている。焼結性を前提に流動性を論ずる必要があるMOX粉末について、係る数値をクライテリアとして設けることは画期的なことである。係る数値がMOX粉末の流動性・焼結性を表すものとして実用化できれば、産業界への貢献が極めて大と考えられる。今後の量産プロジェクトにおいて、焼結密度と関連付けて造粒体についての係る数値を取得することも視野に入れ、開発を進めることを期待する。(「目標実現可能性」、「実用化の見通し」の視点)</p>	<p>現行のマイクロ波加熱脱硝法での混合転換で得られるMOX原料粉末のCarrの流動性指数を測定した結果、20～30となり、流動性は「不良～あまりよくない」と評価されています。そこで、種々の模擬粉末(WO<sub>2</sub>,WO<sub>3</sub>,ZnO,Ba-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)を用いて金型( 8)への充填性とCarrの流動性指数との相関を測定した結果、充填率がほぼ100%となるCarrの流動性指数は60以上であったことから、「Carr粉末流動性指数60以上」をクライテリアとしました。今回の開発条件には、過去の試験条件と異なる点もことから、製品ペレットの焼結密度との関連性の確認を含め、総合的な開発を実施していきます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>ホット試験の実施にあたっては、これまでの実験室規模のMOX試験や設計検討に基づく知見を踏まえ、当該プロセス及び機器の成立性の見通しを十分に見極めながら、慎重に進める必要がある。プロセスについては高除染のMOXレベルまで、機器についてはUレベルまでの試験により所定の造粒物が得られるかの確証を得、低除染燃料の製造性評価については、その後、MOXでの条件に及ぼすMA、FPの影響を確認することが重要である。</p>	<p>FaCTにおける燃料製造技術開発はプロセス開発と量産機器開発に大別され、いずれもFSフェーズのMOX試験(150g/バッチ)の成果と設計検討からの見通しをベースとして今後の開発を進める計画です。</p> <p>このうちプロセス開発については、今後1kg/バッチのMOX試験に進む計画です。本MOX試験は、これまでに個々の技術としての原理的な成立性を確認したPu富化度調整、造粒、ダイ潤滑成型、MA添加といった要素技術を統合し、簡素化プロセスとして完成させた形で工学規模での成立性を見通すことを目的とし、実際の試験期間を勘案し2010年までにはMOXのみを用いた試験・評価を行ないます。実燃料におけるMA、FP量は微量であり、造粒は物理的操作であるため、プロセス上のMA、FPの影響は軽微であると予想されます。このため、本MOX試験に先立ち工学規模でのウラン+模擬物質の試験を経る必要性は低いと考えています。ただし、MOXのみを用いた試験だけで工学規模ホット試験にステップアップするものではなく、本MOX試験の延長として2010年以降にMA+模擬FPの添加試験を実施してMA、FPの影響を確認し、その上で工学規模ホット試験前の確証に繋げたいと考えます。</p> <p>量産性を見通しについては機器開発が中心となるためMOXを用いることは必須ではなく、コールドまたはウラン試験の結果から得られるものと考えています。造粒工程は機械的プロセスであり比重など構成物質の物理的な影響は受けると考えられますが、化学反応を伴わないという特徴から、組成の影響は受けにくいと考えています。したがって、量産機器開発では、投資規模の小さいコールド物質、ウランを用いて装置の性能を見極め、2010年以降の実用機器開発における課題抽出に特化することが合理的であると考えます。</p>
<p><b>ダイ潤滑成型技術の開発</b>                  ダイ潤滑成型技術の開発に関し「成型体の品質などからダイ潤滑成型プロセスの工学規模成立性見通しに関する技術根拠を提示できること」をクライテリアとしている。成型体の品質は勿論、焼結体の品質もクライテリアとすべきと思われる。(「研究開発の手段やアプローチの妥当性」の視点)</p>	<p>硝酸溶液からペレット製造までの工程において、粉末調整工程、ダイ潤滑成型工程及び焼結・O/M調整の各工程に要素技術が異なる課題があるため、それぞれの課題とクライテリアを設定しています。プロセス条件の本質的な良否は、製品ペレットの良し悪しに反映されますので、ご指摘のとおり、途中段階でのクライテリアに数値を設定することは、技術的にあまり大きな意味を持たないかもしれません。実際には、焼結まで行なって、割れ、欠けがなく、良好な焼結密度を有するペレットであることを調べる試験を実施します。ダイ潤滑成型試験においても何らかの基準を設ける必要があると考えたことから、このようなクライテリアを設定しています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>焼結・O/M調整技術の開発</b>	
<p>課題、は課題の成否により影響されるプロセスである。このため、に示した流れで作成した造粒物を使ってこの、の成立性を確認する必要がある。</p>	<p>の製品顆粒の性状が規定されているので、とを独立して実施することも可能です。総合的な相関を確認するために、ご指摘のとおり最終的にの技術を一貫させたペレット製造試験による確認が必要であると考えています。</p>
<p>セル内雰囲気は「再酸化が懸念される工程を局所的に不活性雰囲気」とし、それ以外は空気としている。空気は酸素及び湿分の供給源となり得るものであり、空気存在がMOX粉末の焼結性に微妙な影響を及ぼすことにも留意すべきと思われる。</p>	<p>FSフェーズ設計研究で実施したプラント概念は、複数工程の機器設備が大型セル内に同時に設置される構成であること、また、除熱のため比較的大きなセル内換気が必要と目されることから、経済性へのインパクトに配慮し、基本的に空気雰囲気とし、必要があれば、局所的に不活性雰囲気化するものとした。空気雰囲気のMOX粉末及びペレットの影響については、まだ明確でない部分があることから、今後のR&amp;D成果を踏まえ十分な対応を図っていく所存です。</p>
<b>燃料基礎物性研究</b>	
<p>TRU燃料については、基礎的なデータの収集に努力が期待される。</p>	<p>現在までの実績を参考3に示します。MA元素のうちAm及びNp、FP(模擬)については燃料組成をカバーしたデータが取れつつあります。MAのうちCmについては、中性子放出及び高発熱核種を含むため取扱い上の困難が伴いますが、5%MAの場合でもCmの含有率は0.3%程度と見込んでおり、燃料物性に大きなインパクトはないと考えています。いずれにしても、照射試験の許認可や燃料製造試験には物性データが不可欠であるため、今後のデータ拡充に努めるとともに、現状で取扱い難しいCmについては計算科学によるデータ補完を目指していく計画です。</p>
<p>説明では5%MA+0.7%FP程度はマクロに見たときに悪影響を生じなければ十分と記載されているが、各元素の酸素ポテンシャルによる安定度が異なり、また温度勾配下での元素の移動も考えられる。これについては、着実に物性データを取得していくことが望まれる。</p>	<p>現在までMA(Np,Am)及び模擬FPを用い対象となる低除染TRU燃料を物性データを整備してきたところですが、今後もデータの拡充に努力し、計算科学によるデータ補完も実施していく計画です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>セル内遠隔設備開発</b>	
<p>モジュール式燃料製造技術については、プルトニウム燃料製造の長年の実績と経験に基づいた設計対応を強化することが期待される。</p>	<p>昨年10月より開始したMEXT公募「セル内遠隔設備の開発」で、セル内モジュール化設備の代表例としてペレット成型設備モジュールの開発を進めているが、実施体制が機構のプルトニウム燃料開発センターの技術をベースとし開発体制もプルトニウム燃料開発センターのメンバーが実施している。また、昨年11月より、昨年11月の次世代部門の組織改変に合わせ、Puセンターの燃料技術部長が燃料製造システムユニット長を兼務するとともに、Puセンターに次世代燃料技術検討W/Gを設置し、Pu-3の現状技術、知見をFaCTに直接的に反映できる体制にしています。</p>
<p>低除染であることから、設備の「遠隔保守・補修」を課題としているが、これに加えて、日常的に実施する、設備の「点検・調整」も課題の一つとして明確に掲げて開発を進める必要があると思われる。（「計画の妥当性」の視点）</p>	<p>基本的に、モジュール交換で全ての保守補修作業を済ませることは考えていません。ご指摘の通り、日常的に実施する必要がある「点検・保守」も総合的な設備開発の中で実施していきます。しかしながら、モジュール化の概念は再処理設備等で導入されている概念ですが、燃料製造については、殆ど新たな課題として課せられたものであることから、取り組むべき順番として、まずは、モジュール化の設備開発が重要と考えております。このため、2010年の革新技術の採否の判断として掲げる基準として、モジュール化設備の見通しに絞込みをしたものです。</p>
<b>ODS被覆管の量産技術開発について</b>	
<p>照射実績、量産体制などの観点からまだ採否の判断は早期と考える。特に、恒常的に経済性のある量産法、溶接、高い歩留まり率などの点からも実用化技術としての見通しは今の段階では得られていないと考える。これまでも20年近く開発を継続していたと報告会で報告されたが、現状ではまだ工業規模での生産が見通せない課題があるように感じる。別の開発方法、当面はもっと蓄積、実績ある材料で行くことも考えたほうがよいのではないか。</p>	<p>被覆管の量産技術開発については、基本的な製造プロセスは確立されておりますので、今後の量産化に向けた課題は殆どが工学的な規模拡大に関する課題と品質管理と考えています。2010年頃までには量産技術の見通しを得るべく研究開発を進めることとしています。加圧抵抗溶接についても基本的なプロセス成立性は確認しており、今後はセル内遠隔設備の開発に向けて工学的な開発努力をしていくことで実現できるものと考えています。</p>
<p>ODS自体は魅力的な材料と感ずるので、仏国も興味を持っているのなら両者の共同開発課題として提案し共同で実施することも有効であると考えます。</p>	<p>現在、仏国などとODS被覆管燃料ピンの実証照射試験を共同で進める議論を開始したところです。できるだけ早期に計画案を具体化、合意して、国際協力による効率的な開発を進めていきたいと思っております。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p style="text-align: center;"><b>TRU燃料取扱い技術</b></p>	
<p>燃料製造においてMAを混入させたペレットを量産でつくるには遠隔技術は不可欠であるが最もハードルが高い技術開発の一つである。すぐモックアップとか工学装置開発へ行く前に、セル内機器を忠実に再現した3次元CADのようなバーチャルシミュレーションを使い、機器の設計、機器間の取り合いなどを実施することがより効率的、実質的ではないか。</p>	<p>バーチャルシミュレーションは、遠隔設備機器開発のステップとして、例えば狭隘空間でのハンドリング設備の取り回し手順の確認や部品の相互干渉の確認には有効な手段であると思います。しかしながら、燃料製造設備は精密機械ものが多いため、遠隔保守するためにどう分割できるかのみならず、モジュール組立時の精度確保、機能確保がポイントになり、そのためにはある程度の現物機構を製作・改造する試行錯誤的な開発が必要と考えております。設計段階での十分な思考シミュレーションを実施し、効率的な開発ステップに努めます。</p>
<p>改良を重ねてよりシンプルで取り扱いやすい装置の設計を行ってハードに移行するという開発方法も考慮されたい。</p>	
<p style="text-align: center;"><b>2. 期待される成果</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>全体に係る意見</b></p>	
<p>試験段階における装置の規模の最適化について更に慎重な検討を期待する。この際、確認すべき様々な性能(化学工学的な特性や性能、装置の耐久性、工学的保守性、等)を総合的に判断し、確認段階での規模から実用規模に発展させる上での「規模拡大のロジック」を、保守的な視点を含めて十分に確立しておく事が望まれる。すなわち、小規模から大規模への拡大において思わぬリスクが隠れている危険性や、逆に、小規模試験によって相当の技術確証が可能な技術に過大な開発投資をしないなど、高度な技術判断を行うことが期待される。</p>	<p>試験装置の規模については、限られた予算と時間の中で適切な採否判断ができるデータを取得するとの観点から検討を行っています。基本的に2010年までには、実験室規模のホット試験と工学規模のウラン試験にて判断に必要なデータを取得することを考えています。しかし、工学規模ウラン試験装置では装置内部の状況把握が十分行えるか(うまく作動しない場合の原因究明が容易に行えるか)との懸念があり、一方、遠隔保守(遠隔による主要部分の分割)が行える構造検討を平行して行い、これをウラン試験装置に適用して反応装置としての特性に与える影響を把握するとともに装置の耐久性についても把握することも必要と考えています。</p> <p>各技術の特徴を踏まえ、規模拡大のロジックを検討していきます。</p>
<p>革新課題の中には2010年に採否の判断が必ずしも必要でないもの(例えば、今後専門家も交えた検討が必要であるが、例えばODS被覆管、MA燃料製造、MA抽出)があると思う。2010年に結論を出すものと、すぐ工学試験を進めるのではなくもう少し基礎研究(方法も含めたプロセス開発)を進めるもの、に分けて取り組む必要があると感じる。</p>	<p>基本的には2010年に採否判断を行うとしておりますが、今後とも検討を進め開発への取り組み方について専門の先生方のご意見を頂きたいと考えます。</p>
<p>現在のロードマップの中身をさらに細かく分析し、個々の研究開発項目の段階的目標、達成度を評価できるようにしたらどうか。特に現在検討しているプロセスのそれぞれに開発のブレークスルーポイントがあると思われるが、プロセス上のブレークスルーと併行して、エンジニアリング上のブレークスルーも同時に検討すべきだろう。革新的な技術については特に先行して検討を進め、その採用可能性を早期に確認するようにしたらどうか。</p>	<p>前出のご意見に対する対応として記しておりますが、技術課題を構成する開発項目をブレークダウンし、その各々に対して段階的目標設定や達成度評価ができるようにしたいと考えます。ブレークダウンにおいてはプロセスとエンジニアリング(機器システム)の両方を対象に行います。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>現在のロードマップだけでは、実用化の見通しの判断は難しい。プロセス上、エンジニアリング上のブレークスルーポイントを明らかにし、それらをどの時点でどのように解決していくかということ、なるべく具体的に示す必要がある。またその成果の判断を下す際には、開発に必要な費用および人材の投入が十分であったか、ということも重要な因子になる。</p>	<p>拝承。</p>
<p>革新的技術の採用決定の判断については、上記「研究開発計画」に記載した観点に立って、“判断のクリティカルポイント”をより具体化する必要があるのではないかと。例えば、技術採否のクライテリアを、DFや回収率などの性能目標だけとするのではなく、「装置の保守性や稼働率を保證できる工学設計の実現性」とペアで考えるような姿勢も重要ではないか。即ち、技術判断基準を、コールド試験・ウラン試験・小規模ホット試験・工学規模ホット試験のそれぞれの重み付けの認識に立った上で、化学工学的な特性や性能、装置の耐久性、工学的保守性、等のそれぞれの面から設定することも重要ではないか。</p>	<p>クライテリアを化学プロセス上の性能のみならず、「装置の工学設計実現性」の観点から設定することは重要と考えます。しかしながらこの「実現性」すなわち耐久性や保守性の観点からクライテリアとして具体的な数値を設定すること、それを満足したかの実際的な判断方法等については十分な検討が必要であり、開発（装置設計等）を進めつつ、早急に設定したいと考えます。</p>
<p>革新技術の判断の2010年までには4ヵ年ほどしかなく提案してある課題の達成はかなり高いハードルであると感じる。</p>	<p>(再処理) ご指摘のとおり大変厳しい開発スケジュールであると認識しております。計画を十分検討し、効率的に進めていくよう努めます。</p> <p>(燃料製造) ハードルが高い技術開発課題もありますが、燃料製造技術開発は再処理に比べデータの蓄積が少ないため、2010年のクライテリアは、その後の開発進捗を見込んだ現実的な判断基準としています。ハードルが高いものについては、4年間の開発期間の早い段階に判断し方向の修正、選択等を判断し効率的な開発に努めます。</p>
<p>政策的なFBRの開発計画に沿うためには、たとえ理想像まで達成できなくとも、目標時期までにプラントが実現できなくてはならない。そのためには、開発リスクに対する補完措置が備えられる必要がある。今後計画されている技術判断に際して、万一の場合の代替技術への備え、不具合に遭遇した際の改善路線の戦略、などについても検討しておくことが必要ではないか。</p>	

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>個別課題に係る意見</b>	
<b>晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発</b>	
<p>DFが低い場合には、晶析物を精製することも考えるとしているが、ここでさらにまた溶媒抽出等の分離技術を利用するのではこの技術採用のメリットがほとんどなくなるのではないか。これを行なう場合には現状技術の全量溶解の場合との技術比較、経済性比較を行なう必要がある。</p>	<p>結晶精製については現在、発汗融解現象を用いる精製方法について検討、試験を進めております。晶析で所定のDFが得られない場合には結晶精製工程の採用を検討しますが、この工程の付加による経済的な影響評価等を踏まえ判断したいと考えております。</p>
<p>高速炉燃料再処理としてウランの除染係数は100でよいと考えるが、軽水炉燃料処理の場合にはそれ以上(1000以上)のDFが必要とされる。その達成が困難である場合には、如何に対応するのか。またその対応技術の確証はどのようにして行なうのか。</p>	<p>高速炉燃料再処理技術(晶析)の軽水炉燃料再処理への適用については今後の課題(晶析ウランの高除染化)と考えるが、1つの対応方策としては遠心抽出器を用いる溶媒抽出法の適用があると考えます。</p>
<b>U,Pu,Npを一括回収する高効率抽出システムの開発</b>	
<p>晶析技術が適用できない場合には、この工程にも影響を与えることが考えられる。特に、軽水炉燃料処理の場合にはすべてのウランにPu,Npの混合は受け入れられない、溶媒抽出によってウランを純粋に逆抽出し、その後U-Pu-Npを抽出する技術の開発が必要と考える。</p>	<p>晶析技術が適用できない場合には、抽出工程において、ウランをPu(Np)と共抽出したのち、ウランが適当な濃度で混入するような条件でPu(Np)を逆抽出させる等の技術の適用について検討していく考えです。</p>
<b>脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発</b>	
<p>造粒技術の開発において「Carr粉末流動性指数60以上、ほか」をクライテリアとしている。焼結性を前提に流動性を論ずる必要があるMOX粉末について、係る数値をクライテリアとして設けることは画期的なことである。係る数値がMOX粉末の流動性・焼結性を表すものとして実用化できれば、産業界への貢献が極めて大と考えられる。今後の量産プロジェクトにおいて、焼結密度と関連付けて造粒体についての係る数値を取得することも視野に入れ、開発を進めることを期待する。(「目標実現可能性」、「実用化の見通し」の視点)</p>	<p>現行のマイクロ波加熱脱硝法での混合転換で得られるMOX原料粉末のCarrの流動性指数を測定した結果、20～30となり、流動性は「不良～あまりよくない」と評価されています。そこで、種々の模擬粉末(WO<sub>2</sub>,WO<sub>3</sub>,ZnO,Ba-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等)を用いて金型( 8)への充填性とCarrの流動性指数との相関を測定した結果、充填率がほぼ100%となるCarrの流動性指数は60以上であったことから、「Carr粉末流動性指数60以上」をクライテリアとしました。今回の開発条件には、過去の試験条件と異なる点もことから、製品ペレットの焼結密度との関連性の確認を含め、総合的な開発を実施していきます。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え  
 プロジェクトレビュー「先進湿式法再処理・簡素化ペレット法燃料製造の実用化に向けた技術開発課題について」

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
セル内遠隔設備開発	
<p>モジュール式燃料製造技術については、プルトニウム燃料製造の長年の実績と経験に基づいた設計対応を強化することが期待される。</p>	<p>昨年10月より開始したMEXT公募「セル内遠隔設備の開発」で、セル内モジュール化設備の代表例としてペレット成型設備モジュールの開発を進めているが、実施体制が機構のプルトニウム燃料開発センターの技術をベースとし開発体制もプルトニウム燃料開発センターのメンバーが実施している。また、昨年11月より、昨年11月の次世代部門の組織改変に合わせ、Puセンターの燃料技術部長が燃料製造システムユニット長を兼務するとともに、Puセンターに次世代燃料技術検討W/Gを設置し、Pu-3の現状技術、知見をFaCTに直接的に反映できる体制にしています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>全体に係る意見</b>	
原子力機構内の実施体制は概ね妥当だと思われる。旧サイクル機構の開発体制に加え、旧原研の基礎研究、開発研究の成果の取り入れも進んでいるように見受けられるが、さらに両者の相乗効果を発揮できるよう努めて頂きたい。	拝承。
本研究開発の実施体制は全体として適切であると考え。本実用化研究フェーズ1は実証FBRを見通せる技術を短期間に達成するものであり、研究計画を硬直化させないよう組織、PDCA、人材の面で適切な実施を期待する。	2010年までの研究開発は革新的技術の採否を判断するものであり、以降の研究開発では採用された技術の組合せ、すなわち炉システム、燃料サイクルシステムの具体化を図ることとしており、研究開発のフェーズに即したマネジメントを目指します。
一つの実証されたシステムを開発するという意味で、JAEAとしてそれに要する期間、予算をコミットし、これを目標に毎年PDCAを回し、達成できなかったこと、そのリカバー策を含めて、広く関係者と議論していくことが重要と考える。	五者協議会等を通じて、国家基幹技術としてのFBRサイクルの実用化に向けた関係者間の議論を深めていく所存です。
研究開発管理・推進体制については、国のニーズを踏まえて、開発計画を策定し、それを個々の研究開発計画にブレイクダウンし、モニタリング、評価を行う仕組みとなっており、妥当と判断できる。	拝承。
<b>研究開発の実施体制について</b>	
<b>研究開発組織</b>	
研究開発実施体制について、開発推進本部が研究開発部門と複数のセンター(施設)を統括して行く組織体制となっているが、中心母体の開発部門が「次世代原子力システム」という名称のように、ナトリウム冷却FBR以外のグループも開発の中に含めていることは、国が主、副概念ともNa冷却炉とし、その研究開発を付託され、担う組織として多少疑問がある。5年、10年後の技術評価を経て、研究開発段階から実証実用化段階へ踏み出す計画であるとすれば、多くの難しい要素・システムの開発が想定されていることから与えられたこの研究開発期間は短期間といわざるを得ない。そのためには、母体の開発部門をナトリウム冷却FBR のみに特化して対応することが適切と考える。	ご指摘のとおり国による評価では、実用化戦略調査研究で候補技術に挙げた種々の技術のうち、現在の知見で実用施設として最も実現性が高いナトリウム冷却炉、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造の組合せを主概念とし、この概念を成立させるために必要な革新的な技術について集中的に研究開発を行うべきとしております。一方、主概念、副概念ではない、その他の概念については、「研究開発を行うことにより科学技術として多様な知と革新が期待される」、「原子力分野の裾野を広げる基礎研究として取組む」としています。今後の研究開発においては、副概念やその他の概念の研究開発も開発業務の効率性や成果の共有などの観点から、同一部門で管理・評価していくこととしていますが、研究資金や要員などは主概念の開発に重点的に投入することとしています。

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>研究開発機能</b>                      研究開発の比較的早い段階から、将来実用化された姿をできるだけ具体的にイメージしながらプロジェクトを推進することが望ましい。燃料サイクルシステムについては、技術を選択する際に、プロセス選定の段階からエンジニアリング開発も併行して進めるべきであろう。両者を同時にイメージすることにより、実用化されたときの姿がより鮮明になり、研究開発の後戻りが少なくなるとともに、項目の採否の決断を早めることも可能になる。                      このためには、プロセス開発グループとエンジニアリング開発グループを独立して設置し、互いに開発を進めると同時に、意見交換、相互評価を行い、技術レベルでの判断を重視していくことが好ましい。</p>	<p>ご指摘のとおり、プロセス開発と工学規模機器開発の整合性を図りつつバランスの取れた開発が重要と考えます。</p>
<p><b>機構全体体制</b>                      東海再処理工場、プルトニウム燃料施設の有する実績や経験を活用するため、組織的な仕組みについても検討が必要ではないか。</p>	<p>現在、次世代部門と再処理センター、プルトニウム燃料センターの間で各々、ワーキンググループを設置しております。さらなる協力体制についても検討したいと考えます</p>
<p>工学規模ホット試験(旧RETF)の最適化で、別途小型試験棟における工学試験等を実施し、技術的な見通しを得る対応体制を整えるべきではないかと考えます。</p>	<p>ご指摘の小型工学規模の試験は重要と考えており、工学規模ホット試験施設に小型試験棟を設置することを検討しております。</p>
<p>部門間(特に、核燃料サイクル技術開発部門、基礎工学部門と次世代部門)の人的協力・交流、施設の効率的利用を再度検討して、新たな施設の建設などはできるだけ避け、現有資源での効率的な実施方策を考えていただきたい。</p>	<p>放射性廃棄物の処理・処分との整合性、基礎工学分野との連携や計算科学の活用、更には核燃料サイクル技術開発の経験反映の観点から、FBRサイクル推進本部会議の下に「FBRサイクル連携推進会議」を設け、部門横断的な情報共有と部門間連携の進め方の検討を行っています。                      また、研究開発を進めるにあたっては、可能な限り現有施設の有効活用を図り、新規施設の建設は必要最小限に抑える所存です。</p>
<p>この分野では原子力基礎工学部門にも専門家がおり技術の蓄積もなされていると考え。次世代部門、基礎部門両者の実質的な融合を図って実施することが必要である。</p>	<p>次世代部門を中心に連携推進のための会議体を設置し基本方針の検討を行うとともに、基礎科学部門とは従来から情報交換等による融合を図ってきており、なお一層緊密な連携を深めていく所存です。</p>
<p>転換・燃料製造共、これまでに得られた量産化・自動化に関する開発成果を十分活用できる体制を構築して開発に当たることを期待する。</p>	<p>昨年10月より開始したMEXT公募「セル内遠隔設備の開発」で、代表例としてペレット成型設備モジュールの開発を進めており、機構のプルトニウム燃料技術開発センターによる実施体制としています。また、昨年11月の次世代部門の組織改変に合わせ、プルトニウム燃料技術開発センターの燃料技術部長が次世代燃料製造システムユニット長を兼務するとともに、プルトニウム燃料技術開発センターに次世代燃料技術検討W/Gを設置し、さらに再処理技術開発センターのメンバーを加え、燃料製造及び転換技術について、現状技術・知見をFaCTに直接的に反映できる体制としています。</p>

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>国内体制</b> 本実用化研究開発を機能的に進めるには、部門・拠点のバリエーションを取り払ったアドホックな開発体制で有機的に進める事が最も限られた人的資源の有効な活用法と考えます。さらに、機構のサイクル部門で六ヶ所サイクル施設に国産技術導入を果たし経験のあるメーカー等の体制も視野にエンジニアリング検討会(仮)も発足すべきと考えます。</p>	<p>原子力政策大綱では「中間貯蔵された使用済燃料の処理の方策は、六ヶ所再処理工場の運転実績、高速増殖炉及び再処理にかかる研究開発の進捗状況、核不拡散を巡る国際的な動向等を踏まえて2010年頃から検討を開始する。この検討は基本方針を踏まえ柔軟性にも配慮して進めるものとし、その処理に必要な施設の建設・操業が六ヶ所再処理工場の操業終了に十分に間に合う時期までに結論を得ることとする。」とされています。また、燃料サイクル技術の実用化については、使用済燃料の発生ペース、操業開始時の中間貯蔵燃料の量、施設の規模と供用期間の考え方等に影響され、現時点で実証施設、実用施設の仕様を詳細化するシナリオが必ずしも明確ではありません。</p>
<p>本研究開発の成果は、JAEAに技術集約されると共に、プラントメーカーに深く根付く必要がある。そのためには、国内でのメーカーの関与の仕方についてオールジャパンでの検討が必要である。具体的には、FBR再処理エンジニアリングを中核的なメーカーに集約するような体制のあり方について検討が必要ではないか。</p>	<p>このため、「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」が設置され、実証ステップのあり方、軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行に関する課題、国際協力のあり方などが検討されています。原子力機構は、このような議論も踏まえ、当面は2010年頃からの第二再処理の議論に資する科学的根拠の蓄積を図っていきます。また、2010年頃の議論の中で、五者が各々の開発リスクを考慮しながら、全体として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であると考えます。</p>
<p>再処理・MOX加工施設は、複数建設されるFBRと異なり、数10年に1度の建設となることから、その点を踏まえた人材育成・知的基盤の整備が重要となる。具体的には、開発成果をプラント建設につなげる作業が数10年に1回しか行われなことから、この断面においてエンジニアリングを行う会社なり組織を予め定め、開発成果を開発の初期段階から移転し、技術の継承を図ることが重要と考える。</p>	<p>燃料サイクルの開発に関しては、少なくとも2015年までは、設計、要素技術開発ともに、原子力機構が担うべきと考えています。したがって、原子力機構での研究開発を、産業界のプラント技術の担い手を養成する場と捉え、産業界からの積極的な人員派遣を要請していくこととします。特に、種々のホット施設での生の体験は、施設の設計・建設に携わる産業界の人材にとっても、貴重な財産になると考えられます。</p> <p>現状、炉システム、燃料サイクルシステムに携わる研究者・技術者の高齢化が進んでおり、その人達が中核となり、若手研究者・技術者と協働するプロジェクト運営としていくことにより、技術継承の円滑な推進を図っていきます。また、高い技術力を有するOBの活用も検討していきます。</p> <p>将来の研究者・技術者の芽を育む場ともいべき大学との関係については、大学で高速増殖炉サイクルに係る研究が盛んに行われることにより人材が育成されることが最も重要であり、原子力機構からニーズを発信し、大学で関連研究が進められるよう促していきます。また、大学への講師の派遣、大学からの学生の受け入れを通じて、相互理解を深め、大学で関連研究が実施されることを促進することとします。</p>
<p>研究開発成果の実用化を促進するため、開発の初期の段階から、エンジニアリング分野の開発を進めることが望ましい。メーカーの開発分担を明確にし、その有効活用を図ることにより、実用化に向けた人材の厚みを増すことも有意義であろう。</p>	

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
研究開発の資源(予算・要員・成果)について	
投資対象評価	
<p>事業費の配分に配慮しつつ、それぞれの分野に開発投資していくことが重要と考える。例えば、マイナーアクチニドの回収技術については、処分コストの低減が見込まれる一方、燃料加工、発電所でのコストアップが想定され、その寄与を把握しておくことにより、他の多くの技術開発課題との関係で、効率的な技術開発への投資が可能になる。</p>	<p>試験研究と平行して設計検討も実施します。試験研究への投資による効果、すなわち実用施設の経済性や安全性等の効果を適宜確認し、投資の価値・意義等を見つつ、全体の資源配分を検討してまいります。</p>
要員配置	
<p>研究開発及び関連する施設運転等の要員については、2010年までの要員見積りはあるが、今後の開発計画と経費と人材育成との関連(時系列的配置)が見えにくい。外部資金を含めた経営戦略にも関係しているので明確にできにくいのは理解するものの、現員の専門・年齢構成や二法人統合の融合効果等も考慮して選択と集中の考え方で他の研究開発部門・拠点からの人員の配置換えも含めて立案すべきではないか。その際、人員等の確保(経費面も含めて)が難しい場合はすべての国策方針の研究開発を日本原子力研究開発機構が引き受ける必要もなく、機構で実施する課題の優先順位を明確にして他機関・大学・企業等へ開発研究課題を分散させることも考える必要はないか。</p>	<p>原子力機構が行った高速増殖炉サイクル実用化研究開発に係る2010年までの要員見積り(施設運転要員を含む)については当面の研究開発に必要な要員数を試算したものです。当面の研究開発においては、現状の職員の専門性、年齢等の影響は小さいものと考えております。しかし、当該研究開発において、将来、必要要員の大幅な増加が見込まれるため、人材育成や実用化に向けた技術移転などの点も考慮し、指摘の点についても長期的に検討する必要があると考えております。このため、外部からの研究員・技術員の任期付任用等の人材確保、技術継承の体制づくりの検討を、今後の経営課題として挙げています。</p> <p>2010年までは革新的技術の採否を判断する要素試験を主としており、2010年以降の技術の具体化の段階においては他機関・大学・企業等との連携をより強くし、技術の実用化を目指していく所存です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>人材育成・知的基盤整備</b></p> <p>わが国唯一の原子力専門の研究開発機関である原子力機構が研究開発の中心になるのは当然であるが、常に実用化を踏まえたいビジョンの中で、オールジャパンとしての技術の確立と人材養成を目指すことが重要であろう。</p> <p>プロジェクト全体が長期にわたることから、人材養成は常に重要な問題である。また研究開発成果は、現在の従事者間での成果の相互活用、次世代への経験の継承など、その効率的活用が極めて重要であることから、知的基盤整備には最初から独立した専門部署を設けることが好ましい。</p>	<p>高速増殖炉サイクルの実用化に向けては、組織や体制だけでなく、人材育成、技術継承も重要な課題であると認識しています。</p> <p>原子炉の開発に関しては、設立準備中のFBR開発会社が、設計・評価を繰り返すことにより、担い手の育成が進むと考えています。また、設計業務を行うFBR開発会社と、設計の性能目標の提示・設計評価、要素技術開発、「もんじゅ」での知見蓄積を行う原子力機構との間で相互に人的交流を積極的に行うことにより、原子力機構と産業界が相補的に知識管理・人材維持を行えるものと考えています。</p> <p>燃料サイクルの開発に関しては、少なくとも2015年までは、設計、要素技術開発ともに、原子力機構が担うべきと考えています。したがって、原子力機構での研究開発を、産業界のプラント技術の担い手を養成する場と捉え、産業界からの積極的な人員派遣を要請していくこととします。特に、種々のホット施設での生の体験は、施設の設計・建設に携わる産業界の人材にとっても、貴重な財産になると考えられます。</p> <p>現状、炉システム、燃料サイクルシステムに携わる研究者・技術者の高齢化が進んでおり、その人達が中核となり、若手研究者・技術者と協働するプロジェクト運営としていくことにより、技術継承の円滑な推進を図っていきます。また、高い技術力を有するOBの活用も検討していきます。</p> <p>将来の研究者・技術者の芽を育む場ともいべき大学との関係については、大学で高速増殖炉サイクルに係る研究が盛んに行われることにより人材が育成されることが最も重要であり、原子力機構からニーズを発信し、大学で関連研究が進められるよう促していきます。また、大学への講師の派遣、大学からの学生の受け入れを通じて、相互理解を深め、大学で関連研究が実施されることを促進することとします。</p>
<p>人材育成・知的基盤整備については、研究開発WBSの研究項目と組織のグループに属する各組織員の有機的な対応が重要であり、WBSの達成度と人的評価がともに無理なく行われてFBRの人材育成と知識・技術データベース構築がなされることを期待する。</p>	<p>研究開発WBSについては、研究開発課題レベルでの項目分けを更に個別研究項目に細分化し、組織のグループ、研究者・技術者により実施することとしています。その際、研究項目によっては複数の課題を横断的に検討するものもあり、試験研究と設計、試験研究間の情報共有を図りつつ、各々の研究者・技術者のスキルアップを図っています。長期的な視点では、要員確保等を経営課題として挙げており、FBRサイクル技術に関する人材育成と知識・技術の継承のための努力を今後とも継続していきます。</p>

「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>インセンティブづくり</b>	
<p>平成19年度からのFaCT計画への大幅な開発費の増加により、JAEA内だけでは実施が難しく外部への委託業務が増え、それへの対応にまた時間が消費される、という循環に陥ることが懸念されるが、中枢なところはJAEA(プロパー職員)で工学技術開発やプロセス開発を所有の施設を使って開発していく姿勢、体制を強化して欲しい。</p>	<p>国の評価において、研究開発体制については「高速増殖炉サイクル技術の研究開発にあたっては、中核となる原子力機構とともに、基礎的な研究や実証・実用化に向けた研究開発などの各分野において、大学、研究開発機関、電気事業者、製造事業者における取り組みも強く期待する。」とされています。</p> <p>原子力機構が中心となり現用の既存施設(例えば燃料サイクルに関する開発においては、高レベル放射性物質研究施設、実規模機器試験施設等)を活用し技術の根幹となる部分の確証・実証を行っていくとともに、大学、研究開発機関、電気事業者、製造事業者における取り組みを委託研究、研究協力等といった形で研究開発に反映し、FBRサイクル技術の実用化を目指していく考えです。研究開発を進めるにあたっては、原子力機構の体制強化のみならず、将来の実用化を見据えて民間企業の技術力向上・維持にも配慮していく考えです。</p>
<p>今後の長い研究開発期間を考えると、JAEA内にプロパーの技術専門家(世界的に通用する)を数多く育てることが必要である。管理職の育成と同時に専門家の育成、そのためには専門家のレベルに応じて管理職と同等、あるいはそれ以上の待遇、処遇をしていき、プロパー職員に専門家となることの誇り、インセンティブの構築が今以上に望まれる。これに関連して管理職よりも専門的な研究者、技術者が多くなるような体制に持って欲しい。</p>	<p>原子力技術、とりわけ先進的な技術については実用化までに長期間を要するとの認識に立ち、インセンティブづくりを含めた専門家の育成は重要であると考えております。待遇、処遇の面だけでなく、専門性の向上を含む職員個々人のスキルアップを重視し、今後とも人材育成と組織の改善を図っていく考えです。</p>
<b>経営理解</b>	
<p>PDCAの実施は現場の研究者に大変な手間と時間をかけることであり、ややもすると形骸化する恐れがある。PDCAを有効に回転させるためには、取り組む研究者一人一人が、その意義を十分に理解することが重要である。</p>	<p>原子力機構では、部課室・グループの職制レベルでの研究開発活動の評価・管理のほか、経営管理サイクルの一環としての役員、部門長による現場のヒアリングを通じて、業務実績の確認とともに経営管理サイクルの仕組みの理解を図っています。</p>
<p>組織目標が与えられ、それを達成するための開発計画を粛々と進めることも大事ではあるが、それだけでは人材養成・知的基盤整備の観点からは不十分である。</p>	<p>また人材養成や知的基盤整備の観点からは、ノウハウや経験の伝承の観点からのベテランと若手の協働、OBの有効活用、研究失敗例や課題克服に伴う苦労例の記録などの工夫も必要と考えています。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p><b>国際標準化</b>                      アメリカも含めて多くの国々との国際協力体制が確實且つ順調に進んでいると評価できる。我が国が誇れる技術開発(成果)であり、安易に無償等の形で情報開示しないように(対価を十分求めて)実施して欲しい。その際、我が国の技術体系・考え方を国際的標準化概念の構築へと結びつけ国際基準(規格)作りに向けた努力に重点を置くことも大切である。</p>	<p>国際協力については、国内における資源の効果的で効率的な活用や世界の公共財的な技術として国際的に貢献するとの観点から、積極的に推進すべきですが、その際には知的所有権の保護や核不拡散などへの配慮も必要です。このため、以下の基本方針に則って推進することとしています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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を目指すこと</li> <li>我が国の技術が世界標準となることを目指すこと</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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</li> <li>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)</li> <li>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</li> </ul>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
研究開発活動の評価・管理について	
研究開発推進	
<p>学問的研究とは異なり、目標と時限が明確に決められている開発であるため、PDCAサイクルはなじみやすい管理手法である。PDCAサイクルをまわしていくための体制は妥当と思われる。</p>	<p>拝承。</p>
<p>達成度評価においては、各研究開発項目につき、可能な限りの定量的な目標を定め、その実現に向けて、定期的な達成度評価を実施してきており、妥当なPDCAサイクルを構築・運用していると思われる。</p>	<p>拝承。</p>
<p>計画の進捗度を測定できる指標を整備しモニタリングする体制を確保すること 進捗度は、成果系のみならず、成果を担保できるような過程系の指標、すなわち、制度system体制actor運営managementに係る指標を(定性的状態のランク/進化度指標を含め)整備して実績を測定すること、したがって、外部環境の激変に影響されがちな機構構成員のインセンティブ動態などを見守りつつ、指標の異常を早期に発見して対応する体制をもつこと(成果系の進捗が安定的であれば年度の評価負荷は軽減されてよいはず)が不可欠といえる。この試行からの知見は我が国の大型プロジェクトのマネジメント革新を先導する期待もある</p>	
<p>計画の見直しの契機を埋め込むこと 通常の途上評価は計画の枠組み(目的)の中でのみ評価(効率・効果)を行うことでよいが、対象システムの性格上、計画が前提とする機構内外の環境・条件から逸脱するシナリオや変化等を想定し、先行的に見直しの検討や提起が行える仕組みをもつことは必要と思われる 計画課題内容には、達成難易や組織関係連携の難易、科学的解明への立ち返りの必要度など、様々な相異があるので、適宜、全体としての評価と再調整を行う仕組みを機能させることが必要</p>	<p>拝承。 本計画については、2010年以前の中間的な時期に2010年の成果の達成見通しを確認し、必要に応じて以降の計画を見直すことで対応可能と考えます。</p>
<p>目標の設定水準についても、研究開発計画の全体像がWBSで明確化されており、各研究者自身が開発目標の全体における位置づけを確認できるため、自己の取り組みを相対化でき、競争的なモチベーションを働かすことができる仕組みとなっていると評価できる。</p>	<p>拝承。 個別の研究開発は、WBSという共通のプラットフォーム上で評価・推進され、評価等の結果はFBRサイクル推進本部会議をはじめとした様々なレベルで情報共有しています。</p>
<p>評価疲労(感)を軽減すること 独法評価を含め目的・階層・頻度・視点・スコープの異なる評価や日常的なマネジメント情報システムを見通し、調査・分析情報のプラットフォームを整えて、評価関連作業の合理化を図り相互利用するフレームをもつこと 評価結果のフィードバックを関係者に明示的に行い、徒労感が生じないようにすること 機構内評価専門人材の育成確保と機能発揮、機関運営視点の拡大等を持続的に支援すること</p>	

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>達成管理については、進捗管理について定期的報告、評価等でモニタリングされているが、達成が遅れている場合に、いかなる手立てを講じることができるのかが、やや不明瞭である。技術開発の困難度等に応じて、開発体制の充実、予め別オプションを所持しておく等の補完手段等を講じておく必要がないか検討する余地がある。</p>	<p>今回のマネージメントレビューは、当面の高速増殖炉サイクル実用化研究開発を進めるうえで、本研究のマネージメントが適切といえるか、また、こういう点に留意・改善しつつ進めた方が効率的・効果的に研究開発が行えるなどの貴重なご意見を頂き、計画・体制に反映し、より良い成果を出してまいりたいと考えております。</p> <p>2010年までの現状の計画に対し、その中間段階において成果の達成見通しを評価し、必要に応じて体制の見直しの必要性等を検討していきます。また、開発対象の技術が革新的であり開発リスクを伴うことから、代替技術の準備と代替による得失評価を併せて実施し、2010年やその後のチェックアンドレビューで開発全体の更なる検討を予定しています。</p>
<p>目標設定および評価方法については、研究者が自らの研究開発目標と組織目標との整合性のチェックを行いつつ、より高い目標に達することがより高い評価を受ける仕組みも整備することで、研究レベルの自律的な底上げを図っていく仕組みも検討すべきである。</p>	<p>研究者自らの目標管理については、部課室・グループの職制レベルでの研究開発活動の評価・管理のほか、経営管理サイクルの一環としての役員、部門長による現場のヒアリングを通じて、全体のレベルアップにつながるものと考えます。</p>
<p>施策へのフィードバック/フィードフォワードを行う風土や能力を育成することリアルな実体情報をもつ専門機関として、評価の観点に組み入れられていることに敬意を表す。機能するためには、現場が施策の観点や前提を理解していること、競合・補完技術等に関わる技術・経済情報等の調査分析評価も行っていることなどの体制が必要である</p>	<p>個別の研究開発は、WBSという共通のプラットフォーム上で評価・推進され、情報共有により、現場が施策の観点や前提を理解する素地は出来ています。</p> <p>また、競合・補完技術等に関わる技術については、研究開発の中あるいは様々な分野の学術会議等への出席により把握しています。さらに、競合技術に係る経済情報等については、専門部署(戦略調査室)により分析・評価され、機構内全体でその情報を共有しています。</p>
<p><b>自己評価</b></p>	
<p>本委員会である「研究開発・評価委員会」は「外部」評価委員会として十分機能させる体制・運営・規模である。しかしながら研究開発部門(長)が実施「計画(Plan)」を立て、研究開発を「遂行(Do)」し、理事長に報告し「評価(Check)」を受けることとなっているが、その結果の達成度評価である「自己評価報告(書)」が提示(公開)されていない。また自己評価報告書を利用して「外部」評価を実施することも必要と考える。つまり自己評価体制および自己評価における各評価項目に対する評価(達成度、今後の課題等)の成果(報告)が見えにくい。現在準備中ならば、今後の外部評価には間に合わせて欲しい。</p>	<p>原子力機構としての初年度である平成17年度の自己評価結果については、業務実績報告書の添付として公開しています。</p> <p>独立行政法人日本原子力研究開発機構、「平成17年度業務実績報告書」 (<a href="http://www.jaea.go.jp/01/1_6.shtml">http://www.jaea.go.jp/01/1_6.shtml</a> 参照)</p> <p>また、文科省独法評価委員会の評価結果 (<a href="http://www.mext.go.jp/a_menu/hyouka/d_kekka/06090106.htm">http://www.mext.go.jp/a_menu/hyouka/d_kekka/06090106.htm</a>)での留意事項については、平成18年度に対応可能なものは反映させながら、業務を遂行しています。なお、その実施状況については、平成18年度業務実績報告書にてご報告する予定です。</p>
<p>自己評価体制を確立して評価委員会と連携すること すべての評価の情動的基盤は、支援(自己改革)的な自己内部評価であるが当事者による調査分析情報である。本評価委員会は、それを高い見地から補完し、また別の視点等を加えて検討する機能がポイントであるので、今後の委員会とは出来るだけ自己内部評価の開示と現場との交流があると実効的となる</p>	

「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>事業全体</b>	
<p>二法人統合から日が浅く、研究開発の管理・推進面での体制は整備中(計画)または始まったばかりであり、研究推進に対してうまく機能するのか見えづらい。しかし、現時点で動ける最大限の努力は開始しているものと考えられる。研究開発部門のマネジメントレビューは、機構全体のマネジメント体制とも関係しており、要望を出すのは難しい。プロジェクトレビューと異なりマネジメントレビューはもう一度、全体のマネジメント体制を明確・確立した時点で実施した方が良いとも考えている。</p>	<p>高速増殖炉サイクル実用化研究開発のマネジメントレビューは、「研究開発の当事者として適正かつ厳正に自らの研究開発を評価することが実用であり、国内外の関係者によるピアレビューや外部評価を効果的に活用して判断の妥当性を確保していくことが必要である」との国の評価に基づくものです。当該研究開発は原子力機構の事業の一部であり、経営により原子力機構の事業全体のバランスを図りつつ、その境界条件のもとで目標を達成するための研究開発計画を策定しています。</p>
<p>多様な背反的なマネジメント文化のバランスを確保すること 原子力機構設立の基本理念でもある「研究資源の有機的連携や融合による相乗効果の発揮」など機構の総合力を発揮するようなミッション組織としての統合マネジメント体制をとる一方で、確実性/挑戦性、開放性/秘匿性、競争/協力等、必要な多様性や相反傾向のある価値軸を維持できるように、対立を明示的にした上で解決する体制が効果的ではないか。その意味で、組織横断的な責任体制や機構内の課題・組織のポートフォリオ的なマネジメント、人材評価軸の多様性の検討も必要となるかもしれない</p>	<p>研究開発推進・管理体制については、現時点の体制に固守することなく今後もチェック&amp;レビューを行い、よりよいものに改善していく方針です。</p>
<b>外部有識者とのコミュニケーション</b>	
<p>研究開発のPDCAサイクルの機能が最高のレベル、効率で循環するためには、特にPlanとDo及びその間で、国の最高の知恵(機構、大学、他の研究機関、メーカー)をいかに取りこめられるかにかかっていると考える。従来の検討会、委員会方式が意見交換、助言の場として挙げられていますが、もっと機構の研究開発の組織に柔軟にかつ強力的にサポートできる組織があっても良いのではと考える。</p>	<p>高速増殖炉サイクル実用化研究開発においては、要員確保・人材育成の観点を含め外部からの研究員・技術員の任期付任用等の人材確保、広く民間事業者、産業界の人材拡充や技術継承の体制づくりの検討を、今後の経営課題として挙げています。この課題の検討の中で、ご指摘の点も含んでおります。</p> <p>研究開発課題については、2010年までは革新的技術の採否を判断する要素試験を主としており、2010年以降の技術の具体化の段階において他機関・大学・企業等との連携を図りつつ、技術の実用化を目指していく所存です。</p>

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>年1,2回の外部識者による評価だけでなく、実質的に頻度高く外部識者・関係者との交流が必要と感じる。また、外部識者・関係者による技術検討会には、常ではないが海外の専門家も交えて行なうことが有効であると考え。</p>	<p>第2回委員会資料2-5-2添付OHPのp13に示しましたように、研究開発全体に係る外部評価は「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」にて実施させていただいております。より具体的な研究開発の内容については、個別分野に関する技術検討会、専門委員会を設置し、国内研究開発機関、大学等の有識者の方々との意見交換を実施させていただき、分野内の研究テーマ、実験、設計等の進捗に対し助言という形でご意見を頂いております。</p> <p>また、海外専門家を交えた交流につきましては、国際協力や国際会議の場を通じて海外専門家の意見を伺うとともに、評価については別途設置いたします国際レビュー委員会により付加的助言を頂くこととしています。</p>
<p>次世代部門並びにその担当するFBRサイクル実用化研究はJAEAの最大の規模、ミッションであり、今後大きな資源の投入が必要であると同時に我が国の原子力技術力を世界に発信していく時でもある。そのためには、関係者が認識を共有し、JAEA内だけでなく我が国の総力を結集して推進していくことが必要である。その達成に向けて情報発信だけでなく、国内の関係機関(メーカー、他の研究機関、電力、大学など)との協力・交流をより密接に行なっていくことがきわめて重要である。</p>	
<p>機構全体として行う対外コミュニケーションや機構内外の人材育成等の機能と連携を図ること</p> <p>機構が我が国唯一の原子力の総合的研究開発機関となった現在、競争的ないし自己点検的環境を内在させた自律的学習的マネジメントの模索的形成がより必要と思われる。同様に、民間企業等との連携体制等も慣性的にならないように、チェックリストや機能進化指標を開発・運用するなどの検討も視野に入れるべき</p>	
<p style="background-color: #e0ffe0;">国策への貢献、開発戦略性等についての意見</p>	
<p style="background-color: #ffffe0;">国策への貢献</p>	
<p>国の方針や社会のニーズを反映させた行政施策へ貢献できる研究開発が計画的に進められている。</p>	<p>国は2015年頃に実用化までの研究開発の進め方を検討することとしています。原子力機構としては、原子力委員会決定「高速増殖炉サイクル技術の今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針」(平成18年12月26日)に基づいて、FBRサイクル実用化研究開発を推進し、高速増殖炉サイクルの実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を提示し、実用化までの研究開発の進め方の検討に反映していく予定です。ご指摘の点については当該基本方針に明記されており、計画的かつ効率的に研究開発を進めていく所存です。</p>
<p>国のニーズを反映したWBSとなっている。</p>	

「高速増殖リサイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>戦略的運営</b>	
<p>政策的なFBRの開発計画に沿うためには、たとえ理想像まで達成できなくとも、目標時期までにプラントが実現できなくてはならない。そのためには、開発リスクに対する補完措置が備えられる必要がある。今後計画されている技術判断に際して、万一の場合の代替技術への備え、不具合に遭遇した際の改善路線の戦略、などについても検討しておくことが必要ではないか。</p>	<p>主概念には革新的な技術が含まれていることから開発リスクが無視できません。このため、既存技術に基づく代替技術を準備しています。FBRサイクル実用化研究開発では、革新技術の開発における柔軟性の確保や研究資源の効率的な活用の観点から、途中段階で定期的なC&amp;Rを行いその後の計画を見直すこととしています。特に2010年の時点では革新的な技術の採否を判断し、必要な場合には代替技術の研究開発を行うこととしており、2015年の目標、すなわち実用施設、実証施設の概念を構築するという目標達成に向け努力して行く考えです。</p>
<p>国の中期計画に対応して研究開発体制と組織が立てられ、ロードマップによる研究開発が進められるので、判断クライテリアを満たす技術成果が2015年の時点でどこまで達成されているかが重要であるが、代替技術の適用を余儀なくされる場合であっても、途中工程での的確な判断によって研究開発を加速させ、実証FBRを提示し設計に入れるようになることを期待する。</p>	
<p>2010年を待たずに成果しだいで、適宜C&amp;Rを行って推進していくことが必要である。</p>	<p>FBRサイクル実用化研究開発を段階的に実施していく際、大きな節目としてロードマップの再検討のタイミング(2010年、2015年)でのチェックアンドレビューがありますが、研究開発・評価委員会による外部評価は、第1回委員会資料1-3のp5に示しますように「5年以上の研究開発期間を有する、または期間の定めがない課題に対し、原則3年程度を目安に実施」としています。</p> <p>今回評価対象とした今後5年間の研究開発計画については、第1回委員会資料1-5に示しますように、その対象期間の間である平成21年度(2009年度)に進捗の中間評価を予定しています。この中で2010年の成果を見通し、先行して判断できるものがあれば、計画の見直しを検討する考えです。また、機構内においても研究計画・成果について毎年PDCAを実施しており、研究開発の進捗状況を踏まえて必要に応じ研究計画の見直しなどを実施していく所存です。</p>

「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<b>国や事業者に対する取組み</b>	
<p>原子力委員会の「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究フェーズ 最終報告書に関する原子力委員会の対応について」(平成18年5月)で示された意見に対して、どのように取り組むか、取組みに当たって内部マネジメントに改めるべき点があるかどうかを、国、電力等の関係者に示し、理解が得られるよう努めていくことが重要ではないかと思えます。</p>	<p>研究開発実施主体としての原子力機構の経営管理サイクルを実施、改善するとともに、五者協議会等を通じて、国家基幹技術としてのFBRサイクルの実用化に向けた関係者間の議論を深めていく所存です。</p>
<p>再処理分野では、高速増殖炉サイクルと、民間第二再処理向け開発との調和を取ることが望ましい。</p>	
<p>FBRサイクルについては、開発目標として軽水炉並みの発電コストの実現を目指すこととされており、したがって、そのサイクルの一部を占めるFBR再処理についても、目標とする事業コスト、建設コストの設定が必要とされる。 六ヶ所再処理工場のコスト構造については、原子力部会にて検討されている。</p> <p>FBR再処理についても、このようなコスト構造を想定し、それを更に建屋や工程ごとに細分化し、コストの実現可能性の観点からそれぞれの技術開発課題を評価することが必要と考える。このようなアプローチを取ることにより、技術開発課題の重点化や開発の進捗を管理することができるとともに、将来のユーザーが事業化の判断をする際に必須の情報を開発段階から共有できることになる。</p>	<p>「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズ の統合評価において、同様のコスト分析を実施しています。その結果を含めた国の評価において、主概念は現在の知見で実用施設として実現性が最も高く、経済性を含むすべての設計要求に対して高いレベルで適合する可能性があると考え、主概念の具体化に必要な革新的技術の研究開発を「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」として今後重点的に実施することとしました。したがって、現在挙げている炉13、サイクル12の課題の成立性を見極め、機器・設備レベルで具体化することが、経済性の実現につながるものと考えています。本研究開発の成果は広く公開しており、これは将来のユーザーが事業化の判断をする際に必要な情報であると考えます。</p> <p>例として挙げられている、マイナーアクチノイドの回収に伴う経済的なデメリットと、処分や核拡散抵抗性のメリットの比較については、指標の選択を含め評価手法の研究やINPRO等国际的な燃料サイクル評価の中で明らかになっていくものと考えています。</p>
<p>マイナーアクチノイドの製品への回収技術については、核不拡散抵抗性の高い技術とされており、例えば、コスト削減効果は小さいが、将来への保険の観点から開発を進めることとすると政府レベルや将来ユーザーの政策的・経営的な判断にも貢献できることになると考えられる。</p>	
<b>事業と投資のバランス</b>	
<p>現在のロードマップだけでは、実用化の見通しの判断は難しい。プロセス上、エンジニアリング上のブレークスルーポイントを明らかにし、それらをどの時点でどのように解決していくかということ、なるべく具体的に示す必要がある。またその成果の判断を下す際には、開発に必要な費用および人材の投入が十分であったか、ということも重要な因子になる。</p>	<p>拝承。</p>

「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」中間評価ご意見に対する原子力機構の見解・対応の考え マネージメントレビュー

評価意見	評価意見に対する原子力機構の見解・対応の考え
<p>その他</p> <p>長期間、核燃料リサイクルから遠ざかっていた米国も、資源の有効利用と廃棄物処分の観点から、再処理政策へと方向転換した。ここで重要なのは、再処理や高速炉の研究開発を再開するにあたり、米国は核不拡散性の確保を大前提としていることである。そしてこれはまさにわが国が原子力機構を中心にこれまで進めてきた開発方針と合致している。もんじゅの再開準備も着々と進められ、国の高速増殖炉サイクルの開発予算も具体化してきた今日、これまで先行してきたわが国の技術的リードをいかに維持していくかということ、原子力機構の計画とその実施能力にかかっているとと言っても過言ではない。原子力機構は自らの成果を積み上げていくだけでなく産官学を結集し、わが国全体としての総合的な成果を達成する任務を求められているのではなかろうか。</p>	<p>原子力機構は文部科学省、経済産業省とともに、電気事業者、製造事業者、大学等と連携・協力し、主概念を中心に研究開発を推進し、安全性、経済性、環境適合性、資源利用率及び核拡散抵抗性に係る性能目標を達成できる高速増殖炉サイクルの実用化を目指しています。実用化に向けた様々な方針等を原子力機構、文部科学省、経済産業省、電気事業者及び製造業者の五者で協議し、その中で原子力機構は研究開発活動の中核としての役割を担っていきます。</p>
<p>エネルギー資源の確保、温室効果ガスの削減などをめぐり国際情勢が変化していく中で、原子力、とりわけ高速増殖炉への期待が高まっている。このような大型プロジェクトは国家主導型になる傾向が強いが、技術サイドとしては、その予算を有効に生かし、技術的成功例を積み重ねていくという使命を果たすことが重要である。その成果を基に国はさらに適切な予算措置を講じることが可能になる。</p>	<p>「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」では将来のゴールを明確にするための戦略的な調査研究を中心に実施してきましたが、今後は「もんじゅ」や様々な核燃料サイクル研究開発の施設等を活用し、国際協力を積極的に進め、実用化に集中した技術開発に開発の段階を移しました。「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」では、革新的な技術の採否判断を含め技術の具体化を図ることを目標としており、目に見える成果を目指し研究開発を進めてまいります。</p>
<p>経済産業省で作成している技術戦略マップの手法を用いて、広く他分野の専門家の意見を得たり、逆に他分野に貢献したり、ということが一層活発にできるのではないかと期待します。</p>	<p>経産省の技術戦略マップで原子力は「エネルギー技術分野」と「地球温暖化対策」をまたがる技術とされ、地球温暖化対策のための省エネルギー、化石燃料転換、原子力発電に加え新エネルギーの開発が重要とされています。直近では、日本学術振興会石炭・炭素資源利用技術第148委員会・第107回研究会で、原子力技術開発の現状を講演するとともに、原子力以外の分野の方々との意見交換を行うなど、エネルギーと環境の両面で相互の情報共有を図っています。</p> <p>また、原子力技術は、物理・化学・電気・機械・材料など、様々な技術分野の総合体であることから、日頃の研究開発においては様々な原子力学会以外の学術会議にて発表を行い、一般産業界における同分野の方の意見を伺い、研究開発に反映する等の試みを行っています。</p> <p>このような活動を継続することで、研究開発の活性化、他分野への貢献に繋がるものと考えています。</p>

## 参考資料 6

評価結果に対する措置

This is a blank page.

**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**  
**「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」の評価結果（中間評価）に対する措置**

平成 19 年 7 月  
独立行政法人日本原子力研究開発機構

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」とする）は、国家基幹技術である高速増殖炉サイクルの研究開発を実施

しています。高速増殖炉サイクルの研究開発については、国による「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」フェーズⅡの成果の評価を受け、酸化燃料を用いたナトリウム冷却高速増殖炉、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主概念とし、研究名称を「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」に改めて主概念の実用化に集中した技術開発を行い、研究開発を加速することとしています。

今回の研究開発・評価委員会では、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を評価対象課題とし、2010年までの研究開発の進め方に係る妥当性を評価いただくこととし、研究開発実施体制等にかかる大局的評価についてはマネージメントレビューを、研究開発計画および期待される成果に係る技術的評価についてプロジェクトレビューを実施していただきました。

本評価結果において頂戴したご指摘・ご意見については、今後の研究開発に反映し、以下の措置を講ずることとします。

**【研究開発計画について】**

革新的な技術の開発には現時点で大きな開発リスクを伴う。炉システム、燃料サイクルシステムの各課題についての現状の技術レベル等を明確にするとともに、2010年までの研究開発は、実用システムの更なる具体化、課題相互の関係等に留意しながら、慎重に進められるべきと考える。

特に、各課題の解決に対して重要な個別テーマについては、2010年の革新的技術の採否判断と2010年以降の展開に客観性をもった説明が可能となるよう、進め方に注意する必要がある。

高速増殖炉サイクルの主概念には、多くの革新的な技術が含まれており現時点で開発リスクが決して低くないことを勘案し、既存技術に基づく代替技術を準備しています。

2010年までの革新的な技術の開発においては、これまでの開発実績等を踏まえ、採否判断に必要な開発課題、クライテリアを設定しています。

炉システムの研究開発においては、特に「直管2重伝熱管蒸気発生器の開発」が大きな開発リスクを持つものと考えており、技術的成立性の根本となる材料と構造の両面でクライテリアを設定し、代替技術の設計への影響も評価しつつ着実に開発を進めてまいります。燃料サイクルシステムの研究開発においては、特に、「晶析技術による効率的ウラン回収システムの開発」、「抽出クロマト法によるMA回収技術の開発」、「脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発」及び「セル内遠隔設備開発」など、工学の観点から経験・知見が十分ではない技術が大きな開発リスクを持っていると考えています。したがって、工学規模のプロセスの成立性と機器概念の具体化に必要な要件をクライテリアに設定し、代替技術を準備しつつ2010年までの研究開発を進めることとしております。代替技術を採用した場合の開発目標に対する適合性への影響も設計研究の中で確認しつつ、革新的技術の具体化を図り、その時点の技術レベルを示していきます。

その際、革新的技術の開発にあたっては、設計研究を通じて個々の課題の成果が他の課題や設計全体に与える影響などを確認し、課題相互の関係に留意して進めることとしています。

基本的に、現在の研究開発計画は、2015年のアウトプット（実証施設及び実用施設の概念設計、実用施設概念の成立性に関するデータ整備など）のための技術基盤を整備する研究開発段階に位置付けられます。2010年に革新的技術の判断を行い2015年以降の施設（実証炉や工学規模ホット試験施設）建設・運転といった技術実証段階に確実に繋げられるよう、今後の研究開発にて技術開発の成果の集約と設計検討を進めてまいります。2010年時点で各革新技術を構成する幾つかの要素技術が完成しない場合でも、客観的に成立見通しがあると判断できる技術については2015年まで研究開発を継続し、実証・実用化段階への移行に際し手戻りが無い様に進めます。

【期待される成果について】

研究開発成果の集約・保存、共用化を進めるとともに、2010年のクライテリアを研究開発の進捗に応じて、具体化、定量化していくことが重要である。革新的技術の研究開発により得られる効果を総合的な観点から示す方法を検討し、各課題、クライテリアの優先度を明確化していく必要があると考える。

現時点で採否判断のクライテリアの具体化、定量化が困難な課題については、開発を進めていく中で明確にしていきたいと考えます。ただし、2010年において、特定の設計条件の下に設定したクライテリアに照らして一意的に判断を行うのは適切ではなく、研究開発を実施した結果、当該技術をプラント設計に適用するための付帯条件あるいは制約条件が明らかになってくる場合には、その条件がプラント設計上許される範囲であるか、あるいは条件を緩和できる設計方策がありうるのか等も含めて適用性を判断する必要があると考えています。その過程において技術情報は設計として蓄積され、また、革新的技術の研究開発により得られる効果を総合的な観点から示すことが可能になると考えています。

また、上記の研究開発成果や研究開発関連施設の建設・運転などを通して蓄積された知見を知識ベースとして集約・体系化していくための仕組みを検討していきます。

2010年の判断に基づき、2010年以降により具体的かつ大型の試験の準備に着手する計画とされているが、2010年時点の技術レベルと大型試験の位置付け、更に2015年以降の研究開発の進め方については、2010年の研究開発成果を見通しつつ先行して2010年より前から検討しておく必要がある。

要素技術開発及び設計研究の進捗を踏まえ中間評価の時点で2010年の成果を見通し、先行して判断できるものがあれば、計画の見直しを検討する考えです。さらに、2010年以降の大型試験を円滑に進めるため、試験施設・内容などについて出来る限り事前検討を進め速やかな判断に資するようにしたいと考えております。

なお、今後5年間の研究開発計画については、対象期間の中間である2009年度に中間評価を予定しており、計画の見直しがあれば、その技術的妥当性を評価いただくこととします。

【研究開発実施体制等について】

本研究開発課題の解決は、原子力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ものであり、研究開発の段階、技術レベルに応じて、原子力機構内の部門・拠点との連携強化、組織や評価の仕組みの改善・改良を図りつつ、電気事業者、メーカー、国との関係・体制のあり方についても継続的に検討することが望ましい。

原子力機構内の体制については、高速増殖炉サイクル実用化研究開発の実施にあたって、係る組織を機能別（設計統括、機器開発、基盤技術開発）のユニットに再編し、要素試験と設計研究を連携させエンジニアリングに配慮した体制を構築しています。また、FBR サイクル連携推進会議により部門横断的な情報共有と部門間連携を進め、拠点との合同ワーキンググループを通じて効果的に研究開発が進められるよう努力して参ります。2010年の革新的技術の採否判断以降は、技術実証に向けた大型の試験研究の準備・実施を効率的かつ効果的に行うに相応しい体制が必要と考えられ、研究開発段階から実証・実用化段階に移行する過程において、その時点の研究開発段階、技術レベルを踏まえた体制の見直しを行うことを検討する考えです。

メーカー等を含めた実施体制については、ナトリウム冷却炉の研究開発においては、「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」が平成18年12月27日に決定した「基本設計開始までのFBR研究開発体制（炉関係）」の方針を踏まえて、高速増殖実証炉の基本設計開始までのエンジニアリング等を行う中核企業が選定され、その中核企業により実際に開発を実施するFBR開発新会社の設立準備が進められる等、技術実証と実用化に向けた体制づくりが進められています。一方、燃料サイクルに関しては、国による第二再処理の議論が2010年頃から検討開始されることなどから、現時点で燃料サイクルの実証施設、実用施設の仕様を詳細化するシナリオが必ずしも明確ではありません。「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」の中での軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行シナリオなどの検討を踏まえ、2010年頃の第二再処理の検討の中で五者が、各々の開発リスクを考慮しながら全体として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であると考えます。

研究開発資源である予算や要員については、継続的な経営努力を要すると考える。予算については、今後、革新的技術の成立性確認や技術実証のため、従来以上の研究費が必要となると予想され、計画通りの成果を挙げるために研究費の確保に努力する必要があると考える。

高速増殖炉サイクル実用化研究開発においては、2007年度以降より開発を本格化し2010年の革新的技術の採否判断に必要なデータを取得することとしております。また、関連する拠点の施設の運転等にかかる費用のほか、実証・実用化段階へ移行するためのインフラストラクチャ整備なども必要となり、今後多くの研究開発費が必要となります。

このため、今後の予算については要員確保と同様に大きな経営課題ととらえ、業務運営にかかる必要資金枠の拡大、業務の効率化を図るだけでなく、外部資金の獲得や国際協力等による効果的な開発推進などの様々な経営努力を実施していく所存です。

研究開発課題の解決を完遂するまでには長期を要するとの観点から、要員の確保にあたっては、人材育成、技術継承の面からの検討が必要であると考えます。

高速増殖炉サイクルの実用化に向けては、人材育成、技術継承も重要な課題であると認識しています。

原子力機構はFBRサイクル技術開発の中心的存在として、わが国のFBRサイクル技術に関する知識の集約・継承、人材育成を図っていきます。現状、炉システム、燃料サイクルシステムに携わる研究者・技術者の高齢化が進んでおり、その人達が中核となり、若手研究者・技術者と協働するプロジェクト運営としていくことにより、技術継承の円滑な推進を図っていきます。また、高い技術力を有するOBの活用も検討していきます。

一方、国内のFBRサイクル開発全体の人材育成、技術継承について、原子炉の開発に関しては、前述のFBR開発新会社が、設計・評価を繰り返すことにより、産業界の担い手の育成が進むと考えています。また、設計業務を行うFBR開発新会社と、設計の性能目標の提示・設計評価、要素技術開発、「もんじゅ」での知見蓄積を行う原子力機構との間で相互に人的交流を積極的に行うことにより、原子力機構と産業界が相補的に知識管理・人材維持を行えるものと考えています。

燃料サイクルの開発に関しては、少なくとも 2015 年までは、設計、要素技術開発とともに、原子力機構が担うべきと考えています。したがって、原子力機構での研究開発を、産業界のプラント技術の担い手を養成する場と捉え、産業界からの積極的な人員派遣を要請していくこととします。特に、種々のホット施設での生の体験は、施設の設計・建設に携わる産業界の人材にとっても、貴重な財産になると考えられます。

将来の研究者・技術者の芽を育む場ともいえるべき大学との関係については、大学で高速増殖炉サイクルに係る研究が盛んに行われることにより人材が育成されることが最も重要であり、原子力機構からニーズを発信し、大学で関連研究が進められるよう促していきます。また、大学への講師の派遣のみならず、大学との人的交流を含めたプロジェクトの推進により、相互理解を深め、大学での原子力教育の活性化に繋げていきます。さらに、国際標準の FBR サイクルを目指すことを勘案し、国際協力等の場を通じて、海外研究機関との人的交流を含め世界に通用する研究者・技術者の育成等に取り組んでいきます。

This is a blank page.

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
質量体積 (比体積)	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率	(数の)1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad		m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> =1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>		m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> =1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s <sup>2</sup> ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>3</sup> ・A <sup>2</sup>
磁束密度	ウェーバ	Wb	V・s	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(d)</sup>	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr <sup>(c)</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・cd=cd
放射能	ベクレル	Bq	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・cd=m <sup>2</sup> ・cd
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 質量エネルギー当量, コーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量, 組織線量当量	シーベルト	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>

- (a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作る際のいくつかの用例は表4に示されている。  
 (b) 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。  
 (c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。  
 (d) この単位は、例としてミリセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa・s	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> ・m <sup>-1</sup> ・s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
質量熱容量 (比熱容量), 質量エントロピー	ジュール毎キログラム	J/K	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
質量エネルギー (比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/(kg・K)	m <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> ・A <sup>-1</sup>
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> ・kg <sup>-1</sup> ・s <sup>4</sup> ・A <sup>2</sup>
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・A <sup>-2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・mol <sup>-1</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol・K)	m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-2</sup> ・K <sup>-1</sup> ・mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> ・s <sup>2</sup> ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> ・sr)	m <sup>2</sup> ・m <sup>-2</sup> ・kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup> =kg <sup>2</sup> ・s <sup>-3</sup>

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	l, L	1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg
ネーパ	Np	1 Np=1
ベル	B	1 B=(1/2) ln10 (Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.60217733(49)×10 <sup>-19</sup> J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10)×10 <sup>-27</sup> kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30)×10 <sup>11</sup> m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	海里	1 海里=1852m
ノット	ノット	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	1 a=1 dam <sup>2</sup> =10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 <sup>5</sup> Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 <sup>-10</sup> m
バール	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm <sup>2</sup> =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> /s=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
ガウス	G	1 G=10 <sup>4</sup> T
エルステッド	Oe	1 Oe=10 <sup>4</sup> (1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 <sup>-8</sup> Wb
スチル	sb	1 sb=1cd/cm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
ホト	ph	1 ph=10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm/s <sup>2</sup> =10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002×10 <sup>-11</sup> nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 <sup>-26</sup> W・m <sup>-2</sup> ・Hz <sup>-1</sup>
フェルミ	fem	1 fermi=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 metric carat = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	
マイクロン	μ	1 μ = 1μm=10 <sup>-6</sup> m

