



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 ¹
	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 ²

¹ 2007 年 3 月 31 日まで埼玉大学工学部応用化学科 教授

² 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 ³
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 ⁴
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

³ 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

⁴ 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考ええる。

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、何を以て「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以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。このテーブルを以て、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ー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証等）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り、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术の開発が望まれる。

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>	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。」</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。	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ぬ技術、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。	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るだろう。(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つに挙げることが重要と考える。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)	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)

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り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を見えづらい。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 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の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、要員の確保に当たっては、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。

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 ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度 (質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積 (比体積)	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
(物質の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
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 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	zepto	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	yocto	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 ^(a)	rad		m ² ・m ⁻¹ =1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)		m ² ・m ⁻² =1 ^(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m ² ・kg ² ・s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² ・kg ² ・s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s ² ・A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束密度	ウェーバ	Wb	V・s	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg ² ・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd・sr ^(c)	m ² ・m ⁻² ・cd=cd
放射能	ベクレル	Bq	lm/m ²	m ² ・m ⁻¹ ・cd=m ² ・cd
(放射性核種の)放射能	ベクレル	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 質量エネルギー当量	グレイ	Gy	J/kg	m ² ・s ⁻²
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 ² ・s ⁻²

- (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 ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N・m	m ² ・kg ² ・s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg ² ・s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	m ² ・m ⁻¹ ・s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg ² ・s ⁻³
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 ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
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 ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ ・kg ² ・s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m ² ・kg ² ・s ⁻³ ・A ⁻¹
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s ² ・A
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² ・s ² ・A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² ・kg ² ・s ⁻² ・mol ⁻¹
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 ² ・kg ² ・s ⁻² ・K ⁻¹ ・mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ ・s ² ・A
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² ・s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =m ² ・kg ² ・s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² ・sr)	m ² ・m ⁻² ・kg ² ・s ⁻³ =kg ² ・s ⁻³

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 ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ 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 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1 u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1 ua=1.49597870691(30)×10 ¹¹ 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 ² =10 ² m ²
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バール	b	1 b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

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	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn・s/cm ² =0.1Pa・s
ストークス	St	1 St=1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=10 ⁴ (1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁻⁸ Wb
スチル	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホト	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

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 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ¹⁹ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	X unit	1 X unit=1.002×10 ⁻¹¹ nm
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャンスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W・m ⁻² ・Hz ⁻¹
フェルミ	fem	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	carat	1 metric carat = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カリ	cal	
マイクロン	μ	1 μ = 1μm=10 ⁻⁶ m

