JAEA-Evaluation
2009-005

平成 20 年度　研究開発・評価報告書
評価課題「原子力基礎工学研究」（中間評価）

Assessment Report of Research and Development Activities
Activity: “Nuclear Science and Engineering Research” (Interim Report)

原子力基礎工学研究部門

Nuclear Science and Engineering Directorate

October 2009

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

平成 20 年度　研究開発・評価報告書
評価課題「原子力基礎工学研究」（中間評価）

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究部門

（2009 年 8 月 11 日受理）

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）及びこの大綱的指針を受けて作成された「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、原子力基礎工学研究部門に関する中間評価を原子力基礎工学研究・評価委員会に諮問した。

これを受けて、原子力基礎工学研究・評価委員会は、本委員会によって定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された平成 17 年 10 月から平成 20 年 8 月までの原子力基礎工学研究部門の運営及び原子力基礎工学研究の実施に関する説明資料の検討、及び原子力基礎工学研究部門長、並びにユニット長による口頭発表と質疑応答を行った。

本報告書は、原子量基礎工学研究・評価委員会より提出された中間評価の内容をまとめるとともに、5 ページ以降に「評価結果（答申書）」を添付したものである。

本報告書は、研究開発・評価委員会（原子力基礎工学研究・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　原子力基礎工学研究部門　研究推進室（事務局）
東海研究開発センター　原子力科学研究所（駐在）：〒319・1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4

Assessment Report of Research and Development Activities
Activity: "Nuclear Science and Engineering Research"
(Interim Report)

Nuclear Science and Engineering Directorate

Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 11, 2009)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as "JAEA") consults an assessment committee, "Evaluation Committee of Research Activities for Nuclear Science and Engineering" (hereinafter referred to as "Committee") for interim assessment of " Nuclear Science and Engineering," in accordance with "General Guideline for the Evaluation of Government Research and Development (R&D) Activities" by Cabinet Office, Government of Japan, "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 the JAEA's request, the Committee assessed the research program of the Nuclear Science and Engineering Directorate (hereinafter referred to as "NSED") during the period of three years from October 2005 to August 2008. The Committee evaluated the management and research activities of the NSED based on the explanatory documents prepared by the NSED, the oral presentations with questions－and－answers by the Director General and unit leaders.

Keywords: Nuclear Science and Engineering

This evaluation report presents the result of third-party evaluation conducted based on the "General Guideline for the Evaluation of Government R&D Activities" by Japanese Cabinet Office, etc.

目　次

1. 概　要 …… 1

2. 原子力基礎工学研究・評価委員会の構成 …… 2

3. 審議経過 …… 3

4. 評価方法 …… 4

5. 評価結果(答申書) …… 5

参考資料 （日本原子力研究開発機構作成） …… 49

Contents

1. Outline …… 1

2. Evaluation Committee of Research Activities
for Nuclear Science and Engineering …… 2

3. Status of assessment …… 3

4. Procedure of assessment …… 4

5. Results of assessment (Committee Report) …… 5

References (documents owned by Japan Atomic Energy Agency) …… 49

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定」（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、原子力基礎工学研究に関する中間評価を原子力基礎工学研究・評価委員会に諮問した。

これを受けて、原子力基礎工学研究・評価委員会は、本委員会によって定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された平成17年10月から平成20年8月までの原子力基礎工学研究部門及び原子力エネルギー基盤連携センターの運営、原子力基礎工学研究の実施に関する説明資料の検討、及び原子力基礎工学研究部門長、並びにユニット長による口頭発表と質疑応答を行った。

その結果、原子力基礎基盤研究の役割として、研究開発を支える、アイデアや技術を生み出す、プロジェクトや政策実現に役立つ、人材を育てることを牽引、原子力研究開発利用の発展に貢献するとの明解な理念が示されており、各分野について日本の原子力開発利用にとって重要な貢献がなされていると評価された。また、原子力エネルギー基盤連携センターはじめ、外部ニーズとのマッチングにより広範な研究基盤資源を有効に活用する仕組みも設けられていること、さらに、今後の取り組みとして、原子力工学の中核分野において、体系性を持った基礎研究を持続的に展開し、新分野を切り拓くとの方針は適切と評価された。全体として、部門長とユニット長の適切な指導の下、有機的な運営と多くの成果を挙げていると高く評価された。

2. 原子力基礎工学研究・評価委員会の構成

本委員会は平成 18 年 4 月 1 日に設置され、以下の 10 名の委員から構成されている。

委員長　岡　芳明　東京大学大学院工学系研究科教授
委　員　井頭 政之　東京工業大学原子炉工学研究所准教授
甲斐 倫明　大分県立看護科学大学教授
柴田 康行　(独)国立環境研究所化学環境研究領域長
代谷 誠治　京都大学原子炉実験所所長
関村 直人　東京大学大学院工学系研究科教授
宅間 正夫　原子力産業協会　顧問
内藤 誠章　新日本製鐵(株)　環境・プロセス研究開発センター
製銑研究開発部長
山中 伸介　大阪大学大学院工学研究科教授
横山 速一　(財)電力中央研究所原子力技術研究所長

（五十音順）

３. 審議経過

（1） 中間評価委員会開催： 平成 20 年 9 月 30 日

・原子力基礎工学研究・評価委員会の役割と原子力機構における位置付けについての説明

・評価方法についての議論と評価方法の決定

・原子力基礎工学研究の実施内容、成果、今後の展開に関する説明と意見交換

（2） 欠席委員への個別説明： 平成 20 年 10 月 21 日 及び 10 月 28 日

・原子力基礎工学研究・評価委員会の役割と原子力機構における位置付けについての説明

・評価方法についての議論と評価方法の決定

・原子力基礎工学研究の実施内容、成果、今後の展開に関する説明と意見交換

（3） 評価結果（答申書）のまとめ

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

（4） 答 申： 平成 20 年 3 月 24 日

4. 評価方法

以下の評価作業手順及び評価項目に従い、原子力基礎工学研究部門より提出された平成 17 年 10 月から平成 20 年 8 月までの原子力基礎工学研究部門及び原子力エネルギー基盤連携センターの運営、原子力基礎工学研究の実施に関する説明資料の検討、及び原子力基礎工学研究部門長、並びにユニット長による口頭発表と質疑応答を行った。

（1） 評価作業手順

① 評価方法についての議論と評価方法の決定
② 原子力基礎工学研究部門及び原子力エネルギー基盤連携センターの運営についての部門長による説明と質疑・応答
③ 各研究分野における研究実施内容、成果、今後の展開に関するユニット長による説明と質疑・応答
④ 提出資料に基づき、評価意見を整理
⑤ 答申書の取り纏め方針の検討

（2） 評価項目

1) 原子力基礎工学研究部門及び原子力エネルギー基盤連携センター
組織、部門及びセンターの運営、人材育成、広報、機構内外との交流、国際交流、今後の展開について評価。

2) 原子力基礎工学研究の実施
以下の各研究分野について、研究実施内容、成果、今後の展開について評価。
・核工学・炉工学
・燃料・材料工学
・分離変換工学
・環境・放射線工学
・核熱応用工学

なお、核熱応用工学に関しては、平成 20 年 6 月に高温ガス炉システム研究委員会（委員長：岡 芳明東大教授）にて受けた中間評価の報告を本委員会で行った。

（3） 評価対象期間
平成 17 年 10 月より平成 20 年 8 月末

5. 評価結果（答申書）

平成 21 年 3 月 24 日

独立行政法人　日本原子力研究開発機構
理事長　岡﨑　俊雄　殿

研究開発・評価委員会
（原子力基礎工学研究・評価委員会）
委員長　　岡　芳明

研究開発課題の評価結果について（答申）

当委員会に諮問〔20原機（原）018〕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通り答申します。

記

研究開発課題「原子力基礎工学研究」

以上

This is a blank page.

（別紙）

原子力基礎工学研究・評価報告書
－中間評価－

2009 年 3 月

原子力基礎工学研究・評価委員会

This is a blank page.

目　次

1. はじめに …… 11

2. 総合所見 …… 12

3. 中間評価 …… 14
　3．1　中間評価の方法 …… 14
　3．2　中間評価の対象 …… 14
　3．3　中間評価の対象期間 …… 15

4. 中間評価対象の概要 …… 16
　4．1　原子力基礎工学研究部門の概況 …… 16
　　4．1．1　まえがき …… 16
　　4．1．2　成果の発信及び機構外への貢献 …… 18
　　4．1．3　原子力エネルギー基盤連携センター …… 19
　　4．1．4　今後に向けて …… 20
　4．2　原子力基礎工学研究部門の研究活動 …… 21
　　4．2．1　核工学・炉工学に関する研究活動 …… 21
　　4．2．2　燃料・材料工学に関する研究活動 …… 23
　　4．2．3　分離変換に関する研究活動 …… 25
　　4．2．4　環境・放射線工学に関する研究活動 …… 27
　　4．2．5　核熱応用工学に関する研究活動 …… 30
　　4．2．6　廃止対象施設（WASTEF, BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続について …… 33

5. 中間評価結果 …… 36
　5．1　特に優れた成果を上げている分野・項目 …… 36
　5．2　より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な分野・項目 …… 38
　5．3　欠落/不足しており拡充が必要な要素 …… 39
　5．4　他に優れた担い手がおり、他に任せるべき要素 …… 40
　5．5　シーズとして将来が期待できる分野・項目 …… 41
　5．6　次期に向けての必要な視点－基礎工学研究のマネージメント全般 …… 43
　5．7　廃止対象施設（WASTEF、BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続について …… 44
　5．8　高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発について …… 44
　5．9　その他 …… 47

This is a blank page.

1. はじめに

平成 17 年 10 月1日に独立行政法人・日本原子力研究開発機構が発足して以来、原子力基礎工学研究部門では平成 22 年 3 月までの原子力基礎工学研究に関する中期計画において、

① 基礎的・基盤的研究を持続的に進め、データベース、コード等の技術体系を整備して社会に提供する活動を進め、

その基盤の上に、

② 革新的原子力技術を先導する活動（原子力水素、分離変換技術研究等）、

③ 原子力機構内外の原子力利用・技術開発や国の施策を支援する活動（保障措置分析技術開発、材料高経年化研究等）、

④ 産学に原子力技術開発のプラットフォームを提供する活動

を実施してきた。

このような活動を評価し、部門長に意見を述べるために、原子力基礎工学研究・評価委員会を設置し、各年度毎にこれまで 3 回の委員会を開催してきた。平成 20 年 9 月 30 日に原子力基礎工学研究・評価委員会を開催し、平成 17 年 10 月から平成 22 年 3 月まで（4 年半）の原子力基礎工学研究部門での研究開発に関する中期計画に対して、平成 17 年 10 月から約 3 年が過ぎた現時点で、大綱的指針に基づく研究開発課題の中間評価を行った。この中間評価は、5 年以上の研究開発期間を有する課題に対して原則 3 年程度を目安に実施するものである。

中間評価では、原子力機構　原子力基礎工学研究部門から提出された資料に基づき、研究開発の進捗状況、情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などの見直しの必要性、研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性などを評価した。委員会開催後、委員の意見を集約し、報告書案を作成した。その後、報告書案に対する委員全員のレビューを行い、これらを踏まえて、本報告書を完成させた。

本研究・評価委員会による中間評価結果が、今後の原子力基礎工学研究の更なる展開に役立てられることを切に願う。

本研究・評価委員会の委員各位には、多忙を極める中で、非常に熱心に評価活動を進めていただいた。そのご尽力に対して、ここに深甚なる謝意を表する。

平成 20 年 12 月 10 日
原子力基礎工学研究・評価委員会
委員長　　岡　芳明

2. 総合所見

原子力基礎基盤研究は、原子力の研究開発利用を支える共通的科学技術基盤を形成するものとして極めて重要である。原子力基礎基盤研究の役割として、研究開発を支える、アイデアや技術を生み出す、プロジェクトや政策実現に役立つ、人材を育てることを牽引しつつ、原子力研究開発利用の発展に貢献するとの明解な理念が示されており、部門長の適切な指導力の下、各分野について日本の原子力開発利用にとって重要な貢献がなされていると評価できる。また、原子力エネルギー基盤連携センターはじめ、外部ニーズとのマッチングにより広範な研究基盤資源を有効に活用する仕組みも設けられており評価できる。

今後の取り組みとして、原子力工学の中核分野において、体系性を持った基礎研究を持続的に展開し、新分野を切り拓くとの方針は適切と評価できる。すなわち、

- 核工学・炉工学は、原子炉の中核的な基盤分野であり、日本の原子力研究開発に不可欠な貢献をしていると評価できる。この分野の中核を担い、先端を切り拓くとの自負のもと、組織力を生かした発展を図るべきである。その成果やニーズとの対応、貢献を分かりやすく説明する努力を更に払うとよいのではないか。
- 燃料・材料工学は、高経年化や核燃料サイクルといった重要課題との関係が深く、重要な多くの成果を挙げている。燃料工学についてはハンドブックの作成や国内のネットワーク構築の活動もなされており評価できる。材料工学については、劣化損傷機構の解明とともに高経年化などの課題に基礎的知見を提供していると評価できる。
- 分離変換技術に関する研究開発は、原子力利用の可能性を広げる基礎技術として重要であり、国の評価を経て推進するのは適切である。
- 環境放射線工学についても環境動態、環境保全、微量分析、線量評価、放射線工学に係る科学技術基盤を強化発展させるとともに社会への反映を意識した応用研究を行うとの方針は適切である。
- 高温ガス炉技術並びに水素製造技術については、技術的知見及び原子力機構で得られているこれまでの成果から具体的な課題を定めたことは妥当で、着実に研究成果を上げており、世界をリードする成果と評価できる。

一方、廃止対象施設とされるWASTEF、BECKY 空気雰囲気セルの運転継続を図るべきである。WASTEF には、ユニークな試験装置が設置されており、照射を受けた材料の研究にとって極めて重要で燃料試験施設（RFEF 等）への集約化は困難である。原子力安全・保安院や原子力安全基盤機構（JNES）の委託研究のニーズにも対応できるなど、成果もあがり、受託収入により維持管理もできるので、

運転継続が賢明な選択である。BECKY 空気雰囲気セルについては、使用済燃料を用いた小回りのきく試験が可能な重要な実験施設であり、成果のあがる運転継続が賢明な選択であると考えられる。

全体として、部門長とグループリーダの適切な指導の下、有機的な運営と多くの成果を挙げていると高く評価できる。

3. 中間評価

3．1　中間評価の方法

表1に示す委員で構成される原子力基礎工学研究・評価委員会で中間評価を実施する。

表1　原子力基礎工学研究・評価委員会委員一覧表

	氏　名	所　属・職　位
委員長	岡　芳明	東京大学大学院工学系研究科教授
委　員	井頭　政之	東京工業大学原子炉工学研究所准教授
委　員	甲斐　倫明	大分県立看護科学大学教授
委　員	柴田　康行	(独)国立環境研究所化学環境研究領域長
委　員	代谷　誠治	京都大学原子炉実験所所長
委　員	関村　直人	東京大学大学院工学系研究科教授
委　員	宅間　正夫	原子力産業協会　顧問
委　員	内藤　誠章	新日本製鐵(株)　環境・プロセス研究開発センター 製銑研究開発部長
委　員	山中　伸介	大阪大学大学院工学研究科教授
委　員	横山　速一	(財)電力中央研究所原子力技術研究所長

（委員氏名は五十音順）

3．2　中間評価の対象

中間評価の対象は、原子力基礎工学研究部門における研究活動全般であり、以下の領域に分けて評価を行う。

（1）原子力基礎工学研究部門の概況

（2）原子力基礎工学研究部門の研究活動

1）核工学・炉工学に関する研究活動

2）燃料・材料工学に関する研究活動

3）分離変換に関する研究活動

4）環境・放射線工学に関する研究活動
5）核熱応用工学に関する研究活動

3．3　中間評価の対象期間

中間評価の対象期間は、平成 17 年 10 月から、平成 20 年 8 月までとする。

4. 中間評価対象の概要

4．1 原子力基礎工学研究部門の概況

4．1．1 まえがき

原子炉、核燃料サイクル、核融合、加速器の安全確保、改良、技術革新のためには、核データ等の基礎データの収集・高精度化や、設計解析のための標準コード整備、より深いレベルで物質・材料を捉えるための分析・測定ツール等の開発という原子力基礎基盤研究が不可欠である（図4.1.1）。これらの研究開発から、原子力の新技術・新概念、さらには、多分野にも波及する科学技術が生まれてくる。

革新性： 原子力の新技術・新概念の創出、原子力の先端性、総合性に発した新しい科学技術の創成に貢献

継続性： 標準、定数、データベース形成

開放性： 産学との連携

即応性： 事故対応、原因解明、国や自治体の支援。

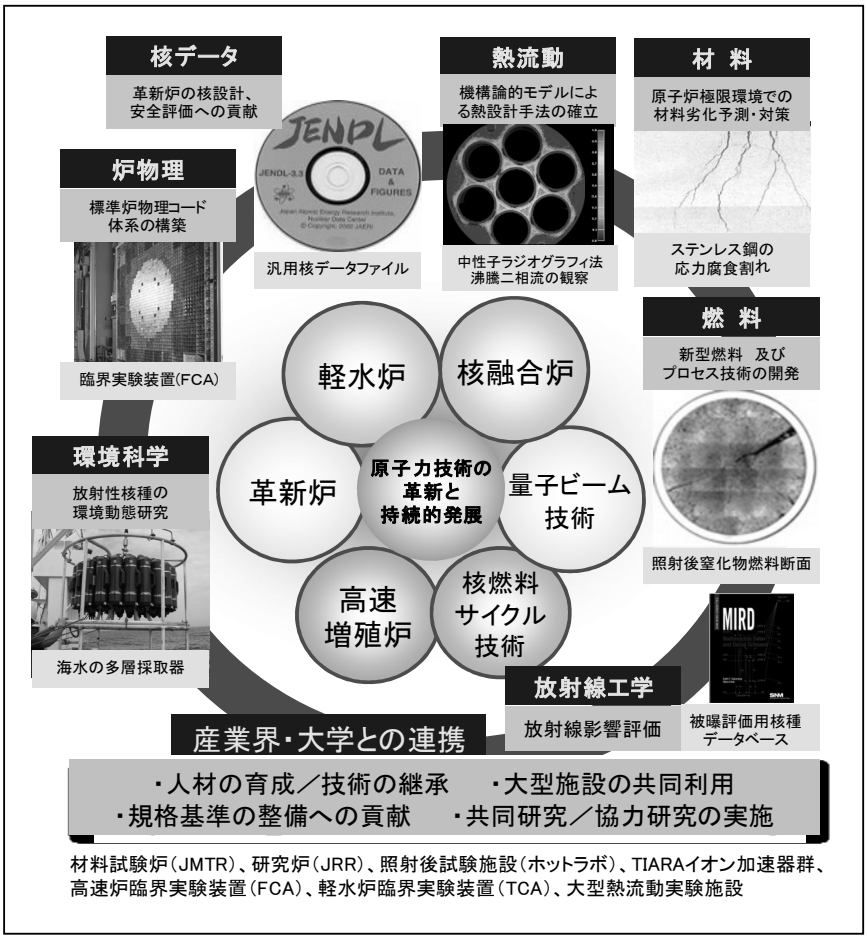

図 4.1.1 原子力基礎基盤研究

そこで、原子力基礎工学研究部門では、

■原子力の研究、開発及び利用を支える共通的科学技術基盤を形成する

■革新的なアイデアや技術を生み出し、原子力の新しい可能性を切り拓く

■常に研究のニーズを意識し、機構内外のプロジェクトや国の政策実現に役立つ

■原子力科学技術を支える人材を育てる

という理念の下、

① 基礎的・基盤的研究開発を持続的に進め、データベース、コード等（核データ、核・熱設計コード、被ばく線量評価、等）の技術体系を整備して社会に提供する活動を進め、

その基盤の上に、

② 革新的原子力技術を先導する活動（超高温ガス炉と核熱利用水素製造技術の開発、分離変換技術開発、3次元中性子ラジオグラフィー、C14 を用いた海洋、森林炭素循環の解析等）、

③ 原子力機構内外の原子力利用・技術開発や国の施策を支援する活動（保障措置・環境試料分析、軽水炉材料高経年化研究等）、

④ 産学に原子力技術開発のプラットフォームを提供する活動（原子力エネルギー基盤連携センター、東大専門職大学院への協力等）

を実施してきた。

基礎的・基盤的研究開発における具体的な取り組みを以下に記す。

（1）核工学

原子炉や加速器の設計において最も基礎となる核データの収集、評価。それらを用いた原子力システムの核熱設計技術の高度化。

（2）炉工学

原子炉や核融合炉における熱流動解析や構造解析技術の高度化のための試験、解析技術開発。

（3）燃料工学

新しい再処理、分離技術開発のための抽出剤の分子設計、核燃料開発等のための超ウラン元素の物理、化学的性質の解明。

（4）材料工学

原子炉の高経年化の基礎的解明や核融合炉、革新的原子力システムの実現のための高耐食性材料や低放射化材料の開発。

（5）環境工学

放射性物質等の環境負荷物質の環境中での挙動の解明、環境中の極微量物質や保障措置分析等のための高度分析技術の開発。

（6）放射線工学

被ばく線量評価や医療、遮蔽研究の基盤となる放射線・粒子・重イオン輸送計算の開発、及び被ばく線量評価手法の高度化。放射線の生物影響解明のためのDNA損傷・修復過程のシミュレーション研究。

4．1．2 成果の発信及び機構外への貢献

研究成果の公開を促進する観点から、得られた成果を学術論文発表や特許出願などの形で積極的に行っている。 平成17年度～平成20年度上期までの成果、それに伴う受賞などを以下に記す。

査読付論文　516報
査読無論文　256報
研究開発報告書　122報
特許登録　11件
特許出願　79件　（うち、公開中　23件、 審査請求中　19件）
受賞
　文部科学大臣賞　1件
　学会賞　28件　（日本原子力学会、日本放射線化学会等）
プレス発表　15回
新聞取材　8回

また、研究成果による社会貢献を図るとともに、人材育成等に協力している。代表的な例を以下に記す。

・外部への広範な基盤研究資源の提供（原子力エネルギー基盤連携センター）
・各種事故調査対応（福島第一原子力発電所6号機等）
・IAEA保障措置試料分析、CTBT核実験監視への協力
・Information Exchange Meeting on Nuclear Production of Hydrogen、3rd Workshop of the U.S. −Japan GNEP Simulation and Modeling Working Group などの国際会議、ワークショップ等の主催： 30回
・核データ研究会、放射線輸送コード PHITS に関するユーザー研究会・講習会などの国内会議主催： 8回
・原子力交流制度による外国人研究者の受入れ： 10名
・連携大学院、専門職大学院等への協力（講義、実習等）

特に、上記のように人材育成に貢献するため、原子力交流制度による外国人研究者の積極的受入れに加えて、原子力研究者・技術者を連携大学院に派遣して、大学院教育に参画するとともに、大学院学生を受入れて原子力分野の研究を指

導している。

① 連携大学院

客員教授(9 名): 茨城大 2、宇都宮大 1、千葉大 1、筑波大 1、東工大 1、東北大 1、北大 2

客員准教授(1 名): 東工大

特別講義講師(2 名): 東大、東工大

② 東大専門職大学院原子力専攻

客員教授(1 名)、非常勤講師(9 名)、実習講師(9 名)

③ 東大大学院原子力国際専攻

客員教授(2 名)

4．1．3 原子力エネルギー基盤連携センター

日本原子力研究開発機構はその発足にあたり、機構が保有する原子力施設・設備を利用して、産学との連携を強化し社会のニーズを踏まえた研究開発を推進することを方針とした。その一環として、2006 年 1 月に原子力基礎工学研究部門を核とした「原子力エネルギー基盤連携センター」を設置した(図 4.1.2)。

同センターでは、広く産学のイニシァティブに応じて、原子力の革新的技術開発のための共同研究、技術移転や技術協力を効率的に行うプラットフォーム機能を提供する。活動の形態は、連携協力協定を結んで企業や大学とJAEAとの研究者・技術者からなる特別グループを作って技術開発を行うものである。それぞれが自分の資金を持ち寄ることを基本としているが、競争的資金を共同で獲得したり、受託研究も可能とした。また、先端的な装置を用いた高度な試験については、有

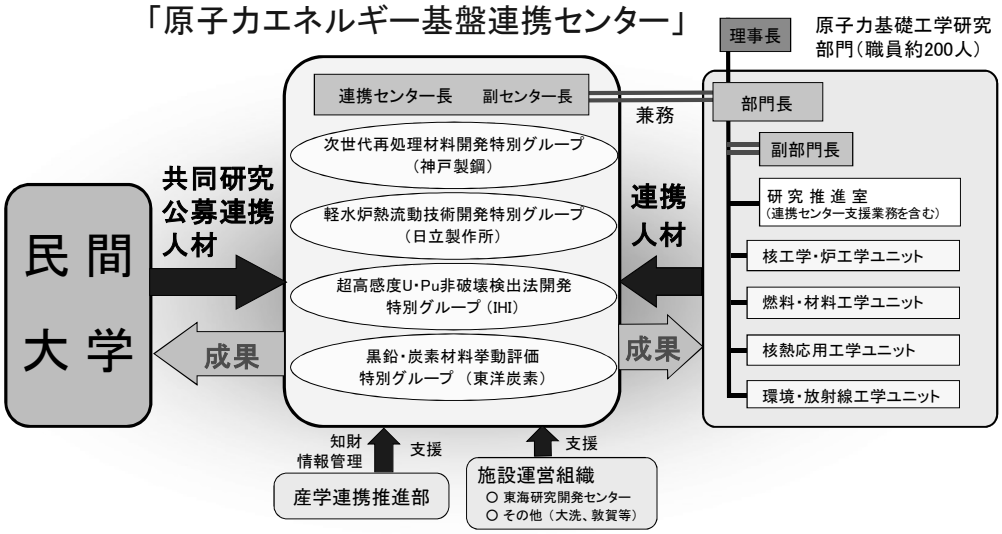

図 4.1.2　原子力エネルギー基盤連携センター

用性を判断するためのトライアルユースについても対応している。さらに、産業界との連携において、打合せ段階から情報管理に配慮している。

4．1．4 今後に向けて

基礎工学部門は、原子力工学の中核分野において体系性を持った基礎研究を持続的に展開する。また、原子力工学の高度化を進めることで、産学と連携して、原子力をめぐる諸課題の解決にあたるとともに、原子力エネルギー利用の新しい技術分野を切り拓く。

この大きな方針のもとに、

- 原子力固有の放射線環境下における諸課題について、基礎的ツール、すなわち、下記のような(1)プローブ、(2)ソフトウェア、(3)システムを開発し、原子力工学分野に提供し続ける。
  - (1) 中性子トモグラフ、中性子問いかけ分析等の先端計測技術
  - (2) JENDL、 PHITS、二相流熱流動シミュレーション、環境動態シミュレーション、放射線影響解析
  - (3) 照射材料科学、アクチノイド・プロセス科学、放射線触媒利用等の放射化学
- 「原子力エネルギー基盤連携センター」を通じて、研究開発資源の社会への提供を行う。
- 「アクチノイド・ネットワーク」を始めとした、大学との役割り分担・連携を進める。

これらの取組みにより、基礎基盤研究はその主たる応用先を原子力エネルギーとしつつも、狭義の原子力を超えた視野を持ち続けることに努める。表 4.1.1 には広い科学技術分野との共同の事例を示す。

表 4.1.1　広い科学技術分野との協同の事例

項　目	研究動因	展開/波及
粒子輸送コード等	中性子トモグラフィーによる熱流動研究	自動車産業等の中性子利用高速可視化技術
	宇宙線評価	半導体エラー評価・対策
核データ等データベース	MIRD データベース	医療における標識化合物利用等
	天体形成 Fe-60	高速炉/核融合の長半減期放射化生成物

生体放射線影響	DNA 損傷発生	分離用抽出剤の放射線損傷形態
	被ばく評価（ボクセルファントム等）	放射線医療計画システム
分離技術	エマルジョンフローによる U 廃液浄化	都市鉱山資源回収プロセス。 一般工場廃液浄化。
	抽出剤設計技術開発	都市鉱山資源回収のための新規抽出剤
高純度合金	再処理用 EHP 合金（神戸製鋼所と連携）	一般産業用高耐食性材料
微粒等方質黒鉛	HTTR 炉心材料	半導体製造用材料 → VHTR 用材料（連携センター）

4．2 原子力基礎工学研究部門の研究活動

4．2．1 核工学・炉工学に関する研究活動

核工学・炉工学分野では、革新的原子炉開発を支えるための共通基盤研究として、原子力エネルギー研究開発（軽水炉、高速炉、核融合、核変換システムなど）の設計において最も基礎となる核データの収集と評価及び大規模試験の代替を目指した最先端核熱設計手法の構築を実施している。

核工学の分野では、核データユーザに対するアンケート調査を行って核データライブラリーに対する課題を摘出し、課題解決に向けて研究活動を実施している。まず、評価済み核データライブラリーJENDL の整備として、アクチノイド 79 核種、FP 核種 213 核種を対象とした JENDL-Actinoid ファイル及び 20MeV～3GeV のエネルギー範囲における 102 核種を対象とした JENDL-高エネルギーファイルを公開した[1]。核データ評価技術の向上では、最新の核理論研究の成果を反映した核データ評価用理論解析コードの開発し、評価精度の向上を図った[2,3]。2009 年度には、これらを集大成した JENDL-4 の公開を予定している。核データ測定では、核変換のシナリオ研究に必要な MA 及び FP 核種に対して、熱領域における中性子捕獲断面積を測定した[4,5]。 さらに、中速中性子領域における測定のために、J-PARC に核データ測定用ビームラインを建設して飛行時間法による測定手法を開発し、高速中性子領域における測定のために、放射線標準施設/東大弥生炉において高速中性子領域測定法を開発して今後に備えた。

核工学分野における大規模試験の代替を目指した最先端核設計手法の構築では、多様な革新的原子炉開発に対応できる高精度で信頼性の高い炉物理解析技術の開発とその信頼性を与えるために炉物理実験データの蓄積を実施して

いる。高精度の核設計コード開発では、モジュラー型炉心解析コードシステム(MOSRA)の開発を進め、これまでに従来の標準炉心解析コード(SRAC)の多様な核設計機能を継承し、核熱結合・複雑集合体計算機能(MOC)を付加した[6]。また、モンテカルロコード(MVP)を用いた多群定数作成手法を完成した[7]。 一方、信頼性の高い炉物理解析技術の開発では、過去に蓄積された多数の炉物理実験を有効利用し、誤差要因(核データ/計算モデル/実験誤差)の寄与を分析し、計算結果の誤差を推定できる手法及びシステムを構築した[8] 。また、革新的原子炉に対する炉物理実験データベースを拡充している。

炉工学の分野では、多様な革新的原子炉開発に対応できる熱流動解析技術として、二相流現象に対する形状効果を表現できる 3 次元解析コード ACE3D を開発した[9] 。また、気液界面形状の変化を追跡する手法を開発して、流動様式変化を再現し、炉心内の流体混合速度を再現した詳細二相流解析コード TPFIT を開発した[10] 。一方、3 次元二相流解析コードの検証に必要な実験データを取得するために、熱流動計測技術開発として中性子ラジオグラフィー技術と CT 技術を融合した 3 次元計測を実現し、炉心内沸騰二相流の高精度な 3 次元蓄水分布データを取得した[11] 。この計測技術の実現により、複雑な炉心内二相流を実験的に検証できるようになり、炉心熱設計技術が向上するとともに、一般産業にも適用可能な技術として注目されている。さらに、FBR 直管型蒸気発生器(SG)の運転圧力について、流動振動を起こさない高圧条件(15MPa 以上)での実験データが不足していることから、高圧(15MPa 以上)条件での二相流特性データを取得するとともに、低圧条件で得られた実験式の設計に用いる圧力損失評価式の高圧条件への拡張性を確認した[12]。

今後、核工学分野の核データに関しては、バックエンド評価や材料損傷等で必要とされる核データ評価の展開と医療や宇宙物理等での核データ利用の拡大を図るとともに、これまで整備してきた実験施設・測定手法により MA 核種等の中速中性子領域及び高速中性子領域の核データを取得して核変換技術の基盤を形成する予定である。また、核工学分野の核設計手法の開発では、核燃料サイクル関連研究(高速炉、核変換、バックエンド評価)に重点化して、開発した解析手法の実用化を進めるとともに、臨界施設の老朽化などにより弱体化する炉物理研究の基盤を支えるため、臨界実験施設の更新・計測技術開発を進める予定である。一方、炉工学分野では、開発した二相流解析手法の実用を目指し、軽水炉安全解析等への応用に展開する。また、高速炉・核変換等で重要な液体金属単相流解析、構造との複合問題に対する解析技術を強化するとともに、中性子ラジオグラフィー技術の産業利用を強化していく。

【参考文献】

[1] O. Iwamoto, et al., J. Nucl. Sci. and Technol. (to be published),
[2] O. Iwamoto, J. Nucl. Sci. and Technol., 44, 687-697 (2007).
[3] S. Kunieda, et al., J. Nucl. Sci. and Technol., 44, 838-852 (2007).
[4] H. Harada, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 43, 1289-1297 (2006).
[5] S. Nakamura, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 45, 116-122 (2008).
[6] 奥村啓介 他、日本原子力学会 2008 年春の年会 L46 (2008).
[7] 長家康展 他、日本原子力学会 2007 年秋の大会 M34 (2007 年 9 月)
[8] T. Kugo, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 44, 1509-1517 (2007).
[9] T. Misawa, et al., Journal of Power and Energy Systems, 2, 262-270 (2008).
[10] 吉田啓之 他、日本原子力学会 和文論文誌, 3, 233-241 (2004).
[11] M. Kureta, JSME J. Power and Energy Systems, vol.1-3, 225-238, (2007).
[12] W. Liu, et al., Proc. Sixth Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, N6P1072, Okinawa, Japan, November 24- 27, (2008).

4．2．2 燃料・材料工学に関する研究活動

将来にわたって原子力エネルギーを利用していくとすれば、社会の進歩や技術の普及に応じて、絶えず原子力エネルギー供給技術を高度化していく必要があり、軽水炉及びその核燃料サイクル技術の安全性、経済性の向上を目指した研究開発、さらには、より優れた性能をもつ原子炉及び核燃料サイクル技術の研究開発が必要である。

そこで、目標として、「軽水炉燃料サイクルの円滑な推進と革新的核燃料サイクル技術の基盤形成」、「現行及び将来の原子力プラントの健全性・信頼性確保のための基盤形成」を掲げ、研究開発を展開している。核燃料サイクル技術開発に対し、使用済み燃料、プルトニウム、マイナーアクチノイド（MA）を取り扱い可能な世界有数の特長のある研究設備を開発・整備し、それらを有効に活用しながら、分離化学・TRU（超ウラン元素）高温化学の基礎基盤的立場から貢献している。また、先進的な炉システム開発や軽水炉高経年化課題に対し、照射材の取り扱いが可能な他所にはない特長のある試験装置を有効に活用しながら、照射材料科学の基礎基盤的立場から貢献している。

湿式再処理技術の高度化に向けた分離技術開発では、湿式再処理プロセスに係る最新/重要な基礎データを自ら取得するとともに収集し、再処理プロセス・化学ハンドブック第 2 版[1] として公開し、湿式再処理プロセスに係る基礎データベースを構築した。また、再処理抽出分離工程シミュレーションコード PARC を公開し、湿式再処理におけるプロセス設計や新たなプロセス開発（例えば U-Np-Pu

共抽出技術）を効率的に行うツールを整備した。さらに、軽水炉 MOX 燃料ならびに高速炉 MOX 燃料に柔軟に対応できる効率的なプロセスとして、モノアミド抽出剤の創製・新規開発、ならびに実験室レベルでの試験を行い、第二再処理工場の候補プロセスの一つとして議論されるまでに発展させた。

分離変換技術の開発では、MA 分離のために新規の高性能抽出剤を開発し、MA 分離プロセスを検討した。また、MA 含有燃料の設計・挙動評価の基礎として、特定の燃料組成にとらわれずに、自ら調製した試料を用いて幅広く体系的に、MA 含有窒化物、MA 含有酸化物の熱膨張、比熱容量、熱伝導率、酸素ポテンシャル等を測定評価した[2]。さらに、金属燃料サイクルの要素技術の研究開発として、MOX を出発物質とした射出鋳造法による U-Pu-Zr 金属燃料の製造技術を確立する（電力中央研究所との共同研究）とともに、合金中の Am 蒸気圧、溶融塩及び液体 Cd 中の Am の挙動を測定評価した。

革新的核燃料サイクル技術の技術開発基盤を確立するにはアクチノイド元素の研究が不可欠である。魅力ある研究環境を整備し、若手研究員の人材育成、研究のより一層の活性化のために、8 大学、原子力機構、電中研が発起人となり、日本アクチノイドネットワーク（J-ACTINET）を設立するとともに、原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブの採択課題、「広域連携ホットラボ利用によるアクチノイド研究」（研究代表：原子力機構）を大学と連携協力し開始した。

材料劣化の機構解明と対策の研究では、軽水炉高経年化に伴い重要となる炉内構造材の照射誘起応力腐食割れ（IASCC）に関して、JMTR 照射下 IASCC 試験に成功するとともに、IASCC き裂進展速度と照射量及び試験条件の相関に関する知見、機構解明のための基礎データを取得し、JNES の IASCC 評価ガイド作成事業等へ反映させた[3]。また、これらの研究実績を基に、原子力安全・保安院からの要請に応え、実機で発生した材料損傷の原因調査活動及び調査報告書作成に貢献した。さらに、原子力材料に係る共通基盤として、照射/腐食環境における材料劣化・損傷の機構解明と挙動予測、ならびに優れた材料の開発を効率的に行うには、計算科学的手法が有効であると考え、材料挙動のモデリング・シミュレーションを行う研究グループを平成 18 年 10 月に新設し、研究開発を進めた。応力腐食割れ（SCC）、照射硬化などについて機構のモデル化と挙動のシミュレーションを行うとともに、実験事実を常に考慮に入れながら評価を行った。

より厳しい環境に耐える材料の開発では、耐照射/腐食性に優れた、超高純度オーステナイト系ステンレス鋼を開発した[4]。これまでの材料劣化の機構解明の知見を基に、Np を用いた腐食試験及び照射材の高温高圧下応力腐食割れ評価試験などで開発材を評価し、高濃度硝酸溶液中の耐食性に優れた材料（超高純度 SUS310）、照射下における機械的特性と耐 IASCC 性に優れた材料（超高純度 Fe-25Cr-35Ni-0.2Ti）を見出した。これらは、再処理機器代替材料として、また、

高速炉燃料被覆管代替材料として、それぞれ原子力エネルギー基盤連携センターで材料メーカーと開発中であるとともに、BWR 電力共同研究において、新たなHf 型制御棒用シース代替材料として試験中である。

図 4.2.2-1 燃料・材料工学の研究

【参考文献】

[1] 湿式分離プロセス化学研究グループ、JAEA-Review 2008-037 (2008).
[2] H. Otobe, et al., J. Am. Ceram. Soc., 91, 1981-1985 (2008).
[3] Y. Kaji, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 45, 725-734 (2008).
[4] I. Ioka, et al., J. Power Energy Systems, to be published, (2009).

4．2．3 分離変換に関する研究活動

分離変換技術は、高レベル放射性廃棄物（HLW）に含まれるマイナーアクチノイド（MA）および核分裂生成物（FP）を、その半減期や利用目的に応じて分離するとともに、MA および長寿命 FP を短寿命核種または安定な核種に変換する技術である。原子力機構では、2000 年 3 月に原子力委員会・原子力バックエンド対策専門部会の取りまとめた「長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」に基づき研究開発を進めてきた。中期計画においては、FBR サ

イクル技術並びに加速器駆動システム(ADS)を用いた分離変換技術の研究を、廃棄物処分における分離変換技術の導入シナリオおよび導入効果の検討とともに進めるものとされており、当部門では、ADS を中心とした分離変換技術を担当している。

分離変換技術の導入効果・導入シナリオについては、当部門を中心に地層処分研究開発部門および次世代原子力システム研究開発部門と協力して検討を進めてきた。これまでに、MA 核変換により HLW の潜在的有害度を 2 桁程度低減することで長期リスクの低減が可能であること、MA の核変換と発熱性 FP の Sr-Cs 焼成体の長期貯蔵を組み合わせることで、処分場面積を大幅(1/100 程度)に低減できる可能性があることなど(図 4.2.3-1)を明らかにした[1]。

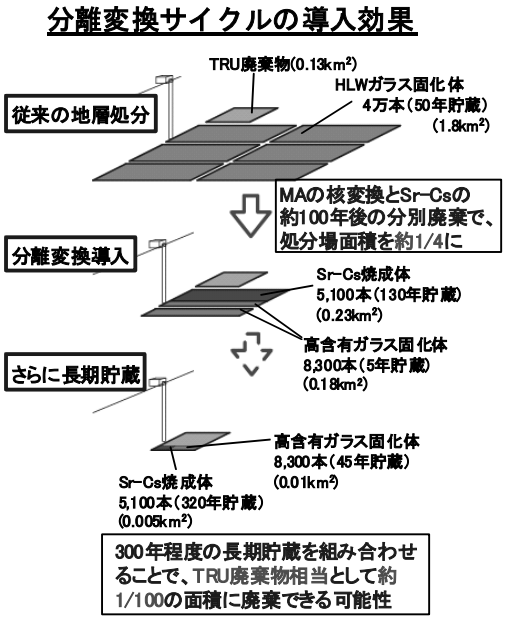

図 4.2.3-1 分離変換技術の導入効果

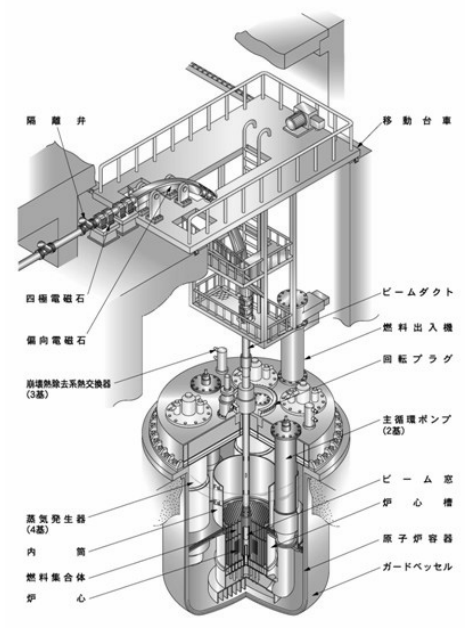

図 4.2.3-2 タンク型 ADS の概念図

分離技術については次世代原子力システム研究開発部門と協力して研究を実施してきた。MA と希土類の分離法の開発として、窒素ドナー系配位子(TPEN,PDA など)による高性能な分離法を開発するとともに、リンを含まないアミド系抽出剤を開発してきた。

ADS を用いる核変換技術については、J-PARC センターと連携し、陽子加速器、核破砕ターゲット、未臨界炉心からなるタンク型 ADS 概念(図 4.2.3-2)を提案[2]し、成立性の観点から重要な被覆管やビーム窓の最適化設計、冷却材・核破砕ターゲットとなる鉛ビスマスに関する材料データを取得した。核変換用燃料の技術では、Pu-Am-Cm-Zr 系の MA 含有窒化物の調製に成功し、物性データを取得す

るとともに、リサイクル技術としてMA窒化物の電解精製及び回収MAの再窒化に成功した。この他、核変換技術に関わる共通基盤として、MA核データの整備等を進めた。

これらの成果を、国際的な研究開発動向のレビュー、分離変換研究の今後の計画、大強度陽子加速器施設 J-PARC の第Ⅱ期計画である核変換実験施設をはじめとするインフラ整備の必要性とともに、報告書「日本原子力研究開発機構における長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」にとりまとめた。今後、この報告書の内容を基に、原子力委員会などの国レベルの評価を経て研究開発を進める計画である。その際、分離変換技術に関する研究が盛んな欧州を中心とした各国との連携を活用し、効率的な研究開発に努める。

【参考文献】

[1] K.Nishihara, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 45, 88-97 (2008).
[2] T.Tsujimoto, et al., J. Nucl. Sci. Technol., 44, 483-490 (2007).

4．2．4 環境・放射線工学に関する研究活動

本分野では、環境動態予測・環境監視技術高度化のための基盤研究として、

- 環境負荷物質の大気・陸域・海洋中移行の包括的循環機構の解析（以下、環境動態研究）
- 環境有害物質の分離・濃集技術の開発（環境保全研究）
- 核不拡散対応の分析技術の開発（微量分析研究）

原子力分野の共通的技術基盤となる放射線工学研究として、

- 線量評価システム及び線量評価・測定法の開発（線量評価研究）
- 各種放射線に対する物質内放射線挙動解析法の開発（放射線影響研究）

を実施している。

中長期的に維持・強化すべき科学技術基盤としては、環境動態研究では、「大気・海洋・陸域での物質移行シミュレーション」と「放射性同位体を利用した環境動態研究」、環境保全研究では、「イオン液体や逆ミセルを用いた分離・濃縮技術」と「グリーン溶媒等の環境に優しい機能材料の開発」、微量分析研究では、「U/Pu/MOX/FP 等の微粒子の分析技術」、「難分析長寿命核種の分離・分析技術」、「レーザー等を利用した遠隔・非破壊分析技術」がある。また、線量評価研究では、「放射線・粒子・重イオン輸送シミュレーション」、「人体を模擬する数値ファントムの作成技術」、被ばく線量評価用核種データベース」及び「被ばく線量評価シミュレーション」、放射線影響研究では、「放射線によるDNAの損傷・修復シミュレーション」と「DNA損傷分析と特徴の解明に関する実験研究」を進めている。

これまで、上記の科学技術基盤を基に、以下の研究成果を上げている。

環境動態研究

・ 局地域から広域までの大気拡散予測機能、放出源推定機能、欧米との情報交換機能を備えた世界版 SPEEDI 第2版(WSPEEDI-II)のソフトウエアシステムの構築を完了した[1]。
・ 日本海海洋調査を約 10 年にわたり実施し、海洋基礎データと、海水・懸濁粒子・堆積物中の核種濃度をデータベース化[2]するとともに、世界最大の海洋放射能データベース IAEA-MARIS にデータ公開した。
・ 放射性炭素に着目して温暖化研究上重要な炭素循環を解明する手法を確立した。これにより、気温上昇応答(0.5℃/10 年)で、滞留時間 20 年〜200 年程度の土壌炭素が CO_2 として急激に放出される可能性を初めて指摘した[3]。

環境保全研究

・ 人形峠環境技術センターの遠心分離機廃止措置で発生するウラン含有除染廃液を浄化するため、エマルションフロー液液抽出法を開発した。簡便な操作で、迅速かつ低コストでのウラン除去に成功した[4]。

微量分析研究

・ 秘密裏の核実験の監視のため、観測施設等を整備した。高崎、沖縄、東海の施設の CTBT 機関による認証と核実験検知システムの暫定運用開始により、国の国際約束を履行した[5]。
・ 保障措置技術として、核燃料製造施設で放出される 1 μm 以下の U 微粒子の検出及び同位体比の測定のため、フィッション・トラックー表面電離型質量分析法を開発[6]し、IAEA の SG 分析法として技術認定された 。

線量評価研究

・ 臨界事故で線量計による計測情報がない事態でも、作業者等の被ばく線量を迅速評価できるシステム RADAPAS[7]を開発し、国の物理学的線量評価ネッワーク会議に提供した。
・ 加速器遮蔽設計、被ばく線量評価等に必要な、各種放射線の統合輸送計算コード PHITS の精度検証と、PHITS コードの公開、講習会、研究会等による普及活動を実施した。
・ 航空機搭乗員の被ばく管理等に対応するため、大気中の宇宙放射線挙動の計算手法を確立し、宇宙線被ばく線量の簡易計算式を導出した[8]。これを放医研航路線量計算システム JISCARD-EX に提供した。
・ 医療診断に伴う DNA 損傷評価のために、Auger 電子による“ナノ領域”の線量分布評価まで可能とする核種データベース米核医学会“MIRD-DB”第 2 版を、

米国オークリッジ国立研究所と共同で完成・出版した[9]。

・ ICRP 2007 年基本勧告に続く外部・内部被ばく線量換算係数に係る複数の ICRP 刊行物の作成に貢献するため、1252 種の核種データを提供し、100GeV までの中性子、陽子、重イオンに対する外部被ばく線量換算係数を計算中。

放射線影響研究

・ クラスターDNA 損傷の生成・修復機構を解明するため、各種放射線に対する DNA 損傷・修復シミュレーションコードを開発し、線質と DNA 損傷スペクトル(損傷の種類と量)との関係を解明しつつある[10]。

今後の予定としては、環境動態研究では再処理施設特有の放出核種の観測と計算による動態解明、環境保全研究では U 廃液処理技術の工業排水の浄化や海水中 U 回収への応用、微量分析研究では保障措置分析と様々なニーズに応える分析技術の開発を進める。また、線量評価研究では、線量換算係数等の DB の ICRP への提供、国内防護基準の見直しのための ICRP 勧告に基づく内部被ばく計算コード開発、CT 等診断被ばく線量評価手法の開発を進める。放射線影響研究は、研究スコープを、放射線による DNA のクラスター損傷・修復のシミュレーション研究と実験研究に集中する。

【参考文献】

[1] 寺田宏明、永井晴康、古野朗子、掛札豊和、原山卓也、茅野政道：緊急時環境線量情報予測システム（世界版）WSPEEDI 第2版の開発， 日本原子力学会和文論文誌, 7, p.257-267 (2008).

[2] T. Ito, S. Otosaka, T. Suzuki, T. Tanaka, T. Tsuneyama and O. Togawa; Establishment of a database for Japan Sea parameters on marine environment and radioactivity (JASPER) - Volume 1: Anthropogenic radionuclides, JAEA-Data/ Code 2007-008 (2007)

[3] J. Koarashi, M. Atarashi-Andoh, S. Ishizuka, S. Miura, T. Saito and K. Hirai; Quantitative aspect of heterogeneity in soil organic carbon biodegradability in a cool-temperate Japanese beech forest: A radiocarbon-based approach, Global Change Biology (in press)

[4] 長縄弘親、柳瀬信之、永野哲志：エマルションフローを利用した連続液液抽出装置、特願 2007-136496、平成 19 年 5 月 23 日出願

[5] 篠原伸夫，直井洋介：″核実験を監視する″，テクノカレント，No.440 4/15 (2007).

[6] Chi-Gyu Lee, K. Iguchi, F. Esaka, M. Magara, S. Sakurai, K. Watanabe, S. Usuda, ″Improved method of Fission Track sample Preparation for Detecting

Particles Containing Fissile Materials in Safeguards Environmental Samples″, Japanese J. Appl. Phys., 45 (2006) L294.
[7] F. Takahash, A. Endo, Y. Yamaguchi and K. Oda. Development of Rapid Dose Assessment Program from Activated Sodium in Human Body for Criticality Accident. Jpn. J. Health Phys., 41, 180-187 (2006).
[8] T. Sato, H. Yasuda, K. Niita, A. Endo and L. Sihver. Development of PARMA: PHITS-based Analytical Radiation Model in the Atmosphere. Radiat. Res., 170, 244-259 (2008).
[9] K.F. Eckerman and A. Endo. MIRD: Radionuclide Data and Decay Schemes, 2nd Edition. The Society of Nuclear Medicine (2008).
[10] 渡辺立子、佐藤理、久保田あさ子、船曳淳、斎藤公明：重粒子線トラック構造から推定されるDNA損傷スペクトルとその生物学的意義（ワークショップ講演，日本放射線影響学会第51回大会，2008年11月

4．2．5 核熱応用工学に関する研究活動

本分野では、原子力エネルギー利用の多様化として、水素製造と発電の実現が可能な高温ガス炉技術基盤の確立を目指すとともに、高温の核熱利用を目指した地球温暖化ガスの発生を伴わない熱化学法による水素製造技術を開発することを目的として、

・高温ガス炉水素製造システムの設計に関する研究開発
・炉特性・安全性に関する研究開発
・燃料・材料に関する研究開発
・熱利用技術開発に関する研究開発
・ISプロセス水素製造に関する技術開発

を実施している。以下に研究成果を記す。

高温ガス炉水素製造システムの設計に関する研究開発

- 水素製造量が 1,000Nm^3/h 規模となる HTTR-IS システムの機器の基本構成、運転制御方法等を決定し[1]、IS プロセスの主要機器の構造概念を提案した[2]。
- また、HTTR-IS システムの安全設計方針を検討して、水素製造設備で想定される水素爆発事故に対する安全評価手法として Multi-Energy 法を用いた評価手法、水素製造設備で想定されるガス漏えいに対する安全評価手法として原子炉制御室内濃度評価手法を提案した[3, 4]。

炉特性・安全性に関する研究開発

- 炉特性・安全性に関する研究開発では、850℃での 30 日間の HTTR 連続運転

により炉心の燃焼特性、高温機器（中間熱交換器）の性能、炉内構造物等の健全性を確認した。

- ヘリウム純化系への流量調節、低温での運転時間の調整等により、1次ヘリウムガス冷却系水分濃度を設計値よりも低く、かつ、安定に制御できることを確認した。
- 反応度印加、1次ヘリウムガス冷却材流量低下の異常事象を模擬したHTTR試験を実施し、異常な核分裂生成物（FP）放出はなく、原子炉出力が自然に低下して安定な状態になる固有の安全性を実証した。
- 燃料温度等が制限値以下であることを解析的に明らかにし、反応度印加、1次ヘリウムガス冷却材流量低下時の原子炉出力変化を動特性解析コードによって 3%以内の精度で再現できることを確認した[5]。
- 出口温度 950℃での 50 日間連続運転については、平成 21 年度に実施する予定である。

燃料・材料に関する研究開発

- 850℃での 30 日間の HTTR 連続運転時の希ガス放出率を評価し、燃料製造時の品質が世界最高であることを確認した[6]。
- 黒鉛構造材の長期利用を可能にするため、圧子の押込み量から黒鉛の残留応力を評価する式を導出した[7]。
- 耐熱セラミックス製構造物の開発については、C/C 複合材と黒鉛との照射特性におけるアナロジーを確認し、黒鉛の照射特性の知見から C/C 複合材の照射特性を予測できることを明らかにした[8]。

熱利用技術開発に関する研究開発

- 実用炉規模の高温隔離弁の構造設計において、高温（900℃）環境下での温度分布解析を終了し、構造強度等の詳細解析を実施中である。
- ガスタービンシステムの要素技術開発について、精度の高いロータ曲げ振動予測の簡易モデルを構築するとともに、大規模制御演算式の低次元化技術について、Schur 分解によるモード分解法を適用できることを見出して、振動抑制の磁気軸受制御システムの設計を行った。

IS プロセス水素製造に関する技術開発

- IS プロセス水素製造に関する技術開発では、実用材料を用いた装置の技術開発として、円筒型 SiC 熱交換ブロックを用いた硫酸分解器[9]、SiC を接液部材、金属を耐圧部材とした硫酸輸送ポンプの試作に成功した。
- 組成計測については、放射線密度計を用い、密度を測定物理量とする4成分2液相溶液の組成計測法を新たに開発し、実用に供する見通しを得た[10]。
- 熱効率向上に関する技術開発として、放射線製膜技術により熱効率約 40%を見

通せる分離膜性能を確認するとともに、ブンゼン反応[11]、高濃度 HIx 溶液の蒸留、SO_3 分解反応、ガラスライニング材の耐食性及び耐熱性[12]に関する設計データを取得した。

・ 今後、硫酸ポンプの性能検証試験、SO_3 分解触媒の活性変化予測式の作成等を行い、30m^3/h 規模の水素製造技術の確証を平成 21 年度までに完了する予定である。

【参考文献】

[1] 佐藤博之、大橋弘史、坂場成昭、西原哲夫、國富一彦、“HTTR-IS 水素製造装置における熱負荷変動緩和システムの運転制御法”、日本原子力学会和文論文誌, 7、328-337 (2008).

[2] 坂場成昭、大橋弘史、佐藤博之、原 輝夫、加藤竜馬、國富一彦、“高温ガス炉による水素製造;HTTR-IS 水素製造システムにおける化学反応器の概念設計”、日本原子力学会和文論文誌、7、242-256 (2008).

[3] 大橋一孝、西原哲夫、國富一彦、“HTTR-IS 水素製造システムにおける安全設計の考え方”、日本原子力学会和文論文誌、6、46-57 (2007).

[4] 村上知行、西原哲夫、國富一彦、“超高温ガス炉水素製造システムの火災・爆発及び化学物質に対する安全性”、日本原子力学会和文論文誌、7、231-241 (2008).

[5] 高松邦吉、中川繁昭、武田哲明、“高温ガス炉における領域別温度係数の適用効果および伝熱計算モデルの改良”、日本原子力学会和文論文誌、6、262-275 (2007).

[6] プレス発表「30 日間連続運転により HTTR 燃料が世界最高の品質を示す」、平 成 19 年 5 月 9 日.

[7] 角田淳弥、柴田大受、多田竜也、沢和弘、“圧子押込み特性測定による高温ガス炉黒鉛構造物の残留応力評価手法の開発（その1）（受託研究）”、JAEA-Research 2007-073 (2007).

[8] T. Shibata, J. Sumita, E. Kunimoto and K. Sawa, Characterization of 2D-C/C composite for application to in-core structure of Very High Temperature Reactor (VHTR), Proc. Carbon 2008, P0370, 13-18th, July, 2008, Nagano, Japan (2008).

[9] 寺田敦彦、大田裕之、野口弘喜、小貫薫、日野竜太郎、“熱化学水素製造法ISプロセスのための硫酸分解器の開発”、日本原子力学会和文論文誌、5、68-75 (2006).

[10] S. Kubo, H. Nakajima, Y. Imai, S. Kasahara, N. Tanaka, H. Okuda, R. Miyashita, K. Onuki, “An Estimation Technique for Compositions of Bunsen

Reaction Solutions on Thermochemical Water Splitting IS Process," 17th World Hydrogen Energy Conference, Brisbane, Australia, June 15-19, 2008.
[11] 中島隼人、今井良行、笠原清司、久保真治、小貫薫、"ヨウ素，二酸化硫黄および水の反応に対する二酸化硫黄分圧の影響"、化学工学論文集、33、257-260 (2007).
[12] N. Tanaka, H. Suwa, A. Terada, "Study on Corrosion Resistance of Glass Lining and Gold Plating in High Temperature Sulfuric Acid for Thermochemical Hydrogen Production IS Process," 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-15), April 22-26, 2007, Nagoya, Japan, ICONE15-10331.

4．2．6 廃止対象施設（WASTEF, BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続について

「4．2．3 燃料・材料工学に関する研究活動」で示したように、燃料材料に関する研究は、ユニークな研究施設によって支えられている側面が大きい。一方、中期計画においては、新法人発足にあたり、機能の類似・重複する施設については、機能の集約・重点化を進め、不要となる施設を効率的かつ効果的に廃止するとされている。中期計画では廃棄物安全試験施設（WASTEF）とバックエンド研究施設（BECKY）空気雰囲気セルは、平成21年度で停止するとされているが、この中期計画策定時からの状況の変化の結果、これら施設の使用停止を延期することが妥当であると考え、継続使用を検討している。

中期計画の記載では、WASTEF は、「使命を終えた施設」とされており、「中期目標期間終了後に廃止措置に着手するための準備を行う施設」として「平成21年度に停止」、BECKY 空気雰囲気セルは、「類似・重複する機能を他の施設に集約重点化することにより廃止する施設」とされており、「中期目標期間中に廃止措置に着手する施設」として、「高レベル放射性物質研究施設（CPF）に機能を移管し、平成 21 年度（2009 年度）に停止」するとされている。但し、中期計画には、以下の記述も付加されている。即ち「なお、原子力施設の廃止措置については、当該施設に係る外部利用者等のニーズを確認した上で、廃止後の機構の研究開発機能の在り方、国内外における代替機能の確保、機能の他機関への移管、当該施設の利用者の意見等を踏まえて、具体的な原子力施設の廃止時期及び廃止方法の検討を行うものとする。」

WASTEF は、当初、放射性廃棄物の処分に係る研究を実施するために昭和 56 年（1981 年）に建設されたものである。RIおよび核燃料を取り扱えるホットセルとホット実験室を含んでおり、現在、セルには照射材の高温高圧水中での応力腐食

割れ試験を実施できる装置等ユニークな試験装置が設置されている。

WASTEF の利用に関する状況の変化としては、中期計画策定以降の「軽水炉高経年化事業の強化」および「六ヶ所再処理施設の運転開始」がある。平成 18 年には原子力安全・保安院の「高経年化対策強化基盤整備事業」が開始され、また平成 19 年には、原子力安全基盤機構（JNES）の「高経年化対応技術戦略マップ 2007」が策定された。これに対応して、原子力機構は原子力安全・保安院の要請に基づき、地域ごとに産官学・学協会連携の中核となる茨城クラスタの統轄機関となり、WASTEF 設置の施設を活用した応力腐食割れ研究を参加機関と共同で開始した（H22 年まで継続予定）。また、原子力安全基盤機構（JNES）の実施する国プロジェクト「低炭素ステンレス鋼 SCC 進展への中性子照射影響実証」事業の一環として SCC 関連研究を受託実施している（H25 年まで継続予定）。一方、平成 18 年 3 月にアクティブ試験が開始された六ヶ所再処理施設の機器健全性を先行試験するため、日本原燃の要請に基づき、WASTEF で再処理模擬溶液（Np,U 含有）による腐食試験を行い、今後は、酸化性マイナーアクチノイドやγ線の影響を取り入れた環境での、ウラン濃縮槽の腐食や、ジルコニウム製機器の水素吸収などの研究を予定している。

このように、多大な試験ニーズがあるが、原子力機構の有する他のホット試験施設、例えば燃料試験施設（FREF）は、軽水炉燃料棒および集合体の試験を中心に利用されているため WASTEF 機能の吸収の余地が無く、また、照射材料試験施設（MMF）は、主に高速炉開発のための材料試験として、常陽等で照射された材料の試験が中心で余力がない。唯一 JMTR ホットラボが有力な機能移転先であるが、現在 JMTR の改修に合わせて機能を強化整備中であり、現在の WASTEF の機能を直ちに全て移設することは不可能である。また、WASTEF で軽水炉高経年化研究に用いられている高温高圧水中での材料試験をおこなう試験設備は、建家に据え付けられた高温高圧水供給装置と一体となったもので、これらの設備の移設は許認可も含めた長期の準備期間と、多大な費用を要するものである。したがって、将来的には WASTEF の機能を JMTR ホットラボに移すことを念頭に置きつつも、現在求められている試験を遂行するためには、当面の間の WASTEF の運転継続が、妥当な解決策であると考えられる。

運転経費も、これらの試験の多くが受託研究であり、試験費用が受託研究費で賄えること、さらにはホット施設の WASTEF は試験を行わない停止状態でも維持管理費用が相当程度必要であることを考え合わせれば、運転継続を行うことによって原子力機構が負担する余分の資金はほとんどない。

以上、情勢の変化・試験需要、機能移管の可能性、資金効率性の各面から判断して、平成 21 年度以降も、WASTEF の運転を継続することが妥当であると考える。

BECKY 空気雰囲気セルは、平成 5 年に建設された施設で、使用済燃料、RI および核燃料を取り扱える空気雰囲気のホットセルである。内部にはミキサセトラ等が機能的に配置されており、使用済燃料を用いた小回りの利く試験が可能な再処理プロセス研究施設である。

BECKY 空気雰囲気セルの利用に関する状況の変化としては、中期計画策定以降の「燃料サイクル研究の強化」が挙げられる。平成 19 年 4 月に「第二再処理工場に係る 2010 年頃からの検討に向けた準備」が開始されて、「軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの移行期における燃料サイクルについて予備的な調査・検討」 が行われている。また、同年 12 月 6 日、文部科学省、経済産業省、電気事業連合会、日本電機工業会、日本原子力研究開発機構の連名で出された文書では、「軽水炉サイクルにおける再処理技術を含む今後の再処理技術の在り方について調査・検討を進めるもの」とし、「原子力機構をこの検討における中核機関と位置づけ、原子力機構における燃料サイクル技術の検討体制を強化する」方針が打ち出された。原子力機構では、これに対応して BECKY 空気雰囲気セルを用いて、経済産業省から「高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発」という課題の一部を受託して実施している。

中期計画中で BECKY 空気雰囲気セルの機能を移管するとされている高レベル放射性物質研究施設（CPF）では、高速炉燃料の再処理技術開発（FaCT プロジェクト）に特化して試験を実施中であり、BECKY 空気雰囲気セルの機能を吸収できる余地はない。また、小型試験設備（OTL） は、施設環境的には、再処理プロセス試験を行うことは可能であるが、セル内にすぐに利用可能な分離プロセス試験設備は無く、試験を行うには準備期間と費用が必要なため、直ちに機能を移管することは不可能である。

BECKY 空気雰囲気セルはホット施設である BECKY の一部であるため、空気雰囲気セルのみを停止してもほとんど費用低減にはならない。また試験費用は受託研究費で賄えるため、運転継続を行うことによって機構が負担する余分の資金はほとんどない。

以上、情勢の変化・試験需要、機能移管の可能性、資金効率性の各面から判断して、平成 21 年度以降も、BECKY 空気雰囲気セルの運転を継続することが妥当であると考える。

5. 中間評価結果

中間評価の取り纏めに当たっては、

- 特に優れた成果を上げている分野・項目
- より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な分野・項目
- 欠落/不足しており拡充が必要な要素
- 他に優れた担い手がおり、他に任せるべき要素
- シーズとして将来が期待できる分野・項目
- 次期に向けての必要な視点－基礎工学研究のマネージメント全般
  - 原子力機構内の連携について
  - 産業界との連携について
  - 国際的な連携・分担について
  - 研究開発環境と資源配分について
- 廃止対象施設（WASTEF、BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続

等の観点から評価した。以下に評価結果を整理して記す。

5．1 特に優れた成果を上げている分野・項目

（1）核データ

- 基礎データ収集は地道な努力と時間が必要であるが、原子力研究にあたり必要不可欠である。種々の成果を挙げ評価も高い。
- 核データライブラリーJENDL の整備、核データ測定法の開発などで、原子力学会賞の特賞・技術賞、奨励賞を受賞、JENDL-3.3 の発表論文が原子力学会欧文誌で最も引用される論文であるなど着実に成果をあげている。また、国内外の研究機関、大学、産業界とも連携して原子力エネルギー利用分野に限らずに加速器分野、医療分野などへの展開も着実に進めている。

なお、

- 核データは原子力に限らず多くの分野の研究をささえる基礎科学として重要であり、今後も継続して進めて頂きたい。特に、広い視野からユーザーのニーズを把握して今後の研究を展開し、また、国際的な連携を加速し、データのさらなる整備を図っていただきたい。

（2）核計算コード

- 国内のみならずアジアの原子力基盤を支えるツールとして利用が広がっている。

（3） MA 化合物の物性測定評価

- 世界有数の実験設備を開発・整備し、取り扱いの難しい MA の物性データを体系的に取得している。IAEA が進めるデータベース構築に大きく貢献するとともに国際会議の招待講演 5 件など、国際的評価も高い。今後も世界をリードする研究を進めて頂きたい。

（4） 材料の SCC 研究

- 原子力機構の特長を生かした照射下試験を成功させるとともに、照射材を用いた試験により照射誘起応力腐食割れ機構解明のための基礎データを取得している。これらの試験等を通して、JNES の IASCC ガイドライン作成事業、原子力安全・保安院事業、実機材料損傷調査等へ大きく貢献している。今後も、実験技術・装置の開発・整備等を行いながら、この分野をリードする拠点として活動して頂きたい。

（5） 線量評価研究

- 米国核医学会 MIRD-II や ICRP 新勧告用のデータベースなど国際標準となる被ばく線量評価用核種データベースを構築している。これらは国際的にもトップレベルの研究であり、高い評価を得ている。今後とも、線量評価の分野をリードする拠点として活動するとともに、医療防護のための線量評価も重点化して頂きたい。

（6） 環境動態研究

- 大気中での物質移行を世界的規模で取り扱える WSPEEDI を改良した第 2 版の作成、WSPEEDI の欧米とのネットワーク連携、日本海海洋データベースの作成、その IAEA 海洋放射能データベース登録などの社会的な成果は、予測と観測の両面で国内外の高い評価を得ている。
- また、WSPEEDI 広域拡散モデル、137Cs データベース、CTBT 国内放射性核種監視体制などは、核実験監視に役立つ成果である。このようなシステムを利用して常に監視している、またはチェックできるということを近隣諸国に発信することが政策上効果は大きい。
- 併せて、放射性核種の精密な環境動態モデル作成により、事故時の被害拡大防止や予防対策立案への貢献のほか、環境研究における物質循環解明全般への基礎的貢献も期待される。
- 今後は、大気・海洋・陸域の包括的物質循環研究に重点化して頂きたい。

5．2　より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な分野・項目

(1) 核設計技術

- 開発した計算コードが大学・産業界などで広く利用され、また、革新的原子炉の炉物理データベースを着実に蓄積しており、わが国の炉物理研究のセンターとしての役割を果たしている。
- 今後とも、蓄積した炉物理実験データの有効利用を目指した取組みに加え、実験解析技術の向上を活用した臨界実験データの活用法の開発を実験技術向上に取り組みつつ、発展させていただきたい。
- 併せて、炉物理解析技術の成熟、臨界実験施設の老朽化などにより弱体化するわが国の炉物理研究の基盤をささえるため、国内の大学・産業界とのネットワークの強化、基盤となる臨界実験施設の更新・計測技術開発を進めて頂きたい。

(2) 熱設計技術

- 詳細二相流解析技術や中性子ラジオグラフィーを利用した計測技術など先進的な課題にチャレンジし、原子力学会賞を受賞するなどで優れた成果をあげている。
- 今後は、計測技術開発を二相流解析技術等の高度化に役立て、熱流動現象の解明を行って安全設計を含む熱設計に反映して頂きたい。
- 特に、開発した技術を用いて実験式の検証を行うなど次世代軽水炉の熱設計、安全評価への応用に展開して頂きたい。また、高速炉・核変換などで液体金属流に対するニーズが高いので、液体金属熱流動に対する解析技術を強化して頂きたい。

(3) 分離化学

- 再処理プロセスに係るハンドブックとシミュレーションコードの公開、新規抽出剤の開発など一定水準以上の成果を挙げている。
- 組織再編等により、分離の基礎とプロセスを結びつける意識を高め、かつ，両者の結びつきを強化して研究を展開し、国際的により卓越した成果を挙げることを目指して頂きたい。

(4) 材料の劣化・損傷機構研究

- 原子力材料に係る共通基盤として重要な分野である。このため、人的資源等を補強し、実験と計算科学とが両輪となって、材料の劣化・損傷機構モデル及び劣化・寿命予測モデルの構築に向け、より一層の活性化を図って頂

きたい。

- 併せて、材料の劣化・損傷機構の解明に基づく劣化・寿命予測については、種々の実験データを取得しつつ計算科学の助けを借りてモデル化し、汎用性を高める努力をしていただきたい。

(6) 微量元素研究

- 微量分析については、CTBT 監視技術と保障措置分析で優れた成果を挙げている。
- 微量元素研究は、今後他の分野にも展開が期待されよう。また、同位体分析技術として AMS との連携強化も期待される。
- 保障措置分析については Pu 微粒子分析技術の開発を継続するとともに、今後は原子力の幅広い分野での基盤的な分析技術の確立を目指し、溶液化学や放射化学などの基礎的研究に基づく分析技術の高度化を図って頂きたい。

(7) C14 を活用した炭素循環研究

- 炭素循環解明は環境分野における重要な基礎研究であり推進の意義は高いが、国内外の AMS 施設で関連研究が進められているところでもあり、原子力利用技術開発により即した形での特徴ある研究推進が求められよう。上記環境動態モデルのバリデーション或いは原子力関連施設等からの放出監視に絡めた研究、さらにはオークリッジのように大型加速器を利用した他核種の分析技術開発など、機構の特徴を生かした他に類の少ない特徴ある研究推進を期待する。

5．3 欠落/不足しており拡充が必要な要素

(1)構造解析技術・複合現象解析・

- 炉工学分野では熱流動に活動が限定されており、活動の再構築が必要である。熱流動と構造の複合現象に対する解析などの計算科学面から始め、熱応力解析、高サイクル熱疲労解析などに展開することで、構造解析技術の強化を進めて頂きたい。
- 特に、原子炉中では核・熱・材料が相互に関連した複合現象が生起していることから、これらを統一的に扱える計算コードの開発研究に挑戦していただきたい。

(2) 計測機器開発

- 計測機器の高度化を図ることにより、実験技術が飛躍的に進歩するものと期

待されることから、革新的な機器開発に取り組んでいただきたい。

(3) 燃料工学分野への計算科学の応用

- 燃料工学分野では、今後、取り扱いの難しいマイナーアクチノイドに係るデータの重要性が増してくる。計算科学は、取得の難しい実験データを予測する補完的手法として、近年発展の著しい分野であり、人的資源の再配置をも考慮して、実験と計算の両輪で研究を展開できるように目指して頂きたい。

(4) 燃料材料分野における実験研究

- 実験的アプローチに加えて計算科学的アプローチの強化が必要と認められるが、実験重視の基本姿勢を堅持して進めていただきたい。

(5) MA 関連研究

- プルサーマルが開始すれば、その利用の長期化に伴い、また MOX 再処理・高レベル廃棄物処理の研究開発に社会の関心が高まると予想される中で、マイナーアクチノイド関連の研究に注力してほしい。

(6) 放射線影響研究

- DNA損傷・修復機構の解明は面白そう。特化して早期成果を出して欲しい。
- 放医研など関連研究機関とも連携、連絡を保ちつつ、研究の蓄積を生かしたテーマ設定と成果の発信が期待される。

今後、

- 原子力機構の先端基礎研究センターに創設された放射線作用基礎過程研究グループでは、DNA の損傷と修復の仕組みにせまるプロジェクトを開始している。DNA の損傷・修復はこちらと共同あるいは吸収して実施してはどうか。DNA 損傷・修復にかわる新しいテーマ「システムバイオロジー」に原子力機構として挑戦していくことは必要ではないだろうか。
- シミュレーションのみでは限界がある。今後は放射線リスク研究全体のうち真に原子力機構が担うべき部分として、DNAの損傷・修復シミュレーションと実験研究に集中して頂きたい。その際に、機構内の実験グループを含めた再編も視野に入れ、成果の反映先・提供先を強く意識した研究として頂きたい。

5．4 他に優れた担い手がおり、他に任せるべき要素

（1） 放射線影響研究

- DNA の損傷と修復の仕組みに関する研究は、放射線作用基礎過程研究グループに任せたほうが実験的な要素もあることから、成果がでやすいであろう。

（2） 対象分野を特定せず、随時適切な連携を行うことが重要とのコメント

- 大学・産業界との連携協力を強化して取り組む姿勢を堅持していただきたい。なお、当然のことながら、原子力機構内の連携協力を強化することを忘れないで頂きたい。

5．5 シーズとして将来が期待できる分野・項目

（1） 中性子ラジオグラフィー技術

- 中性子ラジオグラフィー技術は、複雑な容器内の複雑な現象を精度よく計測できる従来にない技術である。他分野への応用も可能な技術として、企業からも注目されている。
- また、X 線ラジオグラフィーと相補的な関係にあり、他分野への幅広い応用が見込まれる。

今後は、

- 他のラジオグラフィーとの違いを社会的にアピールし、特色を生かした利用を推進していくための方策を検討していくべきであろう。
- そのためには、中性子ラジオグラフィー技術を産業界に知らしめて、その産業分野への広い展開・応用を期待したい。特に、計測ニーズを有する企業との連携を進め、一般産業利用を促進して頂きたい。

（2） 核設計誤差評価システム

- 臨界実験計画立案への応用により、既存施設の有効活用等が期待できる。

（3） 高純度ステンレス鋼の開発

- 原子力材料に特有かつ共通する照射/腐食の複合環境において、より厳しい条件に耐えられる優れた材料として、超高純度材料の製造及び評価試験を行い、良好な結果を得ている。応用が期待できる。
- 今後、材料メーカーとの連携協力を推し進め、各種の代替材料としての適応性を見極めつつ、開発を進めて頂きたい。
- また、原子力ではより過酷な照射／腐食環境に耐える材料開発を実施しており、これは一般産業界にも応用・利用可能である。高温ガス炉の材料開発など、安全性の確保、寿命に関する検討は重要なテーマであり、これらの

実験を効率良く遂行するための WASTEF,BECKY 設備の運転継続は必要と考える。

(4) 分離変換技術

- フランスを見れば分離変換技術は今や原子力発電利用と一体的として社会とのかかわりから避けて通れない研究課題。将来の成否は別として研究のプロセスや成果・限界などを社会と共有すべきと思われるので、しっかり取り組んでもらいたい。

(5) C14 を活用した炭素循環研究

- 放射性同位元素 C14 をトレーサとした環境動態研究の応用により、新たな視点から温暖化メカニズムの解明に貢献できる可能性が高く、地球温暖化メカニズムの解明に活用し得るものであり、温暖化防止対策の立案に貢献することが期待できる。
- 原子力の社会受容の観点からも積極的に進めて頂きたい。原子力機構としてさらに推進すべき課題であろう。

(6) ウラン(U)含有低レベル廃液処理技術

- エマルションフロー液液抽出法は、工業排水の浄化などへの幅広い応用や海水 U 回収技術への発展などが期待できる。
- U 含有低レベル廃液処理技術は、これまでにない画期的な技術であり、工業排水の浄化など幅広い応用が期待できる。資源確保の観点から海水 U 回収技術への発展も視野に入れて頂きたい。

(7) 環境保全研究

- U 回収技術がコスト的に成り立つところまで至れば、資源確保の観点からも高い意義をもつと考えられる。また、U だけでなくレアメタル確保などへの応用も視野にいれた研究推進を期待したい。

(8) 環境・放射線工学全体

- 科学技術に支えられた現社会では、その自然環境との相互作用、社会に組み込まれた技術システムに生じる課題の実情把握や予測に関して、機構のこの分野の応用可能性が極めて広いので、研究実態などをもっと社会に広く知ってもらう工夫を望む。

(9) 高温ガス炉材料

- 高温ガス炉で使用する材料開発は一般産業界にも応用・利用可能。

（10）IS プロセス

- 高温ガス炉、ISプロセスの開発は将来の国内 CO_2 削減の有力な技術である。早期成果発揮が要望されている。
- ISプロセスで製造する H_2、O_2 の産業界での利用をさらに検討されることを望む。

5．6　次期に向けての必要な視点－基礎工学研究のマネージメント全般

（1）　原子力機構内の連携について

- 外部から見ると原子力機構は極めて複雑な体制となっており、内部の連携協力が不十分であるような印象を受ける。基礎研究部門が先端研究部門のニーズを把握するとともにシーズを供給して、内部連携の中核としての役割を果たすことが重要と考える。
- 横断的なテーマで機構内での連携を深めていけば良い。

（2）　産業界との連携について

- 機構発足時に比して機構自体の官的体質が大きく変わってきた。実際、多くの成果が出ており、一般産業界への広報を通して、連携が深まることと思う。マンパワーやリソースの有効活用含めて、積極的に進めるべきである。
- なお、一般的に基礎研究に関して直接的に産業界との連携を活発化することは容易ではないが、ニーズの発掘、シーズの提供、人材育成の面での働きかけを通じて一定の連携を保つことは可能と考える。原子力の基礎基盤研究分野において自由経済下で縮こまり気味の産業界を機構がリードするような気概を持っていただきたい。

（3）　国際的な連携・分担について

- 基礎データ収集は地道な努力と時間が必要であるが、原子力研究にあたり必要不可欠である。国際的な連携を加速し（うまく分担して）、基礎データ収集整備を行える環境造りが必要と考える。
- 特に、国際的な連携・分担については、主体性を確保しつつ、対等の立場で真に協力・共同研究として取り組むことが肝要と考える。

（4）　研究開発環境と資源配分について

- 既存施設の多くが経年変化の影響を受けて運転維持・利用が困難になっており、貴重な実験の場が失われつつあることを憂慮する。現在、新規施設

の建設が困難な状況にあるが、将来に向けて一定のスクラップアンドビルトを真剣に検討する必要があるのではなかろうか。また、これに関連して資源配分の最適化についても、原子力基礎工学研究部門が担うべき役割の重点を絶えず検討しつつ行う必要があろう。

- 将来に向けてのスクラップアンドビルトに関しては、必要な設備の確保、最新鋭の設備導入も含めてしっかりと検討されたい。

5．7 廃止対象施設（WASTEF、BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続について

- 廃止対象施設とされる WASTEF、BECKY 空気雰囲気セルの運転継続を図るべきである。WASTEF には、ユニークな試験装置が設置されており、照射を受けた材料の研究にとって極めて重要で燃料試験施設（RFEF 等）への集約化は困難であり、原子力安全・保安院や JNES の委託研究のニーズに対応できる。成果もあがり、受託収入により維持管理もできるので、運転継続が賢明な選択である。
- 原子力ではより過酷な照射／腐食環境に耐える材料開発を実施しており、これは一般産業界にも応用・利用可能。高温ガス炉の材料開発など、安全性の確保、寿命に関する検討は重要なテーマであり、これらの実験を効率良く遂行するための WASTEF、BECKY 設備の運転継続は必要と考える。
- BECKY と空気雰囲気セルについては、使用済燃料を用いた小回りのきく試験が可能な重要な実験施設であり、成果のあがる運転継続が賢明な選択であると考えられる。
- 機構発足時からの機構内の活動実績・計画や社会の変化を考えると、過去に頑迷にとらわれずに当初構想を前向きに見直すべきで、利用者の便宜を改善しつつ運転継続に向けて国の資源配分を望む。

ただし、

- 原子力基礎工学研究部門として行うべきと考えられる研究に不可欠なものであれば、以前に廃止する決めた施設であっても運転継続することに些かも問題はないが、それに投入する資源とそこから生み出される成果の多寡について十分に見通しを立てておくことが肝要と考える。

5．8 高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発について

高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発について、研究開発等の実施経過、当初目標の達成度、平成 22 年 3 月末における当初目標の達成見込み度を、将来への研究開発の展開の観点から、高温ガス炉システム研究委員会において中間評価を行った[1]。結果を以下に記す。結果については本研究・評価

委員会にて審議・了承した。

（1） 高温ガス炉水素製造システムの設計に関する研究開発

- 1000m^3/h 規模の HTTR-IS システムの熱供給システムの概念設計を完了しており、基本構成の決定、主要構成機器の構造概念及び運転制御方法の決定という目標を達成している。
- 非定常解析コードについては、必要な整備を終了していることから、当初の予定通り目標を達成できる見込みがあると判断できる。
- 安全設計方針の検討では、HTTR-IS システムで想定される評価事象について、設備変更に伴い新たに考慮すべき事象を明らかにするとともに、安全予備解析のための条件を整理しており、また、水素爆発、ガス漏えい評価手法を既に提案していることから、目標を達成している。

（2） 炉特性・安全性に関する研究開発

- 炉特性・安全性については、高温ガス炉実用化に不可欠なデータを着実に蓄積し、HTTR 異常事象模擬試験により安全性が実証され、特性解析手法の高度化も着実に進めて研究成果を上げていることから、目標を十分に達成できるものと判断する。
- HTTR において平成 21 年度に実施される運転日数が 50 日以上の高温(950℃)連続運転試験の結果に大いに期待できる。
- 機器信頼性・メンテナンスについては、故障の分析や運転データの分析を積極的、かつ丹念に行い、貴重なノウハウを蓄積しているのは世界に誇れることであり、大いに評価されるべきである。

（3） 燃料・材料に関する研究開発

- 燃料の高燃焼度化については、850℃30 日間の HTTR 試験で世界最高品質の燃料であることが確認されており、また、被覆層を厚くした改良燃料（バッファ層平均厚さ、SiC 層平均厚さ：90μm、35μm）の試作試験を完了しており、目標を達成している。今後 950℃運転での確認が十分期待できる。
- 黒鉛構造物の長寿命化については、マイクロインデンテーション法等を用いた圧子の押込み量と黒鉛構造物の約 20MPa（許容応力（圧縮））の残留応力評価式をすでに導出しており、大型構造物への適用性の検証は十分達成が見込める。
- 耐熱セラミックス製構造物の開発については、試験データを取得済みであり、応力評価を完了できると判断される。

（4） 熱利用技術開発に関する研究開発

- ガスタービンのロータの磁気軸受振動抑制技術の要素技術開発については、ロータ曲げ振動予測簡易モデルを作成するとともに、大規模制御演算式の低次元化方法を見出している。これらにより、振動評価を行い、振動を抑制できることを示していることから、期間内に振動振幅が 75μmp-p 以下という当初計画を達成できるものと判断できる。
- 高温隔離弁については、高温（900℃）環境における構造健全性の確保（弁座シート面の締め付け力 35MPa）のために、熱応力解析、構造高度評価を実施中であり、中期計画の期間内に高温隔離弁の構造を決定し、目標を達成できる見込みがあると判断できる。

（5） IS プロセス水素製造に関する技術開発

- 中期計画に記載された IS プロセスの「$30m^3/h$ 規模の水素製造技術の確証」を $30m^3/h$ 規模の水素製造施設を研究開発なしにプラントメーカー等が製作できることと考えた時、以下の課題及び目標を設定したことは妥当であると判断する。

  ［課題］ 1）実用材料を用いた装置の技術開発、2）熱効率向上に関する技術開発、3）設計データの取得

  ［目標］

  1）$30m^3/h$ 規模硫酸分解器の製作性及び SiC/金属間の気密性の確保、～325℃、90%硫酸が輸送可能なポンプの開発、4 成分 2 液相溶液組成の非接触・オンライン計測法

  2）約 40%の熱効率を見通せるヨウ化水素(HI)濃縮性能

  3）ブンゼン反応で生成する HI 相溶液の HI 濃度予測式、擬共沸組成以上の高濃度 HIx 溶液の蒸留による純 HI 分離の確認、高温硫酸環境におけるガラスライニング材の適用範囲の明確化、SO_3 分解触媒の活性変化予測式の作成

- 上記の課題及び目標に対して

  1）円筒型 SiC 製熱交換器の案出及び $30m^3/h$ 規模機器の試作試験、ポンプの試作及び試験、放射線密度計の活用及び 4 成分系 2 液相溶液の密度と組成の関係の定式化

  2）放射線製膜技術の活用

  3）ブンゼン反応実験、擬共沸組成以上の高濃度 HIx 溶液の蒸留実験、ガラスライニング材の腐食試験、耐熱試験、SO_3 分解反応実験

  が行われたのは、妥当であると判断する。

- 高温反応機器装置の信頼性、定常、過渡、異常時の制御性の検証に関しては次期中期計画で確認するとしており、技術開発の進め方は妥当である。
- 実用材料を用いた装置の技術開発では、目標の性能を有する硫酸分解器の構造を確定するとともに、ブンゼン溶液組成計測法を開発している。高温硫酸輸送技術については、目標とする性能を有するポンプの試作を終了しており、中期計画中には目標達成が可能と判断できる。
- 熱効率向上に関する技術開発として重要な分離膜に関し、放射線を利用して、熱効率 40%が達成可能な分離膜を開発しており、所定の成果を上げ、目標を達成していると評価する。なお、熱効率に関しては、今後、30m^3/h 規模の水素製造技術の確証とは別個に、更なるブレークスルーをめざし長期的視野で革新的技術開発を進めることを考えたほうが良いであろう。
- 設計データの取得については、ブンゼン反応特性・ヨウ化水素蒸留特性・SO_3 分解触媒特性について、それぞれ、予測式の導出、分離の確認、経時変化データの取得等の成果を挙げており、今年度中には目標達成が可能と考える。

【参考文献】

[1] 核熱応用工学ユニット編、“平成 20 年度　研究開発・評価報告書　評価課題「原子力基礎工学研究－高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発」(中間評価),”, JAEA-Evaluation 2008-003 (2009).

5．9 その他

- 分離変換技術に関する研究開発は、原子力利用の可能性を広げる基礎技術として重要であり、国の評価を経て推進するのは適切である。
- 我が国で原子力基礎研究に専念する研究者集団を最も多く擁している組織であることから、原子力基盤技術の維持・発展の要として役割を果たしていただくことを期待して止まない。

This is a blank page.

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　中間評価資料*

参考資料3　日本原子力研究開発機構における分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方について

参考資料4　高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発に関する中間評価報告総合所見

参考資料5　原子力基礎工学研究・評価委員会（中間評価）における委員会のコメントと原子力機構の措置

*添付 CD-ROM に収録

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.

20原機(原)018
平成 20 年 9 月 30 日

研究開発・評価委員会
(原子力基礎工学研究・評価委員会)
委員長　岡　芳明　殿

独立行政法人　日本原子力研究開発機構
理事長　　岡崎　俊雄

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］

「原子力基礎工学研究」に関する中間評価

以上

This is a blank page.

参考資料2

中間評価資料

This is a blank page.

原子力基礎工学研究中間評価資料目次

（添付 CD-ROM に収録 ）

中間評価配布資料

1. 委員名簿
2. 原子力基礎工学研究部門の概況
3. 燃料・材料工学の研究活動
4. 核工学・炉工学の研究活動
5. 分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方
6. 環境・放射線工学の研究活動
7. 高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発計画に関する中間評価
8. 自己評価表

中間評価参考資料

1. プレス発表及び取材
2. 受賞一覧
3. 国際協定／取決め等に基づく活動
4. 中期計画抜粋

This is a blank page.

参考資料3

日本原子力研究開発機構における分離変換技術に関する

研究開発の現状と今後の進め方について

This is a blank page.

平成 20 年 9 月 25 日

日本原子力研究開発機構における分離変換技術に関する
研究開発の現状と今後の進め方について

分離変換技術研究委員会
委員長　田中　知

平成 19 年度分離変換技術研究委員会が平成 20 年 3 月 19 日に開催され、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）における分離変換技術の研究開発の進捗状況と今後の進め方について討議を行った。

委員から出た主な意見は以下の通りである。

○ 分離変換技術の導入効果については、分離変換技術と廃棄体の貯蔵期間延長を組み合わせることによる大幅な処分場面積低減の可能性など、定量的で幅広い検討が行われている。今後は、処分場面積の低減効果を把握しやすい説明に努めるとともに、高レベル廃液からのMA回収率設定の明確化等、より総合的な視点から本技術導入の意義を検討することが望まれる。

○ 分離変換技術の導入シナリオについては、軽水炉から高速炉への移行期における分離変換技術の重要性が示された。加速器駆動システム（ADS）には、その特徴を活かして、高速増殖炉（FBR）サイクルの実現を支え、FBRでは達成が困難な範囲の核変換技術の実現を期待する。

○ 分離技術については、FBRとADSに共通する課題であり、FBR燃料再処理の工学的検討と並行して、新規抽出剤の開発等の基礎的研究が進められていることは、新たな可能性の創出の観点から適切である。

○ 核変換システム全般については、技術開発は適切に進捗しているが、FBRやADSそれぞれの技術の特徴と成立性の議論が必要である。

○ ADSの技術開発については、欧州と協力して効果的に実施する体制を構

築したことは適切である。ただし、欧州と原子力機構で技術選択（燃料の化学形、ビーム窓の有無）が異なることへの説明が必要である。また、欧州と原子力機構の開発スケジュールの関係を明確化すべきである。

○ 今後の進め方については、分離変換技術を国民が求める安全・安心・環境負荷低減に対するひとつの答えと捉え、課題を明確にした上で、着実に研究開発を進めることが必要である。また、マイナーアクチノイド試料の整備等について、原子力機構自らが実施できるような体制を整備することが望ましい。

○ J-PARC第Ⅱ期である核変換実験施設については、単にADSの研究開発だけでなく、FBR技術、核融合炉材料、加速器工学等の幅広い分野の進展につながり、人材の育成に貢献する施設として、次世代を担う人が中心となって進めていってほしい。

報告書「日本原子力研究開発機構における長寿命核種の分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」は、上記の意見を踏まえた適切な対応がなされていると認められる。

原子力機構においては、上記報告書に則り、J-PARC第Ⅱ期を含めた研究開発を、原子力委員会等の国レベルの評価を経て推進すべきと考えられる。

以上

参考資料4

高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発に関する

中間評価報告総合所見

This is a blank page.

平成 20 年 9 月 29 日

高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発に関する
中間評価報告総合所見

高温ガス炉システム研究委員会
委員長　岡　芳明

原子力委員会の原子力政策大綱に基づき、文部科学省（文科省）、経済産業省（経産省）が平成17年10月に原子力機構に提示した中期目標を受け、原子力機構が作成した「高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発」に関する中期計画（平成 17 年 10 月から平成 22 年 3 月まで）において、

①高温ガス炉の技術基盤の確立を目指した研究開発分野では、

i) HTTR において、運転日数が 50 日以上の高温（950℃）連続運転を行い、高温ガス炉の実用化に必要なデータの蓄積を行う、

ii) HTTR での異常事象等を模擬した試験を行うことにより高い固有の安全性等、高温ガス炉の特性を実証する、

iii) 特性評価手法の高度化を図る、

iv) 燃料の高燃焼度化（約 120GWd/t を目標）及び黒鉛構造物の長寿命化（約 6 年間を目標）及び耐熱セラミックス製構造物の開発を目指した研究開発を行う、

②核熱による水素製造の技術開発分野では、

i) HTTR 接続 IS プロセス水素製造システム（HTTR－IS システム）における熱供給システムの設計を完了する、

ii) IS プロセスによる水素製造システム（IS システム）による 30m^3/h 規模の水素製造技術を確証する、

iii) 熱利用に係わる高温隔離弁、タービン圧縮器等の要素技術開発を行う、

としている。

また、2008 年原子力委員会は、原子力政策大綱において、高温ガス炉とこれによる水素製造技術の研究開発に関し長期的視野に立って決めるべき必要な取り組みについて、「原子力の革新的技術開発ロードマップ」報告書の中で、

・ ビジョン：

「原子力エネルギー供給技術が温室効果ガスを排出しない熱源として、海水脱塩、水素製造等における熱需要に応えていること。」

・ このビジョンを実現するための技術候補：

「原子力による革新的水素製造技術」

・ 取組の内容:
水素製造等の高温ガス炉を用いた熱供給システムの実用化を目指して、以下を行う。
1)高温ガス炉高性能化技術
2)水の熱分解による革新的水素製造技術
・ 研究開発の目標時期:
「当面、HTTR 等を活用して高温ガス炉及び原子炉熱を利用した水素製造技術を開発し、・・・(中略)・・・2020 年頃に実用システムの原型を提示することを目指す。」
と記している。

加えて、2008 年に総合科学技術会議の「革新的技術戦略」において、23 の革新的技術のうちの一つとして、地球温暖化対策技術の国際競争力を強化するため、「水素製造エネルギーシステム」として高温ガス炉を用いた IS プロセス水素製造技術が選ばれている。

これら国の計画に基づき、上記の中期計画に対して、

① i) :可燃性毒物の燃焼特性、1次ヘリウムガス冷却系中の水分濃度等の不純物制御特性、中間熱交換器、高温配管等の高温機器の熱流動特性、炉内構造物等の構造強度健全性等に関するデータを取得・評価し、高温ガス炉の実用化に必要なデータの蓄積、

① ii) :反応度印加、1次ヘリウムガス冷却材流量低下の異常事象を模擬した HTTR 試験を行い、異常事象が生じたのち、原子炉出力が自然に低下して安定な状態になる固有の安全性の実証、

① iii) :動特性解析コードによる原子炉出力特性評価手法に関し、反応度印加、1次ヘリウムガス冷却材流量低下時の原子炉出力変化を 3%以内の精度で再現し、特性評価手法の高度化、

① iv) :燃料高燃焼度化(約 120GWd/t を目標)に向け、HTTR 試験により希ガス放出率がこれまでの海外炉の値;約 10^{-7} 以下であることの確認、並びに、燃焼度確認のための照射試験の前段階として、改良燃料の試作(被覆層厚さを従来の約 1.5 倍)、
黒鉛長寿命化(約 6 年間を目標)に向け、黒鉛の残留応力が基準値以下であることを示し、黒鉛構造材の長期利用を可能にするため、黒鉛の残留応力を測定する方法の開発及び黒鉛構造物の残留応力評価式の導出、
解析コードによる照射条件下での耐熱セラミックス製制御棒被覆管の成立性の確認、

② i)　:HTTR－IS システムの基本構成、主要構成機器の構造概念、運転制御方法を決定し、HTTR－IS システムにおける熱供給システムの設計の完了、

② ii)　:(1) 実用材料を用いた装置技術を開発し、(2) 約 40%の熱効率を見通せるヨウ化水素濃縮性能向上による効率向上に関する技術を開発し、(3) ブンゼン反応データ、蒸留データ、ガラスライニング適用可能範囲データ、SO_3 分解触媒データ等の設計データを取得し、IS システムによる $30m^3/h$ 規模の水素製造技術の確証、

② iii) :高温隔離弁では、弁座シート面の締め付け力が 35MPa で構造健全性を確保し、また、タービン圧縮器では、ガスタービンロータの磁気軸受の振動振幅を 75μmp-p 以下に抑制し、要素技術の開発、

を具体的な課題として定めたことは、技術的知見及び原子力機構で得られているこれまでの成果から妥当であると評価できる。また、実施に当たっては、高温ガス炉システムの実用化像や実用化プロセスを考慮し、国内外の協力を効率的に進めつつ、外部資金の獲得に努めたことは、有意義と認められる。

これら中期計画を順調に進捗させ、着実に研究成果を上げており、平成 20 年 6 月末時点での目標達成度は高いと評価できる。また、現時点でまだ目標を達成していない研究開発課題に関しても、技術的に達成が見込めると判断できる。

今後、この分野において原子力機構が世界のリーダーシップを引き続き確保していくため、経費面の支援が望まれる。最初の高温ガス炉導入市場が外国である可能性を勘案し、米国、カザフスタン等の国外計画に積極的に注力すべきである。特に、商用高温ガス炉が世界でも建設・運転の経験がないこと、最初の商用高温ガス炉の導入が発展途上国になると予想されること、従来炉にはない高温ガス炉固有の安全上の特徴を活かした設計を行っていることを考慮すると、安全審査等規制のための技術提供、地域住民のための安全・安心方策を提供できることを計画的に準備しておくことが重要である。

また、HTTR が大きなトラブルなく良く動いていることを強調し、高温ガス炉技術がここまできていること、我が国の炭酸ガス排出量を削減するために高温ガス炉システムが有効であること等、常に情報を発信し、高温ガス炉実用化の意義を広く国内外に浸透させる必要がある。

研究計画については、高温ガス炉事業が長期にわたることから、事業実施中に環境変化や新規な達成目標が発生する可能性がある。そこで、課題の見直しや新たな課題の取り込みなど計画の見直しを可能とする枠組みを構築すること、次善の計画のみならず次々善の計画を用意しておくことなど、臨機応変にかつ柔軟

な対応をとるべきであると考える。さらに今後は、実用化に向けて原子炉システムに関する研究開発だけではなく、現状の産官学連携の研究開発推進体制から、保守・補修、事故対応、防災システムなど名実ともに関連技術を網羅した実用化のための推進体制に移行することが望まれる。

参考資料5

原子力基礎工学研究・評価委員会（中間評価）における

委員会のコメントと原子力機構の措置

This is a blank page.

原子力基礎工学研究・評価委員会（中間評価）における委員会のコメントと原子力機構の措置

今般、原子力基礎工学研究・評価委員会から研究開発の評価結果に関する答申があり、次のとおり措置することとする。

1．特に優れた成果を上げている分野・項目

分野・項目	高く評価される点	改善を要する点・今後への期待	措　置
（1）核データ	● 基礎データ収集は地道な努力と時間が必要であるが、原子力研究にあたり必要不可欠である。種々の成果を挙げ評価も高い。 ● 核データライブラリーJENDL の整備、核データ測定法の開発などで、原子力学会賞の特賞・技術賞、奨励賞を受賞、JENDL-3.3 の発表論文が原子力学会欧文誌で最も引用される論文であるなど着実に成果をあげている。また、国内外の研究機関、大学、産業界とも連携して原子力エネルギー利用分野に限らずに加速器分野、医療分野などへの展開も着実に進めている。	● 核データは原子力に限らず多くの分野の研究をささえる基礎科学として重要であり、今後も継続して進めて頂きたい。特に、広い視野からユーザーのニーズを把握して今後の研究を展開し、また、国際的な連携を加速し、データのさらなる整備を図って頂きたい。	● ユーザーのニーズを把握して、研究項目の重点化に配慮しつつ研究を進める。特に、大学等との研究ネットワークを活用するなど、研究資源を有効に使って戦略的に取り組む。
（2）核計算コード	● 国内のみならずアジアの原子力基盤を支えるツールとして利用が広がっている。		
（3）MA 化合物の物性測定評価	● 世界有数の実験設備を開発・整備し、取り扱いの難しい MA の物性データを体系的に取得している。IAEA が進めるデータベース構築に大きく貢献するとともに国際会議の招待講演 5 件など、国際的評価も高い。	● 今後も世界をリードする研究を進めて頂きたい。	
（4）材料の	● 原子力機構の特長を生かした照射下試験を成功させ	● 今後も、実験技術・装置の開発・	

SCC 研究	るとともに、照射材を用いた試験により照射誘起応力腐食割れ機構解明のための基礎データを取得している。これらの試験等を通して、JNES の IASCC ガイドライン作成事業、原子力安全・保安院事業、実機材料損傷調査等へ大きく貢献している。	整備等を行いながら、この分野をリードする拠点として活動して頂きたい。	
(5) 線量評価研究	• 米国核医学会 MIRD-II や ICRP 新勧告用のデータベースなど国際標準となる被ばく線量評価用核種データベースを構築している。これらは国際的にもトップレベルの研究であり、高い評価を得ている。	• 今後とも、線量評価の分野をリードする拠点として活動するとともに、医療防護のための線量評価も重点化して頂きたい。	• 医療防護のための線量評価の重点化に配慮しつつ、今後とも当該分野をリードできるよう活動を進める。
(6) 環境動態研究	• 大気中での物質移行を世界的規模で取り扱える WSPEEDI を改良した第 2 版の作成、その広域拡散モデルの国内 SPEED への導入、WSPEEDI の欧米とのネットワーク連携、日本海海洋データベースの作成、その IAEA 海洋放射能データベース登録などの社会的な成果は、予測と観測の両面で国内外の高い評価を得ている。 • また、WSPEEDI 広域拡散モデル、137Cs データベース、CTBT 国内放射性核種監視体制などは、核実験監視に役立つ成果である。このようなシステムを利用して常に監視している、またはチェックできるということを近隣諸国に発信することが政策上効果は大きい。 • 併せて、放射性核種の精密な環境動態モデル作成により、事故時の被害拡大防止や予防対策立案への貢	• 今後は、大気・海洋・陸域の包括的物質循環研究に重点化して頂きたい。	• 大気・海洋・陸域の包括的物質循環研究を観測と計算シミュレーションの両面から重点化していく。

	献のほか、環境研究における物質循環解明全般への基礎的貢献も期待される。		

2. より高い成果の望まれる、あるいは位置づけについて再検討の必要な分野・項目

分野・項目	高く評価される点	改善を要する点・今後への期待	措　置
(1) 核設計技術	• 開発した計算コードが大学・産業界などで広く利用され、また、革新的原子炉の炉物理データベースを着実に蓄積しており、わが国の炉物理研究のセンターとしての役割を果たしている。	• 今後とも、蓄積した炉物理実験データの有効利用を目指した取組みに加え、実験解析技術の向上を活用した臨界実験データの活用法の開発を実験技術向上に取り組みつつ、発展させていただきたい。 • 併せて、炉物理解析技術の成熟、臨界実験施設の老朽化などにより弱体化するわが国の炉物理研究の基盤をささえるため、国内の大学・産業界とのネットワークの強化、基盤となる臨界実験施設の更新・計測技術開発を進めて頂きたい。	• 実験技術・計測技術の向上・開発など研究項目の重点化に配慮しつつ、研究を進める。併せて、大学・産業界とのネットワークの強化に努めつつ、引き続き、炉物理研究のセンターとしての役割を果たしていく。 • 特に、「臨界実験」についてはSTACY 改造による軽水炉系への対応について原科研、安全センターと協力して進める。また、J-PARC2 期での核変換物理実験施設の検討を J-PARC センターと協力して進める。その際、国内の炉物理コミュニテイーと密に連携をとりつつ進める。
(2) 熱設計技術	• 詳細二相流解析技術や中性子ラジオグラフィーを利用し	• 今後は、計測技術開発を二相流解析技術等の高度化に役立て、熱流動現象の解明を行って安全設計を含む熱設	• 機構内外のニーズを踏まえつつ、開発した技術のさらなる応用

	た計測技術など先進的な課題にチャレンジし、原子力学会賞を受賞するなどで優れた成果をあげている。	計に反映して頂きたい。 • 特に、開発した技術を用いて実験式の検証を行うなど次世代軽水炉の熱設計、安全評価への応用に展開して頂きたい。また、高速炉・核変換などで液体金属流に対するニーズが高いので、液体金属熱流動に対する解析技術を強化して頂きたい。	と液体金属熱流動に対する解析技術の強化に努める。 • 次世代軽水炉の熱流動に関しては、「原子力基盤連携センター」の場を利用した産業界との協力を進める。
(3) 分離化学	• 再処理プロセスに係るハンドブックとシミュレーションコードの公開、新規抽出剤の開発など一定水準以上の成果を挙げている。	• 組織再編等により、分離の基礎とプロセスを結びつける意識を高め、かつ，両者の結びつきを強化して研究を展開し、国際的により卓越した成果を挙げることを目指して頂きたい。	• 分離の基礎とプロセスの結びつきを強化するために、研究グループの統合・再編(20 年 10 月 1 日付)を行い、研究を進めている。
(4) 材料の劣化・損傷機構研究		• 原子力材料に係る共通基盤として重要な分野である。このため、人的資源等を補強し、実験と計算科学とが両輪となって、材料の劣化・損傷機構モデル及び劣化・寿命予測モデルの構築に向け、より一層の活性化を図って頂きたい。 • 併せて、材料の劣化・損傷機構の解明に基づく劣化・寿命予測については、種々の実験データを取得しつつ計算科学の助けを借りてモデル化し、汎用性を高める努力をしていただきたい。	• 人的資源の補強に努め、材料の劣化・損傷機構モデル及び劣化・寿命予測モデルの構築に向け、実験データの取得と計算科学を推し進める。
(6) 微量元素研究	• 微量分析については、CTBT 監視技術と保障措置分析で優れた成果を挙げている。	• 微量元素研究は、今後他の分野にも展開が期待されよう。また、同位体分析技術として AMS との連携強化も期待される。	• AMS の利用可能分野は広がっており、環境動態を中心に、他の関連機関とも連携した研究を展開し

		• 保障措置分析についてはPu微粒子分析技術の開発を継続するとともに、今後は原子力の幅広い分野での基盤的な分析技術の確立を目指し、溶液化学や放射化学などの基礎的研究に基づく分析技術の高度化を図って頂きたい。	ていく。 • 保障措置分析技術開発とともに、現在ニーズのある使用済み燃料の核種分析を中心に、分析技術の高度化を図る。
(7) C14を活用した炭素循環研究		• 炭素循環解明は環境分野における重要な基礎研究であり推進の意義は高いが、国内外のAMS施設で関連研究が進められているところでもあり、原子力利用技術開発により即した形での特徴ある研究推進が求められよう。上記環境動態モデルのバリデーション或いは原子力関連施設等からの放出監視に絡めた研究、さらにはオークリッジのように大型加速器を利用した他核種の分析技術開発など、機構の特徴を生かした他に類の少ない特徴ある研究推進を期待する。	• 炭素循環については、特に再処理施設の稼動に伴う、C14の大気・海洋・陸域の動態解明に重点をおき、C14の分布と挙動を明らかにすることで、周辺住民の安心の醸成に努める。また、機構のAMSは、日本で唯一、極微量のI129を測定できるので、このメリットも生かして、再処理施設から放出される微量I129の挙動を解明する。

3. 欠落/不足しており拡充が必要な要素

分野・項目	改善を要する点・今後への期待	措　置
(1)構造解析技術・複合現象解析	• 炉工学分野では熱流動に活動が限定されており、活動の再構築が必要である。熱流動と構造の複合現象に対する解析などの計算科学面から始め、熱応力解析、高サイクル熱疲労解析などに展開することで、構造解析技術の強化を進めて頂きたい。	• JAEA全体として構造解析分野の拡充の必要を感じている。計算科学やプロジェクトとの連携の中で、次期における重要事項として対処することとする。

	• 特に、原子炉中では核・熱・材料が相互に関連した複合現象が生起していることから、これらを統一的に扱える計算コードの開発研究に挑戦していただきたい。	• さらに、核・熱・材料が相互に関連した複合現象を統一的に扱える計算コードの開発研究を実施することとする。
(2) 計測機器開発	• 計測機器の高度化を図ることにより、実験技術が飛躍的に進歩するものと期待されることから、革新的な機器開発に取り組んでいただきたい。	• 革新的な計測機器開発として、特に、中性子トモグラフィーや、光、レーザー等を用いた微粒子計測手法などのセンシング技術(原子力計測技術)を開発し、解析結果の検証と信頼性向上のための高精度データを取得していく。
(3) 燃料工学分野への計算科学の応用	• 燃料工学分野では、今後、取り扱いの難しいマイナーアクチノイドに係るデータの重要性が増してくる。計算科学は、取得の難しい実験データを予測する補完的手法として、近年発展の著しい分野であり、人的資源の再配置をも考慮して、実験と計算の両輪で研究を展開できるように目指して頂きたい。	• 実験データ取得が基本であることを常に堅持しつつ、取得の難しい実験データを予測する補完的手法として計算科学の応用を目指す。 • また、先端基礎センターのアクチノイド物理研究との協力や、量子ビーム部門と連携した放射光の利用に積極的に取り組む。
(4) 燃料材料分野における実験研究	• 実験的アプローチに加えて計算科学的アプローチの強化が必要と認められるが、実験重視の基本姿勢を堅持して進めていただきたい。	• 実験データ取得がなにより重要で基本であることを常に堅持して進める。
(5) MA 関連研究	• プルサーマルが開始すれば、その利用の長期化に伴い、また MOX 再処理・高レベル廃棄物処理の研究開発に社会の関心が高まると予想される中で、マイナーアクチノイド関連の研究に注力してほしい。	• マイナーアクチノイドに係る研究を中心課題として進める。
(6) 放射線影響研究	• DNA損傷・修復機構の解明は面白そう。特化して早期成果を出して欲しい。 • 放医研など関連研究機関とも連携、連絡を保ちつつ、研究の蓄積を生かしたテーマ設定と成果の発信が期待される。	• LNT 仮説に対する科学的知見の提供には時間がかかるが、DNA損傷・修復機構の解明研究から得られる成果は他にもある。今後、放医研等と連携しつつ、これまで少なかった成果

	ただし、 ● 原子力機構の先端基礎研究センターに創設された放射線作用基礎過程研究グループでは、DNA の損傷と修復の仕組みにせまるプロジェクトを開始している。DNA の損傷・修復はこちらと共同あるいは吸収して実施してはどうか。DNA 損傷・修復にかわる新しいテーマ「システムバイオロジー」に原子力機構が挑戦していくことは必要ではないだろうか。 ● シミュレーションのみでは限界がある。今後は放射線リスク研究全体のうち真に原子力機構が担うべき部分として、DNAの損傷・修復シミュレーションと実験研究に集中して頂きたい。その際に、機構内の実験グループを含めた再編も視野に入れ、成果の反映先・提供先を強く意識した研究として頂きたい。	の発信に努める。 ● 次期中期計画では、放射線作用基礎過程研究グループとの再編も含め、DNA 損傷・修復に関する実験とシミュレーションの一体的研究の方策を検討する。システムバイオロジーは、放射線作用基礎過程研究グループや量子ビーム応用研究部門でも注目しているようであり、これについても連携による研究展開の可能性を検討する。また、成果の反映先を明確化し、成果の発信に努力する。

4. 他に優れた担い手がおり、他に任せるべき要素

分野・項目	改善を要する点・今後への期待	措　置
(1) 放射線影響研究	● DNA の損傷と修復の仕組みに関する研究は、放射線作用基礎過程研究グループに任せたほうが実験的な要素もあることから、成果がでやすいであろう。	● 放射線作用基礎過程研究グループとの再編も含め、DNA 損傷・修復に関する実験とシミュレーションの一体的研究の方策を検討する。
(2) 対象分野を特定せず、随時適切な連携を行うことが重要とのコメント	● 大学・産業界との連携協力を強化して取り組む姿勢を堅持していただきたい。	● 大学・産業界との連携に関しては、機構側から先方を訪問して説明するなど、その強化に努めている。今後も継続していく。

5. シーズとして将来が期待できる分野・項目

分野・項目	今後への期待	措　置

(1) 中性子ラジオグラフィー技術	• 中性子ラジオグラフィー技術は、複雑な容器内の複雑な現象を精度よく計測できる従来にない技術である。他分野への応用も可能な技術として、企業からも注目されている。 • また、X 線ラジオグラフィーと相補的な関係にあり、他分野への幅広い応用が見込まれる。 今後は、 • 他のラジオグラフィーとの違いを社会的にアピールし、特色を生かした利用を推進していくための方策を検討していくべきであろう。 • そのためには、中性子ラジオグラフィー技術を産業界に知らしめて、その産業分野への広い展開・応用を期待したい。特に、計測ニーズを有する企業との連携を進め、一般産業利用を促進して頂きたい。	• 中性子ラジオグラフィー技術を中核として、先進センシング技術の開発を一層進める。産業界への展開・応用を促進するために、平成 20 年 10 月 1 日付けで原子力センシング研究グループを設立した。
(2) 核設計誤差評価システム	• 臨界実験計画立案への応用により、既存施設の有効活用等が期待できる。	• 既存実験施設の有効利用などに幅広く使用できるように当該システムの完成を目指して、開発を進める。
(3) 高純度ステンレス鋼の開発	• 原子力材料に特有かつ共通する照射/腐食の複合環境において、より厳しい条件に耐えられる優れた材料として、超高純度材料の製造及び評価試験を行い、良好な結果を得ている。応用が期待できる。 • 今後、材料メーカーとの連携協力を推し進め、各種の代替材料としての適応性を見極めつつ、開発を進めて頂きたい。 • また、原子力ではより過酷な照射／腐食環境に耐える材料開発を実施しており、これは一般産業界にも応用・利用可能である。高温ガス炉の材料開発など、安全性の確保、寿命に関する検討は重要なテーマであり、これらの実験を効率良く遂行するための WASTEF、BECKY 設備の運転継続	• 材料メーカーとの連携協力を推し進め、応用・利用に向けて開発を進める。

	は必要と考える。	
(4) 分離変換技術	• フランスを見れば分離変換技術は今や原子力発電利用と一体的として社会との関わりから避けて通れない研究課題。将来の成否は別として研究のプロセスや成果・限界などを社会と共有すべきと思われるので、しっかり取り組んでもらいたい。	• 分離変換技術は処理処分に新たな可能性を提示するものであり、研究のプロセスや成果・限界などを社会と共有すべく、研究成果の周知に努めていく。
(5) C14を活用した炭素循環研究	• 放射性同位元素C14をトレーサとした環境動態研究の応用により、新たな視点から温暖化メカニズムの解明に貢献できる可能性が高く、地球温暖化メカニズムの解明に活用し得るものであり、温暖化防止対策の立案に貢献することが期待できる。 • 原子力の社会受容の観点からも積極的に進めて頂きたい。原子力機構としてさらに推進すべき課題であろう。	• 温暖化研究への貢献については、森林総合研究所など国際連携の基幹研究所と協力して、機構の特色を活かしながら今後とも貢献していく。また、C14の動態研究自体、再処理施設周辺の放射線安全上、重要であり、社会受容の点で今後重点化する。
(6) ウラン(U)含有低レベル廃液処理技術	• エマルションフロー液液抽出法は、工業排水の浄化などへの幅広い応用や海水U回収技術への発展などが期待できる。 • U 含有低レベル廃液処理技術は、これまでにない画期的な技術であり、工業排水の浄化など幅広い応用が期待できる。資源確保の観点から海水U回収技術への発展も視野に入れて頂きたい。 • U 回収技術がコスト的に成り立つところまで至れば、資源確保の観点からも高い意義をもつと考えられる。また、U だけでなくレアメタル確保などへの応用も視野にいれた研究推進を期待したい。	• エマルションフロー液液抽出法については、環境事業を行う民間会社からの引き合いも多数あり、原子力技術の社会への還元として、産学連携で取り組む。 • 原子力への貢献としても、U廃液の浄化、海水U回収、海洋モニタリング技術の高度化など、今後とも積極的に取り組む。
(7) 環境・放射線工学全体	• 科学技術に支えられた現社会では、その自然環境との相互作用、社会に組み込まれた技術システムに生じる課題の実情把握や予測に関して、機構のこの分野の応用可能性が極めて広いので、研究実態などをもっと社会に広く知ってもらう工夫を望む。	• これまでも、基盤技術の非原子力分野への利用や、成果のプレス発表に積極的に取り組んできたが、今後、一層の努力をしていく。また、特許取得と利用想定先への広報にも一層取り

		組む。
(8) 高温ガス炉材料	• 高温ガス炉で使用する材料開発は一般産業界にも応用・利用可能。	• 産業界への応用は素材製造メーカーとも協力しつつ、材料の探索に努める。
(9) IS プロセス	• 高温ガス炉、ISプロセスの開発は将来の国内 CO_2 削減の有力な技術である。早期成果発揮が要望されている。 • ISプロセスで製造する H_2、O_2 の産業界での利用をさらに検討されることを望む。	• 高温ガス炉、IS プロセスともに、早期実現に向けて、多方面にわたる資金確保に努めていきたい。併せて、量子ビーム技術による燃料電池隔膜の高性能化など、水素利用に関しても原子力機構のポテンシャルが発揮されるよう、努力していく。

6. 次期に向けての必要な視点－基礎工学研究のマネージメント全般

分野・項目	高く評価される点	改善を要する点・今後への期待	措　置
(1) 原子力機構内の連携について		• 外部から見ると原子力機構は極めて複雑な体制となっており、内部の連携協力が不十分であるような印象を受ける。基礎研究部門が先端的な応用研究開発部門のニーズを把握するとともにシーズを供給して、内部連携の中核としての役割を果たすことが重要と考える。 • 横断的なテーマで機構内での連携を深めていけば良い。	• 核融合、FBR 等の様々なプロジェクト研究における要素技術など先端研究に対して、基礎基盤研究部門として、学術的な掘り下げ、新たな提案も含めた研究協力を行っていく。
(2) 産業界との連携について		• 機構発足時に比して機構自体の官的体質が大きく変わってきた。実際、多くの成果が出ており、一般産業界への広報を通して、連携が深まること	• 既に基礎工学研究部門の研究成果を積極的に広報してきた結果、原子力以外の分野でも産業

		と思う。マンパワーやリソースの有効活用含めて、積極的に進めるべきである。 • 一般的に基礎研究に関して直接的に産業界との連携を活発化することは容易ではないが、ニーズの発掘、シーズの提供、人材育成の面での働きかけを通じて一定の連携を保つことは可能と考える。原子力の基礎基盤研究分野において自由経済下で縮こまり気味の産業界を機構がリードするような気概を持っていただきたい。	利用へ向けて共同研究が開始されようとしている。今後とも、ニーズの発掘、シーズの提供、人材育成を含めた連携強化を図っていく。
(3) 国際的な連携・分担について		• 基礎データ収集は地道な努力と時間が必要であるが、原子力研究にあたり必要不可欠である。国際的な連携を加速し(うまく分担して)、基礎データ収集整備を行える環境造りが必要と考える。 • 特に、国際的な連携・分担については、主体性を確保しつつ、対等の立場で真に協力・共同研究として取り組むことが肝要と考える。	• 国際協力の活用や研究ネットワークの構築などを通して、国内外の限られた研究資源を有効に使って戦略的に取り組む。
(4) 研究開発環境と資源配分について		• 既存施設の多くが経年変化の影響を受けて運転維持・利用が困難になっており、貴重な実験の場が失われつつあることを憂慮する。現在、新規施設の建設が困難な状況にあるが、将来に向けて一定のスクラップアンドビルトを真剣に検討する必要があるのではなかろうか。また、これに関連して資源配分の最適化についても、原子力基礎	• 短期的な取組として、現在の環境下で真に必要な施設の絞り込みを行い、重要な施設に対しては継続使用を働きかけていきたい。併せて、中長期的な施設・設備の整備計画も適切に策定していく。

		工学研究部門が担うべき役割の重点を絶えず検討しつつ行う必要があろう。 • 将来に向けてのスクラップアンドビルトに関しては、必要な設備の確保、最新鋭の設備導入も含めてしっかりと検討されたい。	

7. 廃止対象施設（WASTEF、BECKY 空気雰囲気セル）の運転継続について

継続運転を是とする意見	改善を要する点・今後への期待	措　置
• 廃止対象施設とされるWASTEF、BECKY空気雰囲気セルの運転継続を図るべきである。WASTEF には、ユニークな試験装置が設置されており、照射を受けた材料の研究にとって極めて重要で燃料試験施設（RFEF 等）への集約化は困難であり、原子力安全・保安院や JNES の委託研究のニーズに対応できる。成果もあがり、受託収入により維持管理もできるので、運転継続が賢明な選択である。 • 原子力ではより過酷な照射／腐食環境に耐える材料開発を実施しており、これは一般産業界にも応用・利用可能。高温ガス炉の材料開発など、安全性の確保、寿命に関する検討は重要なテーマであり、これらの実験を効率良く遂行するための WASTEF、BECKY 設備の運転継続は必要と考える。 • BECKY と空気雰囲気セルについては、使用済燃料を用いた小回りのきく試験が可能な重要な実験施設であり、成	• 原子力基礎工学研究部門として行うべきと考えられる研究に不可欠なものであれば、以前に廃止する決めた施設であっても運転継続することに些かも問題はないが、それに投入する資源とそこから生み出される成果の多寡について十分に見通しを立てておくことが肝要と考える。	• 運転継続に伴う損益を精査し、その結果をもって関係当局に働きかけていく。

果のあがる運転継続が賢明な選択であると考えられる。 ● 機構発足時からの機構内の活動実績・計画や社会の変化を考えると、過去に頑迷にとらわれずに当初構想を前向きに見直すべきで、利用者の便宜を改善しつつ運転継続に向けて国の資源配分を望む。		

8. その他

分野・項目	今後への期待	措　置
(1)分離変換技術	● 分離変換技術に関する研究開発は、原子力利用の可能性を広げる基礎技術として重要であり、国の評価を経て推進するのは適切である。	● 現在、国の評価を受けており、評価結果を踏まえて、研究開発を推進していく。
(2)原子力基礎工学研究全般	● 我が国で原子力基礎研究に専念する研究者集団を最も多く要している組織であることから、原子力基盤技術の維持・発展の要として役割を果たしていただくことを期待して止まない。	● 体系性を持った基礎基盤研究を持続的に展開していく。原子力工学の高度化を進めることで、産学と連携しつつ、原子力をめぐる諸課題の解決に当たるとともに、原子力エネルギー利用の新しい技術分野を切り拓いていく。併せて、狭義の原子力を越えた視野を持ち続け、原子力科学技術の発展に貢献していく。
(3)対象分野を特定せず、随時適切な連携を行うことが重要とのコメント	● 機構外との連携に加え、当然のことながら、原子力機構内の連携協力を強化することを忘れないで頂きたい。	● 高速増殖炉や核融合などの分野における機構内での研究協力、施設利用・試験などにかかわる拠点との協力について、今後とも一層の連携強化に努める。

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	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	立法メートル	m^3
速さ，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
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
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
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の） 1	1
比透磁率[b]	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表される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[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	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	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
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	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	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	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。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である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含む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
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
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	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
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)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	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	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

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}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=1l=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、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 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	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	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています