

JAERI-Review

JP0250273

2002-012



エネルギー・システム研究専門部会評価結果報告書
(平成13年度事後評価)

2002年6月

研究評価委員会

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、
お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡
東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division,
Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-
gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

エネルギー・システム研究専門部会評価結果報告書
(平成 13 年度事後評価)

日本原子力研究所
研究評価委員会

(2002年 4月19日受理)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、エネルギー・システム研究専門部会を設置し、東海研究所エネルギー・システム研究部の平成 12 年度までの 5 年間の研究開発実績について、事後評価を実施した。同専門部会は、8 名の外部専門家で構成された。

エネルギー・システム研究専門部会は、平成 13 年 12 月から平成 14 年 3 月にかけて、当該部門の研究評価活動を実施した。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会会合（平成 14 年 1 月 23 日開催）における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。

同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は、研究評価委員会に提出され平成 14 年 3 月 8 日に審議された。審議の結果、研究評価委員会は、この評価結果を妥当と判断した。本報告書は、その評価結果である。

Report of the Evaluation by the Ad Hoc Review Committee
on Nuclear Energy System Research
(Result Evaluation in Fiscal Year 2001)

Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(Received April 19, 2002)

The Research Evaluation Committee, which consisted of 13 members from outside of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), set up an Ad Hoc Review Committee on Nuclear Energy System Research in accordance with the "Fundamental Guideline for the Evaluation of Research and Development (R&D) at JAERI" and its subsidiary regulations in order to evaluate the adequacy of the R&D accomplishments achieved for five years until Fiscal Year 2000 at Department of Nuclear Energy System in Tokai Research Establishment of JAERI. The Ad Hoc Review Committee consisted of eight specialists from outside of JAERI.

The Ad Hoc Review Committee conducted its activities from December 2001 to March 2002. The evaluation was performed on the basis of the materials submitted in advance and of the oral presentations made at the Ad Hoc Review Committee meeting which was held on January 23, 2002, in line with the items, viewpoints, and criteria for the evaluation specified by the Research Evaluation Committee.

The result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee was submitted to the Research Evaluation Committee, and was judged to be appropriate at its meeting held on March 8, 2002.

This report describes the result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee on Nuclear Energy System Research.

Keywords: Evaluation of Research and Development; Result Evaluation; Nuclear Energy System Research

評価の経緯について

研究評価委員会事務局
(企画室・研究評価推進室)

研究評価委員会（委員長：西澤潤一・岩手県立大学長）は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成10年4月策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成10年4月策定、平成11年4月改正）に基づき、東海研究所エネルギーシステム研究部の平成12年度までの5年間の研究開発実績について事後評価を実施するために、「エネルギーシステム研究専門部会」を平成13年9月14日に設置した。

エネルギーシステム研究専門部会は、8名の外部専門家で構成された（部会長：岡芳明・東京大学教授）。同専門部会による評価では、研究評価委員会によって定められた事後評価の方法に従い、当該部から提出された評価用資料に基づく第1次評価を行うとともに、平成14年1月23日には専門部会会合を開催して当該部からの説明と質疑に対する応答を聴取し、これに基づく第2次評価を行った。同専門部会は、評価結果を「エネルギーシステム研究専門部会評価結果報告書（平成13年度事後評価）」として取りまとめ、研究評価委員会に提出した。

研究評価委員会は、平成13年3月8日に第8回会合を開催し、同専門部会から評価結果報告書の説明を受け、審議を行った。その結果、研究評価委員会は、同専門部会の評価結果が妥当なものと判断した。これに基づき、研究評価委員会委員長は、同報告書を平成14年3月15日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 13 年度研究評価委員会構成（13 名）

委員長 西澤 潤一 岩手県立大学長
(財)半導体研究振興会半導体研究所長

委員長代理 秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所理事長
埼玉工業大学長

委員 秋元 勇巳 三菱マテリアル(株)取締役会長

〃 石榑 顯吉 埼玉工業大学先端科学研究所教授

〃 井上 信 京都大学原子炉実験所長・教授

〃 菊田 惺志 (財)高輝度光科学研究センター理事、放射光研究所副所長

〃 岸 輝雄 独立行政法人物質・材料研究機構理事長

〃 草間 朋子 大分県立看護科学大学長

〃 小林 敏雄 東京大学生産技術研究所教授

〃 田中 知 東京大学大学院工学系研究科教授

〃 友野 勝也 東京電力(株)顧問

〃 藤原 正巳 核融合科学研究所長

〃 山崎 敏光 東京大学名誉教授

エネルギー・システム研究専門部会評価結果報告書
(平成 13 年度事後評価)

平成 14 年 3 月

日本原子力研究所
研究評価委員会
エネルギー・システム研究専門部会

This is a blank page.

目 次

はじめに

総合所見

1. 専門部会の目的	1
2. 評価方法	1
2.1 専門部会の構成	1
2.2 事後評価対象研究開発課題	1
2.3 専門部会の開催	2
2.4 評価項目及び評価基準	3
3. 評価対象研究開発課題の概要と評価結果	4
3.1 エネルギーシステム研究部の研究開発実績の概要	4
3.2 評価結果	11

Contents

Introduction

Executive Summary

1. Purpose of the Ad Hoc Review Committee	1
2. Evaluation Method	1
2.1 Organization of the Ad Hoc Review Committee	1
2.2 R&D Subjects for Result Evaluation	1
2.3 Ad Hoc Review Committee Meeting	2
2.4 Items and Criteria for the Evaluation	3
3. Outline of the R&D Subjects for the Evaluation and Results of the Evaluation	4
3.1 Outline of the R&D Achievements at Department of Nuclear Energy System	4
3.2 Results of the Evaluation	11

はじめに

研究評価委員会エネルギー・システム研究専門部会は、日本原子力研究所・東海研究所のエネルギー・システム研究部における平成12年度までの5年間の研究開発実績に対する事後評価を行った。これは、当部会としては、昨年度行った当該部の研究開発計画（平成13年度以降の5カ年の計画）に対する事前評価に続く評価活動である。

エネルギー・システム研究部では、将来型原子力システム、原子炉工学基盤技術、原子力用材料、原子力用燃料の領域について、幅広い研究開発を展開してきている。

今回の事後評価においては、研究評価委員会が定めた基本的評価実施要領に沿い、これらの研究開発及びその支援業務について、当初目的の達成度、研究開発等の実施経過、成果の普及・波及効果、将来への研究開発の展開の各観点から、その妥当性を評価した。

事後評価の活動は、平成13年12月から平成14年3月にかけて行った。この評価のプロセスにおいては、第1次評価（平成13年12月上旬～下旬）及び第2次評価（平成14年1月下旬～3月上旬）の2段階を取った。第1次評価では、当該部から提出された評価用資料に基づき、暫定的評価を行い、また質問点・疑問点等を示した。第2次評価では、専門部会会合を開催し（平成14年1月23日）、当該部から評価用資料及び質問・疑問等に対する補足資料の詳細な説明を聴取し、最終的な評価を行った。しかる後に、各委員からの最終評価結果を集約・整理し、これに基づく総合所見をして報告書案を取りまとめた。その後、報告書案に対する委員全員のレビューを行い、これを踏まえて、本報告書を完成させた。

本専門部会による事後評価の結果が、今後のエネルギー・システムに関する研究開発の更なる展開に役立てられることを、切に願う。

本専門部会の委員各位には、多忙を極める中で、熱心に評価活動を進めていただいた。その御尽力に対し、ここに深甚なる謝意を表する。

平成14年3月4日

エネルギー・システム研究専門部会
部会長 岡 芳明

総合所見

日本原子力研究所（原研）・東海研究所のエネルギー・システム研究部では、核分裂エネルギーの利用に係わる将来型システムについて、原子炉、燃料サイクル、廃棄物、環境を含めた総合的観点から研究し、21世紀に求められる整合性あるエネルギー・システムの構築に必要な基盤技術を開発するとともに、軽水炉及び再処理施設の材料の経年変化に係わる研究を行い、安全性の向上に貢献することを目指して、次の主要課題領域に関する研究開発を展開してきた：①将来型原子力システムの研究（主要課題領域1-1）、②原子炉工学基盤技術の研究（主要課題領域1-2）、③原子力用材料の研究（主要課題領域2）、④原子力用燃料の研究（主要課題領域3）。

当該部の全体的な研究開発の進め方については、平成10年7月に行われた原研の研究開発課題全般に対する総括的な中間評価の中で、「システムと燃料・材料との連携、軽水炉材料分野での民間との研究内容の調整、従来路線から抜け出た新しい発想の転換が必要」との指摘があり、これを受けて、研究資源の効率的活用、産業界との連携の強化、低減速スペクトル炉を柱とした体系的研究の推進が、着実に行われたと評価できる。

以下には、上記の各主要課題領域における研究開発の実績に関する評価結果の概要を示す。

(1) 将来型原子力システムの研究（主要課題領域1-1）

本主要課題領域においては、1) エネルギー・システムの評価に関する研究、2) 将来型炉に関する研究、及び3) 超小型船用炉の設計研究、の各テーマのもとに研究開発が進められた。

エネルギー・システムの評価に関する研究については、我が国における原子力利用の長期的意義及び将来型原子力システムの役割と課題を評価し、エネルギー・システム研究に指針を与えることを目的として、低減速スペクトル炉の導入効果が分析されている。また、これとあいまって将来型炉としての低減速スペクトル炉の研究については、概念構築及び炉心最適化を具体的な目標としていたが、当研究はその目標をほぼ達成している。低減速スペクトル炉を将来の一つの選択肢として、水冷却高速炉としての特性・性能を明らかにし、可能性や実現性を検討したことの意義は認められ、日本における将来的なプルトニウム対策のオプションを増やす可能性を示した。なお、今後は、高速増殖炉との関連の視点から、総合的な評価を行うことが望まれる。

BWRをベースにした高転換炉（増殖炉）の概念は、日本が開発・発展させたといつてよく、世界的に見ても優れた成果である。ただし、低減速スペクトル炉は、燃料棒間ピッチ、ボイド率等の面で、現行軽水炉の概念と極めて異なっており、この炉の実現には、相当の大規模検証が必要になると考えられる。

超小型船用炉については、海中観測船用小型炉の概念を確立するとの目標は達成さ

れている。

研究資源、人的資源については、いずれも厳しい条件の中で、効果的に研究開発を進めた努力は高く評価できる。研究成果は、広く公開されており、基本的に評価できる。ただし、設計研究の性格上やむを得えない面があるが、研究者当りの論文数は必ずしも多いとはいはず、今後の積極的な論文発表を期待したい。

(2) 原子炉工学基盤技術の研究（主要課題領域 1-2）

本主要課題領域においては、1) 核データの評価研究、2) 原子分子データの評価研究、3) 炉特性解析法の研究、4) 炉物理の実験的研究、5) 炉心特性に関する研究、6) 原子力熱工学に関する研究、7) 原子力システム運転監視技術の研究、及び 8) VHTRC（高温ガス炉臨界実験装置）の保全管理・解体の技術管理、の各テーマのもとに研究開発及び研究支援業務が進められた。

原子炉工学基盤技術の研究においては、核データ取得、炉物理研究、熱流動研究など幅広いが、それらのいずれの分野においても、少ない研究資源にもかかわらず、原子炉の基盤データ、基盤技術の充実が図られており、良く目的を達成したと考える。研究支援業務も、適切になされたと認められる。

これらの研究成果に関する論文等の発表件数も多く、評価済核データや計算コード等は、それぞれの分野で国内及び国外で利用されており、普及・波及効果は大きい。

なお、原子炉工学基盤技術は、原子力技術を支えるのに不可欠なものであるので、システム設計研究に片寄りすぎて日本の原子力の重要な基盤を失うことのないように留意することを望む。すなわち、核データや炉心研究は原子力利用の基盤であり、当該部の核データ部門は国際的にも貴重な役割を果たし、また、炉心特性解析コードの開発においても、日本でこの部門でしか担えない先端的な役割を果たしている。これらを含め、将来とも必要な水準の基盤技術の研究が確保されることを望む。

核データ、炉物理、熱流動の課題のいずれも、現在は、低減速スペクトル炉関連に於ける絞って行っているが、当該炉の設計研究が終了した際には、特に現行の軽水炉の寿命延長及び稼働率向上につながる方向で新テーマを探索することを望む。

(3) 原子力用材料の研究（主要課題領域 2）

本主要課題領域においては、1) 原子力プラント用材料の信頼性・安全性の研究、2) 先進エネルギー材料の力学的評価と応用に関する研究、3) 原子力環境における材料の界面現象の研究、4) 先進耐食材料の研究、及び 5) 原子力材料データの評価研究、の各テーマのもとに研究開発が進められた。

照射誘起応力腐食割れ (IASCC) に関するデータの取得、照射装置の開発、再処理機器・被覆管材料の評価・開発など、緊急あるいは近未来に要するデータの取得、材料データベースの構築など、当初の目標の道筋に沿った成果が得られており、目的はほぼ達成されていると評価できる。

また、高温ガス炉用の構造材料として、新しい耐熱合金を開発し特許を取得していること、超高燃焼度 U-Pu 混合酸化物（MOX）燃料用の被覆管材料について、ステンレス鋼の改良に関する見通しを得て主要な仕様を絞り込んでいることなども評価できる。再処理材料についても、湿式再処理工程における高温強硝酸下での材料健全性研究は、六ヶ所再処理プラントに極めて重要な研究であり、現実的な方法での材料研究として着実に成果を上げている。

これらの研究成果の発表についても、よくなされていると評価できる。

材料研究は、原子炉及び再処理施設の寿命や安定運転、ひいては信頼性や経済性に直接結び付く重要な分野である。今後も引き続きデータを積み重ねるとともに、IASCC の機構を解明し、その集約結果を、設計の現場が使える形で情報発信することを望む。

（4）原子力用燃料の研究（主要課題領域 3）

本主要課題領域においては、1) 窒化物燃料及び乾式分離技術に関する研究、及び 2) 岩石型プルトニウム燃料・軽水炉燃焼技術に関する要素技術の開発、の各テーマのもとに研究開発が進められた。

窒化物燃料及び乾式分離技術については、世界的にも研究が遅れている分野であり、これに取り組んだ姿勢は評価できる。少ない予算の中で多くの成果が出されており、この分野における当初の目標を達成している。岩石型 Pu 燃料の開発についても、粒子分散型燃料を考案し、また、破損しきい値が軽水炉燃料並であることを示し、さらに欧州における開発を誘発し、安定性評価等予定の目標をほぼ達成している。

窒化物燃料については、実現時の性能の良さはよく知られているものの、高温解離の問題が未解決であり、また、照射実績がほとんどなく、多額の開発費と長期間を要するため、成立性の鍵となる技術課題を優先的に実施することが望まれる。

今後、照射挙動の解明等、実験に依存するところが更に大きくなると考えられるが、照射実験の実施等が一層円滑に行われるような体制の整備が重要と考える。

将来への研究開発の展開に当たっては、種々の燃料の国内外における研究開発状況を視野に入れ、研究の位置付けを明確にした上で、進めることを望む。

1. 専門部会の目的

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、研究評価委員会のエネルギー・システム研究専門部会において、東海研究所のエネルギー・システム研究部の研究開発課題に関し、平成12年度までの5年間の研究実績の事後評価を行う。

2. 評価方法

2.1 専門部会の構成

エネルギー・システム研究専門部会の構成は、以下のとおりである。

部会長：	岡 芳明	東京大学工学系研究科原子力工学研究施設教授
評価委員：	友野 勝也	東京電力(株)顧問
専門委員：	阿部 勝憲 可児 吉男	東北大学大学院工学研究科教授 核燃料サイクル開発機構大洗工学センターシステム技術開発部長
	澤村 晃子	北海道大学大学院工学研究科教授
	竹田 練三	(株)日立製作所電力・電機開発研究所技師長
	新田 隆司	関西電力(株)原子力事業本部副事業本部長支配人
	山中 伸介	大阪大学大学院工学系研究科教授

2.2 事後評価対象研究開発課題

事後評価の対象となる課題は、エネルギー・システム研究部における平成12年度までの研究開発課題及び研究支援業務課題であり、それらは下記のとおりである。

(*印を付したものは研究支援業務)

- (1) 将来型原子力システムの研究（主要課題領域1-1）
 - 1) エネルギー・システムの評価に関する研究（システム評価研究グループ）
 - 2) 将来型炉に関する研究（将来型炉研究グループ）
 - 3) 超小型船用炉の設計研究（船用炉設計研究室／原子力船システム研究室）
- (2) 原子炉工学基盤技術の研究（主要課題領域1-2）
 - 1) 核データの評価研究（核データセンター）
 - 2) 原子分子データの評価研究（核データセンター）
 - 3) 炉特性解析法の研究（炉物理研究グループ）[平成11年度終了]
 - 4) 炉物理の実験的研究（炉物理研究グループ／炉工学施設管理室*）[平成11年度終了]

- 5) 炉心特性に関する研究（炉物理研究グループ／炉工学施設管理室*）[平成 12 年度開始]
 - 6) 原子力熱工学に関する研究（熱流体研究グループ／炉工学施設管理室*）
 - 7) 原子力システム運転監視技術の研究（将来型炉研究グループ）[平成 11 年度終了]
 - 8) VHTRC の保全管理／VHTRC 解体の技術管理（炉工学施設管理室*）
- (3) 原子力用材料の研究（主要課題領域 2）
- 1) 原子力プラント用材料の信頼性・安全性の研究（複合環境材料研究グループ）
 - 2) 先進エネルギー材料の力学的評価と応用に関する研究（耐食材料研究グループ）[平成 11 年度終了]
 - 3) 原子力環境における材料の界面現象の研究（耐食材料研究グループ）[平成 11 年度終了]
 - 4) 先進耐食材料の研究（耐食材料研究グループ）[平成 12 年度開始]
 - 5) 原子力材料データの評価研究（複合環境材料研究グループ）
- (4) 原子力用燃料の研究（主要課題領域 3）
- 1) 窒化物燃料及び乾式分離技術に関する研究（新型燃料燃焼研究グループ）
 - 2) 岩石型プルトニウム燃料・軽水炉燃焼技術に関する要素技術の開発（新型燃料燃焼研究グループ）

2.3 専門部会の開催

当専門部会は、平成 13 年 12 月から平成 14 年 3 月にかけて、事後評価を実施した。今回の事後評価のプロセスは、第 1 次評価（平成 13 年 12 月上旬～下旬）及び第 2 次評価（平成 14 年 1 月下旬～3 月上旬）の 2 段階を取った。

第 1 次評価においては、被評価部門から提出された評価用資料に基づき、暫定的評価を行い、また被評価部門に対する質問事項等を示した。

第 2 次評価においては、専門部会会合を開催し、被評価部門からの上記の評価用資料及び補足説明資料に関する説明並びに質疑に対する応答を聴取し、これに基づいて最終的な評価を行った。第 2 次評価における専門部会会合開催の概況は、次のとおりである。

- (1) 開催日時： 平成 14 年 1 月 23 日（水） 13:15～17:00
- (2) 開催場所： 航空会館（東京） 5 階 502 会議室
- (3) 議事次第：
 - 1) 専門部会の審議について
 - ・委員長挨拶
 - ・研究評価システム、評価の進め方について

- 2) エネルギーシステム研究部の研究開発の実績について
 - ・説明（落合エネルギーシステム研究部長）
 - ・質疑応答
- 3) 総括討議
 - ・専門部会内討論
 - ・専門部会評価結果報告書の取りまとめ方について

2.4 評価項目及び評価基準

事後評価においては、被評価部門から提出された評価用資料及び補足説明資料に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に沿った項目別評価を行い、また、必要に応じて、その他の所見を示し、これらを踏まえて総合所見を取りまとめた。

- (1) 項目別評価
 - 1) 評価項目及び評価の視点（「」内は評価の視点）
 - (a) 研究開発課題の目的達成度
（「当初の達成目標に対する充足度」）
 - (b) 研究開発実施経過の妥当性
（「研究開発の展開、研究資源の活用、原研内外との協力・連携の実施等」、あるいは、必要に応じて「研究開発の成功・不成功的要因の分析・把握」）
 - (c) 研究開発の成果の普及・波及効果
（「成果の公開・発表状況、プロジェクト等への直接的な貢献、他の科学技術分野への貢献・波及効果の有無」）
 - (d) 将来への研究開発の展開
（「次期 5 ヶ年研究開発計画の立案への効果、一般科学技術的な意義・効果等」）

なお、研究支援業務課題については、上記の研究開発課題に関する評価項目及び評価の視点に準ずる。

- 2) 評価の基準
上記の項目別評価に対して、5段階評価（5：優れている、4：やや優れている、3：普通、2：やや劣っている、1：劣っている）を行う。

- (2) その他の所見
上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

3. 評価対象研究開発課題の概要と評価結果

3.1 エネルギーシステム研究部の研究開発実績の概要

3.1.1 主要課題領域の構成、研究開発目標及び得られた成果

エネルギー・システムの研究では、核分裂エネルギーの利用に係わる将来型システムについて、原子炉、燃料サイクル、廃棄物、環境を含めた総合的観点から研究し、21世紀に求められる整合性あるエネルギー・システムの構築に必要な基盤技術を開発する。併せて、当該部のポテンシャルを生かして、軽水炉及び再処理施設材料の経年変化に係わる研究を行い、安全性の向上に貢献する。

このため、将来型原子力システムの概念構築を目指す「将来型原子力システムの研究」と、それを支える三つの基盤技術分野に大別し、計四つの主要課題領域を設ける。

以下には、各主要課題領域における当初の達成目標と得られた成果の概要を示す。

(1) 将来型原子力システムの研究（主要課題領域 1-1）

1) エネルギーシステムの評価に関する研究

[当初の達成目標]

我が国の原子力利用の長期的意義の明確化及び低減速スペクトル炉の役割のウラン資源利用、経済性等の見地からの評価。

[得られた成果]

我が国が将来的な二酸化炭素排出量を低成本で大規模に削減するためには、原子力利用の拡大が不可欠であることを、定量的に示した。正味転換比が 1.0 を超える低減速スペクトル炉の早期導入によりウラン資源の消費量を許容可能な水準に抑制できること、経済性向上には燃焼度の向上と U-Pu 混合酸化物 (MOX) 燃料の加工・再処理技術のコスト低減が重要であることを示した。

2) 将来型炉に関する研究

[当初の達成目標]

100 GWe/t 程度の超高燃焼度の達成を目指す長期サイクル・高燃焼全 MOX 炉心及びウラン資源の長期的有効利用を目指す高転換型軽水炉心の概念を創出する。

[得られた成果]

運転サイクル 3 年及び燃焼度 100 GWe/t の長期サイクル・高燃焼度全 MOX 炉心の概念を創出した。1.0 以上の高転換比と負のボイド反応度係数を有する低減速スペクトル炉心概念を複数創出した。

3) 超小型船用炉の設計研究

[当初の達成目標]

一層の小型・軽量化を目指した海中観測船用超小型炉の概念を確立する。要素技術開発として、超小型炉熱流動システムの研究、原子炉容器内装型制御棒駆動装置の開発及び船用炉機器水漬技術に関する開発を行う。

[得られた成果]

海中観測船の搭載原子炉の設計要件を明確にし、熱出力 1.25 MW の 10 年間連続運転が可能な海中観測船用超小型炉 SCR の概念を構築した。特に、転覆、横転等の船体事故に対応可能な非常用崩壊熱除去系を考案した。

(2) 原子炉工学基盤技術の研究（主要課題領域 1-2）

1) 核データの評価研究

[当初の達成目標]

汎用核データライブラリー JENDL-3.3 の整備及びその積分的検証を行う。また、高エネルギーファイル等の特殊目的ファイルを整備する。

[得られた成果]

平成 13 年度公開予定の JENDL-3.3 の評価・編集作業を進めるとともに、精度検証のためのベンチマークテストを実施した。特殊目的ファイルとして、JENDL Dosimetry File 99 及び JENDL Fusion File 99 を公開した。また、FP Decay Data File 2000、共分散ファイル、高エネルギーファイル等を作成した。

2) 原子分子データの評価研究

[当初の達成目標]

核融合炉開発のための評価済原子分子データライブラリーの第 5 版 JEAMDL-5 を開発する。

[得られた成果]

原子衝突データベースとして、ダイバータプラズマ中で重要な約 300 種類の衝突過程の核反応断面積を評価した。原子衝突過程について、粒子組替、振動励起、電荷移行、電離、輻射再結合、二電子再結合に関するデータを整備した。

3) 炉特性解析法の研究（平成 11 年度終了）、炉物理の実験的研究（平成 11 年度終了）及び炉心特性に関する研究（平成 12 年度開始）

[当初の達成目標]

高速炉臨界実験装置 (FCA) 、軽水臨界実験装置 (TCA) 等を用いた低減速スペ

クトル炉、加速器駆動炉等の炉物理実験を実施し、将来型炉核設計手法の信頼性向上を図る。炉心特性解析法の汎用化・高度化を進める。また、超ウラン元素(TRU)廃棄物固化体の非破壊測定法を高度化する。

[得られた成果]

FCA を用いて、実効遅発中性子割合 (β_{eff}) の測定に関する国際ベンチマーク実験を実施し、目標測定精度 ($\pm 3\%$) を満たす β_{eff} 積分値を得た。加速器駆動炉の炉物理実験を実施し、未臨界度測定技術の開発、計算コードシステムの検証を進めた。TCA を用いた中性子源増倍法による反応度測定を実施し、十分広い反応度範囲に対して 5% 以下の精度で測定できることを確認した。

核熱結合炉心特性解析コードシステム MOSRA の開発では、高速 3 次元拡散ノード法モジュール MOSRA-Light、熱水力計算モジュール MOSRA-Hydro、空間依存核動特性計算モジュール MLK-3D 等を開発した。モンテカルロコード MVP/GMVP の高度化では、燃焼計算機能、任意温度計算機能、確率論的幾何形状モデル等、独創性の高い手法を開発した。また、摂動計算の一般化、対象エネルギーの拡張を進め、高速点検出器評価法、炉雑音解析機能、荷電粒子輸送基本機能等を追加した。

TRU 高感度検出法の開発では、位置検出感度差を大幅に縮小できる新検出法を考案した。

4) 原子力熱工学に関する研究

[当初の達成目標]

受動的安全炉、低減速スペクトル炉、核融合炉等の熱的成立性評価に必要な熱特性データを取得するとともに将来型炉に対する熱設計手法を確立する。また、3 次元二相流解析コード等の詳細解析手法を開発し、熱設計の解析的な検定に役立てる。

[得られた成果]

受動的安全炉の安全系の除熱性能を評価するため、気泡と乱流場との相互作用を統一的に説明できる二相流モデルを開発し、3 次元詳細二相伝熱流動解析コード ACE-3D を構築した。

低減速スペクトル炉の熱工学的成立性を確認するため、7 本バンドル試験部による稠密 PWR 炉心限界熱流束試験を行い、既存の設計式の保守性を確認した。

核融合実験炉 ITER の真空容器内冷却材侵入事象(ICE)を模擬する総合試験を実施し、圧力抑制システムの設計の妥当性を実験により確認した。

5) 原子力システム運転監視技術の研究（平成 11 年度終了）

[当初の達成目標]

極限環境センサ技術、光ファイバを用いた多機能型センシング技術を開発する。

異常診断システムや自律移動ロボット制御技術開発を行う。

[得られた成果]

超伝導等を利用した放射線検出器を実用化し、また、原子炉内でも利用可能な多機能型センサ技術を開発した。ニューラルネットワークを用いた異常診断システム及び保守点検用の知能ロボットシステムを開発した。

6) VHTRC の保全管理／VHTRC 解体の技術管理

[当初の達成目標]

高温ガス炉臨界実験装置（VHTRC）の保全計画に基づき、燃料管理等を実施するとともに施設定期検査等を実施する。また、VHTRC を解体撤去する。

[得られた成果]

燃料管理及び核物質防護管理を実施するとともに、解体計画に基づき、原子炉本体等の解体撤去工事を安全かつ着実に遂行した。

(3) 原子力用材料の研究（主要課題領域 2）

1) 原子力プラント用材料の信頼性・安全性の研究

[当初の達成目標]

材料耐久性に関する知見とデータの蓄積を行い、構造物の信頼性・安全性の確保に資するとともに、材料技術基盤の拡充を図る。

[得られた成果]

Ni-Cr-W 系超耐熱合金の溶接用材料として、高温強度と耐溶接割れ性に優れた溶加材を開発した。ステンレス鋼の照射誘起応力腐食割れ（IASCC）挙動に関するパラメトリックな実験を行い、添加元素、冷間加工、照射温度、IASCC 挙動、ミクロ組織等の間の関係を明らかにした。

2) 先進エネルギー材料の力学的評価と応用に関する研究（平成 11 年度終了）

[当初の達成目標]

熱化学法水素製造プロセス用材料の選定・開発、核破碎用中性子源ターゲット材の要求特性評価及び核融合実験炉 ITER の設計に必要な真空壁構造材の力学的特性評価と低誘導放射能材料の開発等に資する研究を実施する。

[得られた成果]

水素製造プロセス機器材では、硫酸反応容器や硫酸ガスの熱分解工程等における耐久性支配因子を摘出し、Si の防食効果に着目した Fe-Si 系合金等を候補材として選定した。

核融合炉材料では、真空容器の溶接施工法の選定と溶接欠陥の構造健全性評価を行ない、ITER 構造設計基準の作成に反映させた。また、プラズマ対向機器用の複合材及び高 Mn-Cr 鋼等の低誘導放射能材料を開発した。

核破碎ターゲット材では、核破碎時の熱衝撃による圧力波の測定に世界で初めて成功した。

3) 原子力環境における材料の界面現象の研究（平成 11 年度終了）及び先進耐食材料の研究（平成 12 年度開始）

[当初の達成目標]

経年材質変化の機構解明と複合環境適応性に優れた耐食材料開発に係わる知見を蓄積する。再処理機器に関して、腐食減肉の観点からの長期耐久性評価試験を行い、寿命評価に必要な基盤技術を強化する。

100 Gwd/t 程度の超高燃焼度を目指す MOX 燃料用被覆管材料の開発を進める。再処理施設に必要な材料技術として、寿命評価、防食材料及び腐食監視の各技術開発に着手する。

[得られた成果]

沸騰伝熱面腐食が、熱分解及び放射線励起低速電子による酸素・水素の励起種濃度に依存した表面反応加速の新機構であることを見出した。

100 Gwd/t、100 dpa 級、MOX 燃料使用等の条件から、先進被覆管の候補材の要求性能を検討し、安定オーステナイト Fe-Cr-Ni 系合金の最適組成範囲を選定した。耐 IASCC 性、照射延性改善用に超高純度溶解と加工熱処理を開発し、製管工程に組込み、イオン照射試験、耐食性評価等により性能を確認した。

再処理材料については、環境割れモニターとしてアコースティックエミッショング検出法や固体センサーの有用性を見出した。ステンレス鋼製減圧蒸発缶の小型構造体やホット試験結果を基に、伝熱管の粒界腐食の加速現象を寿命評価用にモデル化した。

4) 原子力材料データの評価研究

[当初の達成目標]

原子力材料の特性に関するデータベースの整備・活用を図るとともに、データネットワークの利用技術の開発・高度化を行う。

[得られた成果]

約 11,600 件の試験片データを入力した。機関を越えて相互利用可能な分散型材料データベースを構築するとともに、計算機技術の進歩に対応したシステムの改良・拡充を図り、機能を向上させた。

(4) 原子力用燃料の研究（主要課題領域 3）

1) 窒化物燃料及び乾式分離技術に関する研究

[当初の達成目標]

窒化物燃料の製造技術の確立及び照射挙動の評価を行うとともに、使用済燃料の乾式分離プロセスを確立するための要素技術開発を行う。

[得られた成果]

Pu に加え主要なマイナーアクチノイドである Np を含む窒化物、ZrN や TiN の不活性母材含有窒化物等の先進的燃料の製造技術を確立した。原研で製造した U-Pu 窒化物燃料を高速実験炉「常陽」で最高 780 W/cm の高線出力で約 40 GWd/t まで照射して、その健全性を実証した。

塩化物溶融塩中での窒化物の電解及び固体/液体陰極でのアクチノイドの回収に成功して、窒化物燃料の乾式分離への適合性を示した。

2) 岩石型プルトニウム燃料・軽水炉燃焼技術に関する要素技術の開発

[当初の達成目標]

Pu 系岩石型燃料の製造及び使用済燃料の処分技術の確立、炉心特性と安全性評価、積分特性把握等、軽水炉による岩石型燃料燃焼システムに不可欠な技術開発等を実施する。

[得られた成果]

オランダ・ペッテンの HFR 炉で、原研考案の粒子分散型燃料を含む Pu 系岩石型燃料の照射を進めた。原研の原子炉安全性研究炉 NSRR でのパルス照射試験から、反応度挿入事故条件下での岩石型燃料挙動を明らかにするとともに、燃料棒の破損しきい値は軽水炉燃料と同等以上であることを示した。

3.1.2 所内外との研究協力

(1) 国内協力

所内においては、低減速スペクトル炉研究については原子炉安全工学部、燃料サイクル安全工学部等と協力し、核変換システムについては中性子科学センターと協力し、また、その他の分野について物質科学研究所、研究炉部、バックエンド技術部、ホット試験室、安全試験部、核融合工学部、材料試験炉部等と協力して研究を進めている。

所外については、共同研究、受託研究等の形態で、産・官・学との研究協力を積極的に活用してきた。共同研究として、日本原子力発電株式会社（日本原電）と 4 件、核燃料サイクル開発機構（JNC）と 4 件、電力中央研究所（電中研）と 2 件、旧運輸省船舶技術研究所と 2 件などの研究を実施した。特に、日本原電との共同研究は、原

研における研究の方向性と産業界のニーズとを相互に確認し、国と民間の原子力研究開発をより緊密に連携させる上でも、大きな意義があったと考える。受託研究では、現文部科学省及び現経済産業省の特別会計事業を実施した。一方、JNC から、「JENDL-3.2 の炉定数の改良」等を受託した。これらは、原研における探索的な研究の成果が相手先機関によって高く評価された結果であり、特筆すべき事項であると考える。

(2) 国際協力

国際機関との協力は、国際原子力機関(IAEA)、経済協力開発機構(OECD)及び国際エネルギー機関(IEA)との間で進めた。

IAEAに関しては、国際核データ委員会のもとでの各種研究協力活動に積極的に参加するとともに、核反応データセンターネットワーク及び核構造・崩壊ネットワークを通して、測定データ、評価済データ、核構造崩壊データの整備に貢献した。OECD/NEAの原子力科学委員会(NSC)において、炉物理、遮蔽研究及び核データ等の原子力科学活動の今後の方針とその具体的推進方策並びにNSCの運営方策の決定に参加した。また、核データ評価国際協力(WPEC)活動等に積極的に参加した。IEAのエネルギー技術システム分析計画(ETSAP)に参加し、二酸化炭素排出量の長期的な削減可能量とコストに関するアセスメントに寄与した。

3.1.3 研究資源の実績(平成8年度～12年度)

予算(百万円)					人員(人)	
研究費	運転維持費	研究設備費 (建設費等)	その他 (受託費等)	特別会計 等	合計	職員+その 他*/5年
(1) 将来型原子力システムの研究(主要課題領域 1-1)						
723	0	0	577	218	1518	18+2
(2) 原子炉工学基盤技術の研究(主要課題領域 1-2)						
1339	559	448	73	996	3415	45+6
(3) 原子力用材料の研究(主要課題領域 2)						
709	247	0	541	1427	2954	17+5
(4) 原子力用燃料の研究(主要課題領域 3)						
282	0	0	0	0	282	9+1

* 人件の「その他」は業務協力員、特別会計要員、外来研究員、博士研究員を示す。

3.2 評価結果

3.2.1 項目別評価

(1) 将来型原子力システムの研究（主要課題領域 1-1）

(a) 研究開発課題の目的達成度（評価点* 4.0）

(* 5点満点に対する各委員の評価点の平均。以下同じ。)

低減速スペクトル炉の設計を中心に据えた当初の目標は、概念構築及び炉心最適化を具体的な目標としていたが、当研究はその目標をほぼ達成しており、日本における将来的なプルトニウム対策のオプションを増やせる可能性を示した。

炉心最適化については、なお検討の余地があるようと思われるが、最適化を増殖可能性の向上ととらえれば、転換比の向上と負のボイド反応度係数の達成を目標として 1.05 程度の転換比を得ており、その成果は評価できる。プルトニウムインベントリーの低減、高燃焼度化など、適切な研究目標が設定され、実現されている。BWR をベースにした高転換炉（増殖炉）の概念は、日本が開発・発展させたといつてよく、世界的に見ても優れた成果と考える。

海中観測船用超小型炉については、概念を確立するとの目標は達成されていると考える。

(b) 研究開発実施経過の妥当性（評価点 4.0）

我が国における原子力利用の長期的意義及び将来型原子力システムの役割と課題を評価し、エネルギーシステム研究に指針を与えることを目的として、低減速スペクトル炉の導入効果が分析されている。資源小国である日本にとって、プルトニウム利用や増殖炉はエネルギーセキュリティの面での長期的意義があり、この分析はその点で適切であった。しかしこの 5 年間には、電力自由化の進展、競合火力発電技術の進歩と実用化、分散電源の普及の可能性が出現するなど、長期的なエネルギーセキュリティの視点でのみ将来型原子力システムの役割を分析してよかつたかどうか、今となっては不満が残る。新しい動向も考慮しつつ、多様な選択肢の特徴を明らかにすることが、本来こうした分析の意義であり目標ではなかろうか。こうした分析やその結果を考慮した軌道修正も、あってしかるべきではなかったかと考える。

研究資源、人的資源については、いずれも厳しい条件の中で、効果的に研究開発を進めた努力は高く評価できる。原研内外との連携もよくなされていると考える。特に、産業界・メーカーとの協力がなされているのは、原子炉の研究開発にとって必須であり、適切であったと評価できる。ただし、この分野は、原子力利用の実用面での中心的分野であるにもかかわらず、現在の陣容は、最小臨界点を割るおそれがあるほど心細いものである。予算のみならず、若手の研究者の充実を期待したい。

低減速スペクトル炉については、基本的な炉心設計をほぼ終えた段階にあり、結果として、水炉であっても増殖と負のボイド係数が両立して実現できることを、少なくとも理論的には証明した功績は大きい。しかしながら、出来上がった炉心は、燃料棒外径 (D) に対する燃料棒間ピッチ (P) の比 (P/D) が約 1.1、ボイド率が 0.7 と、現行軽水炉の常識からはかなりかけ離れた値となっており、このことは、軽水炉の理論的限界を示したことを意味しており、この炉の実現にはかなりの大規模検証が必要になると考えられる。

なお、低減速スペクトル炉の位置付けについては、ウラン資源の累積消費量の観点からのみ評価されているが、マイナーアクチノイドの燃焼や核分裂生成物の消滅といったこと、すなわち、環境負荷低減も考慮した検討や、高燃焼度化による経済性の向上と転換比のバランスの検討を行った上で、明確にすることが望まれる。低減速スペクトル炉の位置付けの検討に際しては、核燃料サイクル開発機構 (JNC) の「高速増殖炉サイクル実用化戦略調査研究」(以下「FBR 実用化戦略研究」という) と連携を深め、幅広い観点から検討されることが望まれる。

舶用小型炉の研究については、多くの予算を必要とすることから、将来原子力海中観測船の計画が明らかになるまで中止し、研究を終了することは妥当な判断である。一方、その研究成果を継承して分散型小型炉の研究を実施することについては、舶用炉の技術にとらわれることなく、将来炉として望ましい分散型炉の特性（経済性、安全性、柔軟性等）を分析した上で検討することが望まれる。

(c) 研究開発の成果の普及・波及効果 (評価点 3.9)

研究成果は、広く原研内外に公開されており、基本的に評価できる。ただし、設計研究の性格上やむを得えない面があるが、研究者当りの論文数は必ずしも多いとはいはず、今後は、若手のみならずベテランの研究員の積極的な論文発表を期待したい。

低減速スペクトルの概念については、世界をリードしており、国の原子力長期計画にも反映され、高く評価できる。特に、同研究の成果は、プルトニウム利用戦略における技術的選択肢を広げることにつながり、また、JNC が中心となって進めている FBR 実用化戦略研究でも候補の一つとして取り上げられ、今後の設計検討・評価が期待されており、この分野の研究に有用な情報を提供している。

プルトニウム利用政策において、方針は異なるけれども、米国の革新炉研究開発の国際協力も行われており、評価できる。

舶用炉についても、日本では唯一といえる活動を展開しており、評価できる。

エネルギーシステムの評価、将来炉の研究のいずれも、原子力エネルギーの受容性に深く関わるので、社会的に意義の大きい研究と考える。

(d) 将来への研究開発の展開 (評価点 3.9)

今後の研究開発計画の立案に対する効果は高いと認められる。

低減速スペクトル炉においてはその成立性が解析的に示され、今後検証すべき課題が明確にされたことは評価できる。

低減速スペクトル炉を将来炉の一つの選択肢として、水冷却高速炉としての特性・性能を明らかにし、可能性や実現性を検討することには、意義がある。ただし、将来高速増殖炉の選択肢の一つと位置付けることを視野に入れるのであれば、総合的な評価が望まれる。なお、次期 5 カ年計画として「低減速スペクトル炉の総合評価を行い実用化のめどを付ける」としているが、JNC による FBR 実用化戦略研究での炉形絞り込みの過程を参考にしつつ、適切な研究開発計画の軌道修正を考慮することも必要である。エネルギー・システムの評価に当たっては、核燃料サイクル側の要因や廃棄物問題まで含めて総合的に評価し、導入シナリオとの関連も考慮した上で、炉概念の絞り込み及び最適化を進めていく必要があろう。

超小型船舶用炉から分散型小型炉システム研究への移行に当たっては、その意義・位置付けを明確にすることが重要であり、分散型小型炉については、将来炉としての要件を整理してガス炉も含めて、原研としての検討の方向性を明確にした上で進めることが望まれる。

(2) 原子炉工学基盤技術の研究（主要課題領域 1-2）

(a) 研究開発課題の目的達成度（評価点 4.5）

原子炉工学基盤技術の研究においては、核データ取得、炉物理研究、熱流動工学など幅広いが、このいずれの分野においても、少ない研究資源にもかかわらず、原子炉の基盤データ、基盤技術の充実が図られており、よく目的を達成したと考える。核データ及び原子分子データライブラリー評価研究は、そのデータベースを整備し、有効利用を図るとの目的を十分達成している。特に、JENDL-3.2 の共分散ファイルの作成は、世界のライブラリの中でも最高水準の業績であり、高く評価する。なお、今後作成するライブラリには、必ず共分散データを同時に付けて公開することを希望する。

炉物理に関する研究では、高精度解析コード開発や炉物理実験において、所期の成果が得られている。

原子炉熱工学に関する研究では、将来型炉の熱設計手法を確立するとの目標が、受動安全系の除熱性能評価コード、稠密炉心の熱工学的成立性の検討等として、具体的に達成されている。

(b) 研究開発実施経過の妥当性（評価点 3.9）

低減速スペクトル炉を柱としたシステム研究と緊密な連携の下に、明確な目標を持って進められている研究が少なからずあることは、評価される。特に、炉物理、核データ関連は、外部との連携の下に研究が進められ、成果が有効に活用されている。

なお、核データについては、代り得る研究機関が存在しないので、評価とともにデ

ータ取得にも力を注ぎ、かつ、データの信頼性について十分留意して研究を進めることを望む。

研究開発の進め方として、マルチファンド化を積極的に進めることにより、研究資金を得ていることは、高く評価できる。所内、所外、国外との研究協力についても、適切に行われている。人的資源については、研究の重点化でよく対応したと評価できるが、4年間で1名の人材補給というのは、いかにもさびしい。なお、今後研究資金はより多様化すると考えられるが、これは、顧客のニーズに合わせて研究開発を行う良い機会と積極的にとられる視点が、もっとあってもよいと考える。例えば、計算コードは、実際の炉心設計や炉の管理などに実用されることにより発展する。実際の問題も、実用と密接に関係したところに課題があることが多い。顧客のために仕事をすることで、こうした実際のデータを入手することが可能になり、その成功は次の発展をもたらし得ると考える。

研究支援業務も、適切になされたと認められる。

(c) 研究開発の成果の普及・波及効果（評価点 4.3）

評価済核データや計算コード等は、それぞれの分野で国内及び国外で利用されており、普及・波及効果は大きい。この分野の論文、レポート、発表件数も多く、高く評価できる。

また、低減速スペクトル炉の熱工学的成立性について、7本バンドル稠密炉心限界熱流束試験により既存の設計式の保守性を確認できたことは、評価される。

熱流動分野では、低減速スペクトル炉の研究への反映はもちろんのこと、改良・整備したTRACコードの安全規制での活用、ITERプロジェクトの推進への反映など、着実な貢献を果たしている。

炉物理・核データ分野についても、高速炉関連も含め各種の基盤データを提供しており、高い評価が得られていると認められる。なお、ライブラリの改訂・ベンチマーク作業のプロセスを外部に知らしめたり、炉定数整備の品質保証を高めるなどの努力が望まれる。

基礎研究であるため、その波及効果は原子力にとどまらず、他分野にも及び、環境科学、天体科学等にも見られている。これらの波及効果が原子炉設計研究の過程でスピナウトしたものであることをもっと一般公衆にアピールすれば、現在焦眉の急務である原子力発電の受容性向上にも役立つものと思われる。

(d) 将来への研究開発の展開（評価点 3.6）

次期研究開発計画の立案への効果は高いと評価できる。

原子炉工学基盤技術の研究について、システム設計研究に片寄りすぎて日本の原子力の重要な基盤を失うことのないように注意してほしい。すなわち、核データや炉心研究は、原子力利用の基盤である。当該部の核データ部門は日本では唯一であり、し

かも日本のみならず、世界のセンターとしての役割も果たしている。JENDL の整備をはじめ新分野の核データ整備を図ることで発展させてほしい。

炉物理の研究は、特に炉心特性解析コードの開発において、日本でこの部門でしか果たし得ない先端的な役割を果たしている。大学では大規模なコードのシステムティックな開発改良はできないし、民間のものは多くが非公開である。炉物理は核データとともに原子炉の中核的分野であり、その維持発展への積極的支援が望まれる。

熱流動研究は、システム研究や安全研究と関係が深い。機構論的手法の開発などにも発展の可能性があるようと思われる。適切な連携による発展を期待したい。

なお、核データ、炉物理、熱流動の課題のいずれも、現在は、低減速スペクトル炉関連に的を絞って行っているが、当該炉の設計研究が終了した際には、特に現行の軽水炉の寿命延長及び稼働率向上につながる方向で新テーマを探索することを望む。低減速スペクトル炉の熱的成立性を実証するための大型熱特性試験の実施に当たっては、同炉の位置付けを明確にした上で、適正な規模のものとすることが望まれる。

原子炉工学基盤技術は、原子力技術を支えるのに不可欠であり、将来とも必要な水準が確保される必要がある。原子炉工学基盤技術の研究の職員人数が、平成 8 年度の 56 人から平成 12 年度の 35 人まで、かなり減少している。システム研究に振り向かれたと思われるが、原子炉工学基盤技術の研究は原研の重要な使命であることを考えると、長期的にはバランスに配慮し、基礎体力の維持を図る必要があると考える。各種実験装置の維持管理は、研究ばかりでなく、人材育成のためにも重要である。十分な支援業務を行う人・予算が確保され、装置の有効活用が計られることを望む。

(3) 原子力用材料の研究（主要課題領域 2）

(a) 研究開発課題〔研究支援業務課題〕の目的達成度（評価点 4.0）

照射誘起応力腐食割れ (IASCC) に関するデータの取得、照射装置の開発、再処理機器・被覆管材料の評価・開発など、緊急あるいは近未来に要するデータの取得、材料データベースの構築など、当初の目的達成の道筋に沿った成果が得られており、目的はほぼ達成されていると評価できる。

また、高温ガス炉用の構造材料として、新しい耐熱合金を開発し特許を取得したことは、評価できる。超高燃焼度 MOX 燃料用被覆管材料の開発については、ステンレス鋼の改良に関する見通しを得て主要な仕様を絞り込んだ段階に至ったことは、一定の評価ができる。

(b) 研究開発実施経過の妥当性（評価点 3.9）

IASCC を含む原子炉材料の問題は、古くて新しい問題であり、地道な研究が必要な分野である。その研究自体はどちらかというと泥臭いものであるが、当該部においては、この研究を地道に遂行しており、かつ、研究の方法も現実的であり、評価できる。

オーステナイト Fe-Cr-Ni 系合金自体は、新しいものではないが、超高純度化技術によって、性能の飛躍的向上が期待される。

湿式再処理工程における高温強硝酸下での材料健全性研究は、六ヶ所再処理プラントに極めて重要な研究であるが、現実的な方法での材料研究として着実に成果を上げている。このような過酷条件下での材料研究は、蓄積がまだ少ないと思われる所以、今後も鋭意続行することを望む。

国家プロジェクトへの参画、外部や民間との協力・連携が活発に行われていることも、適切である。

原子力関係の国内及び国際研究機関と交流・分担しつつ研究開発を実施しており、データ数も着実に増加した。なお、材料研究は、ともするとデータの多さに埋もれがちになりやすいので、データの整理・集約方法にも留意することを望む。今後とも、民間企業との情報交換、連携を密に耐食性材料の研究開発を進めることを望む。

(c) 研究開発の成果の普及・波及効果（評価点 4.0）

研究成果の発表については、よくなされていると評価できる。

原子力安全委員会の原子力施設等安全研究年次計画にも位置付けられているテーマがあり、国の安全規制に相応の貢献がなされていると考える。IASCC の研究については、国家プロジェクトへの貢献が認められる。なお、IASCC の機構解明は、広く原子力機器システムに有用と考えられるので、国際的にも活用されるように更に工夫することを望む。

再処理材料開発による六ヶ所再処理施設の耐食安全性確保等への寄与などの貢献も評価できる。

これらを通して、基幹研究所としての責務を果たしていると認められる。

(d) 将来への研究開発の展開（評価点 3.9）

研究の性格上、次期計画立案への効果は必ずしも大きいようには見えないが、その意義はあったと考える。

材料研究は、原子炉及び再処理施設の寿命や安定運転、ひいては信頼性や経済性に直接結び付く重要な分野である。今後も引き続きデータを積み重ねるとともに、IASCC の機構を解明し、その集約結果を、設計の現場が使える形で情報発信することを望む。

IASCC の機構解明は、国家プロジェクトを補強する位置付けであり、相応の資源配分の下に計画的に実施することが望まれる。必要な照射場と照射後試験施設の確保が前提となるので、十分に留意する必要がある。

高性能被覆管材料の開発は、低減速スペクトル炉の概念設計評価と連携して、計画的に実施されることを期待する。

ジルカロイ系被覆管は製造性、評価試験、使用実績など、長年のノウハウの蓄積に支えられている。ステンレス鋼は基本的に優れた炉心材料であり、産業基盤や炉心環

境での照射経験があるので有望と考えられるが、ジルカロイを凌駕するには近視眼的にならず総合的な開発計画につなげることが重要と考える。

材料の基礎研究は、現象生起機構の解明へと展開されることにより、原子力産業のみならず他の産業分野への波及効果も期待できるので、地道に研究を続けることを望む。

(4) 原子力用燃料の研究（主要課題領域 3）

(a) 研究開発課題の目的達成度（評価点 4.0）

窒化物燃料及び乾式分離技術については、世界的にも研究が遅れている分野であり、これに取り組んだ姿勢は評価できる。この分野における当初の目標を達成している。

岩石型プルトニウム燃料の開発についても、粒子分散型燃料を考案し、また、破損しきい値が軽水炉燃料並であることを示し、さらに欧州における開発を誘発し、安定性評価等予定の目標をほぼ達成している。

(b) 研究開発実施経過の妥当性（評価点 3.9）

新型燃料、乾式再処理に関する研究は、少ない予算の中で多くの成果が出されている。これらにおいては、JMTRを含む原研内の協力、JNCや電力中央研究所との共同研究などの国内の協力・連携が良好に進められ、また国際協力を活用して、効率の良い研究開発の進め方がなされていると認められる。今後、照射挙動の解明等、実験に依存するところが更に大きくなると考えられるが、照射実験の実施等が一層円滑に行われるような体制の整備が重要と考える。

窒化物燃料については、将来炉の燃料として有望であり、核燃料サイクルシステムの選択肢を広げるという意味で、価値がある。ただし、窒化物燃料は照射実績がほとんどなく、かつ N-15 の経済的な濃縮技術が必須であり、多額の開発費と期間を要するため、成立性の鍵となる技術課題を優先的に実施することが望まれる。

今後、より積極的に外部資金の導入を検討することを期待する。

(c) 研究開発の成果の普及・波及効果（評価点 4.0）

研究成果の公開・発表の状況は、高く評価できる。

これらの研究により、窒化物燃料及び乾式分離の可能性を示した。窒化物燃料及び乾式分離技術に関する研究の成果は、JNC の FBR 実用化戦略研究において有効に活用されている。岩石型燃料については、欧州の研究を活性化させたことが評価される。

(d) 将来への研究開発の展開（評価点 3.8）

今後の計画立案への効果は、妥当なものと考えられ、将来の多様な選択肢を提供す

るものと評価する。

窒化物燃料が研究の中心になっているが、ウランにPu/アクチノイド/長寿命FPを比較的高濃度で富化した酸化物燃料の製造性についての研究に力を入れる必要があると考えられる。

窒化物燃料については、実現時の性能の良さはよく知られているものの、高温解離の問題が未解決のまま進行されている。窒化物燃料の開発は、JNCのFBR実用化戦略研究とよく調整し、効率的に進めることを望む。

マイナーアクチノイドの変換技術は、聞こえは良いが実際には変換率が低い、被覆管等新たな放射化物を増やす、炉の安定性や出力が低下するなどのデメリットもあり、どこまでやるのが現実的かよく検討した上で取り組むことを望む。

プルトニウム岩石燃料も同様であり、技術が確立したときに誰がどこでやるのか（可能か）をよく検討の上で実施することを望む。岩石型燃料は、資源の有効利用という観点からは劣る概念であり、位置付けを明確にして、国際協力等による効率的な開発に留意することが望まれる。

種々の燃料の国際的な研究開発状況を視野に入れることも必要である。

3.2.2 その他の所見

上記以外の所感、問題点、提言等、各委員からのコメントを以下に列記する。

○平成10年7月に行われた原研の研究開発課題全般に対する総括的な中間評価の中で、「システムと燃料・材料との連携、軽水炉材料分野での民間との研究内容の調整、従来路線から抜け出た新しい発想の転換が必要」との指摘があり、これを受け、研究資源の効率的活用、産業界との連携の強化、低減速スペクトル炉を柱とした体系的研究の推進が、着実に行われたと評価できる。

今後は、JNCとの統合、独立行政法人化が待ち構えている。これは、研究開発をより実際的に展開できる良い機会のはずである。実用上の問題を扱うことで、研究開発はより発展し、新たな展開や展望が開けると期待できるので、積極的にチャレンジしてほしい。

人的資源がほとんど枯渇しかかっているのは、この分野が原子力利用の中心的分野であることを考えると、極めて憂慮すべき事態であり、研究所挙げての積極的支援がなされることを期待したい。

最近、小型モジュラー炉の議論が盛んであるが、小型とは、投資総額の低減のことであり、小出力では必ずしもない。モジュラーとは、投資の平滑化のことである。これが、原子力建設市場の要求の本質である。過去の経験からは、単純に小出力でモジュラー建設を仮定すれば発電コストをそう悪化させずこの目標を達成することができるとはいえない。安易な目標設定をすることなく、新しいブレークスルーをもたらすべく将来の挑戦すべき課題として念頭に置いてほしい。

○原研が原子力発電及び事故時安全性の研究から数値シミュレーション技術や加速器関連研究に重点を移しつつある中にあって、依然として原子力発電に直結する研究開発を、原子炉本体のみならず核燃料サイクル分野にも視点を拡げて実施していることは、そこより出る成果そのものはもとより、原子力発電の信頼性・経済性向上にとっても重要であると思われる。是非今後も、今までの経緯にとらわれず、現場における問題を直視した現実型の研究・開発として進めることを望む。

○原子力システム、炉工学基礎、材料、燃料の各分野でレベルの高い成果が得られている。

軽水炉、高速炉に共通な安全技術やシステムと材料との関わりなど、当該部特有の総合的活動も必要と考えられる。

研究テーマの集約は、全体として合理的であったと考えられる。

多くの技術が核融合開発に対しても活用されていることは、重要である。

○当該部は、核分裂炉に関する種々の分野の専門家を抱え、幅広くシステム研究を実施する能力を有している。魅力あるシステム概念を創出し成果を発信するとともに、様々な基盤領域において技術の発展・継承を図っていくことを期待する。

外部機関との研究協力を積極的に推進するとともに、大学との交流や国際協力の活用を計画することが重要だと思われる。

○エネルギー利用の将来型システムの総合的研究として、各要素研究が関連をもって展開されており、また短期的課題に関しては、安全規制上の基盤整備に成果をあげたと評価する。今後の原子力エネルギー利用においては、経済性もさることながら、一般国民の受容がなければ、その進展は望めない。受容性を高める上からは、エネルギー戦略上での原子力エネルギーの位置付けが重要で、また、その位置付けのためには、核燃料サイクルの確立、高速増殖炉によるウラン資源の有効利用が重要と考える。国の基幹研究所として安全性向上とともに長期的将来型システムの研究に指導力を発揮する研究展開を希望する。

原子力システム、基盤要素研究において、新しい概念の創出を目指す研究は、原子力分野を活性化し、人材確保に有効と考える。人材育成無しには将来は無いので、国の原子力に関する基幹研究所として、是非若い有能な人材を引き付けるような研究を発信することを望む。

研究員、技術系職員に若年層が補給されることは、大変問題であると考える。

○1) 原研設立時に国民が原研に期待したことは、自給率の極端に低い日本のエネルギー問題を原子力により解決することである。現行軽水炉では、ウラン寿命は100年前後であり、当初の原子力の目的からは未完の炉であり、海外での高速炉開発の停滞状況もあわせて考えると、原研設立時の期待に十分こたえたとはいえない。また、MOXリサイクル路線に代わる新しい核燃料サイクルを求めて過去と同じような巨額の投資を期待するのも、難しい状況にある。欧米の原子力研究所が基礎研究を指向することへの対応も必要であるが、当該部は、将来型軽水炉開発により、原研

設立当初からの国民の付託にこたえてほしい。

- 2) 低減速炉システムやステンレス被覆管で代表される、いわゆる新システム開発においては、新システムとして世の中に受け入れられるためには非常に多くの条件があり、例えば百の条件のうちの一つが満たされなければ、単なる「思いつき」で終わる。逆に、必要条件のうちの一つを外すと、容易に多くのアイディアは生まれ、結局消えていくことになる。真のアイディアの創生に引き続き努力することを望むとともに、新システム概念となるための必要条件をすべて満たしているかの吟味を十分行い、実証試験による確認までが原研の使命と考えることを望む。
 - 3) 計算プログラムが計算対象を正しく表していることを確認するには、非常な困難を伴うが、幸い、軽水炉は数十基・数十年の運転実績があるので、コーディング完了時は道半ばと考えて、実証・改良に、より多くの資源を傾注することを望む。
 - 4) 低減速スペクトル炉については、論文執筆で満足することなく「エネルギー長期安定供給」という原子力の使命に十分答える炉であることを実証するまで研究を継続されることを望む。
 - 5) 低減速スペクトル炉の開発に適用されるソフトウェアについては、現在運転中の軽水炉の運転実績等での検証が終了した時点でソフトウェアの完成と考えてほしい。運転中の炉は中性子実効増倍率 (K_{eff}) = 1 を保っているので、1サイクルの運転状態を開発したソフトウェアで追跡し、計算結果がサイクルを通じて $K_{eff} = 1$ を確認することをソフトウェアの実用化前に行うことを望む。
 - 6) 試験炉の安全審査に必要かつ十分なデータが得られるよう、研究計画を立案することを希望する。
 - 7) 軽水炉燃料の被覆管としてジルカロイとステンレスの利害得失、将来性等について専門家、例えば学会の分科会等で統一見解をまとめることを希望する。
- ミッション指向の研究分野は、論文数などだけで成果の評価を行うのは難しいという側面があるのは、十分に理解ができる。今後、そのような研究分野での目的達成度の数値化などを工夫することを期待したい（研究者自らの自己評価などの検討を含む）。

別表 エネルギーシステム研究専門部会評価結果（評価点）一覧

主要課題領域	評価項目	評価点*
将来型原子力システムの研究 (主要課題領域 1-1)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.0
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	4.0
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	3.9
	(d) 将来への研究開発の展開	3.9
原子炉工学基盤技術の研究 (主要課題領域 1-2)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.5
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.9
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.3
	(d) 将来への研究開発の展開	3.6
原子力用材料の研究 (主要課題領域 2)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.0
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.9
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.0
	(d) 将来への研究開発の展開	3.9
原子力用燃料の研究 (主要課題領域 3)	(a) 研究開発課題の目的達成度	4.0
	(b) 研究開発実施経過の妥当性	3.9
	(c) 研究開発の成果の普及・波及効果	4.0
	(d) 将来への研究開発の展開	3.8

(* 5点満点に対する各委員の評価点の平均値)

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	フーラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリイ	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC関係理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ポアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

$$1 \text{ cal} = 4.18605 \text{ J(計量法)}$$

$$= 4.184 \text{ J(熱化学)}$$

$$= 4.1855 \text{ J(15 °C)}$$

$$= 4.1868 \text{ J(国際蒸気表)}$$

$$= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$= 735.499 \text{ W}$$

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100
	3.7 × 10 ¹⁰	1		0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

エネルギーシステム研究専門部会評価結果報告書（平成13年度事後評価）

