



JP0050845



核融合研究開発専門部会評価結果報告書

2000年10月

本評価結果報告書は、日本原子力研究所の核融合研究開発専門部会による評価結果を示すものである。評価対象は、核融合研究開発専門部会が主に取り扱う「核融合炉実験装置」(NDA)と「核融合炉実験装置用機器」(NDE)の2種類である。評価結果は、各機器の性能や運転状況、維持管理状況などを踏まえ、各機器の運転状況を評価するための指標として、「評価基準」として定められた基準に基づいて評価されたものである。

評価結果は、各機器の運転状況を踏まえ、各機器の運転状況を評価するための指標として、「評価基準」として定められた基準に基づいて評価されたものである。

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。

入手の問合わせは、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、お申し越し下さい。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行っております。

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.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

核融合研究開発専門部会評価結果報告書

日本原子力研究所
研究評価委員会

(2000年10月2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、核融合研究開発専門部会を設置し、核融合研究開発分野全体について、平成10年度終了した研究課題の事後評価、平成11年度から開始した課題の中間評価及び平成13年度に開始する研究課題の事前評価を実施した。同専門部会は12名の専門家で構成された。

核融合研究開発専門部会は平成12年3月9日に開催された。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会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12年8月31日に審議された。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 Review Committee on Evaluation of the R&D Subjects
In the field of Nuclear Fusion Research

The Research Evaluation Committee

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

(Received October 2, 2000)

On the basis of the JAERI's Basic Guidelines for the Research Evaluation Methods and the Practices Manuals of the Institution Evaluation Committee, the Ad Hoc Review Committee composed of 12 experts was set up under the Research Evaluation Committee of the JAERI in order to review the whole R&D subjects in fusion research, including post-review for those completed in FY1998, intermediate-review for those started in FY1999, and pre-review for those to be implemented in FY2001.

The Ad Hoc Review Committee meeting was held on March 9, 2000. According to the review methods including review items, points of review and review criteria, determined by the Research Evaluation Committee, the review was conducted based on the research result/plan documents submitted in advance and presentations by the Department Directors. The review report was submitted to the Research Evaluation Committee for further review and discussions in its meeting held on August 31, 2000. The Research Evaluation Committee recognized the review results as appropriate. This report describes the review results.

Keywords: Research Evaluation Committee, R&D Subjects, Fusion Research,
Plasma Physics, Post-review, Intermediate-review, Pre-review

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 1 日策定) 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 1 日策定、平成 11 年 4 月改正) に基づき、核融合研究開発専門部会を設置し、核融合研究開発分野全体について、平成 10 年度終了した研究課題の事後評価、平成 11 年度から開始した課題の中間評価及び平成 13 年度に開始する研究課題の事前評価を実施した。

核融合研究開発専門部会は 12 名の専門家で構成され、平成 12 年 3 月 9 日に開催された。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会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。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成 12 年 8 月 18 日に谷津部会長が「核融合研究開発専門部会評価結果報告書」を研究評価委員会委員長に提出した。研究評価委員会は平成 12 年 8 月 31 日に第 5 回研究評価委員会を開催し、同専門部会の谷津部会長から「核融合研究開発専門部会評価結果報告書」の説明を受け、審議を行った。審議の結果、本専門部会評価結果は妥当なものと判断し、研究評価委員長は同報告書を 9 月 5 日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 12 年度研究評価委員会委員(13 名)

- 西澤 潤一 岩手県立大学長
 (委員長) (財)半導体研究振興会半導体研究所長
 (半導体工学)
- 秋山 守 (財)エネルギー総合工学研究所理事長
 (委員長代理) 埼玉工業大学学長
 (原子炉熱設計、熱流体工学、安全工学、エネルギー変換)
- 秋元 勇巳 三菱マテリアル㈱取締役社長
 (物理化学、核化学)
- 石榑 顕吉 埼玉工業大学先端科学研究所教授
 (原子炉化学、放射線化学)
- 井上 信 京都大学原子炉実験所長
 (加速器科学、原子核物理学)
- 岡田 雅年 金属材料技術研究所長
 (金属材料・工学、金属科学、原子炉材料)
- 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
 (X 線光学、X 線量子光学)
- 草間 朋子 大分県立看護科学大学長
 (放射線防護、胎児の放射線影響)
- 友野 勝也 東京電力株式会社フェロー
 (原子力発電)
- 藤原 正巳 核融合科学研究所長
 (プラズマ物理、核融合)
- 宮 健三 東京大学大学院工学系研究科教授
 (核融合工学、電磁現象工学)
- 矢川 元基 東京大学大学院工学系研究科教授
 (計算科学、原子力工学(構造設計))
- 山崎 敏光 大阪大学名誉教授
 (原子核物理学、素粒子ビーム科学)

核融合研究開発専門部会評価結果報告書

平成 12 年 8 月

日本原子力研究所
研究評価委員会
先端基礎研究専門部会

This is a blank page.

目 次

はじめに
総合所見

1. 専門部会の設置	1
2. 評価方法	1
2. 1 専門部会の構成	1
2. 2 評価対象研究開発課題	1
2. 2. 1 事後評価対象研究開発課題	1
2. 2. 2 中間評価及び事前評価対象研究開発課題	2
2. 3 専門部会の開催	3
2. 4 評価項目及び評価基準	4
2. 4. 1 事後評価	4
2. 4. 2 中間評価及び事前評価	5
3. 評価対象研究開発課題に対する評価結果	7
3. 1 原研における核融合研究開発の全体の経過と最近の展開	7
3. 1. 1 事後評価(平成 6 年度～平成 10 年度)	7
3. 1. 2 中間及び事前評価(平成 11 年度～平成 15 年度)	9
3. 2 ITER 開発部門の研究開発課題 事後評価	13
3. 2. 1 ITER 開発部門の研究成果の概要	13
3. 2. 2 評価結果	14
3. 3 ITER 開発部門の研究開発課題 中間及び事前評価	17
3. 3. 1 ITER 開発部門の研究経過の概要(中間評価(平成 13 年 7 月までの研究開発課題))	17
3. 3. 2 評価結果(中間評価)	17
3. 3. 3 ITER 開発部門の研究経過の概要(事前評価(平成 13 年 8 月以降の研究開発課題))	18
3. 3. 4 評価結果(事前評価)	19
3. 4 核融合工学部門の研究開発課題 事後評価	23
3. 4. 1 核融合工学部門の研究成果の概要	23
3. 4. 2 評価結果	25
3. 5 核融合工学部門の研究開発課題 中間及び事前評価	32
3. 5. 1 核融合工学部門の研究経過の概要(中間評価)	32
3. 5. 2 評価結果(中間評価)	32
3. 6 炉心プラズマ研究部門の研究開発課題 事後評価	35
3. 6. 1 炉心プラズマ研究部門の研究成果の概要	35

3.6.2 評価結果	36
3.7 炉心プラズマ研究部門の研究開発課題 中間及び事前評価	41
3.7.1 炉心プラズマ研究部門の研究経過の概要(中間評価)	41
3.7.2 評価結果(中間評価)	42
3.8 核融合装置試験部門の研究開発課題 事後評価	47
3.8.1 核融合装置試験部門の研究成果の概要	47
3.8.2 評価結果	48
3.9 核融合装置試験部門の研究開発課題 中間及び事前評価	51
3.9.1 核融合装置試験部門の研究経過の概要(中間評価)	51
3.9.2 評価結果(中間評価)	52

Contents

Introduction

Executive Summary

1.Establishment of the Review Committee	1
2.Review Methods	1
2.1 Constitution of the Ad Hoc Review Committee	1
2.2 R&D Subjects for Review	1
2.2.1 Subjects of Post-Review	1
2.2.2 Subjects of Intermediate-Review and Pre-Review	2
2.3 Agenda of the Review Committee Meeting	3
2.4 Review Items and Review Criteria	4
2.4.1 Post-Review	4
2.4.2 Intermediate-Review and Pre-Review	5
3.Review Results of the R&D Subjects	7
3.1 Progress and Development of overall Fusion R&D in JAERI	7
3.1.1 Post-Review (FY1994～FY1998)	7
3.1.2 Intermediate-Review and Pre-Review (FY1999～FY2003)	9
3.2 Post-Review of ITER Project	13
3.2.1 Outline of R&D Result of ITER Project	13
3.2.2 Post-Review Results	14
3.3 Intermediate-Review and Pre-Review of ITER Project	17
3.3.1 Outline Progress of ITER Project (Intermediate-Review (~July,FY2001))	17
3.3.2 Intermediate-Review Results	17
3.3.3 Outline of Planned ITER Project (Pre-Review (August,FY2001～))	18
3.3.4 Pre-Review Results	19
3.4 Post-Review of Fusion Engineering Research	23
3.4.1 Outline of Result on Fusion Engineering Research	23
3.4.2 Post-Review Results	25
3.5 Intermediate-Review and Pre-Review of Fusion Engineering Research	32
3.5.1 Outline Progress of Fusion Engineering Research (Intermediate-review)	32
3.5.2 Intermediate-Review Results	32
3.6 Post-Review of Fusion Plasma Research	35
3.6.1 Outline of Result on Fusion Plasma Research	35

3.6.2 Post-Review Results	36
3.7 Intermediate-Review and Pre-Review of Fusion Plasma Research	41
3.7.1 Outline Progress of Fusion Plasma Research (Intermediate-Review)	41
3.7.2 Intermediate-Review Results	42
3.8 Post-Review of R&D Fusion Facilities	47
3.8.1 Outline of Result of R&D of Fusion Facilities	47
3.8.2 Post-Review Results	48
3.9 Intermediate-Review and Pre-Review of R&D of Fusion Facilities	51
3.9.1 Outline Progress of R&D of Fusion Facilities (Intermediate-review)	51
3.9.2 Intermediate-Review Results	52

はじめに

日本原子力研究所は「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定」に基づき、研究評価委員会の下に核融合研究開発専門部会を設置している。当専門部会は、平成10年度に、平成11～15年度までの核融合研究開発関連の研究開発全体の計画を審議するため、事前評価を実施した。この事前評価結果は研究評価委員会により公開されている（JAERI-Review99-015）。

今回の当専門部会の任務は、上述の基本指針及び規定に基づき、同じく原研の核融合研究開発課題について、平成6年度～10年度までの研究開発実績の事後評価、及び平成11年度～15年度までの研究開発計画の一部についての中間評価及び事前評価を行うことである。このうち、後者の中間評価と事前評価の意味は主として次の2点に関することである。

- 1) 炉心プラズマ研究部門及び核融合装置試験部門における平成13年度以降の当初計画の具体化（JT-60コイル改修及び運転利用計画の見直し）に関する中間評価。
- 2) ITER開発部門における平成13年7月の延長ITER・EDA終了以降の新たな研究課題の計画（ITER建設準備活動）の事前評価。

従って、核融合工学部門の中間評価はほぼ再確認に近いものである。

当専門部会の評価は研究評価委員会の定めた評価の方法に従って実施した。上記のように評価対象課題は、ITER開発部門、核融合工学部門、炉心プラズマ研究部門及び核融合装置試験部門の4部門である。これらに加えて、原研の研究開発が原子力委員会／核融合会議が統括する国のプロジェクトであることから、原研の研究開発活動と内外との関係についての現在までの経過及び今後の計画展望を踏まえ、全体的、機関運営的事項についても検討した。

当専門部会は、平成12年3月9日に開催し、全体の活動及び4研究開発部門について一括して、提出された評価用資料及び各研究開発責任者からの説明と質疑を行った。これらに基づいて、各委員が個別に評価結果を事務局に提出し、事務局がそれを整理した資料を作成し、部会長が受領した。上記のように評価対象及び評価目的が多いこともあり、また、それぞれに各委員とも非常に熱心に検討を行ったことから、寄せられたコメント、意見は膨大なものとなった。従って、前回の事前評価の場合と同様に、報告書の作成に当たっては、多くのコメント、意見等を集約し、要旨のみを記述することとせざるを得ないこととなった。専門委員各位の大変なご努力に感謝いたすとともに、この点で、ご容赦いただきたい。

終わりに当たり、本報告書ご覧戴き、原研が進められている核融合研究開発についてお考えのある方は、遠慮なく原研にお寄せ戴ければ幸いである。日本原子力研究所の研究に英知が結集され、日本の核融合研究が世界をリードして発展することを願うものである。

平成12年8月18日
核融合研究開発専門部会
部会長 谷津潔

総合所見

原研の核融合研究開発全体の経過及び今後について

日本原子力研究所は、原子力委員会が平成4年6月に策定した「第三段階核融合研究開発基本計画」に基づいて、実験炉としての役割を担う国際熱核融合実験炉(ITER)計画に主体的に参加するとともに、JT-60及びJFT-2Mによる炉心プラズマ技術に関する研究、実験炉及び原型炉で要求される炉工学技術、安全性研究及び動力炉システムの設計研究を行っている。このため那珂研究所を中心として、ITER開発部門、核融合工学部門、炉心プラズマ研究部門、核融合装置試験部門を構成し、各部門が互いに強い連携をもって、研究開発を効率的かつ効果的に進めている。

平成6年度からの5カ年においては、ITER開発部門では、ITERの工学設計活動(EDA)において、最終設計報告書等を完成するとともに、各極が分担した大型の工学R&Dの成果により設計の妥当性を確証した。核融合工学部門では、超伝導中心ソレノイドモデルコイル等のITER工学R&Dを実施し、当初計画で想定された性能を確認し、実機製作の目途を立てるなどの成果を得た。炉心プラズマ研究部門では、JT-60において世界最高の等価核融合エネルギー増倍率($Q=1.25$)の炉心プラズマ性能を実現した。併せて、定常トカマク核融合炉の概念を創出するとともに、ITER計画における、定常運転を重視した低コストオプションの設計を先導した。核融合装置試験部門では、JT-60とJFT-2Mにおける安定運転を遂行するとともに、ダイバータ等の装置機器の技術開発を推進した。これらは、炉心プラズマ研究において世界を牽引・先導する先端的成果を産み出す原動力となった。

平成11年度以降においても、トカマク型実験炉の開発を中心とする上記の研究開発の発展的課題を継続実施している。3年間延長されたITER工学設計活動(EDA)は平成13年度7月に終了する。それ以降の展開として、ITER建設準備段階及びITER事業体発足に伴う建設段階に進むことを想定して、原研の核融合研究開発を新たに計画している。併せて、平成13年度からJT-60を長時間プラズマ制御が可能な超伝導トカマク装置に改修して、ITERを支援する先進的な炉心プラズマ研究を推進することとしている。

この間、国は第三段階基本計画の実施については、総合的な視野に立ったチェック・アンド・レビューを行いつつ、研究開発を推進している。すなわち、原子力委員会核融合会議とその下部委員会において、JT-60等によるプラズマ技術開発及びITER工学R&Dを中心とした炉工学技術開発の進展について調査審議され、研究開発の妥当性が評価された。ITER計画では、ITER計画懇談会で、計画の意義について幅広い観点から議論され、平成10年3月に「懇談会における論点の整理と今後の課題について」の中間答申が行われた。また、ITER/EDA技術部会では、国として判断が必要な事項が審議され、最終設計報告書は、当初の目標を満足するものと評価された。その後においては、平成12年1月に核融合会議がコンパクトITERの概要設計報告書等について検討・評価を開始するなど、原研の核融合研究開発の今後の展開

に関わる国の方針及び推進方策の確立が待たれている。

以上の原研の核融合研究開発は、過去 5 カ年の実績をみると、全体計画とその展開は系統的であり、目標達成に向けて各部門が着実に成果をあげていると評価できる。

平成 6 年度からの 5 カ年においては、特に、JT-60 は実験開始以来、おおよそ一桁の性能向上を果たし、Q 値で 1 を十分に越える世界最高値 1.25 を達成したことは高く評価できるなど、今後の実験炉に有用な結果を示してきた。また、ITER 工学設計活動においては、工学設計及び R & D において国際協力を推進するとともに、核融合炉の実現に向けて定常化が不可欠であるとの認識のもと、コンパクト ITER の設計概念の構築に大きく寄与した。

現状に立って今後を展望すると、我が国を中心となって ITER の誘致、建設を推進していくことは、核融合研究者の長年の夢であり、原研に期待することが大きい。原研は ITER 計画の推進に中核的な機関としての実のある貢献が期待される。省庁再編の後においても、ITER、大型トカマク装置による炉心プラズマ研究、大型装置を用いての炉工学研究開発は、原研が主体的に責任をもって実施していくことになろう。

平成 13 年度からは、本格的建設段階まで円滑に進めるよう、提案の各課題で所期通りの成果をあげて建設準備活動を推進すべきである。この間、大学、他研究所からの提案参画を積極的に推進し、関係産業界からの支援確保、企業の育成にも主導的貢献を果たす必要がある。

炉心プラズマ研究に関しては、実験炉及び原型炉に向けて、閉じこめ物理の解明、定常運転化のシナリオ構築、長時間に渡るヘリウム灰及び不純物制御等が不可欠な課題であり、その解決のための JT-60 コイル改修計画は極めて妥当な計画といえる。この計画の実施により、更に国際的に主導的な成果を上げることを強く期待する。

以下には、4 研究開発部門の研究開発課題に関する評価結果を要約する。

ITER 開発部門の研究開発課題

・ 事後評価

米国の ITER 撤退後、那珂国際共同中央チームの支援及び派遣を適切に実施し、EU、ロシアをリードしてコンパクト ITER の設計作業を行ったことは評価される。那珂共同中央チームの ITER 工学設計活動として、多くの海外からの派遣者が研究しやすい環境を速やかに整備し、成果の公開も十分に行われた。工学設計では、コンパクト ITER への主導的提案と国際合意の形成において貢献が大であった。安全評価としては、前例の少ない核融合炉の安全評価方法を整備し、ITER 建設へ向けた法的整備の基盤を作ったことは評価できる。

・ 中間及び事前評価

ITER の誘致、建設を見通して、サイト選択に直結する安全性評価等も重視し、実現可能な研究開発、組織を計画していることは高く評価できる。但し、コンパクト ITER の建設コストの評価はより慎重になされるべきである。

一方、平成 13 年度以降の建設準備活動工程は流動的因素が多く、現在では断定的に決め得ない側面があり、実行途中での見直し、修正のための工程も折り込まれる必要がある。

核融合工学部門の研究開発課題

- ・ 事後評価

ITER における工学 R&D の推進母体として、十分にその使命を果たしてきた。SAGBO の技術確立、炉構造技術では自走遠隔操作ツールによる実証及びトカマク機器の振動対応評価、プラズマ対向機器技術、ITER 用ブランケット技術では HIP など加工技術の開発等、その実績は高く評価される。

- ・ 中間及び事前評価

核融合工学部門は ITER 設計の工学面全般を担当しており、超伝導磁石技術では CS モデルコイルの励磁未達の原因究明を行い、適切な対応をとった。

ITER 建設と原型炉への目標設定は妥当である。本分野の進展は実験炉の早期実現の成否を担うものであり、さらに原型炉に向けた研究開発がより高まることを期待する。

ITER の工学 R&D 関連が 13 年度までの計画であることは適当であり、それ以降においては ITER 要員の供給源となる前提に加え、原型炉移行への開発が継続的に維持される必要がある。また、免震は最優先課題のひとつであり、実現への確実な見通しがつくまで開発を急ぐ必要がある。ブランケット工学研究を炉工学研究と関連付けてさらに総合的、計画的に行うべきである。

炉心プラズマ研究部門の研究開発課題

- ・ 事後評価

炉心プラズマ実験、理論及び炉システムは、いずれも大きな成果を上げたと評価できる。

炉心プラズマ技術では、プラズマ形状などに制約の多い JT-60 の能力を最大限に使った成果を出している。JFT-2 による先進的プラズマ技術の開発研究では、フェライト鋼による先進材料プラズマ試験研究が創造的であり、かつ原型炉の構築に役立つものである。理論研究による炉心プラズマ物理の体系化では、閉じ込め改善現象の物理機構の解明等が内部障壁 ITB の予測、ダイバータ粒子シミュレーションコードなどによる諸現象の理論的解明に大きく貢献した。また、核融合炉システムの設計研究と安全性研究では、A-SSTR が定常トカマク炉への指針を与えるものとして評価できる。

- ・ 中間及び事前評価

JFT-2M に関しては、フェライト鋼真空容器の試験が望まれる。また、JT-60 コイルの超伝導化に関しては、燃焼下での閉じ込め物理の予測、定常化の具体的施策、長時間にわたるヘリウムや不純物の制御等を含め、先進的研究及び基盤研究をコイル改修後行う必要がある。なお、本研究を、ITER 関連研究に特化しすぎることなく、柔軟に考えてしていくことが必要である。

核融合装置試験部門の研究開発課題

- ・ 事後評価

JT-60 は世界最高の等価核融合エネルギー増倍率である $Q=1.25$ 達成に代表される一連の成果を以って当初の使命をほぼ達成した。これは、間接的に ITER の工学設計に寄与しており、放射線管理に関する技術蓄積も大きな資産である。また、測定器、制御系などの開発が実験を支えてきたという観点で、その貢献は大きい。壁洗浄、ダイバータ開発等も着実に目的を達成している。

- ・ 中間及び事前評価

JT-60 コイルの超伝導化を目指すことは、運転を持続させていくため、妥当な選択である。この実現のためには、原研外からのサポートと協力が必要である。また、核融合炉に向けて運転・制御技術及び保全工学を確立していくことは今後益々重要であり、その体系化を図り、実験炉及び原型炉に向けた高度な技術基盤を創りあげていくことを期待する。

その他（研究評価自体のあり方について）

原研が平成 10 年より研究評価委員会を設置し、研究評価に努めていることは理解できる。しかし、本専門部会での事後評価用資料には、総て良しとされていることが記載されているが、実際にはそのとおりなのであろうか。何か問題点があったとして、それが資料に記載されていなければ、本当の評価はできないことになる。

今後、評価資料は自己評価を十分に行い、問題点は問題点として指摘し、その対応策についての考えを提示してもらいたい。評価は問題点があるから低いということではなく、対応策が妥当であるか否かで判断されるべきものである。また、成果の波及効果は事柄によっては判断が難しく、無理に評価すると誤った判断をする恐れがあるようと思われる。評価が必要な項目か否か、原研で判断する（自己評価の一環として）必要がある。

This is a blank page.

1. 専門部会の設置

「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、研究評価委員会の下に設置している核融合研究開発専門部会において、核融合研究開発関連の研究開発課題について、平成6年度から平成10年度までの5年間の研究開発結果の事後評価、平成11年度から実施している5ヶ年の計画の中間評価およびITER開発に関する平成13年度から平成15年度までの3ヶ年の計画の事前評価を行った。

2. 評価方法

2.1 専門部会の構成

部会長：谷津 潔	筑波大学教授 プラズマ研究センター長
評価委員：宮 健三	東京大学大学院工学系研究科教授
専門委員：大和田野 芳郎	工業技術院電子技術総合研究所エネルギー部長
岡本 尚武	電力中央研究所理事・企画部長
加藤 隆子	核融合科学研究所教授 研究・企画情報センター長
小林 重忠	日本電機工業会核融合技術専門委員会委員長
佐藤 定男	核融合科学研究所教授 大型ヘリカル研究部研究主幹
田中 知	東京大学大学院工学系研究科教授
浜田 泰司	核融合科学研究所大型ヘリカル研究部教授・企画調整官
日野 友明	北海道大学大学院工学系研究科教授
福田 敏男	名古屋大学先端技術共同研究センター教授
若谷 誠宏	京都大学大学院エネルギー科学研究科教授

2.2 評価対象研究開発課題

2.2.1 事後評価対象研究開発課題

平成6年度から平成10年度にわたり実施した研究開発で次の主要課題領域とする。

1) ITER開発部門 [ITER開発室、物質科学研究部、保健物理部、エネルギーシステム研究部、材料開発部、材料試験炉部]

- (1) 国際熱核融合実験炉 工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援
- (2) 国際熱核融合実験炉 の工学設計
- (3) 国際熱核融合実験炉の安全評価

2) 核融合工学部門 [核融合工学部、物質科学研究部、エネルギー・システム研究部、材料開発部、材料試験炉部]

- (1) 超伝導磁石技術
- (2) 炉構造技術
- (3) プラズマ対向機器技術
- (4) ブランケット技術
- (5) NBI 加熱装置技術
- (6) RF 加熱装置技術
- (7) 燃料循環系技術
- (8) 核融合炉材料に関する研究（平成9年度～10年度）
- (9) 核融合中性子工学に関する研究（平成9年度～10年度）

3) 炉心プラズマ研究部門 [炉心プラズマ研究部]

- (1) JT-60による炉心プラズマ高性能化技術の開発研究
- (2) JFT-2Mによる先進的プラズマ技術の開発研究
- (3) 理論研究による炉心プラズマ物理の体系化
- (4) 革新的炉概念の開発研究

4) 核融合装置試験部門 [核融合装置試験部]

- (1) 装置の運転・保守と機器管理
- (2) 装置機器の技術開発と開発整備

2.2.2 中間評価及び事前評価対象研究開発課題

平成11年度から開始し平成15年度までにわたる研究開発及び平成13年度から平成15年度にわたり計画する次の主要課題領域とした。

1) ITER開発部門 [ITER開発室、物質科学研究部、保健物理部、エネルギー・システム研究部、材料開発部、材料試験炉部]

- (1) 国際熱核融合実験炉工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援
- (2) 国際熱核融合実験炉の工学設計
- (3) 国際熱核融合実験炉の安全評価

以下、事前評価対象とする。

- (4) 国際熱核融合実験炉の建設準備活動支援
- (5) 国際熱核融合実験炉の建設準備活動の計画調整
- (6) 国際熱核融合実験炉のサイト依存設計及び立地環境調査
- (7) 国際熱核融合実験炉の安全審査対応

2) 核融合工学部門 [核融合工学部、物質科学研究部、エネルギーシステム研究部、材料開発部、材料試験炉部]

(平成13年度以降においては、ITER/EDA の終了に伴う新たな提案を含む)

- (1) 超伝導磁石技術
- (2) 炉構造技術
- (3) プラズマ対向機器技術
- (4) ブランケット・材料技術
- (5) NBI 加熱装置技術
- (6) RF 加熱装置技術
- (7) 燃料循環系技術

3) 炉心プラズマ研究部門 [炉心プラズマ研究部]

(平成13年度以降においては JT-60 の改造に伴う見直しを含む)

- (1) JT-60 による炉心プラズマ高性能化技術の開発研究
- (2) JFT-2Mによる先進的プラズマ技術の開発研究
- (3) 理論研究による炉心プラズマ物理の体系化
- (4) 革新的炉概念の開発研究

4) 核融合装置試験部門 [核融合装置試験部]

(平成13年度以降においては JT-60 の改造に伴う見直しを含む)

- (1) 装置の運転・保守と機器管理
- (2) 装置機器の技術開発と開発整備

2.3 専門部会の開催

(1) 開催月日

平成11年3月9日(水)

(2) 開催場所

航空会館 801号室

(3) 議事次第

① 専門部会の審議について

- ・ 部会長挨拶
- ・ 委員紹介
- ・ 審議の進め方

② 核融合研究開発の事後、中間及び事前評価 説明及び質疑応答

- ・ 研究開発全体の経緯と展望
(説明者: 太田充那珂研所長)
- ・ ITER開発部門の研究開発課題
(説明者: 狐崎晶雄 ITER開発室長)

- ・ 核融合工学部門の研究開発課題
(説明者：松田慎三郎核融合工学部長)
 - ・ 炉心プラズマ研究部門の研究開発課題
(説明者：船橋昭晶炉心プラズマ研究部長)
 - ・ 核融合装置試験部門の研究開発課題
(説明者：清水正亜核融合装置試験部長)
- ③専門部会内のまとめ

2.4 評価項目及び評価基準

事前に提出される評価用資料及び専門部会における説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に従って、評価を実施した。

2.4.1 事後評価

2.4.1.1 原研における核融合研究開発の全体の展開経過

我が国及び国際的研究開発の枠組みと原研の役割と使命、主要な研究開発の編成、主な経過、研究資源の実績および成果と到達点、等に対する所見(提言、所感等)を記した。

2.4.1.2 各研究開発部門（研究支援部門）の事後評価

1) 項目別評価

(1)評価項目及び評価の視点(「」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

(「研究の展開、研究資源の活用、原研内外との連携・協力の実施等」、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) 成果の波及効果の把握・普及

(「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」)

(2)評価の基準

上記の1)の項目別評価に対して5段階評価を行った。

なお、5段階評価は、5点満点で、5点が「優れている」、4点が「やや優れている」、3点が「普通」、2点が「やや劣っている」及び1点が「劣っている」の評価を意味する。

2) 総合評価

上記の項目別評価等を基にして、総合評価(所感、問題点、提言等)を記した。

2. 4. 2 中間評価及び事前評価

2. 4. 2. 1 原研における核融合研究開発計画の最近の展開

我が国及び国際的研究開発の枠組みにおける最近の展開の中での原研の核融合研究開発全般に関する所見(提言、所感等)を記す。

2. 4. 2. 2 各研究開発部門(研究支援部門)の中間評価及び事前評価

1) 項目別評価

(1) 評価項目及び評価の視点(「」は評価の視点)

a) 中間評価

(a) 研究開発の進捗状況の妥当性

(「達成目標に対する現状、資源配分の現状、原研内外との連携・協力の現状等」)

(b) 研究開発の継続の妥当性

(「達成目標に対する残されている課題、研究資源等の調達の実現性」)

(c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性

b) 事前評価

(a) 当該部の基本的考え方

(「研究開発課題の設定(方向性・目的・目標等)の妥当性」)

(b) 主要課題領域(主要課題領域毎に(i)~(ii)を評価する。)

(i) 目的・意義

(□) 研究展望及び達成目標(「3カ年の展望の中での具体的な達成目標の妥当性」)

(△) 進め方(含むテーマ構成と各テーマの位置付け)

(「研究開発スケジュール・研究開発手法の妥当性」)

(□) 予想される成果の波及効果(「波及効果の期待度」)

(c) 資源配分

(「①研究開発資金、人員の配分の妥当性、及び②主要課題領域、テーマに対する予算・人員等の効率的配分の妥当性」)

(d) 原研他部門との協力・連携(「協力・連携の妥当性」)

(e) 外部機関との協力・連携(「協力・連携の妥当性」)

(f) 人材養成の施策(「施策の妥当性」、及び研究支援業務については「担当者の士気確保の施策の妥当性」を含む)

なお、研究支援業務の評価については、上記(b)において、下記の評価項目及び評価の視点を考慮した。

(i) 業務の方向性・目的・目標等(「これらの妥当性」)

- (ロ) 主要業務内容（「これらの適切性」）
- (ハ) 業務スケジュール（「その妥当性」）
- (乙) 他部門・分野への予想される貢献及び波及効果（「貢献等の期待度」）

(2) 評価の基準

上記の1)の項目別評価に対して5段階評価を行った。

なお、5段階評価は、5点満点で、5点が「優れている」、4点が「やや優れている」、3点が「普通」、2点が「やや劣っている」及び1点が「劣っている」の評価を意味する。

2) 総合評価（所感、問題点、提言等）

上記の項目別評価等を基にして、当該部に対する総合評価（所感、問題点、提言等）を記した。

3. 評価対象研究開発課題に対する評価結果

3.1 原研における核融合研究開発の全体の経過と最近の展開

3.1.1 事後評価（平成6年度～平成10年度）

3.1.1.1 核融合研究開発の全体経過の概要

1) 我が国及び国際的研究開発の枠組みと原研の役割

我が国は、核融合エネルギーの実現を目指して、計画目標を段階的に設定し、総合的な視野に立ったチェック・アンド・レビューを行いつつ、核融合研究開発を推進している。原子力委員会は、平成4年6月にトカマク型実験炉の開発を中心とする核融合研究開発を推進する「第三段階核融合研究開発基本計画」（以降「第三段階基本計画」と記す）を策定した。原研は、第三段階基本計画に基づいて、実験炉としての役割を担う国際熱核融合実験炉(ITER)計画に主体的に参加するとともに、JT-60やJFT-2Mによる炉心プラズマ技術に関する研究、実験炉とそれに続く原型炉で要求される炉工学技術の研究開発、安全性に関する研究、及び核融合動力炉システムの設計研究を開発した。

2) 主要な研究開発の編成と主な経過と成果

原研の核融合研究開発では、ITER開発部門、核融合工学部門、炉心プラズマ研究部門、核融合装置試験部門を構成し、各部門に主要研究開発課題領域を課して、各部門が互いに強い連携をもって、研究開発を効率的かつ効果的に進めた。

ITER開発部門では、ITERの工学設計活動(EDA)において、最終設計報告書等を完成するとともに、各極が分担した大型の工学R&Dの成果により設計の妥当性を確証した。核融合工学部門では、超伝導中心ソレノイドモデルコイル等のITER工学R&Dを実施し、当初計画で想定された性能を確認し、実機製作の目途を立てるなどの成果を得た。炉心プラズマ研究部門では、JT-60において世界最高の等価核融合エネルギー増倍率($Q=1.25$)の炉心プラズマ性能を実現した。併せて、定常トカマク核融合炉の概念を創出するとともに、ITER計画における、定常運転を重視した低コストオプションの設計を先導した。核融合装置試験部門では、JT-60とJFT-2Mにおける安定運転を遂行するとともに、ダイバータ等の装置機器の技術開発を推進した。これらは、炉心プラズマ研究において世界を牽引・先導する先端的成果を産み出す原動力となった。

3) 国等の研究開発の事後評価の経過と現状

原研の研究開発課題全般について評価を実施した。核融合研究開発等の国が認めたプロジェクトの実施においては、多くの優れた成果が得られているとの判断とと

もに、国際的に主導的な役割を果たしていると評価された。原子力委員会核融合会議とその下部委員会において、JT-60 等によるプラズマ技術開発及び ITER 工学 R & D 中心とした炉工学技術開発の進展について調査審議され、研究開発の妥当性が評価された。ITER 計画では、原子力委員会のもとに設置された ITER 計画懇談会で、計画の意義について幅広い観点から議論され、平成 10 年 3 月に「懇談会における論点の整理と今後の課題について」の中間答申が行われた。また、核融合会議及びその下部の ITER/EDA 技術部会では、国として判断が必要な事項が審議され、最終設計報告書は、当初の目標を満足するものと評価された。

3.1.1.2 所見

1) 我が国及び国際的研究開発の枠組みと全体の展開経過

原研の核融合研究開発の全体計画とその展開は系統的である。目的の達成に向けて着実に成果を蓄積しているのは、かなり高く評価できる。JT-60 及び JFT-2M では、国際的にトップデータを得て、今後の実験炉に有用な結果を示してきた。特に JT-60 の成果に関しては、実験開始以来、おおよそ一桁の性能向上を果たし、Q 値で 1 を十分に越える世界最高値 1.25 を達成したことは高く評価する。

実験炉の工学設計においても、国際協力を推進するとともに、核融合炉の実現に向けて定常化が不可欠であるとの認識のもと、コンパクト ITER の設計に大きく寄与している。

今後、国内的には省庁統合等、核融合を取り巻く環境にも急変がありうる。国内外の研究者間の交流、協力等もそれらに対応できるような措置が望まれる。

2) 主要な研究開発の編成と主な経過と成果

原研の核融合は、現行大型トカマク装置での実験、ITER 計画、原型炉以後の検討という 3 つの中心が同じ組織内にある世界唯一の組織である。炉心プラズマ研究部門、核融合装置試験部門、核融合工学部門及び ITER 開発部門に分かれ、このために各研究内の統一性や独立性が明確でない一面も感じられるが、各部門が相互に連携して成果をあげてきた。

一方、研究開発活動の経過と成果については、メーカーの貢献を明示的に表明しておく必要がある。メーカーが貢献度に関して日陰的になっているのは、今後にとって好ましくない。

3) 国等の研究開発の事後評価の経過と現状

第三段階基本計画に沿って、実験炉に係る開発、試験及び研究を着実に進め、成果を出したことは、高く評価される。また、ITER 及び EDA に対する我が国の役割と任務を明確に認識して、大きな成果を出したことは特筆すべきである。延長 EDA においては、設置当事国たるべき意欲的姿勢を以ってコンパクト ITER の検討に主導

的役割を果たしてきた。ITER R&D に関するITERのみならず将来炉にも適用可能な技術開発成果と技術の育成に貢献しつつある。炉心プラズマ研究部門で得られた成果が、ITER 計画において、定常運転を重視した低コストオプションの設計を先導したことは高く評価できる。また、核融合装置試験部門において習得、蓄積された保守技術、データは貴重な財産であり、将来有効に使えるように整理されることを望む。

国内では核融合実験炉として ITER を推進することに対する合意が形成されつつあるが、ITER から原型炉へのシナリオが不明確なところもある。ITER も実際には装置を建設し、実験を行って、その結果を評価してから原型炉を構想する方向に進むと思われる。今後はトカマク炉の実現を目指して着実に研究を続けるとともに、他の方式であるヘリカル系プラズマやレーザー核融合利点にも目を向けて、客観的な評価に耐える成果を期待したい。

3.1.2 中間及び事前評価（平成 11 年度～平成 15 年度）

3.1.2.1 核融合研究開発の最近の展開の概要

1) 原研の核融合研究開発の全体の今後の展望

原研は、引き続き「第三段階基本計画」に基づいて、トカマク型実験炉の開発を中心とする研究開発を進め、ITER の実現と原型炉の基礎の形成を目標とした炉心プラズマ技術と炉工学技術の開発を行う。3 年間延長された ITER の工学設計活動 (EDA) の終了以降は、ITER 建設準備段階及び ITER 事業体発足に伴う建設段階に進むことを想定して、原研の核融合研究開発を新たに計画する。併せて、JT-60 を長時間プラズマ制御が可能な超伝導トカマク装置に改修して、ITER を支援する先進的な炉心プラズマ研究を推進する。

2) 主要な研究開発の編成と主な経過及び新たな展開の概要

ITER 開発部門は、EDA が終了する平成 13 年 7 月以降は、現行の主要研究課題領域の研究開発及び研究支援業務を終了し、新たに、国際熱核融合実験炉の建設準備支援等の主要研究課題領域を設定して、建設準備段階の研究開発及び支援業務を遂行する。JT-60 の改修は、炉心プラズマ研究部門と核融合装置試験部門における現行の主要研究課題領域内の変更で対応する。核融合工学部門では、平成 11 年度に核融合炉材料開発をより総合的、計画的に進めるため、開発推進の役割を担う 2 課室を東海研究所から那珂研究所に移管し、関連した主要研究課題領域を統合して、新たに主要研究課題領域「ブランケット・材料技術」を設定した。

国内の大学・国公立研究機関との研究協力では、JT-60 等の核融合研究施設を利用する共同研究を拡充し、計画段階からの研究参加の促進及び計算機ネットワークを用いた研究協力の展開を図る。ITER に関しては、計画の進展及び国の研究開発体

制の構築に対応して、原研は、適切な役割分担のもとに大学等との連携協力を促進する。

3) 国等の研究開発評価の経過と現状

原子力委員会は、平成10年12月に、「ITERの実現のためには、ITERを極力低コストで実現できる見通しを得ることが重要であり、ITERの建設要件の明確化等について3極間で積極的に協議するなど、必要な環境整備に向けた努力を傾注することが不可欠である。」との見解を取りまとめた。

平成12年1月のITER会合において、国際共同中央チーム所長よりコンパクトITERの概要設計報告書が報告されるとともに、ITER技術諮問委員会(TAC)議長より概要設計報告書のレビュー結果が報告された。TACの報告においては、概要設計報告書の内容がITERの技術目標を満足し、さらに詳細な設計の基礎となるものとされており、国際共同中央チーム及びホームチームは同報告書に基づき、引き続き設計活動を行うこととされた。

平成12年1月28日に開催された原子力委員会核融合会議は、核融合会議ITER／EDA技術部会に対して、コンパクトITERの概要設計報告書等について検討・評価し、平成12年3月を目途にその結果の報告を求めることとした。

3.1.2.2 所見

1) 原研の核融合研究開発の全体の今後の展望

国でたてられた目標以上の成果を生み出そうとしている姿勢は高く評価できる。効率的な編成の一環として、平成11年度より東海研究所の核融合炉材料に関する研究及び核融合中性子工学に関する研究の2課室を那珂研究所核融合工学部門への移転、材料グループの配置換え等、組織の合理化を実施しており、経営の柔軟性が見られる。

研究交流についても、材料開発の国内の統合的推進を図っており、また、国内の他研究者を対象にJT-60等の施設利用共同研究を拡充・発足している。これらにより、従来型共同研究、協力研究と合わせて幅広い領域の研究開発が展開するようになった。

しかし、その結果に対する評価が十分でないところもある。例えばITERの設計、運転への反映を中心に、炉心プラズマ研究部門における研究の位置付け、成果の反映をさらに明確にできなかつただろうか。

ITERについては、今後も日本の要としての責務を果たすことを期待する。ITERの国内建設が具体化した場合、人員資源が多く必要になるだろう。計画を見るとITER部門は職員以外のウエイトが大きいが、その内訳としてメーカーからの業務協力員だけにとどまらず、できるだけ大学などの人材も有効に使えるシステムを構築すべきである。今後は、研究契約など手続きの合理化と研究者の自主性重視の方策が

課題となろう。

しかしながら、他極との交渉にのぞんだときの態度として、国益だけを主張するのは正しくない。現時間断面における目前の利益と長期にわたる利益は別のことだからである。

一方、3年間延長された EDAにおいては、平成13年7月以降の建設準備活動の検討を始めることとなっている。しかし原子力委、政府による日本誘致活動決定のタイムスケジュールに対して、アセスメントの期間が十分でないように見える。安全審査、コスト(運転含む)、資源への見通し及び提案の完成が急がれる。

2) 主要な研究開発の編成と主な経過及び新たな展望の概要

ITERの延長EDAとその終了後の建設準備に対するITER開発室の課題設定は適切である。

外部機関との協力・連携については、理念と役割と方法が定義されていない。階層構造とのマルチエージェント理論の視点を取り入れながら協力のあり方の構造化を進めて行く必要がある。

これらの諸計画は、平成11年度発足した「核融合関連研究機関連携協力委員会」を利用する形で進めていただきたい。

ところで、平成13~15年はJFT-2Mの健全な実験運転が確保できるのであろうか。老朽化はJT-60同様と思われる。

3) 国等の研究開発評価の経過と現状

我が国が中心となって、ITERの誘致、建設を推進していくことは、核融合研究者の長年の夢であり、原研に期待することが大きい。原研はITER計画の推進に中核的な機関としての実のある貢献が期待される。国内誘致、建設を考えるとき、それを効率的に行うために原研の組織を大きく見直す位が必要と考える。省庁再編の後においても、ITER、大型実験装置による研究、大型装置を用いての核融合工学研究開発は、原研が主体的に責任をもって実施していくことが望ましい。原研は主体者意識を持って研究開発の設計を行って頂きたい。

平成15年度内にITER事業体が発足する予定であるが、本格的建設段階まで円滑に進めるよう、提案の各計画を所期通りの成果をあげて推進すべきである。この間、大学、他研究所からの提案、参画を積極的に推進し、関係産業界からの支援確保、企業の育成にも主導的貢献を果たす必要がある。また、安全基準、安全審査のノウハウ形成などにおいては、電力業界等の寄与が望める。

また、ITER建設準備としては、昨年度のITER特別作業部会で検討された事業体と原研、さらに産業界との建設における役割分担を早期に明確化する必要がある。例えば、事業体や原研への産業界からの技術者派遣の必要人員(許認可対応、プラント設計、システム設計、安全解析、炉心システムインテグレーション、機器設計

等)と年度展開等について5年程度先を見通して計画を建ててほしい。また、本建設費の見積もりについては早期にメーカーとも協議することを望みたい。

炉工学において、那珂研主導で構造材料の研究を本格的に実施し始めたことは、適切な対応である。

炉心プラズマに関しては、実験炉に向けて、閉じこめ物理の解明、定常運転化のシナリオ構築、長時間に渡るヘリウム灰及び不純物制御等が不可欠な課題であり、JT-60のコイル改修計画は極めて妥当な計画といえる。コイル改修により、更に国際的に主導な成果を上げることを、強く期待する。

なお、ITER工学設計の大型R&Dの機器製作が終わり、LHDの建設も終わった現在、国内メーカーとして大型の製作機器がなく、ITERの建設まで5年以上の空白期間ができる。JT-60U超伝導化改造計画が実現し、製作に参加できれば、核融合技術者と製作技術の維持育成が可能となる。本改造計画についても、早期にメーカーの見積りを参考とするよう望みたい。

外部との研究協力においては、ここ数年、飛躍的に高めてきている。装置試験研究のみならず、底辺を拡大するような研究協力があってもよいと判断する。底辺の拡大は、人材育成及び社会的受容性の向上に寄与すると考えるからである。

3.2 ITER開発部門の研究開発課題 事後評価

3.2.1 ITER開発部門の研究成果の概要

1) 目標と成果

国際熱核融合実験炉（ITER）の工学設計活動（EDA）は、当初計画として平成4年～平成10年7月の6年間にわたり日本、EU、ロシア、米国の4極国際協力のもとに実施された。さらにその後、技術目標の見直しのもとに建設コストの低減化を目指し、EDAは3年間延長され、米国を除く3極の国際協力のもとにコンパクトITERの設計が進められてきた。原研は、当初から我が国のEDA実施機関に指定され、ITER開発室はその中心組織として、以下の主要課題領域にわたり活動を実施してきた。

(1) 国際熱核融合実験炉工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援(主要課題領域1)

国際取決めに沿い、国際共同中央チーム（JCT）の那珂共同作業サイトにおける活動支援（OA機器の整備、支援要員の提供、外国人住宅・子弟教育環境の整備等）を円滑に行うことを目指とし、その責務を果たした。

(2) 国際熱核融合実験炉の工学設計（主要課題領域2）

国際取決めに沿い、JCTへの研究者等の派遣、並びに、日本国内チームにおける設計作業の実施及び工学R&Dの統括を目標とし、これらを計画的に遂行した。これにより、平成10年2月には当初計画EDAの最終設計報告書を完成させた。また、平成11年3月にはコンパクトITERの設計オプション検討書を取りまとめた。

(3) 国際熱核融合実験炉の安全評価（主要課題領域3）

ITER立地の受容性を確保するために必要な安全性の解析・評価、及び技術基準類の検討を行うことを目標に、安全解析コードの整備を進め、EDAの安全解析に貢献した。また、構造設計及び免震設計に関する技術基準原案を取りまとめた。

2) 資源

各主要課題領域の資源の概略は、次のとおりである。

主要課題領域1：平成6～10年度にわたる総額4,429百万円を、那珂国際研究開発施設整備費、国際共同設計活動支援費に充当（人員3～4人／年）。

主要課題領域2：平成6～10年度にわたる総額6,646百万円を、国際共同設計費、共同作業参加費、計測制御用機器要素開発費等に充当（人員58～69人／年）。

主要課題領域3：平成8～10年度にわたる総額287百万円を、立地安全評価費、安全基準調査検討費等に充当（人員2～5人／年）。

3) 進め方

EDAは、ITER理事会を最高決定機関とし、ITER所長を執行責任者として、JCT及び各極国内チームが協力して設計等を実施している。国内的には、所内（那珂研、東海研、大洗研、高崎研）の関係部門と協力して設計及びR&Dを進めた。さらに、

文部省のもの「ITER／EDA 研究協力委員会」を通した委託研究により、また、国際的な専門家会合への大学からの参加を得て、大学の研究成果の活用を図った。

3.2.2 評価結果

3.2.2.1 項目別評価 (() 内の数字は評価平均点で、5が満点)

a-1) 國際核融合実験炉工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援

(イ) 研究開発課題の目的達成 (4.7)

大部分の目標は達成している。海外からの派遣者が研究・生活しやすい環境を速やかに整備したことなどを高く評価する。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.7)

超伝導マグネットコンジット材の SAGBO 問題等が発生したが、確実に問題を解決している。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.5)

成果の公開などは相当多くの機会に発表されてきている。プロジェクトの貢献は十分行われている。

また、波及効果の可能性は大きいとしても波及するには時間がかかる。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.5)

将来日本誘致が決まると、今以上に原研からの支援がのぞまれる。これまでの経験を反映して欲しい。

a-2) 國際核融合実験炉の工学設計（主要課題領域 2）

(イ) 研究開発課題の目的達成 (4.5)

EDA6 年間で派遣が 210 人という数値は、工学設計活動と国内グループの提案採用数等から評価される。コンパクト ITER への主導的提案と国際合意の形成において貢献が大であった。EU、米国等に比べて非常に高い水準の仕事を行ってきたと評価する。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.4)

研究開発は成功といえる。大学の炉工学の分野との共同研究は、現在の ITER／EDA 研究協力委員会で行っているレベルを拡大して行うべきである。約 1800 万円という予算は、ITER 関係全体の予算に比べていかにも小さい。

ITER の国内建設をもし考えれば、社会的受容性、安全評価がますます重要になつ

ている。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.0)

設計手法等で新しい試みはあるが、波及効果が発揮されるのはこれからであり、ITERが建設に移行できるかどうかにも依存するところがある。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.7)

工学設計の信頼性は ITER の建設へ向けて重要性が高い。EDA の終了後も建設への移行を着実に進めるべきである。

a-3) 國際核融合実験炉の安全評価 (主要課題領域 3)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.3)

前例の少ない核融合炉の安全評価方法を整備し、ITER 建設に向けた法的整備の基盤を作ったことは評価できる。

しかしながら、コード、データの整備については、一部核融合条件に近いものがとられつつあるものの、不確定事象があるので十分でとは言えない。さらなる研究開発の推進が必要である。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.5)

安全解析や技術基準類の検討は、電力、電気等民間企業の能力・経験を活用できるので、委託協力研究等で推進すべきである。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.0)

波及効果としては、ITER の安全性が広く認識されることになると思われる。他分野の者にもわかり易く説明できるようにすることが大切である。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.3)

サイト選択、建設協議へ向けて、これまでの成果を生かして進めるべきである。また、原研外のこの分野の経験者の協力を得ることも必要である。

3.2.2.2 全般的な所感、問題点、提言等

メーカーが ITER の建設費用に対する見積もりを出していない。コンパクト ITER の建設コストの評価はより慎重になされるべきである。

産業界との連携については、我が国の技術能力を高め、産業界を支援するという立場も重要である。社会的受容性を得るための貢献も求められる。

また、サイト選択に直結する安全性評価と、一般人が核融合炉の安全性に対して受け取る印象も重視して進めてほしい。

「ITER開発部門の研究開発課題」の事後評価の結果

a-1)国際核融合実験炉工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援 (主要課題領域1)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.7
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.7
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.5
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.5
a-2)国際核融合実験炉の工学設計(主要課題領域2)	
(イ) 研究開発課題の目的達成	4.5
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.4
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.0
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.7
a-3)国際核融合実験炉の安全評価(主要課題領域3)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.3
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.5
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.0
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.3

3.3 ITER開発部門の研究開発課題 中間及び事前評価

3.3.1 ITER開発部門の研究経過の概要(中間評価(平成13年7月までの研究開発課題))

平成13年7月のEDA延長期間満了時まで、次の主要課題領域の活動を実施する。

- (1)国際熱核融合実験炉工学設計活動那珂共同中央チーム活動支援(主要課題領域1)
国際取決めに沿い、JCT那珂共同作業サイトにおける活動支援を遂行しており、EDA延長期間満了時まで継続する。

- (2)国際熱核融合実験炉の工学設計(主要課題領域2)

国際取決めに沿い、JCTへの研究者等の派遣、並びに、日本国内チームにおける設計作業の実施及び工学R&Dの統括を計画的に遂行している。これにより、平成13年7月までにはコンパクトITERの最終設計報告書を完成させる。

- (3)国際熱核融合実験炉の安全評価(主要課題領域3)

ITERに係る異常事象の解析を行うとともに、技術基準案の外部専門家レビューを進めている。これにより、コンパクトITERの国内受容性を明らかにする。

3.3.2 評価結果(中間評価)

3.3.2.1 項目別評価(()内の数字は評価平均点で、5が満点)

a)研究開発の進捗状況の妥当性(4.7)

米国の撤退後、那珂国際共同中央チームの支援及び国際共同中央チームへの派遣を適切に実施し、EU、ロシアをリードして、コンパクトITERの設計作業を行い、概要設計報告書をまとめたことは評価できる。今後の継続については各国と綿密なコンタクトが必要であろう。なお、大学などとの連携体制がまだ十分でないところも見受けられる。

b)平成13年7月までの研究開発の継続の妥当性(4.6)

主要課題領域3のITERの安全性に関する解析・評価、技術基準の原案作成を重点的に推進する必要がある。建設準備協議は平成12年から始められるが、社会的受容の議論はその時点から一気に拡大するため、それに十分対応できる体制造りが必要である。

c)平成13年7月までの研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性(4.7)

見直しは、人員等の資源配分を除き、特に不要であるが、実施は全日本の体制で進めることが望まれる。

3.3.2.2 全般的な所感、問題点、提案等

ITER 建設計画の延長段階において、明確な研究目的のもとで成果があがりつつあるが、ITER 開発室の活動は、原研外ではあまり知られていないように思える。ITER 実現に向けて、他分野の研究者に理解を求める努力をしてほしい。

一方、ITER はその建設が最優先であり、必ずしも日本誘致を目標とする必要はない。ITER が日本に来ない場合の体制にも配慮しておくことが望まれる。日本に誘致した場合、結果として日本だけがメリットを独占したとの印象を持たれて孤立するようなことがないようにせねばならない。コンパクト ITER が日本主導であることを強調し過ぎるのは、ITER の成功には必ずしもメリットでない可能性もある。

3.3.3 ITER 開発部門の研究経過の概要(事前評価(平成 13 年 8 月以降の研究開発課題))

平成 13 年度から ITER の建設に関する政府間正式協議が開始され、平成 14 年度中に建設サイトが決定される見込みである。また、平成 15 年度には建設協定に基づく ITER 事業体が設立され、その後、国による安全審査が開始されると想定される。このため、平成 13~15 年度の活動を「ITER 建設準備活動」とし、以下の主要課題領域にわたる活動を実施する。

(1) 国際熱核融合実験炉の建設準備支援（主要課題領域 4）

ITER 建設に向けての国際協議等に係る技術的支援を行い、我が国への建設合意に資する。これらの作業は、国際協議のスケジュールに合わせて進める。

(2) 国際熱核融合実験炉の建設準備活動の計画調整（主要課題領域 5）

建設準備活動を円滑に遂行するための諸作業の計画調整を行い、ITER の国内立地及び建設活動への移行を推進する。また、国内建設サイトの社会環境整備に係る計画を立案する。これらの作業は、所内外の関係部門・機関と連絡調整を図り、国際協議の進捗状況等に沿って遂行する。

(3) 国際熱核融合実験炉のサイト依存設計及び立地環境調査（主要課題領域 6）

国内建設サイトの技術的受容性を示し、ITER の国内立地を推進するとともに、サイト調査及びこれに基づく詳細な設計を行い、円滑な建設活動への移行に資する。特に、建設サイト決定前には、国内候補地について補完代替措置のための設備設計等を行い、国際協議においてサイト要件に対する受容性を明らかにする。また、国内候補地のサイト概要調査を実施し、サイト要件を満たすことを示す。国内への建設サイト決定後は、サイト詳細調査を実施し、これに基づくサイト依存の詳細設計を行う。これらの作業は、国際協議及びその後の安全審査に向けた準備の進捗に適合するように進める。

(4) 国際熱核融合実験炉の安全審査対応（主要課題領域 7）

ITER の我が国安全規制への適合性を示し、ITER 建設に係る許認可手続きの迅速、円滑な実施に資する。特に、建設サイト決定前には、我が国の安全規制の方

針を反映して、予備的安全解析・評価を行い、国際協議において規制要件への基本的な適合性を明らかにする。国内への建設サイト決定後は、サイト依存設計及びサイト詳細調査データを反映して、詳細な安全解析・評価を行い、安全審査に向けた準備作業に資する。これらの作業は、国の安全規制の方針及び安全審査の要求事項の検討状況を的確に反映しつつ進める。

3.3.4 評価結果(事前評価)

3.3.4.1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5が満点)

a) ITER開発部門の基本的考え方 (4.6)

全体的に誘致、建設までを見通して、それなりに実現可能な研究開発、組織を計画していることは高く評価できる。基準、規制方式や、データ、モデルの整備等で時間が長くなる要素が多いが、原研が民間基準を作成する位の気概で進めてほしい。

13年8月以後は原研としての開発体制ではないと思われるが、その主役が原研であることには間違いない。現時点では、原研の研究開発という見方で計画立案する考え方は妥当であり、また国内誘致を目指した研究開発の方向性も妥当である。

建設活動については、コストの算定を早急に行い、政策当局ともコンタクトを常時とておく必要がある。

一方、平成13年度以降の建設準備活動工程は流動的不確定因子が多く、現在では断定的に決め得ない側面がある。推進担当としては、「最速」「最短」を意図して活動工程を考えざるを得ない事は理解できる。しかしながら目的、目標の設定については、当初計画に対応して、実行途上での見直し、修正のための工程も折込まれる必要がある。特に最近の国家的大型プロジェクトのほとんどが、軌道修正を迫られている。その動機は科学技術上の争点に起因するのではなく、推進体制に社会からの認知と受容を第一優先する姿勢が欠けていたためのように思える。目的・目標の公開と透明性の重視が望まれる局面である。また、世論に対しては、安全性に関する検討の周到、徹底度が、プロジェクト成否への最も重要な鍵となる。このためにも、課題領域7の強力な推進を望む。

b-1)国際核融合実験炉の建設準備支援（主要課題領域4）

(イ) 業務の方向性・目的・目標等 (4.7)

(ロ) 主要業務の内容 (4.7)

(ハ) 業務スケジュール (4.7)

(ニ) 他部門・分野への貢献及び波及効果 (4.8)

コンパクトITERの概要は妥当である。但し、超伝導コイル温度マージン1Kなど、一部のデータには今後のR&D結果待ちの部分もあることも認識しておく必要がある。

b-2) 国際核融合実験炉の建設準備活動の計画調整（主要課題領域 5）

(1) 目的・意義 (4.4)

(2) 研究展望及び達成目標 (4.3)

国内誘致のためには非常に重要なことであり、作業を進める必要がある。

(1) 進め方（含むテーマ構成と各テーマの位置付け） (4.4)

(2) 予想される成果の波及効果 (3.6)

全日本の計画として取り組み、波及効果を高めてほしい。

さらに、国内での I T E R 組織の法的位置付け（国内法人か国際法人か等）を早急に調整整備すべきである。これは海外からみて妥当なものでなければならない。

b-3) 国際核融合実験炉のサイト依存設計及び立地環境調査（主要課題領域 6）

(1) 目的・意義 (4.5)

コンパクト ITER 建設への中核業務であり、日本誘致には必須の課題である。

(2) 研究展望及び達成目標 (4.3)

(1) 進め方（含むテーマ構成と各テーマの位置付け） (4.1)

建設に必要なインフラ（道路、橋、水利、交通機関等）に加え自然保護、環境維持への対策立案が不可欠である。

(2) 予想される成果の波及効果 (4.4)

ITER の建設とサイト選定へスムーズに進めるように努力してほしい。

b-4) 国際核融合実験炉の安全審査対応（主要課題領域 7）

(1) 目的・意義 (4.5)

原型炉以後のための前例としても非常に重要な事項である。

(2) 研究展望及び達成目標 (4.3)

(1) 進め方（含むテーマ構成と各テーマの位置付け） (4.0)

妥当と判断される。早急な着手と更なる具体化が必要である。

(2) 予想される成果の波及効果 (4.2)

ITER の安全性評価から核融合炉の安全性への展望が開けることを期待する。

c) 資源配分 (4.2)

現状で考えるものとしては妥当である。

d) 原研他部門との協力・連携 (4.1)

原子炉研究開発における経験が生かせるように協力関係をつくることは評価できる。メーカーからの業務協力員だけでなく、国内の人材を広く利用する努力も必要である。

e) 外部機関との協力・連携 (3.7)

安全性とサイトに関しては、外部機関との協力が重要である。

f) 人材養成の施策 (4.5)

平成13～15年の業務推進のための人材養成はOJTで行うことになろう。ITER完成後の技術者、運転者の養成をするため、大学等高等教育機関、ITER附設の技能者養成所などの設置が必要である。

3.3.4.2 全般的な所感、問題点、提言等

ITER建設準備活動等を原研の重要課題として計画していることは高く評価できる。ITERの推進にはITER開発室→建設準備室→開発部など段階的拡大が計画されていて適切である。本推進の中核はITER開発室の建てた計画が骨格となっているが、長期計画は開発室にのみ委ねる事には無理がある。ITERは実質的に原研の計画であるという印象をもたれている。原研がリーダーシップをとるのは当然ながら、全日本的一体感を作り出す必要があるのではないか。

「ITER開発部門の研究開発課題」の中間及び事前評価の結果

1. 中間評価(平成13年7月までの研究開発課題) (主要課題領域全般について)	
a) 研究開発の進捗状況の妥当性	4.7
b) 平成13年7月までの研究開発の継続の妥当性	4.6
c) 平成13年7月までの研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性	4.7
2. 事前評価(平成13年8月以降の研究開発課題)	
a) ITER開発部門の基本的考え方	4.6
b-1) 国際核融合実験炉の建設準備支援(主要課題領域4)	
(i) 業務の方向性・目的・目標等	4.7
(ii) 主要業務の内容	4.7
(viii) 業務スケジュール	4.7
(ii) 他部門・分野への貢献及び波及効果	4.8
b-2) 国際核融合実験炉の建設準備活動の計画調整(主要課題領域5)	
(i) 目的・意義	4.4
(ii) 研究展望及び達成目標	4.3
(viii) 進め方	4.4
(ii) 予想される成果の波及効果	3.6
b-3) 国際核融合実験炉のサイト依存設計及び立地環境調査 (主要課題領域6)	
(i) 目的・意義	4.5
(ii) 研究展望及び達成目標	4.3
(viii) 進め方	4.1
(ii) 予想される成果の波及効果	4.4
b-4) 国際核融合実験炉の安全審査対応(主要課題領域7)	
(i) 目的・意義	4.5
(ii) 研究展望及び達成目標	4.3
(viii) 進め方	4.0
(ii) 予想される成果の波及効果	4.2
c) 資源配分	4.2
d) 原研他部門との協力・連携	4.1
e) 外部機関との協力・連携	3.7
f) 人材養成の施策	4.5

3.4 核融合工学部門の研究開発課題 事後評価

3.4.1 核融合工学部門の研究成果の概要

1) 目標と成果

当該部門での研究開発は、ITER 工学 R&D での研究開発と原型炉の開発に向けた核融合炉工学に関する基盤技術の研究開発に分けられ、各主要課題領域で当初設定した目標を達成した。主要な結果は以下のとおりである。

(1) 超伝導磁石技術（主要課題領域 1）

ITER 用の超伝導導体、中心ソレノイドモデルコイルの外層モジュール及びインサート・コイルの製作、大型冷凍機等からなる共通試験装置の開発・建設を完了し、これらコイルの初期冷凍実験を行い、超伝導性能を確認した。

(2) 炉構造技術（主要課題領域 2）

ITER の大型真空容器を精度よく製作する技術及び炉内機器の遠隔保守技術を予定通り開発した。

(3) プラズマ対向機器技術（主要課題領域 3）

高強度、高熱伝導率を有する 3 次元炭素複合材料や厚肉のタンゲステン化学蒸着法を開発など要素材料の開発や高性能冷却管の開発を進め、ITER 工学 R&D の目標値を達成した。

(4) ブランケット技術（主要課題領域 4）

HIP を利用した一体成形技術の開発により ITER 遮蔽ブランケットの試作に成功し、実機製作への技術的見通しを得た。

(5) NBI 加熱装置技術（主要課題領域 5）

負イオンでの 1MeV の高エネルギー加速、18.5A の大電流生成、 20mA/cm^2 の高電流密度を世界で初めて実現した。イオン源応用研究では加速器用高輝度イオン源の開発に成功した。

(6) RF 加熱装置技術（主要課題領域 6）

ダイヤモンド窓等の開発により世界最高性能 (170GHz, 500kW、8 秒) のジャイロトロンを開発し、ITER 用の 1MW ジャイロトロン開発の技術的見通しを得た。

(7) 燃料循環系技術（主要課題領域 7）

ITER タスクで実施した燃料精製システム等の技術開発を完了し、ITER の燃料循環系の実現に見通しを得た。トリチウム安全工学研究では、大型トリチウム格納容器ケーソンを用い、トリチウムの室内放出・挙動測定試験に成功した。

(8) 核融合炉材料に関する研究（主要課題領域 8）

原研の開発した低放射化フェライト鋼 F82H の中性子照射実験を進め、この材料が原型炉以降の構造材料として優れた性能を有することを明らかにした。

(9) 核融合中性子工学（主要課題領域 9）

遮蔽や崩壊熱に関する実験を行って ITER の核設計精度を検証し、ITER 設計に大

きく貢献した。また IFMIF の概念設計評価活動を積極的にすすめ、IFMIF の照射試験施設としての成立性を確認した。

2) 資源

資源の運用は、ITER の実現に向けた核融合構成機器の大型化及び高性能化のために、ITER の工学 R & D に重点的に配分した。人員の配分もそれに応じて増員した。またこれらは、開発研究の進捗に合わせて年次的な重点化も図った。

各主要課題領域の資源の概略は、次のとおりである。

主要課題領域 1：平成 6～10 年度にわたる総額 7,417 百万円をコイル製作、据付、調整費等に充当（15 人／年）

主要課題領域 2：平成 6～10 年度にわたる総額 3,962 百万円を実規模真空容器モデルの製作、遠隔保守機器の性能試験等に充当（8 人／年）

主要課題領域 3：平成 6～10 年度にわたる総額 1,429 百万円を小型、中型、大型、及び実規模大試験対による健全性評価等に充当（7 人／年）

主要課題領域 4：平成 6～10 年度にわたる総額 1,180 百万円を高熱負荷試験、熱サイクル試験装置の製作等に充当（17 人／年）

主要課題領域 5：平成 6～10 年度にわたる総額 2,996 百万円を MeV 級イオン源試験装置の製作、高電圧伝送系の開発等に充当（7 人／年）

主要課題領域 6：平成 6～10 年度にわたる総額 1,099 百万円をジャイロトロン、結合系モジュール窓の製作等に充当（8 人／年）

主要課題領域 7：平成 6～10 年度にわたる総額 4,215 百万円を ITER タスク、日米共同試験等に充当（17 人／年）

主要課題領域 8：平成 9～10 年度にわたる総額 340 百万円を材料照射、低誘導放射能材料の開発等に充当（11 人／年）

主要課題領域 9：平成 9～10 年度にわたる総額 374 百万円を ITER ブランケット中性子工学研究等に充当（7 人／年）

3) 進め方

ITER 工学 R&D と原型炉に必要な基盤技術形成を目指した R&D とを進めた。ITER 工学 R&D では、我国の分担に見合った資金を投入した。原型炉に向けた研究開発では、社会的受容性に富む核融合炉の構築を目指して低放射化材料の開発などを進めた。実施にあたっては大学、国立研究機関、産業界との共同研究を積極的に行うとともに必要に応じて委託研究を行った。また、資金と人材の効率的利用の観点から IAEA、IEA、日米、日欧などの国際協力を有効に活用し、世界の核融合研究開発の主導的役割を担った。

3.4.2 評価結果

3.4.2.1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5が満点)

a-1) 超伝導磁石技術 (主要課題領域 1)

- (イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.9)
- (ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.9)

ITERにおけるR&Dの推進母体として、十分にその使命を果たした。SAGBOの技術確立も大きな成果である。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.7)

ITER CSモデルコイルでの成果はなによりもコンパクトITERでの温度余裕1Kの妥当性評価に向けて適用されるべきである。大型強磁場コイルやその低価格化の波及効果もあるようである。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.7)

マグネットの高度化に向け、Nb₃Alの線材の開発に成功しつつあるとは高く評価できるが、原型炉を考慮して高温超伝導体線材の開発を行っておく必要がある。このことは、他産業で開発努力が縮小しつつある現在、原研の開発努力を推進していくことは非常に重要なと思われる。

超伝導マグネットに対する品質保証、品質管理の厳しさは他の機器の及ぶところではない。据付け後の故障の重大さは致命的なものである。絶対に故障を起こさぬ方式や方法論の確立に向けて現在の工学の範囲を超えた努力が必要である。

コンパクトITER以外、たとえば電力貯蔵等、これまで知られている以外の新しい応用が開けることを期待する。

a-2) 炉構造技術 (主要課題領域 2)

- (イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.8)
- (ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.5)
- (ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.3)

自走遠隔操作ツールによる実証及びトカマク機器の振動応答評価は評価する。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.5)

安全性として免震要素の基本特性の評価は、今後ITERを実現させるためには重要である。

一方、二重壁の健全性に対しては更なる試験が必要であろう。

a-3) プラズマ対向機器技術（主要課題領域 3）**(イ) 研究開発課題の目的達成度（4.5）**

成果の達成度はかなり高い。バイバータの非定常熱負荷特性は目標の3倍を上回る成果が得られたことは評価できる。

しかしながら、将来に備え、研究の方法や考え方にはさらに工夫が必要である。たとえば、健全性の確認方法の開発、製品の均一化等について、一層の研究を推し進めることが重要である。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性（4.4）

大学との協力は有意義であり、共同研究や協力研究を継続して推進する必要がある。

さらに、予測技術の向上を図り、材料や試験条件が変わっても再度ゼロから実現をやらなくても済むようにしておくことが重要である。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及（3.8）

研究の性質上、多くの実現性の高い波及効果があったと認めることはできないが、今後は調査・普及促進活動を推進していく必要がある。なお、炭素複合材や冷却管は応用が期待される。

(ニ) 将来への研究開発の展望（4.4）

要素技術としての目標は達成されているが、全体システムとしてはまだなすべきことがあるように思われる。予測技術の向上は機器の信頼性の向上に欠かせないものであり、実験炉建設に向けての最重要課題である。

a-4) ブランケット技術（主要課題領域 4）**(イ) 研究開発課題の目的達成度（4.1）****(ロ) 研究開発実施経過の妥当性（4.0）**

ITER用ブランケット開発は、時間的にも余裕をもってITERスペックを確認し、またHIPなど加工技術を開発したことを高く評価する。一方、原型炉をめざした開発の戦略は不明確に感じられる。ITER用ブランケットはもちろん重要だが、原型炉以後に最適な設計はITER用の延長上にあるとは限らないため、より広くサーベイする必要がある。

また、最近のブランケットの概略的設計は目覚しい進展があり、更なる具体化が望まれる。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及（4.2）

宇宙用機器への応用が期待させる。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.0)

低コスト ITER 用ブランケットの開発は ITER の実現に大きな効果を得ることができた。成果は得られているが、まだ展望が開けたとは判断できない。本研究開発は、もともと、ITER ブランケット開発よりも原型炉ブランケットの開発に重点が置かれているが、IFMIF の開発と建設それによる材料開発の視点がいま一つ定かに見えない。今後は ITER の増殖ブランケットの確立を期待したい。

a-5) NBI 加熱装置技術 (主要課題領域 5)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.4)

多くの成果は得られているが、目標性能にはまだ達していない部分も見受けられる。たとえば負 NBI の開発の成功は大いに評価できるが、まだ開発の余地がある。耐圧がそれでも電流がとれなくてはあまり意味がなく、電極の設計変更等、着実に経験を積み上げていく必要がある。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.4)

原研が中心となって研究開発が進められ、成果が上がっている。また核融合科学研究所との連携は、更に必要である。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.6)

他分野への応用を進めていることは高く評価する。特に、大面積イオン源技術は液晶、ビーム加工域に実用化されており、また負イオンビーム源は JT-60 放電実験のみならず ITER の加熱のためにも寄与している。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.9)

ITER の NBI 加熱の見通しを得ており、なおかつビーム源を中心に多くの分野へ貢献していることは評価できる。

a-6) RF 加熱装置技術 (主要課題領域 6)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.1)

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.4)

必ずしも目標は達成されていないが、成果は大である。なかでも大出力、長パルスジャイロトロン 170GHz ECR の成果、ダイヤモンド出力窓技術の達成も大きい。

しかしながら、ジャイロトロンの 1MW で 10 秒という目標は核科研でも大変であり、本質的に困難な問題である。さらなる連携・協力の強化を望む。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.3)

ミリ波帯技術の展開は、次世代産業への応用が望まれる。また、核融合用の大出力管の用途を調査する必要がある。

(二) 将来への研究開発の展望 (4.4)

ITER における ECR 加熱と ECR 電流駆動の見通しが得られたことは評価できる。ITER のための ICRF および LHW の研究開発も進展している。1.2MW、連続ジャイロトロン開発への意義も大きい。

一方、FEL については近い将来、原研における研究としては終了する可能性があるが、研究開発が大学等で続けられることを希望する。

a-7) 燃料循環系技術 (主要課題領域 7)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.0)

個々の開発結果のみならず、結果としてトリチウムの安全な取り扱いを実証したことでも高く評価する。トリチウム技術の向上は ITER サイト設計に必要であり、更なる進展が要求されるので、特に重要である。

また、燃料注入システムの進捗もかなり評価できる。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.3)

ITER タスクであり、委託研究が活用され、論文特許等の情報公開も進んでいる。特にトリチウム分野での大学との共同研究の進展は、高く評価できる。

多くの機器の開発が、外部との連携・協力の強化で促進されると思われる。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.2)

ITER や核融合開発プロジェクトへの直接の貢献は大きい。しかし、本件は強いて波及を求めて、核融合炉技術を支える根幹ととらえたい。

(二) 将来への研究開発の展望 (4.1)

ITER の安全性にとって重要な研究テーマであり、一層の努力を期待したい。

a-8) 核融合炉材料に関する研究 (平成 9 年度～10 年度) (主要課題領域 8)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.1)

フェライトは ITER には用いないのであるから、次の原型炉の様々なコンセプトと突き合わせながら、低放射化フェライト鋼にのみに依存することなく、幅広い開発を推進することが必要である。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.3)

東海研から那珂研への移転は適切である。今後は軽水炉と量子核融合条件での開発強化が鍵である。大学との共同研究・協力研究の件数拡大にも期待したい。

フェライト、V、SiC/SiC 複合材等、先進材料の製作法の開発(特に V、SiC/SiCC)を行い、核融合の潜在的能力を世の中にアピールしてゆき、原型炉にそなえる必要

がある。

(八) 成果の波及効果の把握・普及 (3.7)

原型炉に具体的に寄与できる成果が求められている。

一方、軽水炉の高経年化対策や圧力容器の照射効果等で、原子力発電に寄与しているのは興味深い。

(二) 将来への研究開発の展望 (3.7)

核融合材料の研究者の充実が特に望まれる。

また、低放射化材料の開発は核融合炉を実現するために不可欠な課題であるので、中性子照射実験も含め、充実を図る必要がある。

a-9) 核融合中性子工学に関する研究（平成9年度～10年度）（主要課題領域9）

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.3)

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (3.9)

2年間の成果は今後へと継続される性格のものである。

(八) 成果の波及効果の把握・普及 (4.0)

波及件数は多くはないが、IFMIF プロジェクトへの貢献を特に評価したい。また、中性子計測にダイヤモンドを用いる面から波及効果があるようで、興味深い。

(二) 将来への研究開発の展望 (4.1)

低放射材料試験のための中性子源は、今後の核融合炉開発にとって最も重要な課題である。また、IFMIF の概念設計評価をより加速すべきである。

3.4.2.2 全般的な所感、問題点、提言等

核融合工学部は ITER-R&D の推進母体として、十分に使命を果たしてきた。ITER タスクの作業もよく実施されている。その結果、多くの成果が得られているが、定常運転に対して、あるいはシステムとして十分な展望が開けたわけではない。

核融合研究は、物理研究から工学研究へ移行する時期になっていると思われる。しかしながら、ITER は、トリチウム、熱・プラズマ対向機器開発、超電導コイルの処以外は直接の関係がなく、原型炉へむけて開発を行っても、切迫感がないような気がする。ITER と原型炉を展望して、核融合エネルギーの実用化に必要な工学的課題の解決を目指してほしい。特に、低放射化材料の開発研究が急務であろう。

一方、構造材料や核融合中性子工学を進展させてきており、核融合工学研究統合化にむけての努力とその効果が評価される。しかし、核融合炉材料研究の再編の効果は今のところ見えない。ブランケット研究はかなり統合されてきたが、原型炉目標をしっかりと持ちつつ、関連する研究室（トリチウム、材料を含む）と強く連携

しつつ更に系統的な研究を行うべきである。

一方、安全性に関しては一般人の理解を得ることも忘れてはならない。大学の役割分担も詰めるべきである。

自己評価として、産業界の人材育成に勤めたことを述べているが、産業界からの評価も重要である。

「核融合工学部の研究開発課題」の事後評価の結果

a-1) 超伝導磁石技術 (主要課題領域 1)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.9
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.9
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.7
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.7
a-2) 炉構造技術 (主要課題領域 2)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.8
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.5
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.3
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.5
a-3) プラズマ対向機器技術 (主要課題領域 3)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.5
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.4
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	3.8
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.4
a-4) ブランケット技術 (主要課題領域 4)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.1
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.0
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.2
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.0
a-5) NBI 加熱装置技術 (主要課題領域 5)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.4
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.4
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.6
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.9
a-6) RF 加熱装置技術 (主要課題領域 6)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.1
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.4
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.3
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.4

a-7) 燃料循環系技術（主要課題領域 7）	
（イ）研究開発課題の目的達成度	4.0
（ロ）研究開発実施経過の妥当性	4.3
（ハ）成果の波及効果の把握・普及	4.2
（ニ）将来への研究開発の展望	4.1
a-8) 核融合炉材料に関する研究（平成 9 年度～10 年度）（主要課題領域 8）	
（イ）研究開発課題の目的達成度	4.1
（ロ）研究開発実施経過の妥当性	4.3
（ハ）成果の波及効果の把握・普及	3.7
（ニ）将来への研究開発の展望	3.7
a-9) 核融合中性子工学に関する研究（平成 9 年度～10 年度）（主要課題領域 9）	
（イ）研究開発課題の目的達成度	4.3
（ロ）研究開発実施経過の妥当性	3.9
（ハ）成果の波及効果の把握・普及	4.0
（ニ）将来への研究開発の展望	4.1

3.5 核融合工学部門の研究開発課題 中間及び事前評価

3.5.1 核融合工学部門の研究経過の概要(中間評価)

1) 進捗状況及び平成13年度以降の研究開発の達成目標

核融合実験炉 ITER の工学 R&D における我が国分担分を実施するとともに、将来の核融合炉を見据え、その実現に必要な中、長期的な研究開発を必要とする課題について、基礎的、長期的な炉工学技術の研究開発を行って核融合炉に必要な技術基盤の確立を図る。

2) ITER 工学 R&D

ITER 工学設計活動の3年間の延長期間においては、これまで6年間に開発した機器や試験体並びに装置を用い、実機に外挿できる規模でのシステム試験を実施する。また、加熱装置や計測機器、トリチウム技術、ブランケット技術などの開発を行い、設計裕度や運転裕度を見極めるとともに、安全性・信頼性の向上と製作コストの低減を図る。

3) 炉工学技術

炉工学技術の研究開発ではまず、ITER の技術基盤となる研究開発や ITER 国内誘致の可能性を維持するために、地震など我が国固有の立地条件や安全規制に対する準備検討に必要な短期的研究開発を行う。同時に、原型炉以降を目指した長期的研究開発として、先進構造材料及びトリチウム増殖関連材料の開発を含む発電用ブランケットの開発、強磁場用超伝導コイル線材の開発などを行いその基盤技術を確立する。

3.5.2 評価結果(中間評価)

3.5.2.1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5が満点)

a) 研究開発の進捗状況の妥当性 (4.3)

ITER R&D 関連が13年度までの計画であることは妥当である。13年度以降においては、ITER 要員の供給源となる前提に加え、原型炉以降の開発が継続的に維持される必要がある。また、内外との協力を具体化しており、この点も大いに評価できる。

原型炉に向けた材料、ブランケットの研究開発では、大学の資源をより重視して、協力体制を構築するのが良い。

b) 研究開発の継続の妥当性 (4.5)

免震は最優先課題のひとつであり、実現への確実な見通しがつくまで開発を急ぐ

必要がある。

ITER から原型炉に向けて、ブランケット技術は重要なテーマである。ITER 用テストブランケットとしてどのようなものを入れるべきかは、原型炉、実証炉のブランケット概念がある程度念頭にないと決められないので、それらの概念検討も十分に実施すべきである。まず、ITER 用 NBI は加速電圧と電流密度の目標パラメータを同時に達成できることを早期にめざす必要がある。

トリチウム工学は ITER 建設と運転のために重点推進されるべき事項である。これに関しては、日米だけでなく、改造を計画している JET のグループとの連携も重要である。

c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性 (4.4)

ブランケット工学研究における資源・新規施設の重点配分は妥当である。今後は関連する炉工学研究と関連付けてさらに総合的、計画的に行うべきである。アウトオブパイプ試験設備、照射後特性試験設備、IFMIF 技術開発への資源の重点配分は極めて意義がある。

トリチウム安全研究は ITER 規制と関連して最重要課題であり、その観点からの見直しが行われたことは評価される。

燃料循環技術におけるトリチウム工学、トリチウム安全工学への 13 年前半までの資源重点配分は必須であり計画は適切である。

3.5.2.2 全般的な所感、問題点、提案等

核融合工学部門は ITER 設計の工学面全般を担当している。ITER 建設と原型炉への双方の目標設定は当然ながら妥当である。炉工学分野の進展は、原型炉の早期実現の成否を担うものであり、更に原型炉に向けた研究開発がより高まることを期待する。

ITER 以後において ITER の延長では使えないかも知れないと思われる工学技術(たとえばブランケットのメンテナンス技術、さらに高エネルギーの NBI 等)については、もっと強化されてもよいのではないか。

また、JT-60 の超伝導化が提案されており、当部門もその活動の影響を受ける。本来 JT-60SC の意義はコンパクト ITER や IFMIF などとの関連においてその必要性が論ぜられねばならない。

人材養成に関して学位授与権を目指すことは支援できるが大学の研究者との意見交換が重要である。大学は情報が不足しており、古手の教授は従来の思考パターン、視野から脱去できずにより、若手の後継者が育っていない状況下にある。原研の持つ豊富なデータを対象に、一般化・体系化を大学と一緒に企てる計画を具体的に立てられないか。

全体的に見て、5 年間にわたる計画はマンネリにおちいりがちになるから、常に達成できたものの評価と残された問題の再確認が重要である。

「核融合工学部門の研究開発課題」の中間及び事前評価の結果

a) 研究開発の進捗状況の妥当性	4.3
b) 研究開発の継続の妥当性	4.5
c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性	4.4

3.6 炉心プラズマ研究部門の研究開発課題 事後評価

3.6.1 炉心プラズマ研究部門の研究成果の概要

1) 目標と成果

(1) JT-60による炉心プラズマ技術の開発研究（主要課題領域1）

電流駆動に要する循環電力の小さい経済的な定常トカマク炉の原理を実証するため、自発電流割合を高くできる高プラズマ圧力Hモードと負磁気シアモードによる炉心プラズマの研究開発を進め、世界最高の等価核融合増倍率($Q=1.25$)の実現、イオン温度(5.2億度)及び核融合三重積(177億度・秒・兆個/cc)の世界最高値達成等、世界の炉心プラズマ研究を牽引する成果を産み出した。同時に、新方式ダイバータによる熱・粒子制御、負イオン源中性粒子ビーム入射による電流駆動等のトカマク定常化に係わる先進研究を積極的に進めた。これら多岐にわたる炉心プラズマの研究及びその物理解明に努め、ITER物理基盤の確立において重要な役割を果たした。

(2) JFT-2Mによる先進的プラズマ技術の開発研究（主要課題領域2）

大学等との研究協力を積極的に推進しながら、閉ダイバータ、バイアス電圧印加によるダイバータ制御、新しい燃料補給法、計測装置等の先進技術の開発を進めた。これらを活用し、Hモードの物理機構の解明等、最前線のプラズマ物理研究の成果として結実させた。核融合会議計画推進小委員会の議論を踏まえ、核融合炉の革新技術とされる低放射化フェライト鋼によるプラズマ試験計画を立案し、短期間で設計・開発を完了、世界が注視する先進材料プラズマ試験計画を打ち出した。これにより、平成11年以降の研究の基盤を築いた。

(3) 理論研究による炉心プラズマ物理の体系化（主要課題領域3）

長年の課題であった境界層理論による非理想MHD安定性解析法に代表されるプラズマの理論研究と並行して、最新の計算科学手法を取り込んだ数値トカマク研究を推進した。これにより、閉じ込め改善機構、ダイバータ特性等の理解を飛躍的に高めた。この結果は、JT-60での負磁気シアモードの性能向上や物理機構の解明、新方式ダイバータの開発において大きな貢献を果たした。数値トカマク研究で開発したコードは天体物理、太陽物理、レーザー物理等他分野へも適用可能であり、科学の他分野への波及効果が大きい。

(4) 核融合炉システムの設計研究と安全性研究（主要課題領域4）

経済性と環境適合性の観点を重視して核融合炉の設計を進めた。従来の核融合原型炉(SSTR)よりもコンパクトで高出力な改良型原型炉(A-SSTR)の炉概念を確立し経済性を高めた。これにより、核融合エネルギーが商用電力として競争力を持つために開発すべき方向を示した。また、安全性の研究では、核融合炉の安全評価法の開発を推進した。

2) 資源

人員、予算ともに年次的な変化はほとんどなく、人員の面では、本部門の柱である JT-60 に多くの人員を割き、その他の領域へは効率的に開発目標を達成するため研究規模に見合った人員配置を行った。予算的には、ITER に繋がる先端的な成果が短期間に得られるよう、研究規模の大きい JT-60 に重点的な予算配分を行った。JFT-2M は比較的小規模な予算を運用して革新的技術の開発研究が柔軟に行えるよう配慮した。理論及び炉システムの研究では、小規模な人員でタイムリーなソフトウェアの開発や設計検討が行える予算規模とした。

各主要課題領域の資源の概略は、次のとおりである。

主要課題領域 1 : 平成 6 ~ 10 年度にわたる総額 10,428 百万円を JT-60 炉心プラズマ技術の研究費、運転維持費、委託費等に充当 (68 人／年)

主要課題領域 2 : 平成 6 ~ 10 年度にわたる総額 280 百万円を JFT-2M による先進的プラズマ技術の研究費、運転維持費等に充当 (21 人／年)

主要課題領域 3 : 平成 6 ~ 10 年度にわたる総額 515 百万円を計算コードの開発等に充当 (9 人／年)

主要課題領域 4 : 平成 6 ~ 10 年度にわたる総額 618 百万円を炉心システムの設計安全評価手法の開発等に充当 (3 人／年)

3) 進め方

原研内の他部門との連携、国内の大学・国立研究機関等との研究協力を進め、研究の活性化を図るとともに、相互の得意分野での研究分担により研究開発を効率的に推進した。この協力・連携を通して実施した各主要課題領域における問題分析や先端技術の迅速な導入は、炉心プラズマ開発における先取性の確保、核融合炉を目指した総合的な研究開発に重要な役割を果たした。また、国際協力に関しては、IEA 三大トカマク協力計画と日米核融合協力 (DIII-D 協力等) を中心に、日・EU 協力、日・露協力、日・中協力等を進め、国際的にも効率的な役割分担の下で研究推進を図った。

3. 6. 2 評価結果

3. 6. 2. 1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5 が満点)

a-1) JT-60 による炉心プラズマ技術の開発研究(主要課題領域 1)

(1) 研究開発課題の目的達成度 (5.0)

目的達成度は高く、国際的な評価も高い。先進トカマク運転方式の実験的実証など、プラズマ形状などに制約も多い JT-60 の能力を最大限に使った成果を出しているのは、特筆すべきことである。High ベータ 4-8、LHCD6 秒、N-NBI $1.33 \times 10^{19} \text{ Am}^{-2} \text{ W}^{-1}$ の達成は目標値を上回るものである。ディスラプションの回避、逃走電子の回避

など、制御技術の発展も大きい。ダイバータ輸送機構、VDEのMHDシミュレーション等、解析評価にも貢献した。

N-NBIの性能を十分に引きだすことにより、電流駆動、負磁気シア実験等により多くの成果を引き出すことができるであろう。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.7)

JT-60Uを限界近くまで駆使した高性能プラズマの実現は評価できる。N-NBIやECRHにより新しい実験領域を切り開いているほか、JFT2-Mにおけるフェライト鋼によるリップル軽減実験は、炉心プラズマへのすぐれた貢献と評価される。

高度計測手法の開発においても国際協力を有効活用した。理論プロジェクトとしてNEXTを計画し実施したことは評価できる。

N-NBIの性能を上げるためにには、プラズマとは独立に運転できるよう、N-NBIとJT-60との間にカロリメーター等を入れて、精力的にNBIのエージングを行う必要がある。しかしながら、世界最高値を狙うことが重要である一方、DT実験やITER相似プラズマ試験などでITERに貢献している欧米との比較として、JT-60Uの性能を下げてもITERのプラズマ形状に近づけた実験を行う手もある。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (4.6)

実験炉へつなぐ成果をあげ、国際的にも大いに評価できるものである。特に、ITERへの閉じ込め比例則、JT-60改修へのQ=5の見通し、コンパクトITER、輸送コードによるITER運転法の開発などは、ITERへ貢献するところが大きい。

また、他分野との交流に積極的であるのは評価できる。計算機利用研究分野のそれは特筆できる。さらに発展させ、ベンチャービジネスとして通用するようなレベルを目指すべきである。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.6)

JT-60Uによる定常化試験や高性能化試験によって、コンパクトITERへの工学設計のためのデータベースが築かれたことは高く評価する。これらは次期計画に十分応えるものであり、かつ学術として優れた成果を得ている。これからは、グリーンワールド密度限界近くでの高性能閉じ込めの実現を目指す必要がある。

A-SSTRの概念設計は原型炉への指針を与えるものとして評価できる。NEXTもさらに発展させるべきである。

a-2) JFT-2Mによる先進的プラズマ技術の開発研究(主要課題領域2)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.0)

Hモード物理への寄与は評価できる。フェライト鋼によるリップル低減の実証はトカマク炉にとって有益な実験である。

(口) 研究開発実施経過の妥当性 (4.1)

実施経過及び大学との協力が成功している。特に、コンパクト・トロイド方式燃料補給技術、H-モード遷移に対する径電場の解釈と HIBP による観測など大学、研究機関との連携・協力の成果が上がっている。また、フェライト鋼計画をいたるのは有効であった。研究面では中型装置として機動性が生かされている。

但し、JFT-2M の成果は明確に示されているものの、その成果の JT-60U、あるいは ITER との関係が明確に述べられていない。これらへの適用展望があつてこそ JFT-2M によるプラズマ技術の成果が意義のあるものになる。

大学との協力では、装置研究のみならず、地域性を考慮して委託研究などの協力を続行するのが望ましい。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (3.9)

新たな独創的研究をしており、核融合研究開発のみならず一般科学としても大いに貢献していることは、高く評価できる。ダイバータ周辺プラズマに関する解析・計算コードのプラズマ応用工学への適用などは特記されるものである。

しかしながら、ダイバータプラズマやレーザー計測技術の応用は、産業界への波及という面からは弱いという一面もある。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.3)

ECH や外部ヘリカル磁場によるディスラプション回避技術の高度化などさらに展開を望みたい。さらに、フェライト鋼によるリップル低減のような炉心プラズマへの寄与が明確な実験も続けるべきである。

a-3) 理論研究による炉心プラズマ物理の体系化(主要課題領域 3)

(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.4)

閉じ込め改善現象の物理機構の解明等、成果は高く評価できる。これらは内部輸送障壁 ITB の予測、ダイバータ粒子シミュレーションコードなどによる諸現象の理論的解明に大きく貢献する。しかし、負磁気シア一以外も含めた普遍的解明までにはまだ至っていないように思われる。

今後はさらに、NEXT 研究を精力的に展開し、閉じ込めを理論の面から解釈できるようになる必要がある。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.4)

これまでの研究は順調に進められてきており、核融合分野以外との連携も強めたことを特に評価したい。NEXT を中心に大学や他研究機関との協力のほか、CT 入射 MHD シミュレーションなど理論的検証など大学・国立研究機関との協力・交流も評価できる。

(八) 成果の波及効果の把握・普及 (4.0)

天文などへの波及効果は大きいと思われる。

プラズマ物理は優れた科学として尊重されることにより、初めて社会的受容性を得られる。今後は、更にわかりやすい「プラズマ物理」を一般の方に説明できるようすることを期待する。

(二) 将来への研究開発の展望 (4.4)

ITER の物理課題、JT-60 の課題解明に重要な貢献を果たした。ITER 物理では、さらに積極的な寄与を期待したい。特に輸送モデルの開発研究は取り組むべき課題である。

a-4) 核融合炉システムの設計研究と安全性研究(主要課題領域 4)**(イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.0)**

A-SSTR は定常トカマク炉への指針を与えるものとして評価できる。ICE、LOVA など解析コードの検証は、今後につながる重要な貢献である。

主要課題領域 4 は将来の努力目標すなわち研究方針を与えられるという意味で非常に大事であり、A-SSTR 設計、SiC 複合材の核融合炉設計等有益な指針を得ることができた。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性 (4.0)

資源上の制約はやむを得ないが、今後の計画に対しては拡充が必要である。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及 (3.7)

一般への波及は少ないが、ITER プロジェクトや安全性研究等へ貢献している。その中でも特に ITER の小型化に対しては貢献が大きい。

(ニ) 将来への研究開発の展望 (4.0)

安全性評価や炉概念提案による次期計画への貢献が期待される。軽水炉と競争できるトカマク炉への展望が示されている。今後は実験データベースを確実なものにする努力が必要である。

3.6.2.2 全般的な所感、問題点、提言等

炉心プラズマ実験、理論及び炉システムとともに大きな成果をあげたと評価できる。

但し、炉システムの設計及び安全性研究については、現時点ではかなりの不確定性があり、技術の進捗を反映して進めることが必要である。特に大学等との協力は不可欠である。

核融合炉システムの設計研究については、目標をより明確にして、全日本のに行われる必要がある。JFT-2M については今後の役割、特に JT-60 アップグレード中の

期間に於ける重要性に配慮した企画が必要である。ITER 以後の将来見通しに関する研究にも、もう少し多くの資源を投入してもよい。

「炉心プラズマ研究部門の研究開発課題」の事後評価の結果

a-1) JT-60による炉心プラズマ技術の開発研究（主要課題領域 1）	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	5.0
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.7
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.6
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.6
a-2) JFT-2Mによる先進的プラズマ技術の開発研究（主要課題領域 2）	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.0
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.1
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	3.9
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.3
a-3) 理論研究による炉心プラズマ物理の体系化（主要課題領域 3）	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.4
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.4
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.0
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.4
a-4) 核融合炉システムの設計研究と安全性研究（主要課題領域 4）	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.0
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.0
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	3.7
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.0

3.7 炉心プラズマ研究部門の研究開発課題 中間及び事前評価

3.7.1 炉心プラズマ研究部門の研究経過の概要(中間評価)

1) 進捗状況

当初計画は順調に進捗している。平成11年度には、自発電流が80%で、残りをビーム電流で駆動する完全非誘導電流駆動の負磁気シアプラズマを、約3秒間にわたり保持することに成功し、高性能定常化研究の新しい領域を開拓した。また、高周波入射・局所電流駆動による高ベータ化への展望、遠心ペレット入射による連続的な燃料補給法の開発等の順調な進捗が得られた。このように、プラズマ性能の統合化へ向けた着実な進展を踏まえ、今後約1年余り現状の炉心高性能化実験を継続する。但し、プラズマ安定性を確保するために高三角度プラズマ配位が有効ではあるが、現状のJT-60設備では、高三角度配位用ポロイダル磁場コイル結線における通電制限のため、5秒を越える長パルスや、約1.5MAを越えての高電流・高三角度配位実験を実施することはできない状況にある。

2) 平成13年度以降の研究開発の達成目標

これまでJT-60は、定常トカマク運転のための炉概念の創出と原理的な検証、新しい閉じ込めモードの開拓、閉じ込め性能の高性能化実証などの成果を積み重ね、核融合炉炉心プラズマに係わる研究開発の道筋を築いてきた。これにより、ITERのコンパクト化設計において大きな役割を果たすことができた。今後は、これをさらに発展させながら、高性能プラズマの長パルス運転でなければ解決できない研究課題に取り組む。一方、JT-60は運転開始以来、既に15年を経ており、主要機器の老朽化に懸念がある。このため老朽化した機器を更新しつつ、今後の新たな研究展開を拓くことが重要である。

このため、JT-60本体部に超伝導コイルを導入するコイル改修を実施し、ITERを模擬した高性能プラズマの長パルス運転でなければ解決できない研究課題に取り組むことにより、ITERの運転最適化に直接的な貢献を果たすとともに、定常核融合炉へ向けた高性能定常化研究を大きく発展させる。

これにより、ITERの目標達成への確実性・迅速性の向上、ITERが直接の目標としない革新的な研究課題への柔軟かつ多角的な取り組み、そして、我が国における実経験の豊富な人材の育成を通じて、ITERにおける主導的地位の確保を実現する。
 (1) JT-60コイル改修計画の研究開発目標

ITER計画を支援するために、高性能プラズマの長時間制御技術開発を中心とする先進的・補完的研究開発を実施する。コンパクトITERに採用された先進的概念や技術を最大限取り入れ、ITERの実機製作に反映可能な研究開発(ダイバータカセット等)を行うとともに、ITERの運転に必要な技術開発；

- ・全超伝導トカマクによる長時間プラズマ制御(~100秒間)

- ・高度なプラズマ断面形状制御による高性能・高ベータプラズマ制御
- ・先進ダイバータによる熱・粒子制御
- ・先進加熱・電流駆動及び分布制御

を実証し、ITER の目標達成に貢献する。合わせて、将来の核融合炉で必要とされるさらなる高ベータ化及び高ベータプラズマ制御技術等の研究開発に挑戦する。

また世界に先駆けて原研が開発した先進的なニオブ・アルミ導体を超伝導コイルに採用し、核融合炉へ向けた次世代の超伝導技術の実用化に貢献する。

(2) JT-60 コイル改修の進め方

前節の研究開発目標を達成するため、JT-60 を長時間プラズマ制御の可能な超伝導トカマク装置へ改修する。本改修においては、加熱設備など多くの既存設備・機器の再利用を図り、改修の効果対費用を最大化するとともに、運転経費の低減にも留意する。

(3) タイムスケジュール

スケジュールについては、コイル改修の成果を ITER 計画へ反映させるべき時期、ITER の建設に伴う今後の資源的制約、並びに、運転開始以来 16 年目を迎えて老朽化の目立つ主要機器更新の必要性を鑑み、平成 13 年度よりコイル改修に着手する計画とする。

(4) 外部との協力等

コイル改修にあたり、先進的なプラズマ断面形状制御やニオブ・アルミ導体を用いた次世代の超伝導技術等、プラズマ物理から工学に至る幅広い分野の検討が必要であるため、研究協力体制を整え、設計・検討段階から原研内の他部門はもちろんのこと、大学・国立研究機関等との広く緊密な研究協力を推進する。また、ITER 計画が本格的な建設段階に入る前の約 4 年間に、JT-60 の稼働を休止し、その期間の運転に要する費用を本コイル改修にあてる。JT-60 本体以外の主な設備・装置については再利用することで、プラズマ性能を低下させることなく改修コストの低減を実現するとともに、大学・国立研究機関等との研究協力を全国規模に広げ、最大限に活かすことで必要な人員を確保する。

3.7.2 評価結果（中間評価）

3.7.2.1 項目別評価 (() 内の数字は評価平均点で、5 が満点)

a) 研究開発の進捗状況の妥当性 (4.9)

JT-60 を超伝導化し、三角度と超パルス化の実験的研究を行うことは、実験炉及び原型炉に向けた重要なものであり、高く評価する。特に JT-60 のコイル改修計画は、実験炉の目標の実現に大きく貢献するものであり、強く推進することを期待する。この理由は以下のとおりである。

実験炉では、燃焼の定常化が目標であり、現データは目標に対してかなり実現性

を期待させるが、さらに燃焼下での閉じこめ物理の予測、定常化への具体的施策、長時間の灰と不純物制御の具体的施策などが必要であり、これらをコイル改修後に実施しなければならない。高ベータ化は原型炉に向けた重要なテーマであり、この放電実験も遂行されることが重要である。JT-60 は世界に先駆け独創的かつ卓越した成果をあげてきた。これらは実験炉の設計に強く影響を与えている。もし、コイル改修が行われなければ、実験炉に対しても、かつ世界の核融合研究に対しても、大きな損失となる。

本改修については、JET の改造を含めた米国の参加を求め、日・米・EU の合同計画とするのが、厚い研究者の層を持つことにもなり、大義名分を保つ。

また、トカマクプラズマの定常化という観点からは、より高いベータより閉じ込めのよいプラズマの実現を目指すべきである。

さらに、JT-60 のコイルの超伝導化は、原研内外と大学からの協力を得るために柔軟な対応が望まれる。

b) 研究開発の継続の妥当性 (4.3)

JFT-2M に関しては、フェライト真空容器による試験の早期実施を希望したい。

革新的炉概念の開発研究については、社会的要請を満たすという名目が必要である。提案された A-SSTR は大きな成果であるが、必ずしもこの点での議論が十分につくされたとは言えないようと思われる所以、さらに検討を加える必要がある。

一方、JT-60 のコイルの超電導化に関しては、LHD や TRIAM の経験を生かすようにして、大学との協力を進めるべきである。これからの中長期研究計画の策定に際しては、理論研究を重視することが望まれる。

c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性 (3.8)

JT-60 の超伝導化はコンパクト ITER 関係に特化しそぎることなく、いま少し柔軟な考えが必要である。

また、研究の効率化という面から実験と理論のバランスを考慮して、資源の有効利用を図ることも必要になる。

3.7.2.2 全般的な所感、問題点、提言等

(主要課題領域 1 の計画の改訂について、を含む)

JT-60 のコイル改修計画は、上述の項目別評価に記されているように、実験炉の目標実現に不可欠なものであり、かつ高ベータ化により原型炉に向けた研究開発として強く推進するものと結論される。

なお、本改修計画を進めるに当たって以下のようないくつかの個別的意見があった。

- ・ITER の建設と超伝導化が同時進行になった場合、資金の調達が膨大になるため、予算額を明示し、全日本のコンセンサスをとることが必要である。また、資金に制約が出た場合の計画も考慮しておくべきである。装置を ITER と相似形にし、ITER

の運転をあらかじめ習熟しておくとする目的を明確にすることは、ひとつの選択である。しかし、将来の研究を考慮して、真空容器の設計に柔軟性を持たせることが必要である。

- ・従来の JT-60 の結果から形状制御によって維持できるベータ N の向上が期待されるものの、JT-60U には臨界達成という重要な目標があったように、今回の改造で目指す目標パラメータも明確に示すべきである。将来的には加熱・電流駆動用電源が不足するように思えるが、H16 年度以後に追加改造計画が出てくる可能性もあるのか、あるいはスペース的に本計画以上の電源強化は不可能なのかという点を明らかにするべきである。
- ・全超伝導化においてトロイダル磁場コイルへのニオブ・アルミ導体の使用が策定されている。全超伝導化に当たって必要な研究課題を定義すべきである。なお大型超伝導機器に関する製作や運転技術は極めて限られた大学・国公立研究機関しか保有しておらず、これらの協力の裕度も見定める必要がある。
- ・本改造計画の予算は 4 年間における JT-60U の運転経費から捻出される予定であるが、予算の見積もりについてはメーカー等との調整が必要である。

ところで、JT-60 のコイル改修計画は、平成 10 年度の炉心プラズマ研究部門の事前評価においてその方向性が認められており、今回の中間評価において中心的課題であった。したがって、本計画については、総論的にも詳細な考察が必要であると考えられる。

については、ある専門委員から、ITER の技術的目標を達成することとの関連、現状の研究資源での実現の可能性等について、まとまった意見が出されていたので、その概略を以下に紹介する。

ITER が技術目標を達成するには、1) 設計の妥当性が示され、2) 設計通り建設され、かつ仕様通りの機能が実現され、3) 運転管理上問題ない、ことが前提となる。現在の検討状況をみれば、1) が終了したばかりであり、2) と 3) は単に見とおしが得られているというのにすぎない。このまま ITER 建設に移行しても、成功の可能性は十分とは言えない。今後、本プロジェクトを高い確率で成功させるためには、①長期にわたる有能な人材（研究者、技術者）の確保②科学的知見、技術的知見（ノウハウ）の正確な伝承③故障やトラブル防止のための設計外事象を発見するための方法の確立が必要になる。

原研における現状の研究環境・資源を勘案すれば、この 3 点を満足する方法は「JT-60 の活用（改修）」以外にはない。その根拠は以下のとおりである。

- ①コストミニマムの条件が満たされる。
- ②成果が短期間で得られる。ITER 補完マシンを新規に建設すれば 10 年以上を要し、スケジュールと予算の確保が困難である。
- ③ITER の中核機器（超伝導マグネット系、真空容器、ダイバータなど）に関する技

術の事前取得が可能となる。

④機器の統合化と機能の発揮に関して設計外事象の発見が可能となる。特に超伝導マグネットの技術完璧性は重大な関心事である。

⑤最も重要なことは ITER の燃焼プラズマの実現性を見通せる定常化のための実験が可能となることであろう。

⑥以上のような活動を通じて技術の伝承が可能となり、10 数年後に活躍するであろう研究者の育成も実現される。

しかし、本改修を行うためにも制約条件が存在する。重要な制約条件となる恐れのあるものを挙げれば以下のようになろう。

①この改修のために新規に予算を必要としないこと。

②新規に要員の増大を必要としないこと。

③計画の達成によって大きな学術上の成果が得られること。

④ITER が必要としている科学的・技術的知見を十分に生産できること。

⑤妥当な維持費で運転管理ができること。

⑥ITER との間に政治的論争をもたらさないこと。

ここでなされている原研の JT-60 改造計画は、現在の JT-60 の維持費内で行うくなっている。しかも 3 年間で完成させるとしている。一方人員については JT-60 のチーム要因を建設に振り向けるという。従って制約条件①と②はこれで十分に解決できる。

③に関しては、炉心プラズマ定常化技術や高ベータプラズマ制御技術の確立、さらには非線形媒質としての高温プラズマの巨視的・微視的ダイナミズムの物理特性の解明を目指しており、大きな学術上の成果が得られることが期待できる。④に関しては、ITER の運転を模擬する研究開発に重点を置き、高性能プラズマの長時間制御、プラズマ断面形状及び圧力、電流分布制御による高ベータプラズマの実現、高密度・高性能プラズマの熱・粒子制御の実現を目指している。また、超伝導マグネット系、真空容器、ダイバータなど ITER の中核機器に関する技術の事前取得が可能となる。この結果、④の条件は十分満足される。⑤に関しては、超伝導コイルを導入することと運転方法の合理化を図ることにより、現状の維持費を大きく削減し、建設期の ITER 予算との整合をとっている。

⑥に関しても、予算的には ITER 計画と関係し、第 3 段階基本計画の先進的、補完的研究であり、また、我が国が ITER 計画を成功させるために全力を挙げていることを示すことにより、EU やロシアの信頼感が一層増すことになるため、問題になることはない。

したがって、「JT-60 の改造計画を平成 13 年からスタートさせ、短期間(約 3 年間)で完成させることは核融合研究開発の発展にとって有効であるばかりでなく、第 3 段階基本計画にも合致しており、なおかつ ITER 計画の成功に向けても不可欠である」と結論づけられる。

「炉心プラズマ研究部門の研究開発課題」の中間及び事前評価の結果

a) 研究開発の進捗状況の妥当性	4.9
b) 研究開発の継続の妥当性	4.3
c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性	3.8

3.8 核融合装置試験部門の研究開発課題 事後評価

3.8.1 核融合装置試験部門の研究成果の概要

1) 目標と成果

(1) 装置の運転・保守と機器管理（主要課題領域 1）

目標：原子力委員会が策定した「第三段階核融合研究開発基本計画」（平成 4 年 6 月）に従って進められる炉心プラズマ研究のために、JT-60 と JFT-2M の運転・保守と機器管理を進める。

成果：JT-60 と JFT-2M の運転・保守と機器管理の業務を効率よく進めるとともに、JT-60 では、運転計画管理、放射線安全管理、種々のトラブル克服のための技術開発、経年劣化対策としての機器の計画的更新、チェック＆レビューによる装置改造の健全性の検討・評価の実施、等により高い稼働率（約 80%）と装置性能を維持し、各年度の運転を順調に遂行（実験ショット数：約 2 千ショット／年）する事ができた。このように大型核融合実験装置を長時間にわたって安定に運転できたことは今後の核融合研究の大きな技術資産となっている。また装置運転での安全技術、特に我が国初の核融合炉心プラズマ実験に伴う放射線管理に関する技術の構築も貴重な技術資産である。

(2) 装置機器の技術開発と開発整備（主要課題領域 2）

目標：既存の装置機器の改良や性能向上に係わる技術開発を進め、実験の柔軟性と研究効率の向上を図る。また、新たな研究領域を拓く機器の開発整備（負イオン NBI 装置の開発、W型ダイバータの開発等）を行い、炉心プラズマの性能向上や領域拡大を目指す。

成果：第一壁用ボロン化処理装置の開発による酸素不純物の低減と壁調整期間の短縮、高角度運転のための電源及び制御系の改造によるプラズマ性能の向上等、実験の柔軟性と研究効率を大幅に向上させた。また、W型・新方式ダイバータの開発による定常的なヘリウム排気の実証と高温（1 億度）プラズマの 10 秒間保持への貢献、負イオン NBI 装置の開発による世界初の負イオン NBI 電流駆動の実証と高い中性化効率 60% の確認等、炉心プラズマ研究の新たな領域の開拓に大いに貢献した。

以上の「長年にわたり、安全で安定な運転を遂行したこと」及び「装置機器の開発整備と技術開発を恒常的に実施したこと」の 2 つの事柄は、炉心プラズマ研究において世界を牽引・先導する最先端の成果を産み出す極めて大きな原動力となってきた。

2) 資源

資源の年次的な変化はあまりなく、装置の運転保守と機器管理に予算の約 85%、人員の約 75% 程度を運用して JT-60 と JFT-2M の安全かつ安定な運転を行った。残

りの予算の約 15%、人員の 25%程度を装置機器の技術開発と開発整備に運用し、性能向上に係わる技術開発や新たな研究領域を拓く開発整備を行った。

各主要課題領域の資源の概略は、次のとおりである。

主要課題領域 1：平成 6～10 年度にわたる総額 32,707 百万円を装置の運転・保守と機器管理に充当（65 人／年）

主要課題領域 2：平成 6～10 年度にわたる総額 4,917 百万円を装置の技術開発整備に充当（26 人／年）

3) 進め方（国際、所外、所内協力を含む）

核融合装置試験部の活動を推進するにあたっては、業務と開発研究を有機的に連携させ、部全体の運営をしてきた。つまり、装置の運転保守と機器管理の経験を、装置の改良や性能向上に係わる技術開発に活かすとともに新たな研究領域を拓く装置機器の開発整備にも反映させ、世界を牽引・先導する研究の推進に重要な役割を果たした。これらの業務と開発研究を通して、核融合技術資産（運転技術、機器管理・保全技術、安全技術等）の創出と継承を図ってきた。

所内他部門との協力・連携を積極的に進め、これら部門の知見・最新情報、成果、経験・ノウハウ等を有効活用し、当該部門の活動を効率よく推進することができた。また JT-60、JFT-2M での装置機器の運転実績や性能評価結果を ITER 工学 R&D 等の他部門での研究開発に反映させた。

外部機関との研究協力も積極的に推進し、1) 大学との協力研究制度の活用により JT-60 での機器開発や技術開発（ボロン化処理装置の開発等）を推進し、2) JFT-2M を用いた大学等との共同実験（コンパクトトロイド入射による燃料供給法の開発等）では、関連機器の開発整備及び技術支援や運転を通してその推進に貢献し、3) 核融合科学研究所での共同研究に積極的に参画することにより、共通技術分野の多い JT-60 と LHD での機器開発成果や運転経験を、それぞれ双方の機器開発や技術開発（制御システム開発、NBI 技術開発等）に役立て、プロジェクト推進に大いに貢献した。

国際協力については、三大トカマク協力、日米協力及び日欧協力等を活用して、欧州の JET や米国のダブルネット IIIを中心としたトカマク装置技術に関する情報交換と人員交流を行い、当該部門の活動に役立てた。このほか、原子力交流制度を積極的に活用して研究者を受け入れ（中国の西南物理研究所や中国科学院プラズマ物理研究所等から）により、原研及び派遣元研究期間双方の研究開発に役立てることができた。

3.8.2 評価結果

3.8.2.1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5 が満点)

a-1) 装置の運転・保守と機器管理（主要課題領域1）

(イ) 研究開発課題の目的達成度（4.9）

JT-60 のトロイダルコイルをはじめとする種々のトラブルに対処して、高い稼働率を得た点は高く評価できる。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性（4.8）

原研内外との連携・協力は適切に行われたと判断される。

なお、安全点検計画の作成やマニュアル類の見直しは研究開発に匹敵する重要なタスクである。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及（4.4）

JT-60への直接貢献は大いに評価できる。間接的には ITER の工学設計に寄与しているといえる。放射線管理に関する技術蓄積も大きな資産である。

しかしながら、いくつかの成果は本来波及効果があるものの、原研の開発の波及効果と判断されにくいものもある。

一方、他分野の新技術を利用することも重要である。一方的な出超ではなく入超にも触れたらよいのではないか。

(ニ) 将来への研究開発の展望（4.7）

JT-60はQ=1.25達成に代表される一連の成果を以って当初の使命をほぼ達成した。今後は JT-60U のコイルの超電導化と ITER 建設の両方の実現を目指してほしい。

また、装置試験部門は質的に進化を遂げる必要がある。コスト削減を睨んで、設備の簡略と合理化、そしてメンテナンスの効率化などを装置の高度化と同じように実行していくことが不可欠である。

a-2) 装置機器の技術開発と開発整備（主要課題領域2）

(イ) 研究開発課題の目的達成度（4.9）

測定器、制御系などの開発が実験を支えてきたという観点で、その貢献は大きい。N-NBI の性能向上など一連の受賞案件がそれを証明している。また、壁洗浄、ダイバータ開発なども着実に目的を達成している。

(ロ) 研究開発実施経過の妥当性（4.6）

新しい計画によく対応し、実施経過は妥当である。

(ハ) 成果の波及効果の把握・普及（4.5）

波及効果が明確であり、貢献度は高い。装置中心の研究開発であるが、種々の賞を得るなど、独創的な成果をあげている。特に、電動発電機やイオン源、高周波装置などは、他分野への波及が比較的大きい分野である。

那珂研究所の諸活動の中で最もスピンオフを期待してよい部門である。重厚長大産業のみならず制御ソフト技術等も波及への展開を望む。

(二) 将来への研究開発の展望 (4.5)

本研究課題は、主要課題領域 1 (①JT=60 と JFT-2M②安全な運転③機器管理) と主要課題領域 2 (①技術開発②領域の開拓③要素技術) のみを対象にしてきた。しかしながら、これらの目的である「主要課題領域 3」(①チャンピオンデータ②管理の体系化③事故・故障の予測) をいかに獲得していくかがもっとも重要である。これは未踏の技術であるが、今後知恵を絞り、真剣に取り組む必要がある。

JT-60 のコイル全超伝導化において、コイルの確性試験や工学 R&D を担当すべき部門であり、資源の再配分を含めて早急な対策をとる必要がある。

3.8.2.2 全般的な所感、問題点、提言等

JT-60、JFT-2M の運転・管理は、充分な成果を以って全うした。核融合装置試験部門は、国際的にみても高い実績をあげてきていると判断する。

試験部門の努力により研究が多大な成果が出たことは極めて高く評価される。試験部門の 75%が運転管理、25%が装置機器の技術開発に従事し、大事な技術開発を行った約 130 件の論文を 5 年間で出しているのは、興味深く、非常に良い運営方針である。種々の保守データ等を整理して、将来の ITER 建設にも反映してほしい。

また、機器管理・運転においてノウハウの継承は非常に重要である。運転委託はやむを得ないことであるが、その場合のノウハウの継承には十分留意すべきである。

トカマク炉を定常化するためには、高ベータで高自発電流率のプラズマを制御する技術が必要になる。この方向で一層の努力を期待したい。

「核融合装置試験部門の研究開発課題」の事後評価の結果

a-1) 装置の運転・保守と機器管理 (主要課題領域 1)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.9
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.8
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.4
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.7
a-2) 装置機器の技術開発と開発整備 (主要課題領域 2)	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.9
(ロ) 研究開発実施経過の妥当性	4.6
(ハ) 成果の波及効果の把握・普及	4.5
(ニ) 将来への研究開発の展望	4.5

3.9 核融合装置試験部門の研究開発課題 中間及び事前評価

3.9.1 核融合装置試験部門の研究経過の概要(中間評価)

1) 進捗状況

原子力委員会が策定した「第三段階核融合研究開発基本計画」(平成4年6月)に基づき、炉心プラズマ研究を遂行するためのJT-60とJFT-2Mの両核融合実験装置の運転・保守を行うとともに加熱・電流駆動、ダイバータ・第一壁、燃料補給、電源、制御、真空等の核融合装置固有の機器開発と関連の技術開発、並びに実機(JT-60、JFT-2M)による性能評価試験等を進めている。

当該部門においては、「装置の運転と機器管理(主要課題領域1)」と「新たな装置機器の技術開発及び開発整備(主要課題領域2)」の2項目を主要課題領域に設定して、部全体の運営及び活動を進めている。前者では、安全かつ安定な運転の遂行とともに運転年数が15年を越えた事に対する高経年化対策の実施と予防保全を、また後者では、実験の柔軟性と研究効率を向上させる技術開発と新たな研究領域を拓く装置機器の開発整備を、当初計画通り順調に進めている。

2) 平成13年度以降の研究開発の達成目標

主要課題領域2「新たな装置機器の技術開発及び開発整備」において、当初計画で「現有設備を最大限に利用して定常化技術の先進的研究を進めるため、JT-60の主要機器(トロイダル磁場コイル等)の改修・改造に関する技術的検討を、炉心プラズマ研究部に協力して進める。」としていた達成目標を更に進めて、JT-60本体に超伝導コイルを導入するコイル改修計画(以下、JT-60コイル改修計画)として炉心プラズマ研究部との協力・連携のもとに平成13年度から実施する。本計画では、超伝導コイル、真空容器、先進ダイバータ、クライオスタット、液化ヘリウム冷凍システム等の開発、並びに関連設備(電源、制御、加熱装置等)の改造・開発整備を行い、これにより、JT-60において高性能プラズマの長パルス運転(～100秒)を実現し、炉心プラズマ研究の領域拡大を図る。

本コイル改修計画における主な技術開発及び改造・整備とその達成目標は以下の通り。

① 超伝導コイル開発

トロイダル磁場コイルは、D型超伝導コイル18個で構成し、世界に先駆けて原研が開発したニオブ・アルミ導体を採用する。比較的低磁場(7テスラ程度)で高い電流密度が確保でき、機械的に優れた特性(低歪み等)を有する本導体の利点を最大限に活かし、低コストで性能の高い超伝導コイルを実現する。ポロイダル磁場コイルは、4個の中心ソレノイドコイル(ニオブ・スズ)と6個の平衡コイル(ニオブ・チタン)の合計10個の超伝導コイルで構成し、トロイダル磁場コイルの外側に配置する。これら超伝導コイルは全て、超臨界ヘリウムを用いる強制冷却方式とする。

② 真空容器、先進ダイバータ等の開発

低コバルト SUS 材を用いた、縦長非円形断面を有する 2 重壁構造で、中性子遮蔽のため壁間に遮蔽体を設けた容器を開発する。これにより、トロイダル磁場コイルの超伝導線における核発熱を低く抑え、クエンチに対するマージンの確保や液化ヘリウム冷凍システムのコンパクト化を図る。先進ダイバータの開発としては、バックフル板の形状を工夫して粒子の逆流防止効果を高めることにより、高いヘリウム排気性能を有するクローズ型のダイバータを開発する。

③ その他の関連設備の技術開発

超伝導コイル系の熱負荷（導体部の核発熱と交流損失、構造体での渦電流損失、輻射シールドや電流リード等からの熱侵入）の最小化を図るために設計検討を進めるとともに、コイル系を約 1 ヶ月で常温から極低温 4.5K まで冷却できる大型液化ヘリウム冷凍システムの実現を図る。また JT-60 の電源設備（総出力 130 万 kW）についてはシステム全体を見直し、これら既存機器（特に交流系機器）を最大限活用して組み替えを行い、必要最少台数の新たな交流 - 直流変換器（光サイリスタ変換器）を製作して、超伝導ボロイダル磁場コイル用電源を整備し、100 秒放電の実現を図る。また、超伝導トロイダル磁場コイル用電源（50 V, 20 kA）は、新規に製作・整備する。その他、制御システム、NBI 加熱装置、RF 加熱装置についても必要な技術開発・改造を進め、100 秒の長時間放電での高性能プラズマ実験に対応できるようにする。

コイル改修に伴い、改修期間中は JT-60 の稼動を休止するため、主要課題領域 1 「装置の運転と機器管理」における計画を見直す。すなわち、核融合装置試験部門でこれまで培った運転・保守技術や機器管理技術を活用し、再利用設備の保守管理及び改造工事期間中の安全管理や放射線管理を実施し、コイル改修に係る改造工事の円滑な遂行を図る。コイル改修後は、クライオスタッフや液化ヘリウム冷凍機等新たな装置・機器が導入され、JT-60 全体の運転形態がこれまでと大きく異なる。また、改修後の人的資源の大きな制約が予想され、運転・保守における大幅な合理化が必要となる。このため、これらに対応した運転管理方式の検討を行い、改修後の運転に備える。

3.9.2 評価結果（中間評価）

3.9.2.1 項目別評価 (()) 内の数字は評価平均点で、5 が満点)

a) 研究開発の進捗状況の妥当性 (4.5)

JT-60 のコイルの超伝導化を目指すのは妥当な選択肢であり、かつ計画も妥当であるが、実現するためには、原研外の協力が不可欠である。

平成 11 年度の主要課題領域 2 では、コンパクト ITER 概念の構築参画や JT-60 アップグレードの基本計画が策定された。特に後者については今後引きつづき極力学会での公開を進め、広く識者、専門家の意見、評価を受け止める姿勢が求められる。しかし、協力のみでなく、本来の研究開発をおろそかにしないで続ける必要がある。

b) 研究開発の継続の妥当性 (4.4)

c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性(4.6)

核融合炉の運転形態や機器管理・保全をどうするかは特に重要であり、その体系化を図り、ITERのそれにつなげていく必要がある。今後、この問題に向けて努力する必要がある。

JT-60 のコイルの超伝導化に関しては、大学には TRIAM グループと LHD グループがノウハウを蓄積しているので、協力関係を構築することが大切である。また、JFT-2M は材料と物理の関係の研究で成功しているので、さらに進めることができると嬉しい。

3.9.2.2 全般的な所感、問題点、提案等

(主要課題領域 1 及び 2 の見直しについて、を含む)

コイル改修計画は ITER への貢献という点で評価できるが、ITER 計画との資源的な調整を適切に行う必要がある。

原研外、特に大学の核融合研究者は JT-60 のコイルの超伝導化に基本的には賛成の立場にあると思われるが、基本計画を作成する段階から情報交換を行って、「なぜ必要か」の理解を求めた方がよい。アジアの国(韓国、中国、インド)が超伝導トカマクの建設をはじめているので、これからの方々との国際的な協力を進めた方がよい。国際貢献が可能であると同時に、日本のリーダーシップが期待されている。

「核融合装置試験部門の研究開発課題」の中間及び事前評価の結果

a) 研究開発の進捗状況の妥当性	4.5
b) 研究開発の継続の妥当性	4.4
c) 研究開発課題の目的・目標、進め方、資源配分等の見直しの必要性	4.6

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
圧力、応力	ニュートン	N	m·kg/s ²
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m ²
工率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	クロン	C	A·s
静電容量	クーロン	V	W/A
電気抵抗	ボルト	Ω	Ω/V
コンダクタンス	アーチム	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	ヘンリー	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では液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閣僚理事会指令では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

力 N(=10 ⁶ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809
9.80665	1	2.20462
4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²) = 10 P(ボアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St(ストークス)(cm²/s)

圧力 MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力 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

エネルギー J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J(熱化学)
9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J(15 °C)
3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J(国際蒸気表)
4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)
1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
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	

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	1
2.58 × 10 ⁻⁴	1	

線量当量 Sv	rem
1	100
0.01	1

(86年12月26日現在)

