

2003-031



核融合研究開発専門部会評価結果報告書

(平成15年度事前評価)

— 評価対象：炉心プラズマ研究部、核融合装置試験部 —

2003年12月

研究評価委員会

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、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、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

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

(平成 15 年度事前評価)

— 評価対象：炉心プラズマ研究部、核融合装置試験部 —

日本原子力研究所
研究評価委員会

(2003 年 9 月 10 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、那珂研究所炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部が実施する研究開発課題について、平成 16 年度からの 5 年間の計画の事前評価を実施した。同専門部会は、8 名の外部専門家で構成された。

核融合研究開発専門部会は、平成 15 年 5 月から平成 15 年 7 月にかけて、当該部門に対する研究評価活動を実施した。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会会合（平成 15 年 6 月 9 日開催）における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた実施要領に従って行われた。

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 15 年 8 月 4 日に審議された。審議の結果、研究評価委員会は、この評価結果を妥当と判断した。本報告書は、その評価結果である。

Report of the Evaluation by the Ad Hoc Review Committee
on Nuclear Fusion Research and Development
(Ex-ante Evaluation in Fiscal Year 2003)

- Target of Evaluation: Department of Fusion Plasma Research and Development,
Department of Fusion Facilities -

Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute
Suehiro-cho, Kashiwa-shi, Chiba-ken

(Received September 10, 2003)

The Research Evaluation Committee, which consisted of 13 members from outside of the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), set up an Ad Hoc Review Committee on Nuclear Fusion Research and Development in accordance with the "Fundamental Guideline for the Evaluation of Research and Development (R&D) at JAERI" and the subsidiary regulations in order to evaluate the adequacy of the R&D programs to be implemented for five years starting from Fiscal Year 2004 at Department of Fusion Plasma Research and Department of Fusion Facilities in Naka Research Establishment. The Ad Hoc Review Committee consisted of eight specialists from outside of JAERI.

The Ad Hoc Review Committee conducted its activities from May 2003 to July 2003. The evaluation was performed on the basis of the materials submitted in advance and of the oral presentations made at the Ad Hoc Review Committee meeting which was held on June 9th 2003, in line with the items, viewpoints, and criteria for the evaluation specified by the Research Evaluation Committee.

The result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee was submitted to the Research Evaluation Committee, and was approved to be appropriate at the meeting held on August 4th 2003.

This report publishes the result of the evaluation by the Ad Hoc Review Committee on Nuclear Fusion Research and Development.

Keywords: Evaluation of Research and Development; Ex-ante Evaluation; Nuclear Fusion; Fusion Plasma; Fusion Facilities; JT-60; JFT-2M; ITER

目 次

はじめに

総合所見

1. 専門部会の目的	1
2. 評価の方法	1
2.1 核融合研究開発専門部会の構成	1
2.2 事前評価対象研究開発課題	1
2.3 評価のプロセス	2
2.4 評価項目及び評価基準	2
3. 核融合研究開発計画の概要	4
3.1 核融合研究開発の全体概要	4
3.2 炉心プラズマ研究部の研究開発課題	7
3.3 核融合装置試験部の研究開発課題	22
4. 事前評価結果	32
4.1 炉心プラズマ研究部の研究開発課題に関する評価結果	32
4.2 核融合装置試験部の研究開発課題に関する評価結果	40
4.3 その他全般的な所見	44
5. おわりに	45
参考資料 核融合研究開発に関する説明用OHP資料	49

Contents

Introduction

Executive Summary

1. Purpose of Ad Hoc Review Committee	1
2. Evaluation Method	1
2.1 Organization of the Ad Hoc Review Committee	1
2.2 R & D Plans for Evaluation	1
2.3 Evaluation Procedures	2
2.4 Items and Criteria for Evaluation	2
3. R & D Programs on Nuclear Fusion	4
3.1 Outline of R & D Activities of Nuclear Fusion	4
3.2 R & D Programs in the Department of Fusion Plasma Research	7
3.3 R & D Programs in the Department of Fusion Facilities	22
4. Results of the Evaluation	32
4.1 Evaluation Results for R & D Programs in the Department of Fusion Plasma Research	32
4.2 Evaluation Results for R & D Programs in the Department of Fusion Facilities	40
4.3 Other General Comments	44
5. Conclusion	45
Appendix	
Presentation Materials on R & D Activities	49

評価の経緯について

研究評価委員会事務局
(企画室・研究評価推進室)

研究評価委員会（委員長：西澤潤一 岩手県立大学長）は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成10年4月策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成10年4月策定、平成11年4月改正）に基づき、那珂研究所炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部の研究開発課題について、平成16年度からの5年間の計画の事前評価を実施するために、「核融合研究開発専門部会」を平成15年4月1日から発足させた。

核融合研究開発専門部会は、8名の外部専門家で構成され（部会長：高村秀一 名古屋大学教授）、平成15年6月9日に部会会合が開催された。同専門部会による評価は、研究評価委員会によって定められた実施要領に従って行われた。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成15年8月4日に「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15年8月4日に第11回研究評価委員会を開催し、同専門部会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。その結果、研究評価委員会は、同専門部会の評価結果が妥当なものと判断し、研究評価委員会委員長は、同報告書を平成15年8月4日付けて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 15 年度 日本原子力研究所 研究評価委員会 構成員

委 員 長	西澤 潤一	岩手県立大学長
委員長代理	秋山 守	(財)エネルギー総合工学研究所理事長
委 員	秋元 勇巳	三菱マテリアル(株)取締役会長
	菊田 惺志	(財)高輝度光科学研究センター理事
	草間 朋子	大分県立看護科学大学長
	小林 敏雄	(財)日本自動車研究所長
	齋藤 鐵哉	物質・材料研究機構監事
	白玉 良一	電気事業連合会原子力開発対策委員会委員長
	代谷 誠治	京都大学原子炉実験所長
	田川 精一	大阪大学産業科学研究所教授
	田中 知	東京大学大学院工学系研究科教授
	本島 修	核融合科学研究所長
	山崎 敏光	東京大学名誉教授

(委員については五十音順)

(平成 15 年 8 月現在)

はじめに

研究評価委員会核融合研究開発専門部会は、日本原子力研究所の那珂研究所炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部における平成16年度からの5カ年の研究開発計画を事前評価するために研究評価委員会により設置されたものであり、同委員会の定めた実施要領に従って、平成15年5月から同年7月にかけて研究評価を実施した。専門部会会合は、平成15年6月9日に開催した。

今回の事前評価の対象は、炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部の両部が平成16年度から平成20年度までに実施することとしている以下の研究開発課題及び業務課題である。まず、炉心プラズマ研究部の主要課題領域1は、発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発である。主要課題領域2は、ITER燃焼プラズマのための研究開発である。主要課題領域3は、理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化である。また、核融合装置試験部の主要課題領域1は、トカマク国内重点化装置への改修である。主要課題領域2はJT-60に関する業務課題で、装置の運転保守と機器管理である。なお、ITERに直接関係する核融合工学部及びITER開発室の研究開発計画及び原子力二法人統合に関する事項については、現段階では不確定の部分が多いので、評価の対象から除いている。

事前評価に当たっては、これら研究開発課題の目的及び意義、展望及び達成目標、研究の進め方、並びに、予想される成果の波及効果を検討するとともに、各部における研究開発の基本方針、資源配分、原研他部門及び外部機関との協力・連携、人材育成等についても検討した。

評価の具体的な進め方としては、まず、研究開発担当部署から提出された事前評価用資料に基づき、各委員から第一次の意見・質問等を求めて、これを集約した。次いで、専門部会会合を開催し、研究開発担当部署から事前評価用資料の説明及び一次評価で委員から出された質問に対する補足資料を用いた回答がなされ、これに対する質疑応答が行われた。その際、各委員から出されていた質問に対する詳細な回答書が別にあらかじめ用意された。その後に各委員から最終的な評価コメント及び5段階評価点を得て、これを評価結果として集約した。また、多様な意見は相互に矛盾することがあってもできるだけそのまま収録することとして、報告書案を取りまとめた。さらに、委員全員の報告書案のレビューを踏まえて、本報告書を完成させた。

本専門部会による事前評価の結果が、今後の核融合研究開発の展開に役立てられることを願うものである。

本専門部会の委員各位には、限られた研究評価期間の中で熱意溢れる御協力を賜ったことに対し、ここに深甚なる謝意を表する。

平成15年7月23日
核融合研究開発専門部会
部会長 高村 秀一

総合所見

ITER サイトが未だ決定せず、また原子力二法人統合を前にした不確定な状況の中で、提示された計画は全体的に良く練られている。特に、我が国における核融合エネルギー研究開発において、現時点で平成 16 年度から 5 年間の炉心プラズマ研究部の果たす役割を

- ① 発電実証プラントのための研究開発
- ② ITER 燃焼のための研究開発
- ③ 理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化

という 3 本柱に位置づけ、また核融合装置試験部の主要課題を

- ① トカマク国内重点化装置への改修
- ② 装置の運転保守と機器管理

に設定し、両部が車の両輪となって遂行してゆく研究計画並びにその戦略は高く評価される。昨今の核融合を取り巻く厳しい状況の中、文部科学省で行われた科学技術・学術審議会学術分科会基本問題特別委員会核融合ワーキンググループの評価結果をしっかりと踏まえ、産官学の強い連携協力の下、ITER などの国際的整合性を十分に取り込み、計画を進めようとする姿勢も妥当であると評価される。

本計画の実現性をさらに高め、魅力的かつ説得力のあるものにするという観点から、次の幾つかの要望と指摘があった。

- 1) 原子力二法人統合後においてもトカマク国内重点化装置を中心とする核融合研究計画が法人の目標として明記されること。
- 2) 長期にわたる研究であり、研究者の人員数と質の確保が継続的に保証されなければならない。この点について強い懸念がある。
- 3) 大学の役割、特に連携の強化と人材供給が重要である。原研としては若手研究者を大幅に受け入れることに十分配慮すべきである。
- 4) 産業界からの視点として、核融合炉の実現・実用性に向けて、核融合炉の簡略化を目指した研究内容も先進的に取り込んでいくことが望ましい。日本全体の核融合戦略の一環から見る必要があるが、産業界からの設計検討や R & D などのプリエンジニアリングに対する予算措置を含めた配慮をし、実用化

の可能性を高くする等の方策も必要であろう。

- 5) ITER はハイテク産業へ大きなインパクトを与えると共に産業界へ活力を与える牽引車の役割を果たすことを訴えていかなければならない。
- 6) ITER との国際的整合性については十分考慮されており、国内外のトカマク物理に関しては ITPA 活動を通して活動を強化する点は妥当であるが、これから現れてくるアジア（中国、韓国、インド）における超伝導トカマク装置による研究を核融合開発研究の中に位置づけていく戦略を持った国際的リーダーシップを原研が發揮することが期待される。
- 7) 市民にわかりやすい視点からの配慮と努力をますます強めていく必要がある。例えば、トカマク国内重点化装置といういかめしい名称ではなく、身近に感ずるネーミングの工夫や、計画内容を市民が魅力的と感ずるプレゼンテーションなどの説明責任を果たすことが求められている。これにも応えなければならない。
- 8) トカマク国内重点化装置計画において計画期間の後半にて Day-long 運転がある。このような運転は市民にとってもわかりやすく説得力があり、上記 5) の観点から重要であるにもかかわらず、その実現性において予算規模や技術的課題について踏み込んだ議論が不十分ではないか。
- 9) ITER とトカマク国内重点化装置が発電実証炉へ向けて果たす役割・意義並びに二つの計画のタイムテーブルを含めた研究戦略が非専門家ひいては一般市民にとっても理解できるような明瞭で分かりやすい説明を工夫することが大切である。例えば、「燃焼が起きた場合の内部輸送障壁や電流ホールに対する影響をどのように予測していくのか。現時点でも燃焼プラズマ中でもこれらの現象が安定に起きると予測しているとしたらその根拠は何か」について分かりやすい説明が必要である。また、DEMO に向けた自由境界限界ベータを超える実験については橙円度・三角度の運転空間の拡張で達成されると予想されるが、現 JT-60U ではトロイダル磁場コイル等の装置構成上不可能である。しかし、これらも現有装置ができるのではないかという問い合わせに明快に応える論理構成を示す努力が必要である。
- 10) トカマク国内重点化装置の計画では、主要機器は構造仕様発注を目指し、原研が設計・製作の取り合いと工程の管理など統合エンジニアリングを実施するとしている。その際には、産業界との十分な連携の下でエンジニアリングスケジュールを早急に立案して実行する必要がある。

This is a blank page.

1. 専門部会の目的

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、研究評価委員会の下に核融合研究開発専門部会を設置し、炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部における平成16年度から5カ年の研究開発課題の計画について事前評価を行う。

2. 評価の方法

2.1 核融合研究開発専門部会の構成(8名)

部会長：高村 秀一 名古屋大学大学院工学研究科 エネルギー理工学専攻 教授

評価委員：本島 修 核融合科学研究所 所長

専門委員：疋地 宏 大阪大学 レーザー核融合研究センター 教授

岡野 邦彦 財団法人電力中央研究所 狛江研究所 原子力システム部
上席研究員

大塚 道夫 (株)日立製作所 原子力事業部 先端技術ソリューション本部
核融合・超伝導応用システム部主管技師

大和田野 芳郎 産業技術総合研究所 電力エネルギー研究部門 研究部門長

団子 秀樹 九州大学 応用力学研究所 炉心理工学研究センター 教授

吉田 善章 東京大学大学院 新領域創成科学研究科
先端エネルギー工学専攻 プラズマ理工学講座 教授

2.2 事前評価対象研究開発課題

事前評価の対象となる課題は、以下に示す炉心プラズマ研究部及び核融合装置試験部における平成16年度からの研究開発課題及び研究支援業務課題の全般である(5年間の課題を視野に入る)。

なお、核融合工学部とITER開発室については、平成16年度以降の事業計画がITERの建設の判断や国内・国外立地の別に大きく左右され、現時点では研究評価を受ける状況にないで、ITERの帰趨がはっきりした時点で研究評価を実施する方針である(平成15年度中を想定)。

また、原子力二法人統合については、国の「原子力二法人統合準備会議」が平成14年8月5日に“原子力二法人の統合に関する基本報告”をまとめ、基本認識、基本理念、新法人の役割、組織運営のあり方等について基本的考え方方が示された。その基本的考え方を踏まえてより具体的な統合の検討を進める“第二フェーズ”を経て、平成15年9月末には最終報告書が出される予定である。したがって、本核融合研究開発専門部会評価においては、このような状況の中で評価が実施されることであり、統合後の事業のスコープは未だ明確には見えていない。したがって、各部における事業は統合後にも必要で、現状のままで存

続することを前提として、事業計画を事前評価用資料にまとめられた。ただし、既に廃止が決定している事業については、廃止のための事業計画に含めた。以下本事前評価で対象となる炉心プラズマ研究部と核融合装置試験部の主要課題領域を示す。なお主要課題領域1は評価対象が複数のプラズマ発生装置にわたっているため、各装置別に主要研究課題を設けた。

炉心プラズマ研究部：

主要課題領域 1：発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発

主要研究課題 1-1：JT-60による定常炉心プラズマ研究

主要研究課題 1-2：トカマク国内重点化装置への改修

主要研究課題 1-3：JFT-2Mによる先進材料プラズマ適合性試験

主要課題領域 2：ITER燃焼プラズマのための研究開発

主要課題領域 3：理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化

核融合装置試験部：

主要課題領域 1：トカマク国内重点化装置への改修

主要課題領域 2：装置の運転保守と危機管理

2.3 評価のプロセス

事前評価のプロセスは、1次評価及び2次評価の2段階を取った。1次評価においては、被評価部門から提出される評価用資料に基づき、下記の評価項目、評価の視点に沿った項目別の暫定的評価を行い、また必要に応じてその他の所見を示すとともに、被評価部門に対する質問事項があれば、これを示した。

2次評価においては、上記の評価用資料（追加の補足説明資料があれば、これを含む）及び専門部会における被評価部門からの説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に沿った項目別の最終的評価を行い、また必要に応じて、その他の所見を示した。これらを踏まえて、総合所見を取りまとめた。

2.4 評価項目及び評価基準

2.4.1 項目別評価

(1) 評価項目及び評価の視点 (「」内は評価の視点)

1) 当該部の研究開発の基本方針

(「研究開発の全体目標、主要な研究開発課題の編成、総合的推進方策、全体計画のスケジュールの妥当性」)

2) 各主要課題領域の計画 (主要課題領域ごとにa)～d) を評価)

a) 目的・意義 (研究開発の方向性、目的の妥当性)

b) 研究開発の達成目標

(「評価対象期間の展望の中での具体的な達成目標の妥当性」)

- c) 研究開発の進め方 (「研究開発手法、研究開発スケジュールの妥当性」)
- d) 予想される成果及び波及効果 (「成果及び波及効果の期待度」)

研究支援業務課題の評価については、上記 2)において、以下の評価項目、評価の視点を考慮する。なお、それらは、上記の研究開発課題に関する主要課題領域の計画の評価に含めることができる。

- a) 主要業務内容、目的・目標 (「業務の方向性、目的、目標の妥当性」)
- b) 業務の進め方、スケジュール (「業務計画の妥当性」)
- c) 他部門・他分野への予想される貢献及び波及効果 (「貢献等の期待度」)

3) 資源の配分計画

(「研究開発に係る資金、人員の配分の妥当性」)。研究支援業務については「業務に係る予算、人員の配分の妥当性」を含む)

- 4) 原研他部門との協力・連携 (「原研内での協力・連携の妥当性」)
- 5) 外部機関との協力・連携 (「外部との協力・連携の妥当性」)
- 6) 人材育成の施策
(「研究者・技術者の人材育成施策の妥当性」)。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)

(2) 評価の基準

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

2.4.2 その他の所見

上記の視点以外の特記すべき所感、問題点、提言等を示す。

3. 核融合研究開発計画の概要

3.1 核融合研究開発の全体概要

3.1.1 核融合研究開発の全体目標

核融合エネルギー生産システムの早期実現を目指し、国際熱核融合実験炉（ITER）計画、炉心プラズマ研究、及び核融合炉工学技術開発を総合的に推進する（図3.1-1）。

本研究開発は、将来のエネルギーの安定供給の選択肢を与え、経済、社会のニーズに応えるために、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）に基づいて実施するものである。第三段階核融合研究開発基本計画では、以下の通り定めている。

「自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現、並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成を主たる目的とし、トカマク型の実験炉（ITER）を中心装置としつつ、実験炉による研究開発だけでは十分解明できない炉心プラズマ分野の課題を解明するための補完的な研究開発及び実験炉を含む各段階の中核装置に新技術を取り入れる前に確認実証等を行うための先進的研究開発を行う。さらに、核融合炉の実用化のために必須の炉工学技術であって、その実現までに長期間の研究開発を必要とするため早期に開始する必要のあるものについて、その研究開発を進める。実験炉に係わる開発、試験及び研究については、日本原子力研究所が担当する。実験炉以外の開発研究は、大学、国立研究機関及び日本原子力研究所が相互の連携・協力により進める。」

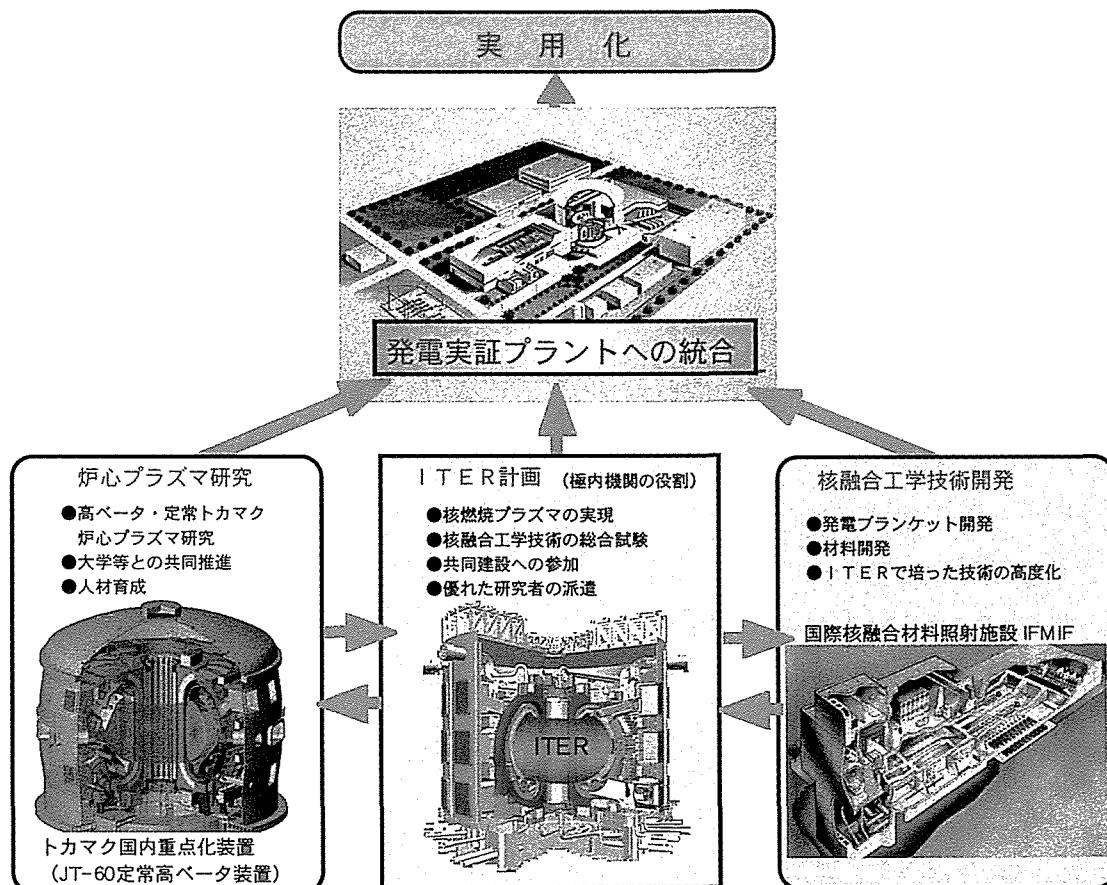


図3.1-1 核融合エネルギー開発の展開

3.1.2 原研の使命と役割

原研の使命は、科学技術・学術審議会 学術分科会 基本問題特別委員会 核融合研究ワーキンググループの報告（平成 15 年 1 月 21 日科学技術・学術審議会で了解）にもあるように、我が国におけるトカマク型核融合システム開発の中核的機関として、上記の全体目標の達成を目指した研究開発を遂行し、発電実証プラントの開発に集約・統合することである。これらの遂行にあたり、原研は、国際事業である ITER 計画と国内開発アクティビティーを結合させる極内機関として、双方向の人材の流れを形成するとともに、実験研究への積極的な参加と成果をわが国へ還流する役割を担う。また、発電実証プラントに必要な炉心プラズマ技術開発／核融合炉工学技術開発を、大学等及び産業界との密接な連携の下に実施し、同時に、ITER 計画を主導する人材を育成する（図 3.1-2）。

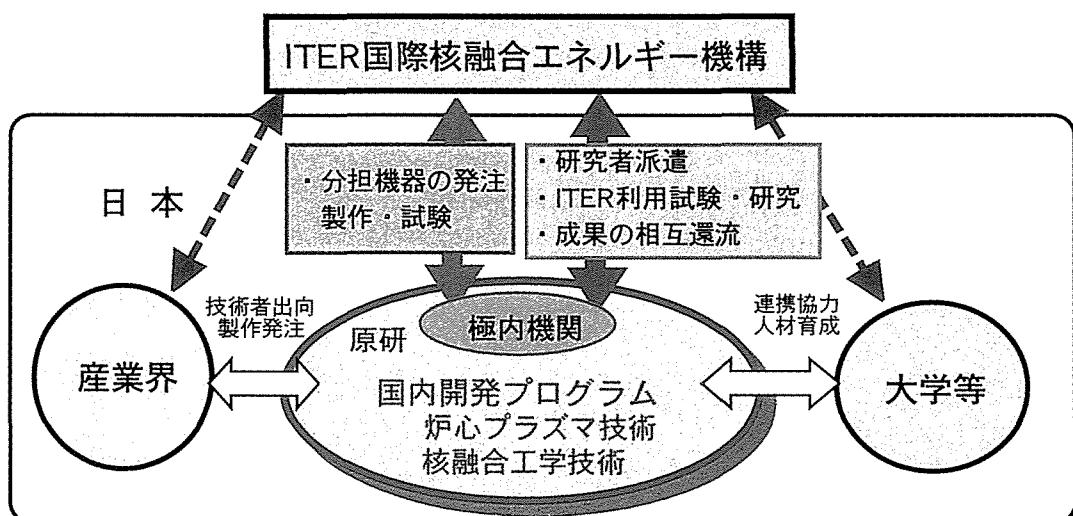


図 3.1-2 原研の国内・国際的役割

(1) ITER 計画

燃焼プラズマの実現及び核融合炉工学技術の総合試験を目的とする ITER 計画を、極内機関として推進する。工学設計活動を通して培った経験にもとづき、ITER 建設における我が国が分担する機器の製作・物納の役割を担うとともに、ITER を主導する人材を供給する。

(2) 炉心プラズマ研究開発

ITER 計画における燃焼プラズマ研究開発を主導するとともに、発電実証プラントの実現に必要な経済性及び環境適合性の向上を目的とする定常高ベータ化研究開発を総合的に推進し、統合された炉心プラズマ技術を確立する。

その実施にあたっては、総合科学技術会議による「国内の核融合研究については、重点化・効率化を図りつつ、ITER 計画と有機的に連携する体制を構築すること」（平成 14 年 5 月閣議了解）との決定と科学技術・学術審議会 学術分科会 基本問題特別委員会核融合研究ワーキンググループの報告の下、我が国におけるトカマク炉心プラズマ研究

の中核機関として JT-60 及びその超伝導化改修 (JT-60 定常高ベータ化計画) による「トカマク国内重点化装置」を用いた共同企画・研究を積極的に推進する。「トカマク国内重点化装置」は、上記核融合研究ワーキンググループにより、わが国において今後新規に着手すべき 3 つの重点化課題の一つとして、優先する必要があると報告された計画であり、これを、計画段階から大学等との密接な連携協力で推進する。

(3) 炉工学技術開発

高いトリチウム増殖性能と発電効率を有するブランケットの開発、及び優れた耐照射性と低放射化特性を有する構造材の開発を中心とした研究開発を行うとともに、ITER 工学 R&D 活動で培った炉工学技術の高度化を進める。特に、材料開発においては、科学技術・学術審議会で重点化すべき課題の一つであると了解された「核融合材料照射試験装置 (IFMIF) 計画」を推進する。

なお、本事前評価では、ITER 計画及び関連性の高い炉工学技術開発に関して平成 16 年度以降の事業計画が建設の判断や国内・国外立地の別に大きく左右され、現時点で研究評価を受ける状況にないため、炉心プラズマ研究開発に係る炉心プラズマ研究部、及び核融合装置試験部の 2 部門を対象とする。

3.1.3 研究開発の主な成果

両部の平成 11 年度から平成 15 年度までの主要な成果は、以下の通りである。

(1) 炉心プラズマ研究部

ITER 計画の目標達成と核融合発電の早期実証に向けた炉心プラズマ研究開発を推進した。特に、JT-60 で発見された内部輸送障壁と高い自発電流割合に基づく先進トカマク運転の開発を精力的に進め、電流ホールの発見等の独創的な実験、解析及び理論研究の成果により、世界最高の炉心プラズマ性能を実現するとともに定常トカマク核融合炉の概念を確立した。これらの成果に基づいて、高ベータ化と定常化という炉心プラズマの研究開発の方向性を明確にするとともに、ITER の低コスト化設計を先導した。この間、多岐に亘る物理研究により、ITER 物理 R&D 活動及びそれを引き継ぐ国際トカマク物理活動を主導した。JFT-2M においては、高閉じ込めプラズマと先進材料との適合性を実証する等の成果を上げた。

(2) 核融合装置試験部

JT-60 及び JFT-2M 両装置の性能を維持・管理するとともに、実験運転を実施し、炉心プラズマ研究開発の進展に貢献してきた。運転に並行して、負イオン源中性粒子入射装置の改良、電子サイクロトロン加熱装置の開発、プラズマ断面可視化システムの高速化、固体重水素ペレット入射装置の開発等を行い、プラズマの高性能化と定常化を大きく進展させた。一方、JT-60 に超伝導コイルを導入するトカマク国内重点化装置計画においては、炉心プラズマ研究部と協力して装置本体の工学設計、主要機器の技術開発を行い、技術的課題を解決して改修への展望を得た。

これらの成果を基盤として、今後5年間の開発研究を展開して炉心プラズマ研究開発及びITERの燃焼プラズマのための研究と計測機器の開発を推進するとともに、発電実証プラントの早期実現に向けた一躍を担うものである。以下にこれらの研究開発について述べる。

3.2 炉心プラズマ研究部の研究開発課題

3.2.1 炉心プラズマ研究部の特徴

(1) 研究開発の理念、目的・意義

炉心プラズマ研究部の目標は、核融合エネルギーの早期実現を目指して、ITER計画における燃焼プラズマのための研究開発を進めるとともに、発電実証プラントの実現に必要な経済性及び環境適合性の向上を目的とする定常高ベータ化研究開発をITERとの密接な連携の下に推進し、統合された炉心プラズマ技術を確立することである。そのため、

- ① 発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発
- ② ITER燃焼プラズマのための研究開発
- ③ 理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化

を主要な研究領域とし、JT-60及びJFT-2Mによる実験・解析、燃焼プラズマ理論・シミュレーションの研究を有機的に展開する(図3.2-1)。さらに、科学技術・学術審議会 学術分科会 基本問題特別委員会 核融合研究ワーキンググループにより、わが国において今後重点化すべき3つの課題の1つとして優先する必要があると報告(平成15年1月科学技術・学術審議会で了解)された「トカマク国内重点化装置計画」(JT-60定常高ベータ化計画)を、計画段階から大学、核融合科学研究所、国立研究機関(以下、大学等と記す)との密接な連携協力で推進する。

(2) これまでの実績・成果

炉心プラズマ研究部では、一貫してITER計画の早期目標達成と核融合エネルギーの早期実現に向けた炉心プラズマ研究開発を推進してきた。特に、JT-60が発見した内部輸送障壁の形成による高い閉じ込めと高い自発電流割合を持った完全非誘導電流駆動によって特徴づけられる先進トカマク運転の開発を精力的に進め、独創的な実験、解析及び理論研究の成果により、世界最高の炉心プラズマ性能を実現するとともに定常トカマク核融合炉の概念を創出・確立した。これらの成果に基づいて、高ベータ化と定常化と

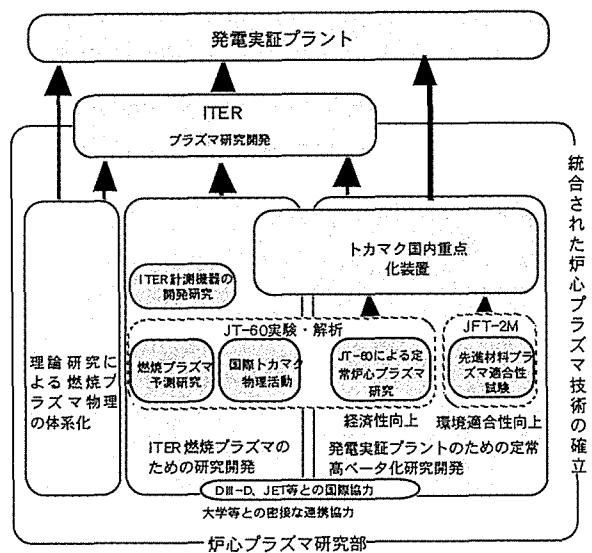


図3.2-1 炉心プラズマ研究開発の構成

いう炉心プラズマの研究開発の方向性を明確にし、ITER の低コスト化設計を先導した。最近の代表的な研究成果は、先進トカマク運転の実証・性能向上、及び高総合性能の達成、高ベータでの安定性を確保する帰還制御の実証、電流ホールの発見及び世界最高の電子温度 3 億度の達成等であり、353 件（平成 11 年度以降）の学術論文に纏められている。この間、多岐に亘る物理研究により、ITER 物理 R&D 活動及びそれを引き継ぐ国際トカマク物理活動を主導した。

3.2.2 主要課題領域

(1) 主要課題領域 1 発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発

1) 目的・意義及び達成目標

発電実証プラントに必要となる経済性と環境適合性の向上という二つのブレークスルーを拓く。経済性の鍵である高出力密度の連続運転のためには、定常高ベータ運転の実現が不可欠である。加えて、低い循環電力の下で定常運転を行うためには、高自発電流割合での完全非誘導電流駆動が必要である。一方、環境適合性の向上のためには、高 β ・ γ 廃棄物量を低減する必要があり、そのため、ブランケット構造材料として有力な低放射化フェライト鋼と高性能プラズマの適合性を実証することが重要である。当該部では、これまでの研究開発を継続的に発展させ、以下を実施することとしている。

a) JT-60 による定常炉心プラズマ研究（主要研究課題 1-1）

イ) 定常高ベータ化研究（表 3.2-1）

JT-60 の放電時間を 65 秒に伸長し、先進トカマク運転の下に定常高ベータ化研究の新領域を開拓する。安定性及び粒子制御の対象領域を電流分布緩和時間及び粒子壁飽和時間程度の時間スケールに拡張する。同時に、ダイバータ熱制御研究を世界最大の加熱入射エネルギー領域に拡張する。この新領域において、電流・圧力分布制御、粒子供給・排気等で構成される複合帰還制御の基盤形成及び高ベータ（規格化ベータ値 $\beta_N=2.2.5$ ）・高自発電流割合（70-80%）の長時間維持を実現する。先進トカマク運転の性能を更に向上させるとともに、高ベータ、高密度、高閉じ込め、高自発電流割合、高燃料純度等を同時に満足する高総合性能を実現し、ITER の定常運転に必要な総合性能を実証する。また、米国の DIII-D 装置との抵抗性壁モードの安定化等に係わる共同研究、国内装置との定常化に係わる共同研究を実施する。以上により、トカマク国内重点化装置に必要な定常高ベータ化制御の基盤を確立する。

表 3.2-1 JT-60 の定常高ベータ化研究における達成目標

先進トカマク物理と分布制御基盤の確立
・電流ホール、内部輸送障壁及び周辺輸送障壁の、加熱・電流駆動・運動量注入・粒子供給に対する応答特性を明らかにする。その成果に基づき、負イオン源中性粒子ビーム、電子サイクロトロン波、低域混成波を含む世界で最も多彩な加熱・電流駆動を用い、トカマクの高ベータ安定性（規格化ベータ値～2.2.5）の

定常維持に必要な電流、圧力及び回転分布の制御基盤を確立する。
先進トカマク運転の性能向上
・上記加熱・電流駆動装置の性能向上を進め、先進定常運転の性能を向上し、完全非誘導電流駆動状態における核融合合積（現在 $3.1 \times 10^{20} \text{m}^3 \text{skeV}$ ）を更新する。
先進トカマク運転の新たな時間スケールへの拡張
・放電時間を現在の 15 秒から 65 秒に伸長（高加熱入力時間を現在の 10 秒から 30 秒に）し、電流分布緩和時間及び粒子壁飽和時間程度の時間スケールにおける高温高圧力炉心プラズマの安定性及び熱・粒子制御研究を開拓する。 ・複合先進能動帰還制御（大域的電流分布制御、圧力勾配制御、密度・不純物・放射パワー制御、局所電流駆動による新古典テアリングモード制御等の実時間同時制御）により高ベータ値 ($\beta_N=2-2.5$)、及び高自発電流割合 (70-80%) の維持時間を伸長 (30 秒) するとともに、その制御手法を確立する。
ダイバータ熱制御領域の拡大
・上記放電時間の伸長により、高性能ダイバータプラズマにおける熱制御の高加熱入射エネルギーまでの拡張（これまでの 0.2GJ から 0.6GJ：ダイバータ装置として世界最大）と課題抽出を行う。
高総合性能の実証
・高ベータ(規格化ベータ値=2-3)、高密度(規格化密度=0.8-1)、高閉じ込め（閉じ込め改善度=1.5）、高自発電流割合(70 -80%)、高燃料純度(=70-80%)、放射パワー比 (=70-80%) 等の同時達成を目的とする放電開発を進め、ITER の定常運転に必要な高総合性能を実証する。

ロ) 先進計測の開発（表 3.2-2）

JT-60 及びトカマク国内重点化装置に必要な計測技術の開発を推進する。

表 3.2-2 先進計測の開発における達成目標

境界プラズマの密度揺動計測
・ガスパフによる局所的なプラズマ発光を高速カメラで測定することにより、境界プラズマの密度揺動と揺動の波数を測定する計測装置の開発を行う。
ビームエミッション分光計測
・プラズマ内部の揺動測定装置を大学等と共同で開発し、輸送障壁形成におけるプラズマ揺動を詳細に測定する。また、異常輸送とプラズマ揺動の関係解明に挑戦する。
周辺・ダイバータトムソン散乱計測
・ダイバータ及び X 点近傍の電子温度と密度分布を測定できるトムソン散乱計測装置を開発し、境界プラズマの物理機構解明とダイバータにおける熱・粒子制御に貢献する。
Li ビーム周辺電流分布計測
・Li ビームによる周辺の詳細電流・密度分布測定装置を開発し、ELM の制御法確立に貢献する。

ハ) 定常高ベータプラズマ解析コードの開発（表 3.2-3）

定常高ベータ化実験に必要な解析コードの開発・改良を続ける。

表 3.2-3 定常高ベータプラズマ解析コードの開発における達成目標

抵抗性壁モード安定化制御解析コードの開発
・自由境界理想 MHD 安定限界を超える高ベータ値を達成するため、真空容器壁、外部コイル、加熱・電流駆動、プラズマ回転効果を含んだ抵抗性壁モード安定化制御解析コードの開発を行う。
軸対称 MHD コードの改良
・ELM や内部崩壊等の摂動に対するプラズマ諸量の空間分布、位置・形状等の非線形応答の解析を行うため、TSC コードに熱・粒子輸送効果を含める改良を行う。
非定常輸送解析コードの改良
・自律系プラズマの分布制御法確立のため、内部輸送障壁、分布硬直性等のモデルを含める改良を行う。
プラズマ異常検出コードの開発
・JT-60 及びトカマク国内重点化装置等の定常高ベータ運転制御のため、プラズマの実時間計測とプラズマ輸送・MHD の実時間解析によるプラズマ異常検出コードの開発を行う。

ニ) 遠隔研究参加環境整備

大学等との連携協力の効率的推進のため、遠隔実験操作システム、実験結果のリアルタイム配信システム、遠隔協調解析システム等の開発を行い、「核融合研究グリッド」を構築する。これらは、ITER における国内解析研究体制の礎となる。

b) トカマク国内重点化装置への改修（主要研究課題 1-2）

本装置は JT-60 を改修し、世界有数の既存設備を活用しつつ、臨界級のプラズマ性能をもった超伝導装置とし、機動性と自由度を最大限確保できるものとし、発電実証プラントで必要な高ベータ(自由境界理想 MHD 安定限界を超える規格化ベータ値 $\beta_N=3.5\sim 5.5$)・非誘導電流駆動プラズマを、無衝突プラズマ領域において電流拡散時間を上回るタイムスケール (100 秒程度以上) で定常に維持することを目的とする。また、発電実証プラントのプランケット構造材料として有力な低放射化フェライト鋼と無衝突・高ベータプラズマとの適合性を実証する。同時に、圧力分布と電流分布が強く結合した高自発電流割合における自律的かつ多階層なプラズマシステムの定常制御法を確立する。また、材料内粒子拡散や放電中の材料改質の影響を調べるために、数時間から日単位の連続運転の可能性を検討する。

これまで、以上の目標に向けた基本設計を行い、ITER では実験することのできない高プラズマ断面形状因子 ($S (=q_{95}L/aB_i) \sim 6$) やより低いアスペクト比 ($A < 3$) まで運転可能領域を広げた。今後は、主要機器の製作に並行し、表 3.2-4 に示す物理的設計・検討を実施しつつ、計測システムの再取り付け検討を行う。

表 3.2-4 トカマク国内重点化装置の物理設計における達成目標

高ベータプラズマ制御の検討・評価
・定常高ベータ化のためのプラズマ形状及び電流・圧力・回転分布の最適化とその制御性評価

<ul style="list-style-type: none"> 抵抗性壁モードの安定化用セクターコイルの設計と制御アルゴリズムの構築 低放射化フェライト製安定化板の設置方法の最適化とプラズマ性能の評価 新古典テアリングモードの長時間安定化のための制御手法の構築 ディスラプション回避・緩和のための制御手法の構築
放電制御・運転シナリオの検討・評価
<ul style="list-style-type: none"> プラズマ位置不安定性の安定化に用いる高速位置制御コイルの設計と制御手法の構築 安定限界を考慮した定常高ベータ運転制御シナリオの構築、及び加熱・電流駆動シナリオの最適化 アルファ粒子加熱を中心加熱ビーム・高周波で模擬した核燃焼模擬シナリオの構築 超長時間運転の実証に向けた位置・形状制御、熱・粒子制御、電流分布制御等の運転シナリオ構築
先進ダイバータの開発
<ul style="list-style-type: none"> 定常高ベータ運転と両立する先進ダイバータの設計と性能予測、及び金属ダイバータの検討・評価 超長時間運転に必要なダイバータ・第一壁構造の検討・評価、壁材料が及ぼす影響に関する調査と評価
計測システムの詳細設計と計測機器再取り付け検討
<ul style="list-style-type: none"> 定常高ベータプラズマ及び臨界条件クラスの無衝突プラズマを診断・制御するために必要な計測装置システムの詳細設計。及び計測機器の再取り付けの検討。

c) JFT-2M による先進材料プラズマ適合性試験（主要研究課題 1-3）

これまで、低放射化フェライト鋼と高閉じ込めプラズマとの適合性の実証を目指す先進材料プラズマ試験計画を進め、基本的な適合性を明らかにした。本試験の最終段階として、対象を高ベータ領域（規格化ベータ値 $\beta_N > 3$ 、フェライト鋼第一壁の磁場浸透時間程度の維持）に拡張し、プラズマをフェライト鋼壁に近接させた状態での高ベータ安定性（抵抗性壁モードの安定化効果の劣化等）に及ぼす影響を評価する（表 3.2-5）。これにより、先進材料プラズマ試験を完結させ、結果を平成 17 年度に予定されている原子力委員会材料 C&R に報告する。

表 3.2-5 JFT-2M による先進的プラズマ技術の開発研究における達成目標

先進材料プラズマ試験
<ul style="list-style-type: none"> 運転領域を拡大し、フェライト鋼壁に近接するプラズマ配位を実現する。その配位において、自由境界理想 MHD 安定限界を超える高ベータ（規格化ベータ値 ≥ 3.5）プラズマを生成し、高ベータプラズマと近接フェライト鋼壁の適合性を実証する。 中性粒子ビームによる運動量入射でプラズマ回転による安定化を図り、高ベータ化の展望を拓く。
高閉じ込め・高ベータ化研究
<ul style="list-style-type: none"> 最近 JFT-2M が発見した高リサイクリング定常 H モードの性能を詳細な分布計測を基に評価するとともに、密度・電位揺動計測から閉じ込め改善機構を解明する。 高三角度配位（三角度=0.5~0.7）の特性を評価する。 コンパクトトロイド (CT) による燃料粒子供給過程の解明と 60%以上の燃料供給効率の達成。

2) 年次的進め方

主要課題領域 1 の進め方を図 3.2-2 に示す。JT-60 においては、「定常高ベータ化研究」

を実施する。また、その解析・制御に必要な計測技術の開発を行う。平成18年度より、トカマク国内重点化装置への改修に伴う再使用機器の保管維持期間に移行する。この保管維持期間中、米国 DIII-D 装置や国内装置等との国際・国内共同研究により、定常高ベータ化研究を継続するとともに、定常高ベータプラズマ解析コードの開発を行う。また、トカマク国内重点化装置の整備計画に沿って計測装置の改良と移設の準備を進める。加えて、遠隔研究参加環境の整備を行う。

JFT-2Mにおいては、平成16年度で先進材料プラズマ適合性試験計画を完了し、成果を、平成17年度に予定されている原子力委員会核融合専門部会に報告する。

トカマク国内重点化装置に関しては、平成16年度から超伝導コイル等の材料調達を開始し、制御系等の詳細設計を行う。平成17年以降、材料等の調達、製作、据付け、試験を行い、平成21年度後半に運転を開始する予定である。

年 度	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年
JT-60	実験運転			(保管維持)	
トカマク国内重点化装置	改修				平成21年度運転開始
JFT-2M	実験運転	▲ 材料C&R (原子力委員会)			
JT-60による定常炉心 プラズマ研究	放電時間65秒化(NB加熱・電流駆動30秒, RF電流駆動60秒) 先進トカマク物理と分布制御基盤の確立 先進トカマク運転の性能向上 先進トカマク運転の新たな時間スケールへの拡張 規格化ベータ値=2-2.5、自発電流割合=70-80%の30秒間維持 600MJ ダイバータ熱制御領域の拡大 高い総合性能の実証				
ダブレットII等高ベータ化協力研究 国内装置での定常化研究					
JFT-2Mによる先進材 料プラズマ適合性試験	近接先進材料壁と自由境界限界を超える高ベータ値の適合性実証 高閉じ込め・高ベータ化研究				
トカマク国内重点 化装置への改修	先進ダイバータの開発 高ベータプラズマ制御の検討・評価 放電制御・運転シナリオの検討・評価 計測システムの詳細設計と計測機器再取り付け検討				

図 3.2-2 主要課題領域1（発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発）の進め方

3) 予想される成果と波及効果

本主要課題領域の目的を達成することで、発電実証プラントに必要な経済性と環境適合性の向上という二つのブレークスルーを拓くことができる。

JT-60における定常高ベータ化研究は、自律性の高いプラズマにおける高総合性能を達成するために必要な制御基盤を確立し、ITERの定常運転及びトカマク国内重点化装置の目標達成に大きく貢献する。引き続き、世界中の核融合研究者が挑む目標に対して

顕著な成果を示すことで、21世紀の核融合の先導役として中心的役割を果たすと期待される。JFT-2Mにおける先進材料プラズマ試験は、核融合炉構造材料の開発の方向性を決定し、その技術基盤を構築する。トカマク国内重点化装置による定常高ベータ化研究及びITER計画による燃焼プラズマ研究により、定常核融合炉への展望が初めて得られ、核融合エネルギーの早期実現が可能となる。このように我が国が独自に築き上げた核融合研究開発のインフラストラクチャーを維持・発展することは、先端的エネルギー開発の主導権を握り、高度科学技術に関する国際競争力を確保することに結びつく。

原研と大学等が共同で企画・推進する本研究活動は、ITERの建設期から実験期に亘る計画全体を通じて、ITER計画を主導する人材と科学技術を継続的に提供するとともに、ITERの成果をわが国に環流するために不可欠な国内研究基盤を与える。

(2) ITER燃焼プラズマのための研究開発（主要課題領域2）

1) 目的・意義及び達成目標

ITERの燃焼プラズマは、自己加熱が支配的な加熱源となる自律性の高い新たなプラズマ領域である。このような領域において、プラズマの要素性能の整合をとりつつ燃焼を制御する制御システムと制御ロジックを確立するため、以下を実施する。

- a) JT-60によるITER燃焼プラズマ制御に必要な物理研究と国際トカマク物理活動
ひき続き、国際トカマク物理活動の重要課題解決のための研究を行う(表3.2-6)。

表3.2-6 国際トカマク物理活動の重要課題解決のための達成目標

内部輸送障壁と輸送物理
<ul style="list-style-type: none"> ・内部輸送障壁を有する炉心級プラズマの特性理解（先進&ハイブリッド運転に向けた実証放電の改善、電子温度～イオン温度での高性能実証、高Z及び低Z不純物蓄積、周辺条件との整合） ・国際データベースの解析、及び理論に立脚した予測モデルの検証、内部輸送障壁形成条件の解明 ・揺動計測との比較、予測コード間比較及び輸送スケーリング則比較 等
閉じ込め、データベース、モデリング
<ul style="list-style-type: none"> ・国際データベース、解析ツール、物理モデルの提供 (L及びHモード閉じ込め、LH遷移しきい値) ・データベースを用いた巨視及び局所閉じ込めモデルのテスト、及び核燃焼性能と不確定性の予測
周辺及びペデスタル物理
<ul style="list-style-type: none"> ・ペデスタル分布の構造予測能力の向上及び物理に立脚したペデスタル量経験則の構築 ・ELM制御（振幅及び周期）及び小振幅ELM/QHモード領域到達の予測能力向上
スクレイプオフ層及びダイバータ物理
<ul style="list-style-type: none"> ・ELM及びディスラプションのダイバータ及び周辺プラズマ構造への影響理解 ・第一壁のトリチウム吸蔵・放出及びその機構、及びSOLプラズマ&第一壁相互作用の理解の向上 ・核燃焼プラズマ実験のための輸送係数及び境界条件の評価向上

MHD 安定性、ディスラプション及び制御
<ul style="list-style-type: none"> 周辺輸送障壁の安定性（タイプ I ELM 及び小振幅 ELM の MHD 安定性解析） 新古典テアリングモード及び抵抗性壁モードの発生条件の解明と安定化手法の開発 標準及び先進運転の新ディスラプションデータベース構築（含、壁負荷データ）
定常化及び高エネルギー粒子
<ul style="list-style-type: none"> 定常&ハイブリッド運転の候補手法提供、定常運転手法データベース提供。 高ブートストラップ電流プラズマの開発と領域拡大、及び負磁気シア運転領域の調査 加熱及び電流駆動計算コードのベンチマーク（ICRF、NBCT、LHCD、ECCD）
計測
<ul style="list-style-type: none"> 中性子 & α 粒子発生分布計測への要求と計測手法のレビューと開発 先進トカマク運転に必要な最低限の計測要求の決定と計測手法の調査 磁気計測の照射誘起起電力評価とプロトタイプコイルにおける計測性能の向上等

b) ITER 燃焼プラズマの予測研究（表 3.2-7）

JT-60 の実験・解析結果を基に自律燃焼系プラズマの物理モデルを構築し、解析コードの開発・統合を進め、ITER の性能評価・予測、及び制御手法の最適化を行う。

表 3.2-7 ITER 燃焼プラズマの予測研究における達成目標

自律性燃焼プラズマ解明
<ul style="list-style-type: none"> JT-60において、α 粒子加熱を垂直ビーム加熱で模擬し、接線ビーム等を用いた加熱・電流運動による制御性を評価する「燃焼模擬実験」を実施する。また、長時間帰還制御の R&D を実施する。並行して非定常輸送特性解析コード (TOPICS) の整備を実施する。これらにより、ITER で初めて実現される自律性の高い燃焼プラズマ（核融合出力が追加熱より大きく、且つ自発電流が外部入力による非誘導電流より大きい）での圧力、電流、回転等の分布制御法を開発し、定常燃焼プラズマへの指針を得る。
核融合燃焼制御
<ul style="list-style-type: none"> 非定常輸送特性解析コード (TOPICS) とダイバータプラズマ輸送コード (SONIC) を結合する。燃料供給、追加熱・電流運動、不純物入射等による熱除去・粒子排気と両立する核融合燃焼制御法を検討・確立する。
プラズマ位置・形状制御
<ul style="list-style-type: none"> 軸対称 MHD コード (TSC) の整備により、超伝導装置であることによる応答性能や AC 損失等の限界を考慮した、外乱 (ELM、内部崩壊等) に対する燃焼プラズマの位置・形状制御法の最適化を行う。
燃焼プラズマの閉じこめ特性改善
<ul style="list-style-type: none"> 燃焼プラズマにおける内部および周辺輸送障壁形成の非局所性や応答特性を解明し、物理モデルを構築して、輸送特性解析コード (TOPICS) に組み込み、高閉じ込め燃焼プラズマの定常制御法の指針を得る。
周辺プラズマとダイバータプラズマの両立性
<ul style="list-style-type: none"> ペデスタルや ELM 等の周辺プラズマの物理モデルを構築し、ダイバータ解析コード (SONIC) に組み込み、高閉じ込めコアプラズマと非接触プラズマの定的な両立性を解明し、ITER 運転シナリオへの指針を与える。
燃焼プラズマ運転限界とディスラプション
<ul style="list-style-type: none"> MHD 安定性及び輸送解析コードにより高ペータ・高自発電流の燃焼プラズマの安定な運転領域を明らかにする

る。ペレット入射等によるディスラプション緩和やニューラルネットワークによる回路法を検討・確立する。
高エネルギー粒子挙動
・高エネルギー粒子による MHD 安定性解析コードおよび粒子損失コード(OFMC)の整備を行い、輸送解析コード(TOPICS)との結合により、燃焼制御への指針を得る。

c) ITER 計測機器の開発研究（表 3.2-8）

当該部では、JT-60、JFT-2M、及び ITER の R&D における計測機器開発の実績に基づき、ITER の基幹計測機器の一部を国際分担の下に開発・調達する。このような基幹計測機器に加えて、CO₂ レーザー協同トムソン散乱装置等の先進計測装置の開発を行う。

表 3.2-8 ITER 計測機器の開発研究の達成目標

ITER の基幹計測システムの調達（初期調達予定分）
・基幹計測システムの一部を、これまでの実績と貢献から評価し、国際分担の下に開発／調達する。
先進計測装置の研究開発
・JT-60 での原理検証と詳細設計により、CO ₂ レーザー協同トムソン散乱装置、損失 α 粒子検出器を開発する。核融合科学研究所との協力により、イメージング・ボロメータを開発する。

2) 年次的進め方（図 3.2-3）

全期間を通じ、JT-60 による燃焼プラズマ開発に必要な物理研究と国際トカマク物理活動、ITER 燃焼プラズマの予測研究、ITER 計測機器の開発研究を実施する。

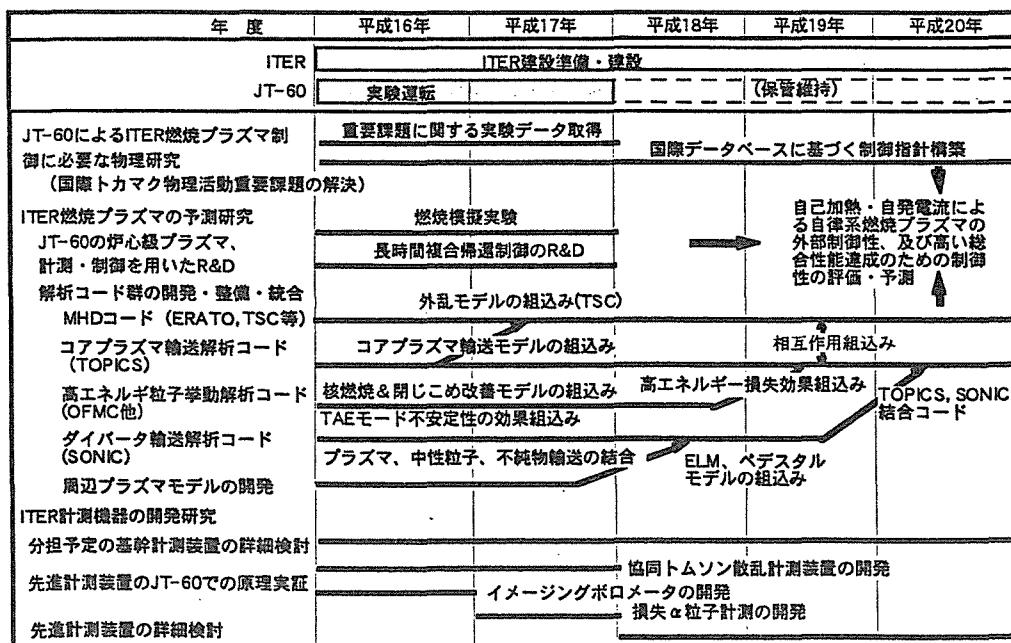


図 3.2-3 主要課題領域 2 (ITER燃焼プラズマのための研究開発) の進め方

3) 予想される成果と波及効果

JT-60 の炉心級プラズマと多彩なプラズマ制御・計測機器を駆使した研究、及び、物理モデルの構築と解析コードの高度化により、ITER の燃焼制御に必要な物理・技術基盤を提供することができる。これらはまた、複雑系の物理現象の理解や複合帰還制御技術の発展に波及すると期待される。計測開発に関しては、新たな検出器の開発、高周波に関する新技術の創出、高性能レーザーの開発等を促進するため、他分野への波及効果も期待できる。当該部の大きな特長は、ITER 燃焼プラズマの検討・予測研究を行う研究者が、同時に世界をリードする実験・解析、及び計測機器開発を行っている点にあり、ITER 活動における大きな主導性につながる。

(3) 主要課題領域 3：理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化

1) 目的・意義及び達成目標（表 3.2-9）

高いベータ値を有する散逸の微少な高性能プラズマは、多様な“構造”をプラズマ中に形成することで達成されている。そこでは、時空間スケールの異なる様々な物理階層における揺らぎと、それら揺らぎ間の複合的な相互作用が本質的な役割を果たしている。本研究では、この“多階層・複合系プラズマ”としての特性を支配する物理法則を理解・体系化する。このため、第一原理手法によるコード開発と、大規模シミュレーションを系統的に推進する数値トカマク実験（NEXT）計画を実施する。これにより、高い自律性を持った高性能燃焼プラズマの制御に指針を与える。本研究では、幅広いダイナミックレンジの物理現象を統一的に取り扱う過去に例を見ない先進的課題を扱う。地球シミュレータ等の日本の計算科学技術を最大限駆使・牽引することにより他国では実現できない大規模シミュレーションを実施する。

表 3.2-9 理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化における達成目標

輸送特性に関する理論研究
<ul style="list-style-type: none"> ・捕捉電子等の電子系の非断熱応答特性および電磁ドリフト運動効果を取り入れたジャイロ運動論モデルを構築し、高精度の非線形トロイダル乱流輸送コード（GT3D）を開発する。これにより、実形状でのイオン系・電子系を区別した乱流及び層流構造、電場構造の同定と輸送特性の定性的・定量的評価の実現を図る。 ・アルフェン波を考慮した燃焼プラズマの MHD モードの評価が可能な、ジャイロ運動論モデルに基づく線形及び非線形トロイダルコード（GT3DEM）を開発する。これにより、TAE や Fish-bone に代表される燃焼プラズマにおける高エネルギー粒子運動の運動論的 MHD モード構造を同定する。
MHD 特性に関する理論研究
<ul style="list-style-type: none"> ・高ベータトロイダルプラズマの安定限界近傍での MHD 行動に対する微小散逸効果を統一的に解析するため、2 次元境界層理論を構築する（MARG2D）。ITER を中心とした実形状・実サイズプラズマに適用可能な、MHD モード（抵抗性壁モードを含む）の安定性解析手法を確立する。 ・ミリ秒オーダーの MHD 安定性解析を可能にする 2 次元境界層理論に基づく超並列高速計算技法を確立し、ITER プラズマの実時間制御を目指した安定性の解析・制御コードを開発する。

多階層・複合系プラズマに関する理論研究
・電子系（ミクロスケール）・イオン系（セミマクロスケール）・MHD 領域（マクロスケール）を含む幅広いダイナミックレンジの揺らぎ間の非線形相互作用や電場・層流形成過程を繰り込んだジャイロ流体モデルに基づく多階層トロイダルコード（MHTP）を開発する。これにより、時空間スケールの異なる揺らぎ間の非線形相互作用とそれに伴う構造形成を取り込んだ微小散逸下での乱流理論・MHD 理論の構築と体系化を進めるとともに、自律系プラズマの非線形ループ構造の同定とそれに基づく制御手法の確立を図る。
スクレイプオフ層・ダイバータ特性に関する理論研究
・スクレイプオフ層・ダイバータプラズマの衝突緩和及び原子・分子過程を考慮した運動論的挙動解明のための2次元粒子コード（PARASOL）を開発する。これにより、スクレイプオフ層／ダイバータプラズマのシース形成や、開放系プラズマと閉鎖系プラズマの相互作用による電場・プラズマ流形成に係わる自己組織化現象と高性能ダイバータ実現の理論的指針を確立する。

2) 年次的進め方（図 3.2-4）

平成 16 年度より、ジャイロ運動論モデルによるトロイダル乱流コード、多階層ジャイロ流体コードを中心に、各研究課題間で密接な連携を図りながら、コード開発を計画的に推進する。

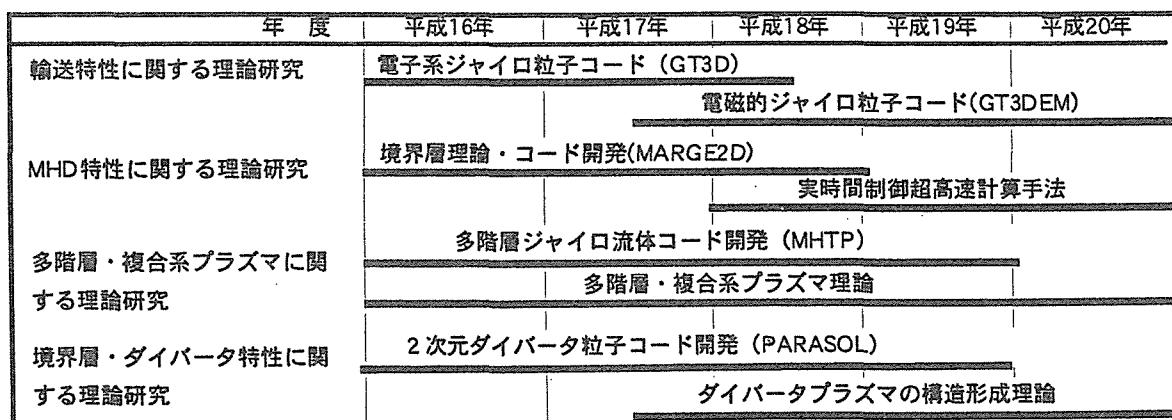


図 3.2-4 主要課題領域 3（理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化）の進め方

3) 予想される成果と波及効果

ジャイロ運動論理論の進展により、燃焼プラズマの輸送・MHD 現象の統一的な解析が可能となる。また、第一原理的な運動論に準拠した理論・シミュレーション手法の確立により、微小散逸プラズマ中での非線形ダイナミックスやそれに伴う構造形成の理解に格段の進展が期待され、高温プラズマ物性から他分野に向けての貴重な情報発信となる。さらに、境界層理論に基づく MHD 解析手法の開発を通して、これまでの数値手法では困難であった微小散逸プラズマの臨界安定近傍での高精度 MHD 安定性の超高速解析が可能になる。

本研究の基幹をなす「多階層・複合系プラズマ」概念は、宇宙・天体プラズマとの高い類似性をはじめとして、非線形不安定性現象や突発的現象を伴う様々な物質のダイナミックスや自己組織化現象等の分野横断的な学術性を強く有し、様々な分野との連

携・協力が期待できる。また、地球シミュレータの積極的活用を含め、核融合研究が計算科学分野を牽引する役割を担うことが期待される。

3.2.3 資源配分構成及び基本的考え方

主要課題領域と研究・業務テーマ及び課室の対応を表 3.2-10 に示す。また、資源配分の年次展開を表 3.2-11 に示す。JT-60 実験の進展、ITER 計画の進展、及びトカマク国内重点化装置への改修に応じ、テーマ間で人材を流動的に再配分していく。平成 16 年度の JFT-2M の実験完了後は、ITER 及びトカマク国内重点化装置の研究開発に携わる人員を拡大する。

表 3.2-10 主要課題領域と研究・業務テーマ及び課室との対応

	主要課題領域	1. 発電実証プラントのための定常高ペータ化研究開発			2. ITER 燃焼プラズマのための研究開発	3. 理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化
課室名	研究・業務テーマ (*印は業務テーマ)	JT-60 による定常炉心プラズマ研究	トカマク国内重点化装置への改修	JFT-2M による先進炉心プラズマ適合性試験		
炉心プラズマ 計画室	炉心プラズマに関する総合評価	◎	◎	◎	◎	◎
	炉心プラズマ開発計画の管理 *	◎	◎	◎	◎	
	ダブレットⅢによる実験研究	◎	◎		◎	
	定常炉心試験装置の設計研究		◎			
炉心プラズマ 解析室	炉心プラズマの実験解析	◎	◎	◎	◎	
	炉心プラズマデータの管理 *	◎	◎	◎	◎	
炉心プラズマ 実験計測開発室	炉心プラズマの閉じ込めと加熱に関する研究	◎	◎		◎	
	炉心プラズマの定常化に関する研究	◎	◎		◎	
	炉心プラズマの計測と計測装置の開発研究	◎	◎		◎	
	JT-60 計測装置の運転及び保守 *	◎	◎		◎	
ITER 計測開発室	ITER 計測装置の開発研究 (注1)				◎	
プラズマ物理 実験研究室	JFT-2M によるトカマク高性能化の研究 (注2)			◎		
プラズマ理論 研究室	炉心プラズマの理論的研究	◎	◎	◎	◎	◎

(注1) 平成 17 年度より、(注2) 平成 16 年度まで

表 3.2-11 炉心プラズマ研究部における予算及び人員計画

平成 年度	領域予算（予定：百万円）			人員（予定：人）*「その他」は、業務協力員。					
	主要課題領域 1+2 (改修以外)	JT-60 改修 (計測据付)	主要課題 領域3	主要課題領域1		主要課題領域2		主要課題領域3	
				職員	その他	職員	その他	職員	その他
16年	749	0	71	53	9	5	0	8	1
17年	749	0	71	42	9	15	0	8	1
18年	682	0	71	30	9	27	0	8	1
19年	682	100	71	30	9	27	0	8	1
20年	682	400	71	30	9	27	0	8	1
合計	3,544	500	353	-	-	-	-	-	-

3.2.4 原研他部門及び外部機関との協力、連携

(1) 原研他部門との協力、連携

原研他部門との一層密接な協力の下、研究開発を効率的に進める（表 3.2-12）。

表 3.2-12 原研他部門との協力・連携

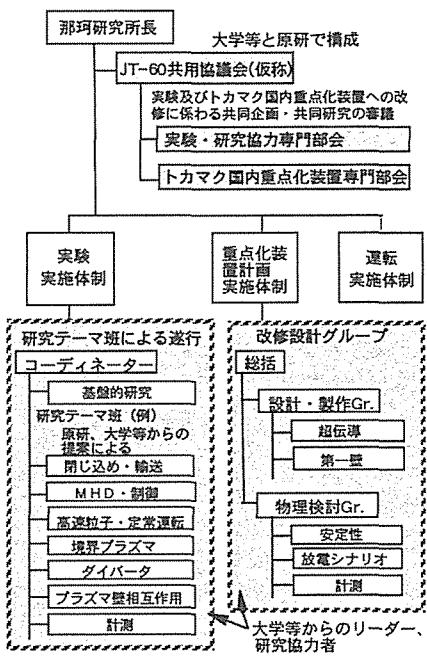
研究開発項目	部門名
JT-60 実験、JFT-2M 実験全般	核融合装置試験部、核融合工学部、ITER 開発室
JT-60 データ解析	核融合装置試験部、計算科学技術推進センター、 関西研光量子科学研究センター
ITER のための計測機器開発	核融合装置試験部、ITER 開発室、核融合工学部 高崎研放射線高度利用センター
原子・分子データ、中性子遮蔽・測定等	東海研安全性試験研究センター、東海研エネルギーシステム研究部、関西研光量子科学研究センター
トカマク国内重点化装置への改修	核融合装置試験部、核融合工学部、大洗研核熱利用研究部、 東海研エネルギーシステム研究部
JFT-2M 先進材料プラズマ適合性試験	東海研物質科学研究部
数値トカマク (NEXT) 計画	計算科学技術推進センター、光量子科学研究センター

(2) 国内協力

JT-60 及び JFT-2M では、平成 11 年度より課題募集型の協力を開始し、さらに平成 14 年度より、いくつかの研究テーマ班のリーダーを大学研究者とすることで成果を挙げた。平成 15 年度の研究協力件数（協力者数）は、JT-60 は 23 件（168 名）、JFT-2M は 6 件（34 名）であり、また、平成 11 年度以降の学術論文数は、JT-60 では 30 件、JFT-2M では 18 件である。また、トカマク国内重点化装置の検討を大学等と共同で実施し、基本設計案が確定した。理論・シミュレーション分野では、大学等と相補的な協力・共同研究を効率的に進めてきた。今後、連携協力の一層の拡充を図る。特に、科学技術・学術審議会により、我が国におけるトカマク研究開発の共同研究重点化装置と位置づけられた JT-60 及びそれに続くトカマク国内重点化装置を用いた共同企画・共同研究を積極的に促進する。JT-60 と JFT-2M では、引き続き原研及び大学等からの実験提案に基づいて対象領域毎に研究テーマ班を構成し、原研と大学等からテーマ班のリーダーを選び、その下で実験・解析研究を共同で企画・遂行する。トカマク国内重点化装置の設計・製作と物理検討についても、同様に進める。このような共同企画・共同研究の方策及び結果を議論するため、平成 17 年度から原研と大学等で構成する JT-60 共用協議会（仮称）の設置を目指す（図 3.2-5）。共用協議会の下には、共同研究計画の立案と研究テーマ班から提案される研究計画を議論する実験・研究協力専門部会と、トカマク国内重点化装置の物理・技術検討の結果を議論するトカマク国内重点化装置専門部会を置く。このような全日本的な研究協力体制を基盤とし、わが国の研究者が、国際トカマク物理活動等を通じて ITER 計画へ主導的に参加する路を拡大する。

(3) 国際協力

炉心プラズマ研究部は、DIII-D（日米核融合研究協力）、JET（IEA 大型トカマク協力協定）、ASDEX-U（日欧協力）との連携協力をはじめ、米、欧、露、中、豪等との研究協力を推進している。このような国際協力の下、外国研究者の JT-60 実験への参加により、多くの成果をあげた（外国研究者が筆頭著者の論文数は平成 11 年度以降 49 件）。今後、国際協力の一層の充実を図る。特に、ITER 計画のための国際研究活動の拠点となつた国際トカマク物理活動は重要である。同活動では、データを一般公開する以前は、データ提供を行ったグループにのみ国際データベースの使用権が与えられる。引き続き JT-60 から主導的な貢献を行うことで国際舞台における我が国の発言力を維持するとともに、我が国研究者が最新のデータを使用する権利を確保する。



3.2.5. 人材育成の経過と今後の施策

(1) ITER 計画に必要な人材の育成

ITER 計画は今後のトカマク研究体制の中核である。その炉心プラズマに関する国際共同研究は、ITER の運転開始前は、国際トカマク物理活動等を中心として実施される。ITER 運転開始後は、参加極から研究者を適宜派遣するとともに、支援研究も要請される。上述の研究活動により、ITER 計画及びその支援研究に必要な人材の育成を進める。これらの人材はまた、ITER の研究成果を国内に還元し、発電実証プラントの実現に向けた国内研究開発の中心的役割を担うことが期待される。

(2) 所属研究者の育成

- ・研究テーマ班活動： JT-60 と JFT-2M の実験・解析研究、理論研究を包含し、ライン組織を横断する形で放電領域の開拓や物理研究を行う研究テーマ班活動を継続し、各研究分野を代表しリーダーシップを発揮できる研究者の育成を図る。
- ・国際活動を通じた人材育成：現在、国際トカマク物理活動において、全 7 グループの内 2 グループの議長と 1 グループの共同議長、及び 11 人のグループ員が JT-60 から選ばれ研究を主導している。今後とも、このような国際活動を積極的に推進し、国際的なリーダーシップを発揮できる人材の育成を進める。
- ・若手研究者の育成：引き続き、学会・国際会議での発表・講演への若手研究者の積極的起用、外国研究機関への派遣、全国の若手科学者による研究会の主催を行う。また、特別研究生、学生実習生、大学院生（連携大学院制度）、博士研究員の受け入れ（過去 5 年間で合計 32 名、JT-60 の研究による学位取得者 5 名）を拡大する。特に、博士研究員制度が有効に機能（過去 5 年間で学術論文 42 件、学会等受賞 2 件）していることを踏まえ、その増員に努める。
- ・技術系職員の育成：引き続き、創意工夫を奨励し、国内外の学会発表及び資格等の取得により、技能の向上と志気の高揚を図る。今後、所内において主任技術員、副主任技術員のような制度の創設が重要であると考える。

3.2.6. 研究推進上の課題・問題点

以上述べた研究開発の推進にあたっては、ITER 計画の進捗に即応しつつ柔軟に対応する。トカマク国内重点化装置の必要性は、ITER の日本立地、非立地で変わることはない。日本立地の場合、ITER への負担が大きい中での予算、人員の確保が課題となるが、ITER 及びトカマク国内重点化装置に携わる国内外の研究者の一層緊密な連携が期待できる。非立地の場合には、ITER への負担減の中で統合技術獲得の減を補う面での重要性が高まるとともに、さらなる研究強化が肝要となる。

3.2.7. その他特筆すべき事項

今後の炉心プラズマ研究では、ITER の燃焼実験と、それに並行・先導する定常高ベータ化研究が最も大切な要素である。これらの研究開発を、わが国のトカマク研究の中核機関として大学等との強い連携の下で推進する。

3.3 核融合装置試験部の研究開発課題

3.3.1 部門の特徴

核融合装置試験部は JT-60 第 1 試験室、JT-60 第 2 試験室、RF 装置試験室、NBI 装置試験室、JFT-2M 試験室の 5 つの課室から構成される。

(1) 研究開発の理念、目的・意義

将来のエネルギー問題を解決する有力なエネルギー供給源として、核融合発電の実現を目指し、臨界プラズマ試験装置 (JT-60) と高性能トカマク試験装置 (JFT-2M) を用いた研究開発に貢献することを目的とする。具体的には、両装置に関わる運転技術と放射線発生装置に対する安全管理技術を駆使し、安全且つ円滑な運転を遂行することにより、炉心プラズマの研究開発に貢献する。また、炉心プラズマ研究開発に必要となる加熱・電流駆動、ダイバータ・第一壁、燃料補給、電源、制御、真空等、核融合固有の装置機器の開発及び関連技術の開発を行う。更に、核融合研究の進展を目指した JT-60 を超伝導化改修するトカマク国内重点化装置計画 (平成 16 年度実施を計画) を、炉心プラズマ研究部及び原研の他部門、大学・外部機関と協力して、遂行することを担う。これらの運転及び装置開発を通して、国際熱核融合実験炉 (ITER) 及び発電実証プラントの運転に必要となる核融合技術資産 (運転技術、機器管理・保全技術、安全技術等) や建設のための核融合装置要素技術や統合化技術を創出し、これを次世代へと継承する役割を担う。

(2) これまでの実績・成果

JT-60 の装置機器の運転・保守においては、運転を総括する運転部会を中心とした運転管理と放射線管理を実施し、各年度の運転を順調に遂行した。また、核融合実験装置特有のトラブルを克服するとともに、適切な高経年化対策により装置機器を保全し、毎年度、高い稼働率 (76-87%) と装置性能を維持してきた。

JT-60 のプラズマ性能の向上を図る装置機器の開発研究では、平成 10 年度からの 5 年間に、負イオン源中性粒子入射 (NBI) 装置の性能向上、電子サイクロトロン (EC) 加熱装置の開発、プラズマ断面可視化システムの高速化、固体重水素ペレット入射装置の開発等を行った。これらにより、プラズマ性能を高めるとともに定常化研究を大きく進展させた。一方、電源設備の技術開発として、従来の 3 倍の通電容量をもつ 36kA 連続電流遮断器を開発した。また、放射性同位元素 (トリチウム) 使用室を整備し、第一壁の研究を推進するとともに、大学との協力研究を大きく進展させた。

並行して、平成 12 年度に中間評価を受けた JT-60 改修計画の設計検討を進めた。本計画は、平成 14 年度に核融合研究ワーキング・グループの報告を受けて、トカマク国内重点化装置計画として再出発した。図 3.3-1 に JT-60 とトカマク国内重点化装置の断面の比較を、表 3.3-1 に主要な装置諸元の比較を示す。本計画の技術的検討として、超伝導コイル用線材の開発、超伝導コイルの製作方法の開発、高熱負荷ダイバータ板、放射線遮蔽材の開発を行った。一方、製作費の低コスト化を図り、既存の装置機器を有効に

再利用する検討も進めた。

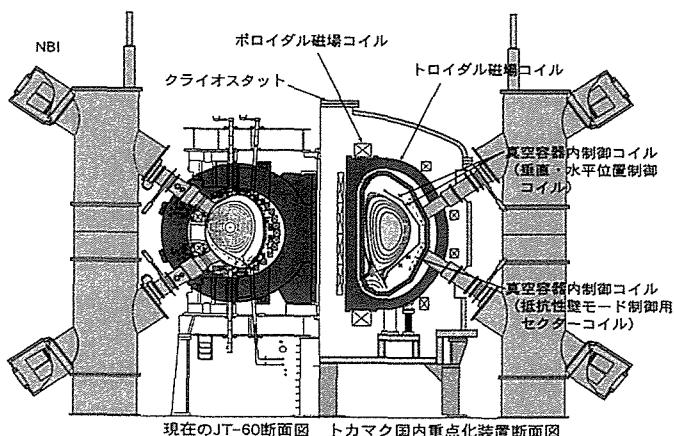


図3.3-1 JT-60とトカマク国内重点化装置の断面の比較

表3.3-1 JT-60とトカマク国内重点化装置の装置諸元の比較

諸元	JT-60 (現在)	トカマク国内重点化装置 (標準運転、暫定値)
プラズマ電流	3 MA	4 MA
電流維持時間	15秒(全放電期間)	100秒(フラットトップ)
トロイダル磁場	4 T	3.7 T
安全係数(q_{95})	3	3.2
プラズマ主半径	3.4 m	2.9 m
プラズマ小半径	0.9 m	0.9 m
非円形度(κ_{95})	1.8 ($\delta_{95}=0.06$)	1.8
三角度(δ_{95})	0.4 ($\kappa_{95}=1.33$)	0.4
加熱・電流駆動入力	40 MW(10秒)	44 MW(10秒) 14.7 MW(100秒)

これらの研究開発に基づく当該部の平成11年度以降の研究発表、特許及び表彰件数を表3.3-2に示す。

表3.3-2 核融合装置試験部における研究発表、特許及び表彰件数

年度	学術論文	原研レポート (公開)	口頭発表 (国内)	口頭発表 (国際会議)	特許	表彰	
						所外	所内
平成11年	5	5	20	15	5	2	2
平成12年	13	4	20	18	6	1	1
平成13年	11	3	10	16	2	1	2
平成14年	20	5	33	19	2	1	2
計	49	17	83	68	15	5	7

(3) 達成目標

平成 16 年度よりトカマク国内重点化装置への改修に着手し、平成 21 年度の装置完成を目指す。本改修作業と並行して、平成 17 年度末までは JT-60 炉心高性能化実験を行う。この実験において、最大 65 秒の長時間放電を実施し、トカマク国内重点化装置における長時間放電の技術的課題を抽出する。また、NBI、RF 加熱装置の長時間入射のための技術開発と調整を行う。本実験運転に対応して、JT-60 の装置機器の安全で円滑な運転を遂行する。平成 18 年度には JT-60 を解体するが、解体作業中の放射線安全の徹底と解体された放射化物の管理に努める。また、トカマク国内重点化装置に再利用する機器の健全な保持に努める。

3.3.2 主要課題領域

(1) 主要課題領域 1：トカマク国内重点化装置への改修

1) 目的・意義及び達成目標

JT-60 をトカマク国内重点化装置へ改修することを目的とし、①トカマク国内重点化装置本体の建設、②電源及び制御システムの改良・改造、③NBI 加熱装置の改良・改造、④RF 加熱装置の改良・改造を実施する。

各研究課題の達成目標は以下の通りである。

a) トカマク国内重点化装置本体の建設

表 3.3-3 トカマク国内重点化装置本体の機器開発の達成目標

超伝導コイル
<ul style="list-style-type: none"> トロイダル磁場コイル D 型コイル 18 個で構成し、最大磁場 3.7 T (プラズマ中心) とする。運転温度は 4.6 K で温度マージン 1 K 以上を確保する。超伝導コイル線材は、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 (銅比 4 の素線) を採用し、機械的歪みに強い特性を活かして、最大経験磁場 7.2 T で高い臨界電流密度 1060 A/mm² (SUS 製コンジット有り、5.6 K) が可能な高性能で低コストの超伝導コイルを実現する。 中心ソレノイド(CS)及びダイバータ・コイル(EF4) CS コイル 4 個、EF4 コイル 1 個をトロイダル磁場コイルの外側に配置する。低交流損失のニオブ・スズ導体を使用して、磁場立ち上げ dB/dt=～2.4 T/s のパルス運転を行う。運転温度は 5 K で温度マージン 1 K 以上を確保する。 平衡制御用ポロイダル磁場コイル (EF1, 2, 3, 5, 6) EF コイル 5 個をトロイダル磁場コイルの外側に配置する。比較的低磁場 (~5 T) で使用されるため、ニオブ・チタン導体を使用して低コスト化を図る。磁場立ち上げ dB/dt=～2.7 T/s のパルス運転を行うため、低交流損失の素線 (極細フィラメントで銅比 7) を使用する。運転温度は 4.8 K で温度マージン 1 K 以上を確保する。 コイル冷却方式 運転余裕を確保するため、冷却能力が優れた超臨界ヘリウムを用いる強制冷却方式とする。
真空容器
<ul style="list-style-type: none"> 縦長非円形断面形状で二重壁構造とする。 一周抵抗 30 μΩ 以上となる壁の厚みで 4 MA ディスラプションに耐える構造強度を確保する。 トロイダル磁場コイル内での DD 中性子の核発熱を 2.5 mW/cc に抑えるため、二重壁間に充填した純水と低コバルト SUS により放射線遮蔽する機能を付加した構造とする。

- 運転停止後3ヶ月の真空容器内線量当量を $100\mu\text{Sv}/\text{hr}$ 以下となるように、真空容器第一壁材には低放射化フェライト鋼を使用し、その他の容器内構造物にも極力低放射化材料を使用する。
- ベーキング温度は 300°C を目標とする。
- 超伝導コイルへの輻射熱を抑えるための80 K輻射シールド板を取り付ける。真空容器から80 K輻射シールド板への熱侵入は 10 kW 以下にする。

先進ダイバータ

- ダイバータは閉ダイバータ方式とし、ダイバータ下部に排気のためのクライオパネルを配置する。バッフル板の形状を最適化して高い圧縮比を保持し、主プラズマ閉じ込め性能と放射ダイバータの両立、高い熱流低減性能（放射損失率 $70\text{--}80\%$ 、熱負荷 $10\text{--}15\text{ MW/m}^2$ ）、高い排気性能（内外独立排気で、それぞれ排気速度 $\geq 50\text{ m}^3/\text{s}$ ）の実現を図る。
- ダイバータ板は熱流束 $10\text{--}15\text{ MW/m}^2$ に対して表面温度 1000°C 以下を保持する。このため、ダイバータ板は銅製ヒート・シンクにCFC（炭素繊維複合材）をロー付けした直接冷却方式とする。冷却管には除熱性能の高いスクリュウ管を使用する。電子ビーム照射試験で得たスクリュウ管の熱伝達係数を使用して、実機ダイバータ板の形状を最適化するとともに、低コスト化、検査方法を確立して、目標性能を実現する。

第一壁

- NBI 対向面の第一壁は熱流束 1 MW/m^2 、100 sに対して表面温度 1000°C 以下に保持する。このため、第一壁は、銅製ヒート・シンクとCFCの間に接触熱伝達率を上げるためのスーパー・グラファイト・シートを挟んでボルト締めする間接冷却方式とする。その他の第一壁には低放射化材料のフェライト鋼を使用し、間接冷却方式で冷却する。電子ビーム照射試験で得た熱伝達係数を使用して、実機の第一壁の構造を最適化し、目標性能を実現する。

クライオスタート

- コンクリートと金属ライナーを組み合せた断熱真空容器で、超伝導コイル系への熱の侵入を低減するため、内側に80 Kシールド板と真空多層断熱材を取り付けた構造とする。
- 80 Kシールドへの熱の侵入を 30 kW 以下とする。
- ナトリウムを低減したボロン入りコンクリートと低コバルトSUSライナーにより、構造敷地境界における許容放射線量を満足する遮蔽性能及び作業環境の低放射化レベルを実現する。

液化ヘリウム冷凍機システム

- 冷凍機の運転容量を 10 kW 程度に抑えたシステムを実現する。
- そのため、実験運転時はコイル冷却用の超臨界ヘリウムの冷凍運転のみを行い、電流リード及びダイバータのクライオポンプにはタンクに貯蔵した液体ヘリウムを使用する。実験休止時（夜間等）は液化運転により、気化したヘリウムガスを液化しタンクに貯蔵する。
- 小型の制御弁及びオンオフ弁（合計200個程度）を開発して、これを収納するバルブ・ボックスの小型化を図る。

b) 電源及び制御システムの改良・改造

表 3.3-4 電源及び制御システムの改良・改造の達成目標

超伝導ボロイダル磁場コイル用直流電源
中心ソレノイド、ダイバータコイル及び平衡磁場コイル電源の合計9台の直流電源（運転定格：プラズマ電流4MA、100秒）を製作する。
既存の電動発電機・交流系配電機器およびサイリスタ変換器等を最大限に活用した電源構成とする。
ベース電源（ $20\text{ kA}, 1\text{ kV}$ ）を新設し、着火用電源及び立ち上げ用電源は既存のサイリスタ変換器を再利用する。
トカマク装置の中心ソレノイド電流、ダイバータ・コイル電流及び平衡磁場コイル電流は、適当な極性で組み合わせることにより運転の全期間にわたって相殺効果が期待できる。この性質を利用して、これらのコイルのフィーダに共通母線を導入し、空間とコストを大幅に合理化した。
超伝導トロイダル磁場コイル用直流電源
定格 $100\text{V} - 20\text{ kA}$ の新規電源を製作し、装置本体近辺に配置する。
クエンチ保護回路の開発
大電流連続遮断器の技術開発を通して得た成果を基に、クエンチ保護用遮断器（遮断電流・電圧 ~ 20

kA・10 kV) を製作する。更に、転流回路等の外部回路を設計・製作する。JT-60 模擬負荷コイルを使用してクエンチ保護回路の遮断試験 (10 kV/20 kA 以上) 及び疲労試験 (1000 回以上) を行い、信頼性を確認する。

常伝導コイル電源

- ・ 高速プラズマ位置制御コイルはサイリスタ変換器で構成する。
- ・ 抵抗性壁モード制御コイルは電流制御型 PWM 電源を第一候補とするが、製作工程と性能価格比を詳細に評価して、電圧制御型とすることも考慮する。

先進プラズマ制御システム (プラズマ電流分布の実時間制御)

高性能プラズマの長時間維持のために不可欠なプラズマ電流分布のフィードバック制御を実現する。そのため、固有関数展開法 (又は SELENE) とモーショナル・シタルク分光計測を使用してプラズマ電流分布の高速計算アルゴリズム (目標 10 ms 周期) を開発し、プラズマ電流分布の実時間制御システムを構築する。

全系制御計算機システムの改造

トカマク国内重点化装置に使用する各設備の装置機器の制御、データなどが具体的になる時点から全系制御設備を中心とする制御系の詳細設計を行う。全系及び現場制御システムには既設の計算機システムを再利用し、低コスト化に努める。また、制御用センサーの信号処理系の改良を行う。

c) NBI 加熱装置の改良・改造

表 3.3-5 NBI 加熱装置の改良・改造の達成目標

正イオン源 NBI 加熱装置	
<u>長時間入射(I)</u>	平成 17 年度までに 90 keV、8 MW において 30 秒入射を実現する。 平成 15 年度に実施した改造 (ソース及び加速電源、制御系、ビームリミタ) に加えて、イオン源運転の最適化、ビームの収束性能の評価及び改良を行う。運転制限となる電源機器及び給電線の温度上昇を評価し安定な運転条件を調べるとともに、100 秒運転のための技術的な検討を行う。
<u>長時間入射(II)</u>	平成 20 年度までに 90 keV、10 MW において 100 秒入射するための改造を行う。 上記の経験及び検討に基づき、電源機器、給電線の冷却能力の増力をを行う。
負イオン源 NBI 加熱装置	
<u>性能向上(I)</u>	平成 17 年度までに 440 keV において 7 MWまでの入射パワー増大 (但し、10 秒入射) 及び 380 keV、2 MW 入射において 30 秒入射の入射時間幅の伸長を実現する。 加速エネルギーを高めるため、ビーム分布の空間的一様性を図るとともに電極構造を最適化し、加速部耐電圧を改善する。大気開放から所定性能までのコンディショニング時間の短縮化を図り、ビーム入射実験の効率を向上する。イオン源ソースプラズマ及びビーム特性を調べるための計測技術を改良する。
<u>性能向上(II)</u> (平成 20 年度まで)	: 500 keV において 10 MW までの入射パワーの増大 (但し、10 秒入射) 及び 400 keV、3 MW において 100 秒入射の入射時間幅の伸長を実現するための技術開発及び改造を行う。 そのために、温度制御付きプラズマ電極の開発、イオン源の高耐電圧化、ビームライン機器の改良を行う。
NBI 加熱装置の撤去と再組立	
JT-60 装置本体の解体に合わせて NBI 加熱装置を本体室から撤去し、保管場所に移設する。入射ポートや配線について干渉等の問題がないよう設計・製作し、トカマク国内重点化装置の組立工程に従って再組立する。その後、機能確認試験を行う。	

d) RF 加熱装置の改良・改造

表 3.3-6 RF 加熱装置の改良・改造の達成目標

局所加熱/電流駆動の制御性の向上(平成 17 年度まで)	
EC 入射パワーを 3.5 MW まで増大し、アンテナ駆動系を改造して EC 加熱装置の制御性能を高め、定常高ベータ化研究に貢献する。そのため、	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ビーム電流を約 15% 増加させジャイロトロン発振出力を約 20% 増大し、 ・ 真空排気系を強化して伝送路の耐電圧を向上し、1.1MW/ラインを実現する。 	

また、長時間放電に対応し、60秒のRFパワーを安定に入射するには、正常な発振を安定に持続させる制御系が必要である。そのための制御すべき項目（例えばヒーター電圧）を抽出する。
RF加熱装置の入射時間幅の伸長(平成20年度まで)
トカマク国内重点化装置に向けて、EC:1MW、100秒入射、LH:3MW、100秒入射の入射時間幅の増大(21年度以降)を目指して、長時間RFパワーを発振、持続するための開発研究として下記を行う。
1) 低RF損失、高融点材のアンテナ部品の試作、改良による低発熱、耐熱化アンテナ（水冷却を必要としないアンテナを目標）の開発、 2) 低RF損失絶縁用部品の試作、改良、内臓ミラー部等の高発熱部の冷却強化による長パルス運転が可能なRF源の開発、 3) ECの正常な発振を安定に持続させるための制御系の開発
RFパワー応用技術
RFパワーによる着火・電流立ち上げ技術を確立し、超伝導トカマク装置の着火立ち上げ時に必要な電源容量を軽減する。RFパワーによる真空容器内洗浄技術を確立し、超伝導トカマク装置の放電洗浄の手段とする。そのため、JT-60の実験運転に供しつつRF加熱装置の調整、改良を行う。
RF加熱装置の撤去と再組み立て
JT-60装置本体の解体に合わせてRF加熱装置を本体室から撤去し、保管場所に移設する。入射ポートや配線について干渉等の問題がないよう設計・製作し、トカマク国内重点化装置の組立工程に従って再組立する。その後、機能確認試験を行う。

2) 年次的進め方

主要課題領域1の年次的進め方を図3.3-2に示す。装置本体の建設では、平成16年度から超伝導コイルの製作を開始する。電源系は平成17年度から工場製作に入り、JT-60の実験終了後、現地の改造を開始する。NBI、RF加熱装置は、平成17年度まで実験のための運転を行い、入射パワーの増大、入射時間幅の伸長等の性能向上を図る。その成果を基に、長時間入射のための改良を行い、装置本体に組み込む。

平成	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
JT-60	炉心高性能化実験	解体			
JFT-2M		先進材料プラズマ適合性試験			
トカマク国内重点化装置		改修			
トカマク国内重点化装置本体の建設 (JT-60第2試験室)	(超伝導コイル) 機器製作				→組立
電源及び制御系の改造 (JT-60第1試験室)		先進プラズマ制御システムの開発			
NBI加熱装置の改良・改造 (NBI装置試験室)	設計	電源製作	電源及び制御系の改造		
RF加熱装置の改良・改造 (RF装置試験室)	30秒化、入射パワー増大				
	100秒化				組立
共通課題	入射パワー、入射時間幅の増大、応用技術				
	100秒化				組立
		解体			

図3.3-2 主要課題領域1の研究開発課題の年次的進め方

3) 予想される成果と波及効果

トカマク国内重点化装置に関わる技術開発や装置本体の建設によって得られる要素技術（超伝導コイル技術、クエンチ保護回路技術、遮蔽技術、プラズマ電流分布制御技術等）及び統合化技術は ITER の機器開発や建設に広く利用できる。NBI 加熱装置のイオン源は、既に採用されている高エネルギー加速器のイオン源の外に、高効率太陽電池や次世代集積回路用の大型単結晶シリコン基板の大量生産技術への応用が期待される。RF 加熱装置の RF 源、伝送系、アンテナ系、システム技術等は、セラミック焼結、ダイヤモンド等の合成、有害物質の分解等の分野に応用が可能である。この他、ダイバータ開発に採用した高熱伝達特性をもつスクリュー管の高性能ボイラーへの応用など、民生品への応用も多数考えられる。

(2) 主要課題領域 2：装置の運転保守と機器管理

1) 目的・意義及び達成目標

JT-60 及び JFT-2M の運転保守及び JT-60 の解体からトカマク国内重点化装置への改修期間に対応するため、①JT-60 の運転管理方式に基づく運転保守及び機器管理、②高経年化対策と再利用品の健全な保管、③放射線安全管理技術の的確な運用、④JFT-2M の運転保守と機器管理を実施する。

表 3.3-7 主要課題領域 2 における業務課題と達成目標

業務課題	達成目標
① JT-60 の運転管理方式に基づく運転保守及び機器管理	JT-60 の運転管理方式に基づき、下記を実施して、JT-60 の実験運転を安全に且つ円滑に遂行し、実験の進展に貢献する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 日勤実験運転体制の最適化により運転の効率化を図る。 ・ 集中管理に努め、省力化と人的資源の有効利用を図る。 ・ チェック & レビューにより装置機器の安全を確保する。 ・ 的確な点検保守により装置機器の健全性を確保する。
② 高経年化対策と再利用品の健全な保管	高経年化した装置機器について、下記を実施して、運転期間中の安全な運転を担保する。また、運転終了後、トカマク国内重点化装置に再利用する装置機器を健全に保持し、完成時に再利用に供する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 装置機器全体の健全性を考慮しつつ、投資効率を考慮して、再利用する装置機器の部品を優先的に更新する。 ・ 部品更新が困難な装置機器については、健全性試験や定期点検、監視の強化を実施し、安全確保を図る。 ・ 再利用する装置機器の保管運転、点検、清掃等を実施し、健全性を保持する。
③ 放射線安全管理技術の的確な運用	放射線障害防止法に基づき、下記を実施して、JT-60 の実験期間、解体、及びトカマク国内重点化装置への改修期間の放射線安全を確保する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ RI 使用施設としての施設、周辺区域の放射線管理及び作業者の被ばく管理を実施する。 ・ JT-60 機器収納棟に収納する放射化物を、使用履歴や放射化レベル等を記録して、将来のクリアランスの法制化に備えた保管を行う。
④ JFT-2M の運転保守と機器管理	装置機器運転上の改良・工夫やこれまでの運転上のノウハウを含めた運転マニュアル類を継続的に充実し、安全で、機動性の高い運転を遂行し、先駆的な研究推進と国立研究機関・大学等との共同実験に貢献する。電離放射線障害防止法に基づき、JT-60 と同様、的確に放射線管理を実施していく。

2) 年次的進め方

平成	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
JT-60		炉心高性能化実験	解体		
JFT-2M			先進材料プラズマ適合性試験		
トカマク国内重点化装置			改修		
運転管理方式の最適化及び機器管理	JT-60				
高経年化対策と再利用品の健全な保管	部品等の更新	停止	再利用品の保管		
放射線安全管理技術の的確な運用	施設の放射線管理	作業安全・放射化物の管理			
JFT-2Mの運転保守と機器管理	停止				

図 3.3-3 主要課題領域 2 の業務課題の年次的進め方

3) 予想される成果と波及効果

JT-60 及び JFT-2M を円滑な運転の遂行により、国立研究機関・大学との研究協力等を更に推進し、核融合研究の幅広い進展に貢献できる。両装置の運転・保守と機器管理に関わる業務の遂行により、核融合装置に特有な運転管理技術の創出と技術集団の形成が可能となり、将来の核融合実験炉、発電実証プラントに繋がる技術資産を継承することができる。将来のクリアランス基準の法制化に備えた放射化物の管理は、今後の放射化物の管理モデルとしての貢献が期待できる。また、厳格な放射線管理を行うことにより、核融合施設に対する住民、国民の信頼を得ることができる。

3.3.3 資源配分構成及び基本的考え方

研究経費については、平成 16 年度はトカマク国内重点化装置の超伝導コイル素線等の製作費、平成 17 年度は超伝導コイル、真空容器の製作費及び一部の電源システムの製作費を主要課題領域 1 に配分する。平成 18 年度からは全面的なトカマク国内重点化装置の改修費を配分する。主要課題領域 2 については、平成 17 年度までは JT-60 及び JFT-2M の運転経費（維持費、運転委託費）を配分するが、平成 18 年度以降は再利用する設備の保管費、放射線安全に関わる点検費及び操作用配電設備の運転経費のみとする。

人員については、平成 16、17 年は、主要課題領域 2 に JT-60 及び JFT-2M の運転員を確保し、主要課題領域 1 に主要機器の製作開始に対応する人員を割り当てる。平成 17 年度は ITER の業務のための減員を予定している。平成 18 年度以降は JT-60 の全面的な改修作業に入るため、主要課題領域 2 の人員のうち、再利用品の保管や放射線安全管理関係の業務を担当するもの以外は主要課題領域 1 に移し、当該部全体が一致して、トカマク国内重点化装置への改修に当たる。

表 3.3-8 核融合装置試験部における資源配分

年度	研究経費 (百万円)	主な経費の用途	人員(人・年)	
			職員	その他
(1) トカマク国内重点化装置への改修 (主要課題領域1)				
平成16年度	503	機器開発整備費	27	4
平成17年度	6,163	機器開発整備費	27	4
平成18年度	7,213	機器開発整備費	54	12
平成19年度	6,810	機器開発整備費	54	12
平成20年度	7,338	機器開発整備費	54	12
合 計	28,027		216	44
(2) 装置機器の運転保守と機器管理 (主要課題領域2)				
平成16年度	1,664	維持費、運転委託費	53	17
平成17年度	1,664	維持費、運転委託費	40	16
平成18年度	503	維持費、運転委託費	13	8
平成19年度	503	維持費、運転委託費	13	8
平成20年度	503	維持費、運転委託費	13	8
合 計	4,837		132	57

3.3.4 原研他部門及び外部機関との協力、連携

JT-60及びJFT-2Mの実験目的を達成するために、炉心プラズマ研究部と綿密に連携し、両装置の運転を行う。NBI及びRF加熱装置の性能向上に関しては、核融合工学部加熱工学研究室の協力を得る。JT-60施設の放射線管理や放射化物の低減には、東海研究所の保健物理部及びバックエンド技術部の協力を得る。トカマク国内重点化装置の機器開発については、核融合工学部の超電導磁石研究室（超伝導コイル技術）、核融合中性子工学研究室（放射線遮蔽技術等）、プランケット工学研究室（材料熱負荷試験）、及び東海研物質科学研究部（低放射化材料の開発）の協力を得、各研究室の知見・最新情報、成果、経験・ノウハウ等を有効に活用する。

国立研究機関・大学等との協力研究を積極的に進めて、既存の装置の改良やトカマク国内重点化装置の技術開発を促進する。具体的には、材料やトリチウムの吸蔵、負イオン源NBI加熱装置における放電破壊現象、長パルス運転時のビーム特性、RF伝送系やアンテナ系、電動発電機の並列運転、燃料補給法等や超伝導コイル技術及び運転技術に関する協力研究を想定している。

国際協力については、大型トカマク協力、日米協力及び日欧協力、日中科学技術協力協定等により情報交換と人員交流を行い、得られた情報を有効に活用する。

ITER工学R&Dで確立した技術や産業界の最新の技術を導入して信頼性の高いトカマク国内重点化装置を建設する。また、本装置の建設で得られた技術開発の成果や統合化技術を産業界に移転し、ITERの建設に役立てる。

3.3.5 人材育成の経過と今後の施策

研究において世界的な競争力を堅持していくため、技術系職員の新たな機器・技術開発と核融合特有の運転・保守の課題に対処していく意欲と高い士気を維持することが重要である。そのための施策として、①職場能力向上訓練(OJT)、②外部機関による研修や外国の研究所等への派遣、③免許や資格取得の奨励、④新しい技術開発に携わり、個々の創意工夫を奨励、⑤技術開発成果の国内研究会や学会、国際会議等での発表、特許取得の奨励、を実施してきた。今後の施策としては、従来の方針を発展的に継続し、人材育成を図っていく。特に、平成16年度から計画しているトカマク国内重点化装置への改修での機器開発整備に技術系職員を取り組ませることは、その技術能力の向上と志気の高揚の点からも意義が高い。

3.3.6 研究推進上の課題・問題点

国内及び国際的な核融合開発や ITER 計画の推移を考慮すると、今後、厳しい人員の下で JT-60 の運転とトカマク国内重点化装置への改修作業を行う必要がある。実験効率を上げるため、JT-60 運転体制は、先班、後班の 2 班体制で 8:00~18:30 まで連続運転の計画であるが、人員的には余裕がなく、職員の高い士気に頼るところが多い。また、トカマク国内重点化装置への改修中には、並行して再利用機器の保管運転等の業務を進める必要があり、個人の負担が増える恐れがある。問題解決には、業務の最適化を図り、運転の省力化などの工夫をしていくことが肝要である。

3.3.7 その他特筆すべき事項

核融合という最先端分野では、装置機器の運転自体が研究開発的要素を多く含んでいることに大きな特徴がある。従って、核融合装置試験部における活動として、運転及び高度装置機器技術の開発に係る経験と成果を集約して、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・継承を図ることは、今後の核融合炉開発にとって極めて重要である。

JT-60 のような世界最大規模の施設・装置に係る運転管理の任にあたり、種々の装置機器を担当する多くの人数を結集して円滑な安全運転を長期間継続できた実績は、特筆に値する。これまで培ってきた技術集団と人材は、貴重な人的財産であり、その能力と経験・ノウハウを今後の大型プロジェクトに役立てていきたい。

4. 事前評価結果

4.1 炉心プラズマ研究部の研究開発課題に関する評価結果

4.1.1 項目別評価

(1) 研究開発の基本方針(評価点 4.8)

今後5年間の我が国における核融合開発研究において、炉心プラズマ研究部が、明確な3つの研究対象を提示し、その各々における具体的研究課題を定め、現時点では最善と思われる人員配置をもって取り組もうとしており高く評価できる。特に評価対象期間内に大きな組織改革、国際協力活動に基づくITERの実現などが予想され、その道のりは決して平坦ではないであろうが、産官学と強固に連携を深めその全面的支援を基に、核融合研究開発に関わる日本原子力研究所の役割と使命について、国民に対してわかりやすい言葉で積極的に説明責任を果たそうとする方策は重要である。こうした積極的な姿勢は核融合ワーキンググループでの議論を反映したものと評価できる。

主要課題領域の設定と全体構想、総合推進方策は、適切でよく整合が取れていて、高く評価できる。今後さらに次の点に留意して進めて欲しい。

- ・ 主要課題領域1においては、世界最高のデータを出すことも重要であるが、仮に世界最高データから多少数値が劣ったとしても、制御方式をより実用炉向きにするとか、簡易な構造にすると云ったことも実用化への研究としては重要である。実用化を常に念頭において計画を進めてほしい。導体シェルも制御コイルも、無くて済めばよいが、必要であるとすれば、どこまで離せるか、何本に減らすことができるかなどが、最高ベータ値の達成と並んで重要である。
- ・ 主要課題領域1と2の間は問題ないと思うが、これらと主要課題領域3の間の相互調整を十分にしながら研究を効率的に推進してほしい。また、研究成果が早急にITERなどの設計や運転に反映できる必要がある。
- ・ ITERとトカマク国内重点化装置が発電実証炉へ向けて果たす役割と研究戦略が非専門家ひいては一般市民にとっても理解できるような明瞭で分かりやすい説明を工夫することが大切である。
- ・ JT-60Uのトカマク国内重点化装置への改修は炉心プラズマ研究だけでなく、核融合装置技術の維持・開発のためにも大変重要である。また、重点化装置の建設工程策定に際しては、産業界には人・金・技術の全ての面でかつてのような体力は無いことに十分留意する必要がある。
- ・ 重点化計画がハイテク産業に与えるインパクト及び、重点化計画をはじめとする磁場核融合を支えるハイテク産業が長い不況のせいで業界の力が落ちてきており、核融合がそれに対する牽引車の役割を果たす可能性、について訴えていかなければならない。

(2) 資源配分(評価点 4.3)

これまでの実績・経験から生み出された予算計画であり、妥当である。人員配分については、全体に少ないのが心配である。

我が国における核融合開発研究の空白期を作らないためにも、重点化装置の建設にあたっては工程管理を保証しうる増員要求や大胆な人員配置を行い、さらにメーカーとの十分な事前打ち合わせにより5カ年計画に関する相互の信頼関係を確立することが重要である。

ITERに人をシフトし、総員数は増やすのが難しいのも理解できる。JFT-2Mのフェライト適正試験を予定通りに成功させ、人員のシフトを行っていくことが肝要である。また、JT-60改修やITERが進めば人員がそちらに割かれるのは当然だが、同時に、ITER以後を考える部門への配置も手薄にならないことを希望する。ITER以後を見ておくことがITERを正しい方向に導く方法だと思う。

(3) 原研他部門との協力・連携(評価点 4.7)

原研所内の連携協力は、核融合炉の安全性向上やITER建設のスピードアップのためにも、核分裂炉安全関連部署との連携、核融合工学部やITER開発室と緊密な協力体制を確立すべきである。

(4) 外部機関との協力・連携(評価点 4.4)

国内外の外部機関との協力・連携はよく計画されているが、さらに以下の観点・指摘を踏まえて、原研で十分に検討し、今後の共同計画に反映されることを望む。

トカマク国内重点化装置については、単なる一般的共同研究では核融合科学研究所との区別が難しく、ITERの成功と実証炉への展望を可能な限り早期に開くことが望まれるので、共同研究もこのミッションに沿った「戦略的共同研究」でなければならないと考える。

ミッション実現に向けて、原研が独自に計画推進体制を確立することは当然として、产学の全面支援は必須の条件であり、そのためには产学研との「戦略的共同研究体制」を早期に確立することが肝要である。この戦略的共同研究課題の設定には原研のみならず、大学等の知恵を最大限取り入れる仕組を考える必要がある。同時に、大学等からの提案を受け入れるだけでなく、原研から研究に行くという、戦略的共同研究の実施の中に双方向性を取り入れて行く発想も必要と思われる。ネーミングにまで配慮すべきである。

「産業界への技術移転は、基本的には物を実際に作ることでしか成し得ない」ということを認識し、継続的、計画的なR&Dや装置建設の推進を望む。また、重点化装置建設に際しては意思決定を迅速に実施できる能率的な組織作りを是非早期に実施されることも望む。

研究協力の活性化は望ましいが、原研としての自立性の範囲で妥当な計画がなされることが最も重要である。

(5) 人材育成の施策(評価点 4.6)

核融合研究開発はそれが長期にわたること、高い技術開発が必要なこと、優れた技術者が必要なこと等を、人材育成の特徴としており、大学からの積極的な人材確保、所内での若手の積極的登用、技術系職員の抜本的処遇改善などが必須である。

優秀な若手研究者の養成は長期・大型プロジェクト推進のための最も重要な課題であり、人材育成に関してはよく配慮されている。今後、以下の指摘に留意して進めてほしい。

- ・大学等との連携については、いろいろな可能性を模索してほしい。例えば、日本学術振興のポスドク研究員制度（博士研究員）の受け入れ努力など若手登用をいろいろな角度から増大するよう尽力してほしい。博士研究員の採用結果については、公表を行い、一段と透明性を高める必要がある。
- ・財政的理由などで重点化装置が建設されなくなった場合の実験研究者育成方策については評価対象外とのことだが、是非考えておくべきである。
- ・主任技術員制度の創設による技術系職員の処遇は大変重要である。大型装置は特に技術系職員の不断の努力により安定に安全に実験できるのであり、このような処遇制度を是非実施すべきである。

4.1.2 主要課題領域の研究計画

(1) 主要課題領域 1：発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発

1) 主要研究課題 1-1 JT-60 による定常炉心プラズマ研究

a) 目的・意義(評価点 4.9)

炉心プラズマ研究部が5カ年で取り組もうとしている定常高ベータ化研究開発計画は、JT-60U を用いた定常炉心プラズマ研究、重点化装置への改修計画、JFT-2M での先進材料適合試験から構成されており、これらが密接に関連して定常高ベータプラズマ研究につながっておりよく考えられた研究計画と評価できる。

JT - 60 レベルでの制御、国内重点化装置での制御、そして ITER での制御、との区分が十分明快に戦略的に組み立てられるべきである。分かりにくさがある。

JT-60 停止前にできることを最大限やっておくことは重要である。研究成果が発電炉の設計に反映されるよう整理・総括されることを望む。

b) 研究展望及び達成目標(評価点 4.9)

学術的な発見に基づいて性能を向上させ、世界記録を達成したことは素晴らしい、その実績に基づいて、燃焼プラズマを模擬して自律系プラズマの複合帰還制御法の開発することは高く評価できる。しかし、アルゴリズム開発内容を重点化装置、ITER で一層明確にして取り組むべきである。加えて、以下の点に留意して欲しい。

- ・運転制御を所謂職人技術ではなく、普遍化することが重要である。
- ・優先順位、①高 β_N の 30 秒維持、②高 BSC 率の 30 秒維持、③600MJ 入力、④非誘導での核融合積更新、は適切な順位付けと判断できる。特に、①、②が実現すれば実用炉に向けての大きな進歩と評価される。
- ・一方で、重点化装置との課題の明確な棲み分けをわかりやすい言葉で説明できるように心がける必要がある。

2) 主要研究課題 1-2 トカマク国内重点化装置への改修

a) 目的・意義(評価点 4.6)

ITER 建設期に重点化装置への改修計画の意義は非常に大きく重要な計画と認識する。高

ベータへの挑戦とその100秒間の保持制御という目的は高く評価できる。

重点化装置の研究課題として第2実験期に掲げられている Day long 実験は核融合炉の実現に向けた課題として国民にわかり易く、ITERと平行して積極的に進めるべきである。

しかし Day long 運転に関しては技術的検討が不十分な点もあるので、検討を前倒しにすることが望まれる。実証炉の設計開始後に Day long 運転が始まるというのは納得しにくいシナリオである。ITER の運転開始後は、すぐに Day Long 実験に入るオプションがあつても良い。

装置構成の一層の簡素化に向けた研究開発を引き続き実施してほしい。容器内コイルの設置は実験装置では良いが、炉ではできれば除去する方向で研究することが必要である。

総合所見でも指摘したが、ITERとトカマク国内重点化装置が発電実証炉へ向けて果たす役割と研究戦略が非専門家ひいては一般市民にとっても理解できるような明瞭で分かりやすい説明を工夫することが大切である。

b) 研究展望及び達成目標(評価点 4.8)

JT-60 がもつ様々な分布制御の道具を駆使すれば、改修前の目標達成は十分な見通しがあると理解した。改修計画は妥当と評価する。

今後5ヶ年での設計・建設のためには資源投入計画を抜本的に見直し、設計や建設工程などについて産業界と十分な意思疎通を図って推進する必要がある。

短期間の建設には、相当のリスクが伴うので、何を最も重要な目標とするかについて、議論と検討の余地がある。

3) 主要研究課題 1-3 JFT-2Mによる先進材料プラズマ適合性試験

a) 目的・意義(評価点 4.9)

JFT-2Mの先進材料試験は、フェライトを完全装備した世界唯一の装置であり、その実験成果には期待が寄せられている。近接フェライト装着により高ベータを実現できれば重点化装置及び ITER に向けて技術課題克服の見通しを得ることになる。

β 値最高記録更新のための実験でなく、実用炉への見通しを得るための実験であることを常に念頭において実施することを望む。

b) 研究展望及び達成目標(評価点 4.9)

達成目標は妥当と考える。実験期間が少なく、十分な準備研究と実施計画を練り上げ、実施することを望む。

4) 主要課題領域 1 全体の進め方(評価点 4.4)

全体によく計画されていて妥当である。今後、以下の指摘事項に留意して進めてほしい。

- ・核融合開発研究を加速するためにも、国内外における役割分担、協力を強力に推し進めるリーダーシップをとることが望まれる。
- ・JFT-2M に関しては旧核融合会議(現核融合専門部会)の評価に耐えられるよう運転時間の

確保等の努力が必要である。

- ・複合帰還制御の手法が実際の燃焼プラズマの制御に役立つ限界を明確にする。あくまで模擬であるので、模擬できない点が何かを明確に認識することも重要である。社会へのアピールと同時に学術分野への発信が重要である。関係学会での発表、制御分野の専門家との交流などこれまでと異なるアクションが必要である。
- ・改修前の JT-60 の計画がタイトと思われるが、順調であれば実施可能と判断する。装置建設に関しては産業界と十分な意思疎通を図ることと所内では抜本的に人員を増員すべきである。また、産業界には人・金・技術の全ての面でかつてのような体力は無いことに十分留意して、この分野への予算、人員の重点的シフトが必要である。特に集中的に設計を実施する必要がある。平成 16、17 年にはエンジニアリング費用と構造仕様作成のための人員を重点的に配分すべきである。

5) 主要課題領域 1 全体の予想される成果と波及効果(評価点 4.6)

ITER の次の課題を狙うものとして研究結果の有用性は高い。実用炉並の高ベータプラズマの定常化ができれば、核融合開発の技術的意味だけでなく、核融合認知への社会的インパクトも大きい。

予想される成果と波及効果において、例えば、複合帰還制御の手法を学術的にアピールを行うこと等が重要である。それには、関係学会での発表、制御分野の専門家との交流などこれまでと異なるアクションも必要である。また、他分野への発信の視点から広報に力を入れる必要がある。

研究成果が、核融合エネルギー開発に直結するよう整理され総括されることが第一に必要であるが、上述のように同時に学術との連関を保つことも重要である。

予想通りの成果が得られたとしても、核融合炉の実用化には経済性改善と環境適合性改善だけではなく、装置構成の一層の簡素化に向けた研究開発も重要である。

(2) 主要課題領域 2 : ITER 燃焼プラズマのための研究開発

1) 目的・意義(評価点 4.9)

炉心プラズマ研究部が 5 カ年で取り組もうとしている ITER 燃焼プラズマ研究計画は、JT-60U 及び周辺機器を利用した燃焼模擬実験、ITER へむけた新規計測器の開発を内容としており、ITER を実現し、我が国が積極的に貢献するためにも重要な意義があると評価できる。

引き続き核融合炉環境でも使用可能な機器の開発を推進してほしい。プラズマ物理としても新しい領域への挑戦であるので、多角的な問題意識の喚起が求められる。

2) 研究展望及び達成目標(評価点 4.7)

目標設定にあいまいで定性的な面がある。5 年後に評価が可能なようにできるだけ数値化するなど具体的提示をする必要がある。また、各論的には次の点に留意して進めて欲しい。

- ・テーマの中で、ディスラプション制御は「その成功の結果、普通にプラズマがつくだけである」という意味で、目に見える成果が地味ですが、最後に核融合実用化の死命を制するかもしれない技術なので、優先順位を下げることなく確実に実現していく必要がある。同様に、燃焼制御やダイバータ制御の最適化のため、コアとダイバータを繋げたコード (TOPICS+SONIC) の完成は、できるだけ急ぐ必要があろう。
- ・燃焼模擬実験には He のビームによる入射とダイバータからの排気により、内部での He 蓄積が起きない状況の実現性を確認することが必要である。He 蓄積が起きる運転、或いは制御法は将来につながらないため、自律系の制御に対する重要な因子に加えておくべきである。
- ・ITER で分担する計測機器の種類など具体的目標を早期に決定すべきである。

3) 研究の進め方(評価点 4.4)

- 炉心プラズマ研究部が5カ年で取り組もうとしている ITER 燃焼プラズマ研究計画は、JT-60U 及び周辺機器を利用した燃焼模擬実験、ITER へ向けた新規計測器の開発を内容としており、ITER を実現し、我が国が積極的に貢献するためにも重要な意義があると評価できる。以下の指摘事項に留意して進めてほしい。
- ・ITER における核融合燃焼プラズマの長時間保持の実現の尤度をあげるとあるが、ITPA で挙げられた課題以上に先鋭的に、具体的に、直接的にどのようにして尤度を上げてゆくかを示すことが望ましい。LHD で可能なことがあれば積極的に提言することが望ましい。
 - ・JT-60 解体後の平成 21 年までの間は、他機関、他国の装置の共同利用が形だけの計画にならないよう、人数なども含めもっと具体的になっている方がよい。
 - ・計測機器の開発とその性能検証にはかなりの時間がかかるので、ITER で分担する計測機器の種類を早期に決定すべきである。
 - ・計測機器開発に際しては製作メーカと意思疎通を十分に図り、必要な予算を準備することを望む。
 - ・分担機器以外の計測器についても、立案されている方策を計画どおり実行して最新の技術をフォローするようにしてほしい。

4) 予想される成果と波及効果(評価点 4.7)

ITPA 活動を支える装置としての役割は大きい。また、複合帰還制御の構築へ向けての基礎作りとして評価できる。いずれの研究も進展があれば ITER の計画に大きくプラスになるものばかりである。プラズマ物理としても新しい領域への挑戦があるので、多角的な問題意識の喚起が求められる。学界へのより積極的な働きかけが必要であろう。分担製作する計測機器については先端技術の獲得などの成果が期待出来る側面もある。

(3) 主要課題領域 3：理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化

1) 目的・意義(評価点 5.0)

核融合炉の設計、運転・制御には精度の高い炉心性能予測理論が必要であり、核融合実験に指針を与える理論研究は挑戦的で、目的・意義は高く評価できる。

上位階層と下位階層に分けたアプローチは、その目的・意義の明確化という意味でも適切である。

2) 研究展望及び達成目標(評価点 4.6)

核融合炉技術開発の観点から見れば、最終目標は上位階層のシミュレーションや実験解析への反映のはずと思うが、その反映方法が「信頼性の高い数値評価・予測が可能になる」といった抽象的記述に留まっている印象を受けた。例えば、上位階層のシミュレーションとの間をつなぐモデリングは領域2、3のどちらで実施するのかが明示されているとよいと思う。また、日本独自のポイントが何か明確になっていない。

チェック&レビューができるよう目標を具体化し、可能なものは定量的に表現することが望ましい。抽象的では事後評価が困難となる。

3) 研究の進め方(評価点 4.6)

統合コードの作成により、何が見えてくるのか。さらに具体的にかつ明快に物理課題を示す必要がある。

理論研究は、装置に囚われない幅広い研究推進が可能で、外部との緊密な連携による積極的な進め方の提言が必要である。下位階層のシミュレーションに関する全日本の体制の強化を進めてほしい。これらは大学などが特に参加しやすい領域のはずである。PPPL等とのベンチマークが進められているとのことで、今後も国際協力を推進してほしい。

4) 予想される成果と波及効果(評価点 4.9)

予想通りの成果が得られれば今後の核融合炉開発に有用な手段を与えると思う。また、解析手法などは他分野への波及効果が期待できる。

理論研究では、特に他分野への発信が期待される。大きな核融合予算で作成したシミュレーションコードが、本来の目的を達成することを第一義に努力すべきはもちろんあるが、例えば放電やプラズマプロセッシングで花咲く例を提示すると、国民に対する説明責任を一部果たすことにもなり、インパクトが大きい。この面のケアが大切である。情報発信の役割への期待が大きい。

他分野との交流に関して具体的な研究協力が実施されているので、高く評価したい。今後、ますます発展させてほしい。一方、理論の技法としてのイノベーションがないと波及性は期待できないのではないか。

4.1.3 その他の所見（上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等）

- ①新たなシステムや装置開発にはコンセプトが大変重要で、コンセプトが良くないと一定程度までは開発できたにしても、結局実用化出来ないあるいは社会に受け入れられないということがよくある。核融合炉が実用性をもつためには軽水炉と同様あるいはそれ以

上の簡略な炉構成が必要と思われ、それを目指した研究開発も実施すべきである。開発する核融合炉の構成、基本的な仕様などのコンセプトについて、ユーザである電力会社や機器メーカーなどのレビューを受けて開発目標を設定して、実用化の可能性をより高くする必要がある。

- ②核融合に代表されるリスクの大きい高度な技術が必要なシステムを開発する方法論を、今後日本として構築していく必要がある。
- ③全体的に、現在の組織に捉われた計画という印象がある。より大胆な組織の変更と重要なミッションへの集中が必要になると予想するが、テーマの重要性には変わりないので、しっかり推進して欲しい。
- ④現在の JT-60U で 65 秒運転を実現し成果を上げた場合、定常運転に向けて大きな見通しが開かれる。ITER 運転期における重点化装置の研究意義と展望、建設そのものの DEMO に向けた工学的貢献意義と展望について、再度明快な論理構成を望む。これと関連して、「重点化装置の実現性に主として予算面から否定的な動きが起きることも考えられる。電流拡散時間という限りにおいては 100 秒も 65 秒も大差はなく、費用対効果を考えると、自由境界限界以下について重点化装置が行うべきことの大半は終えてしまうと考える人たち（原研内外に）もいるのは事実であろう。自由境界限界を超えるための方策として提案している抵抗性導電壁の導入、橍円度、三角度の運転スペース拡張への改造、環境適応性のためのフェライト装填、等も JT-60U で実施せよとの意見が起きないとは限らない。」という声が危惧される。しかし、総合所見でも述べたが、長時間実験の価値は秒数だけでは計れず、改修前の 65 秒放電と改修後の実験はトロイダル磁場強度が大きく異なり、従って達成する温度密度領域は大きく異なる。さらに自由境界限界ベータを超える実験については、橍円度・三角度の運転空間の拡張が不可避である。重点化装置では全コイルの SC 化により ITER 運転期に高ベータプラズマの定常運転に関わるデータ提供が可能であり、そうした役割・意義をできるだけ明快な形で示すことである。
- ⑤プロジェクト研究は本来複合的、多層的なものであるが、これを要素還元しないと「学」のテーマにはなりにくい。もちろん、複雑性の科学が指摘するような要素還元批判があるにせよ、学の価値体系に位置づけられる研究テーマは、多階層で複合的、複雑、個別的な現象そのものではなく、普遍性をもつテーマに抽象化される必要がある。特に、大学等との連携を進めるためには、プロジェクトが直面する課題と、大学が追求している学との対応関係を整理しなくてはならない。

4.2 核融合装置試験部の研究開発課題に関する評価結果

4.2.1 項目別評価

(1) 研究開発の基本方針(評価点 4.8)

物理実験を遂行する炉心プラズマ研究部と一体となり JT-60、JFT-2M の運転管理をしつかり行う計画そしてトカマク国内重点化装置の設計等の活動は全体的に高く評価できる。

特に、大型装置を安全、安定に、効率よく運転するためには運転・保守が大変重要で、これまで優れた成果をあげてきており妥当な方針である。運転に関わる各種データベースの構築に関しては、今後も引き続き推進することを望む。

また、トカマク国内重点化装置建設は核融合炉開発にとっても、また産業界の装置製作技術の維持・発展にとっても大変重要であるので、産業界との一層の連携を図って設計を進め、予定のコストで確実に実現できるものにしてほしい。

(2) 資源配分(評価点 4.8)

これまでの経験と実績から判断して、資源配分についてはよく検討されており、各領域人員の機動的な配置も大変重要であり、妥当である。

主要課題領域 1 のトカマク国内重点化装置の成功には、安全性及びプロジェクトの完成度の観点から、十分な人材の投入と適正な予算の確保が必要である。そのためには、必要予算の見積もり精度を早急に高めておく必要がある。経済環境は従来と一変しており、産業界は大変厳しい状況に置かれている。産業界からの見積もりを取得していないようだが、産業界の見積を参考にして予算計画を立案する事が必要と思う。

主要課題領域 2 の人員については、NBI 並びに RF の調整業務を含むということで、基本的には人員は削減できないということも納得できる。

(3) 原研他部門との協力・連携(評価点 5.0)

現在の体制の中でも、バックエンド技術など核分裂炉を背景にもつ研究部門との相互協力が大変うまく機能している。特に、放射線管理並びに技術開発の有機的連携は評価される。今後の原子力二法人統合後もこういう体制を維持できるよう、なお一層の努力を傾注してほしい。引き続き、炉心プラズマ研究部、核融合工学部、ITER 開発室と密接に連携して推進してほしい。

(4) 外部機関との協力・連携(評価点 4.5)

外部機関との協力・連携の計画は概ね妥当といえるが、以下の指摘があった。

核融合科学研究所の技術部との交流、連携を取り入れて、わが国の技術レベルの向上を図ることができれば大変良い。また、外部機関との協力・連携の成果について参加者がこの協力活動の成果によって派遣元の機関(法人)から評価される仕組みが今後重要なとなる。

重点化装置は大学なども含めて全日本的に計画が推進されることになっているが、設計・建設では迅速な意思決定が必要な状況が出て来ると予想される。工程通り建設するためにはこれに対応できる機動的な枠組を作る必要がある。また、大型装置の建設前の設計

やR&Dなどのプリエンジニアリングも必要であり、計画の実現、実行予算の最適化にとって大変重要である。そのための必要予算及び仕組みを確保することが重要と考える。

また、日本の優秀なメーカーの力を最大限に利用することが重要と思う。昨今の産業界をとりまく日本経済の厳しい情勢に鑑み、さらに一段と緊密な産業界との連携で、重点化装置の設計と建設を進めてほしい。

(5) 人材育成の施策(評価点 5.0)

大型装置での実験を縁の下で支える技術者を適正に処遇する事は大変重要であり、各種の施策は妥当と思う。特に、士気の向上、視野の拡大について、主任技術員制度の創設などによる処遇の一層の改善を早期に推進される事を望む。

4.2.2 主要課題領域の研究計画

(1) 主要課題領域 1： トカマク国内重点化装置への改修

1) 目的・意義(評価点 5.0)

炉心プラズマ研究部と共に、重点化装置への改修の目的・意義は高く評価できる。
重点化装置で開発した技術を ITER 建設に効果的に適用するようにしてほしい。

2) 研究展望及び達成目標(評価点 4.7)

研究展望及び達成目標は妥当と評価する。以下の指摘事項に留意してほしい。

- ・ JT-60 の設備を最大限利用すると共に、全世界的な資産の活用の可能性も検討すべきではないか。
- ・ JT-60 や LHD は 7～8 年の製作期間を要した。これらの実績から類推して平成 21 年のプラズマ点火は大変厳しい工程と言わざるを得ず、工程確保のためには抜本的な施策が必要と思う。
- ・ 重点化装置の建設工程策定に際しては、産業界には人・金・技術の全ての面でかつてのような体力は無いことに十分留意する必要がある。
- ・ 外部機関との協力・連携の成果について参加者がこの協力活動の成果によって元機関（法人）から評価される仕組みが今後重要となる。
- ・ 第 2 期の Day long 研究にすぐ移行できるように、計画そのものをあらかじめ立てておく必要がある。特に電源系の整備方針を早急に確立すべきである。

3) 研究の進め方(評価点 4.6)

以下に指摘した事項に留意して研究を進めてほしい。

- ・ 「運転制御」特に複合帰還制御について、体系化、共通化する努力を核融合装置試験部と炉心プラズマ研究部で協力し、外部の他分野の専門家を取り込んで作り上げていくことが大切である。
- ・ 超伝導コイルの品質管理には細心の注意を払うと共に、それがきちんと組織化されて行われることを特に希望する。

- ・ JT-60 解体前に、加熱機器、特に NBI の 30 秒は必ず実現しておくべきである。NBI、RF とも、最終的な 100 秒のテストは、結局重点化装置稼動後になると理解している。これは核融合研究の特性としてやむをえないが、加熱電流駆動系の 100 秒化が重点化装置稼動から何年もかかったりすると、仮に誘導の補助で非常に良いプラズマがついても、核融合界内外からの評価はかなり下がると思う。これまでの NNB 開発の経験を生かして、速やかな目標達成を目指してほしい。
- ・ プラズマ点火を最速で達成するためには、設計を実施する平成 15, 16, 17 年度に思い切った資源の投入が必要であろう。主要機器は構造仕様発注を目指すことだが、このためには全体で数千枚の図面を作成する必要があり、資料記載の人員・予算計画では工程確保は大変難しいと思われ、予算計画の見直しが必要であろう。
- ・ 設計から製作・据付・試験という全体のエンジニアリングスケジュールを早急に立案する必要がある。
- ・ 特に安全性に留意して開発を進めてほしい。

4) 予想される成果と波及効果(評価点 4.9)

加熱系の準定常化は、ITER の加熱系開発への試金石となるはずなので、成功すれば大きな効果がある。特に ECRF の 1MW 管 100 秒化ができれば、その ITER 用ジャイラトロンへの波及は大きい。重点化装置で開発した技術を ITER 建設に効果的に適用すべきである。特許の取得、広報に一層力を注いでほしい。

(2) 主要課題領域 2：装置の運転保守と機器管理

1) 目的・意義(評価点 4.9)

周到に計画されると高く評価する。特に JT-60U 解体後の放射化物の管理と重点化装置への再利用機器の保管に注力する事は重要と思う。主要課題領域 2 の業務内容の詳細から見て兼務で人員を削減するのは難しいということは理解できた。JT-60 などの長期間の運転実績から故障確率などのデータベース整備を進めているとのことで、今後も引き続き推進することを望む。

2) 研究展望及び達成目標(評価点 4.9)

妥当な目標設定である。

3) 研究の進め方(評価点 4.6)

以下に指摘した事項に留意して研究を進めてほしい。

- ・ 種々のノウハウを国際的に共有することを検討する必要はないか。また、JT-60 のトロイダル磁場コイルに関しては老朽化しているので、格段の安全性に注意を払ってほしい。
- ・ JFT-2M は優秀な装置なので、技術的、法的に可能なら、単に止めて保管するのではなく、例えば有料で海外機関に貸すような有効利用も考えてはどうか。解体がコストとしても大変なのは理解できるが、止めてそのままおいておくというのもまた工夫がないような

気がする。

- ・ 豊富な実績があるので問題ないと思うが、JT-60U解体時には、各機器が重量物でもあり放射化物の解体・移動・保管などに際して十分安全を確保して実施してほしい。

4) 予想される成果と波及効果(評価点 4.6)

大型装置の長期にわたる運転・保守の実績やノウハウは、他の大型装置のそれに有用である。また個別機器の故障確率などのデータベースは核融合炉設計にとって大変重要であるので、引き続き推進してほしい。運転保守管理は順調に行って当たり前という厳しい状況であるが、常に緊張感を持って当たってもらいたい。また、安全な解体・保管管理のノウハウは、有効に利用できるものとして整理してあれば有用になる。

4.2.3 その他の所見(上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)

- ①トカマク国内重点化装置の主要機器は、構造仕様発注を目指し、設計・製作の取合い管理、工程管理など原研が統合エンジニアリングを実施することだが、構造仕様作成には全体で数千枚の図面を作成する必要があり、また、統合エンジニアリングを担当する人員も必要になる。平成21年プラズマ点火から逆算した、主要機器までブレークダウンし担当者を割り当てたエンジニアリングスケジュールを早急に立案して実行する必要がある。
- ②一般的に、プロジェクトに関与する人や組織が多くなるほど、迅速な意思決定が難しくなる。重点化装置の計画通りの製作には、これまでの多くのプロジェクト実施実績に基づいたプロジェクト実施時の迅速な意思決定を担う具体的な組織の立上げが必要である。
- ③350億の予算額にはDay Long実験に向けた予算が含まれていないように見える。Day Longの実験に関して、特に放射線予防に関する議論が不十分と思われる。安全面での許容ショット数、重水素ビームを打てないとしたときのプラズマパラメーター等々、事前評価をもう少し詰めておく必要がある。
- ④炉心プラズマ研究部とあまりにも独立分離した組織のように見えるが、相互の緊密な連携の下に計画が遂行されることを望む。

4.3 その他全般的な所見

- ①技術開発課題の多い大型機器システムは、構造仕様での製作が、製作メーカーのリスクを小さくしてコスト低減に繋がる。ITERも超電導コイルなどの主要機器は構造仕様で製作するとしており、重点化装置も構造仕様での製作が望ましい。また、開発品であるが故に製作途中での新たなR&Dの追加等が発生する事が予想されるため、契約形態も請負ではなく出来高払いのような形態が全体としてのコスト低減に繋がると思われる。
- ②従来、日本では装置建設前の設計やR&Dなどのプリエンジニアリングには予算が余り付けられず、実機の受注で補ってきたが、大型装置建設計画ではその実現、実行予算の最適化にとってプリエンジニアリングが大変重要である。今後は、国際入札による発注が一般化すると思われ、また構造仕様での発注も想定される。そのためには、設計、図面作成等のためのエンジニアリング費用が必要になり、そのための必要予算を確保することが重要と考える。
- ③JT-60やLHDなど大型装置建設から相当の時間が経過しており、産業界での経験者も高年齢化して退職者が増加している。また、企業では受注が無ければ人を維持できないため、後継者の育成は言うに及ばず経験者の維持もままならない状況である。重点化装置の建設が遅れれば遅れるほどこの傾向が強くなり、いざ製作となった場合に技術者・技能者がいないという事態になりかねないので、計画が遅れないように推進されることを望む。

5. おわりに

本報告書は、核融合研究開発専門部会評価委員並びに専門委員各位の真摯な努力と原研の関係各位の誠意ある対応がなければ完成しなかったことをまず述べなければならない。原子力二法人統合を目前に控え、一方で第3段階核融合開発計画の中核装置である ITER の動向の決定も間近という過渡的な状況の中で、的確にその方向を評価できたのは大きな成果であろう。日本原子力研究所にあっては、統合後も我が国における核融合エネルギー研究開発の中核機関として、国民的理解を得て、産官学の強い連係協力の下、核融合コミュニティーの中にあっても緊張感を持って、核融合が近い将来におけるエネルギー源の魅力的なオプションであるべく、一層の努力を傾注されることを望む次第である。

炉心プラズマ研究部並びに核融合装置試験部にあっては、評価委員並びに専門委員各位が貴重な時間を割いて熱意あふれる討論の下、作成された本報告書の内容を十分に尊重され、那珂研究所長のリーダーシップの下、上記の期待に応えられることを強く切望する。

最後に、評価に当たられた核融合研究開発専門部会の評価委員と専門委員各位の熱意と努力に感謝すると共に、日本原子力研究所の研究評価推進室事務局の惜しみない支援にお礼申し上げます。

別表-1 核融合研究開発専門部会評価結果（評価点）一覧
評価点は専門部会各委員の5段階評価点の平均値を示す。

炉心プラズマ研究部の研究開発課題

		評価項目		評価点
項目別評価	(1) 研究開発の基本方針		4.8	
	(2) 資源配分		4.3	
	(3) 原研他部門との協力・連携		4.7	
	(4) 外部機関との協力・連携		4.4	
	(5) 人材育成の施策		4.6	
研究開発課題領域評価	主要課題領域1	1) 主要研究 課題1-1	a) 目的・意義	4.9
			b) 研究展望及び達成目標	4.9
		2) 主要研究 課題1-2	a) 目的・意義	4.6
			b) 研究展望及び達成目標	4.8
		3) 主要研究 課題1-3	a) 目的・意義	4.9
			b) 研究展望及び達成目標	4.9
		4) 研究の進め方		4.4
		5) 予想される成果と波及効果		4.6
	領域2	1) 目的・意義		4.9
		2) 研究展望及び達成目標		4.7
		3) 研究の進め方		4.4
		4) 予想される成果と波及効果		4.7
	領域3	1) 目的・意義		5.0
		2) 研究展望及び達成目標		4.6
		3) 研究の進め方		4.6
		4) 予想される成果と波及効果		4.9

別表-2 核融合研究開発専門部会評価結果（評価点）一覧

評価点は専門部会各委員の5段階評価点の平均値を示す。

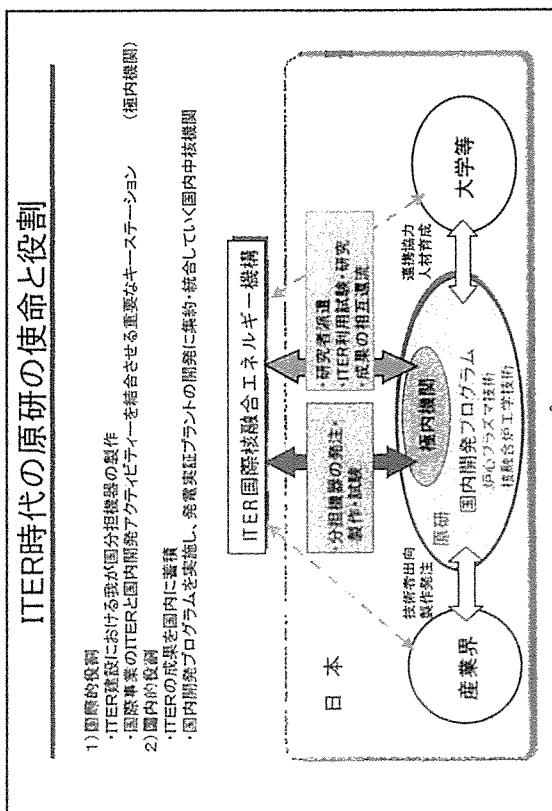
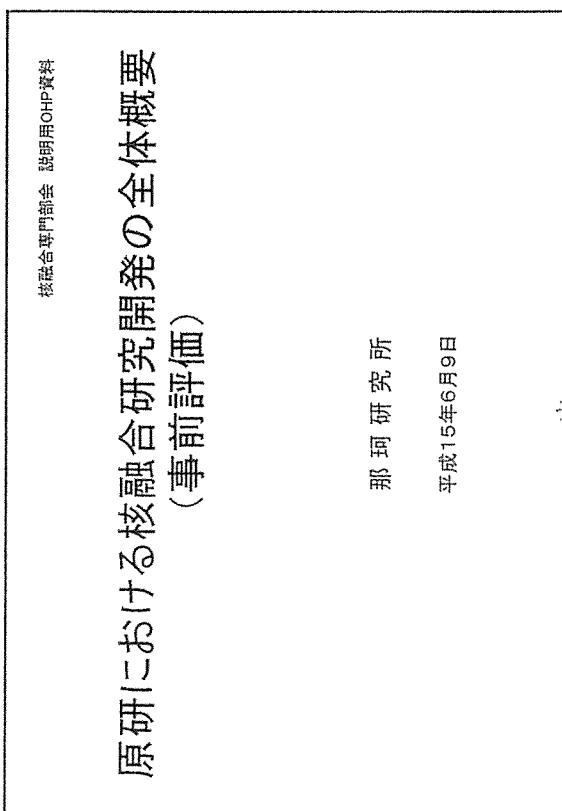
核融合装置試験部の研究開発課題

		評価項目	評価点
評価 項 目 別 評 価	(1) 研究開発の基本方針		4.8
	(2) 資源配分		4.8
	(3) 原研他部門との協力・連携		5.0
	(4) 外部機関との協力・連携		4.5
	(5) 人材育成の施策		5.0
研究開発評価	主要課題領域1	1) 目的・意義	5.0
		2) 研究展望及び達成目標	4.7
		3) 研究の進め方	4.6
		4) 予想される成果と波及効果	4.9
	主要課題領域2	1) 目的・意義	4.9
		2) 研究展望及び達成目標	4.9
		3) 研究の進め方	4.6
		4) 予想される成果と波及効果	4.6

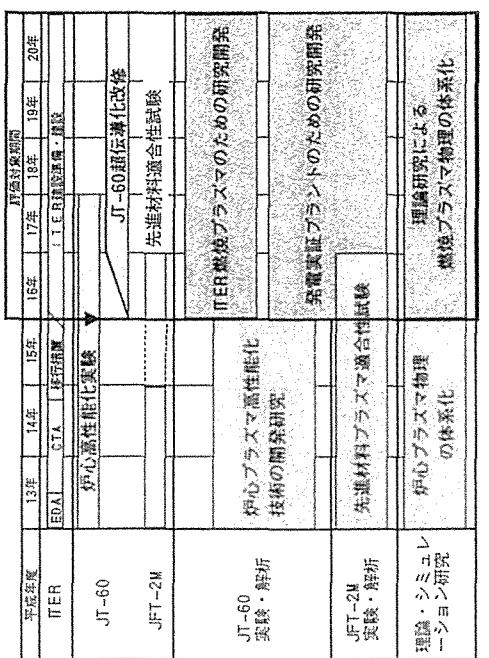
This is a blank page.

参考資料 核融合研究開発に関する説明用 OHP 資料

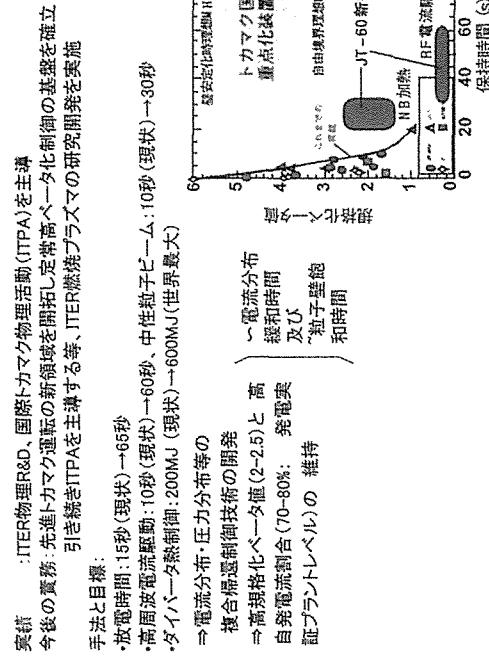
This is a blank page.



研究開発課題の年次展開



JT-60における定常炉心プラズマ研究

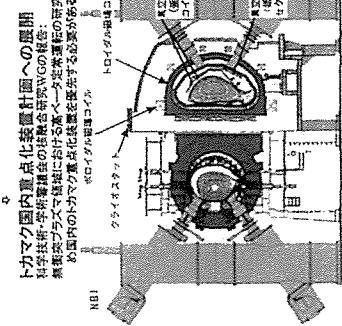


トガマク国内重点化装置計画

- JT-60定常高ベータ化計画 -

目的

- ITERへの貢献(定常運転シナリオの構築、運転裕度の向上)
- 核融合工エネルギーの早期実現、経済性改善に向けた研究開発
- ITER研究への主導的参加のための人材育成



現在のJT-60 → 改修 → トガマク国内重点化装置

JT-2Mによる先進材料のプラズマ適合性試験

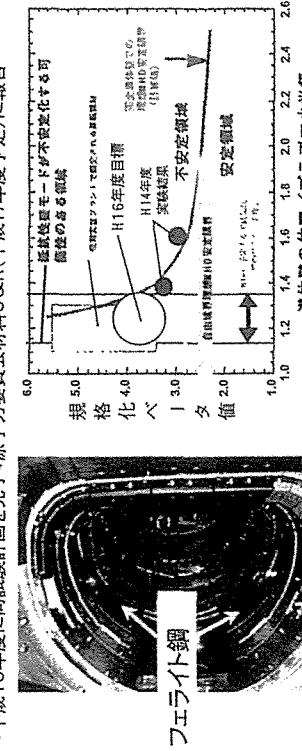
(世界でJT-2Mのみが可能)

これまでの成果

- トロイダル磁場リップルに起因する高速イオン損失を確認
- 高閉じ込め性能との適合性を確認

今後の計画

- 高ベータプラズマの最大の課題である抵抗性壁モードに対する近接強磁性壁の安定化効果を評価・解明
- 平成16年度に同試験計画を完了の原子力委員会材料C&R(平成17年度予定)に報告

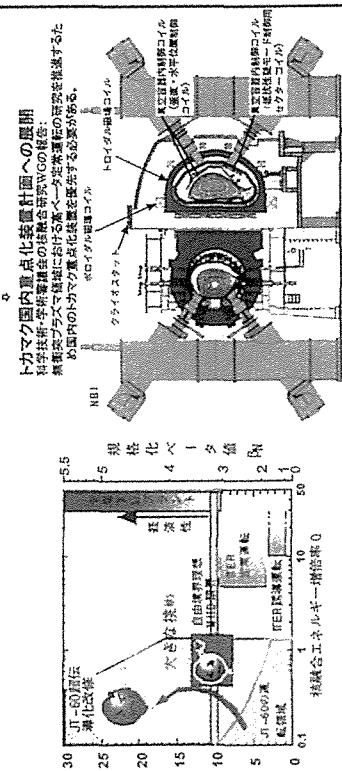


トガマク国内重点化装置計画

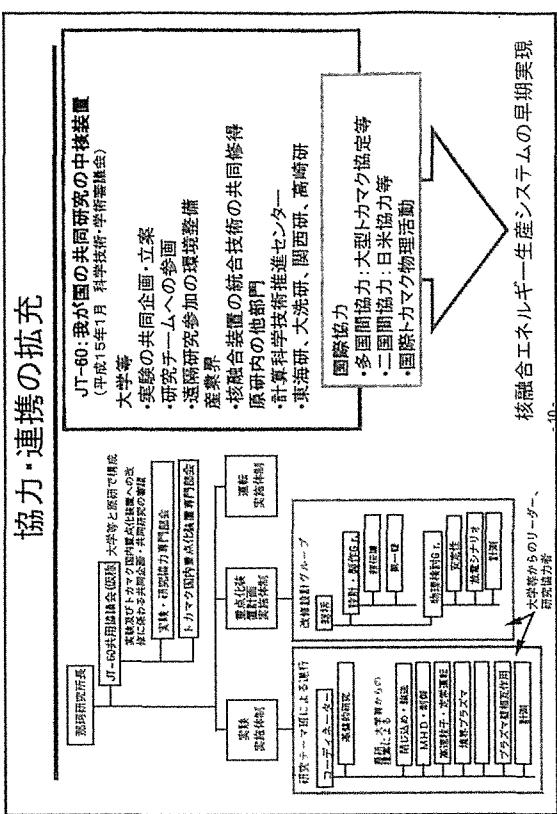
- JT-60定常高ベータ化計画 -

方法

- トロイダルコイルの超伝導化と先進的制御システムの導入、&底面の加熱、計測、電源等の諸施設を活用
- 全日本の体制で推進(大学等と共同で実験を企画、立案、実施)



現在のJT-60 → 改修 → トガマク国内重点化装置



全体研究資源の実績と今後の計画

人員、予算、及び主要設備の運用と開発に関する実績と今後の計画

		研究プラスマ研究部		核融合装置試験部			
H.11	2,435	101	5,429	97			
H.12	1,871	101	5,839	97			
実 績	2,072	101	2,936	93			
H.14	999	83	1,721	90			
H.15	1,236	75	1,429	65			
合計	8,753	—	18,654	—			
H.16	820	66	2,507	80			
H.17	820	65	8,167	67			
△ 決 算	753	65	7,923	67			
H.18	853	65	7,420	67			
H.19	1,155	65	7,963	67			
合計	4,399	—	33,660	—			

標題の研究開発の炉心プラズマ

核融合工エネルギーの早期実証を目指して、

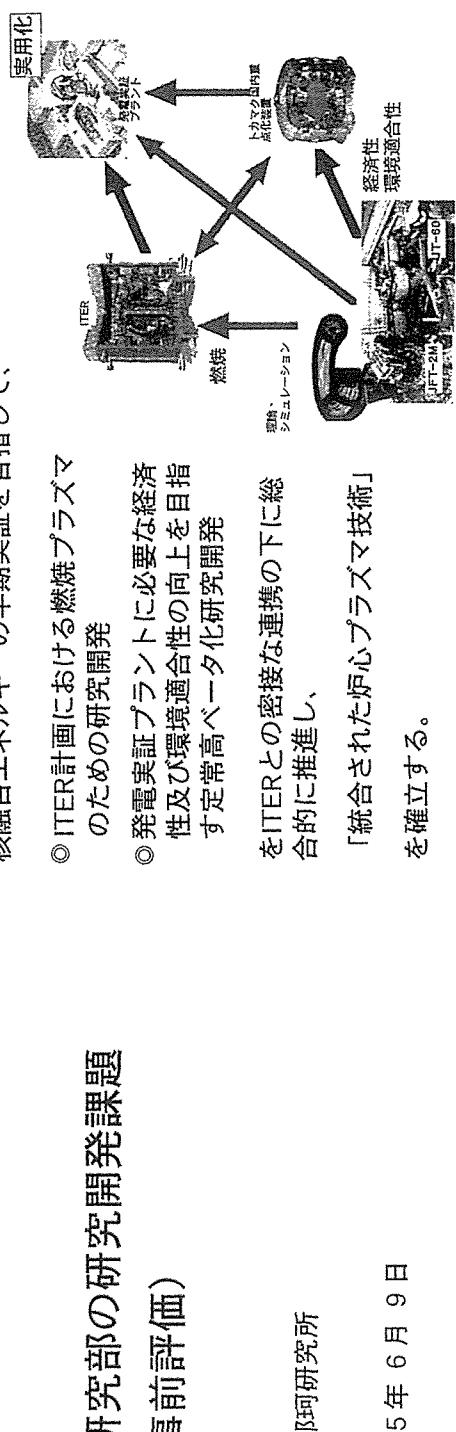
- ◎ ITER計画における燃焼プラズマのための研究開発
 - ◎ 発電実証プラントに必要な経済性及び環境適合性の向上を目指す定常高ベータ化研究開発

をITERとの密合的に推進し

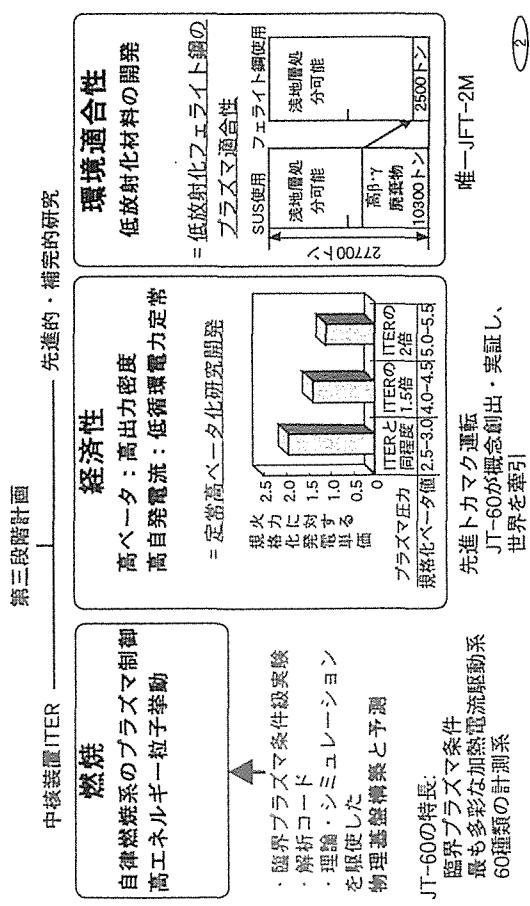
を確立する。

平成15年6月9日

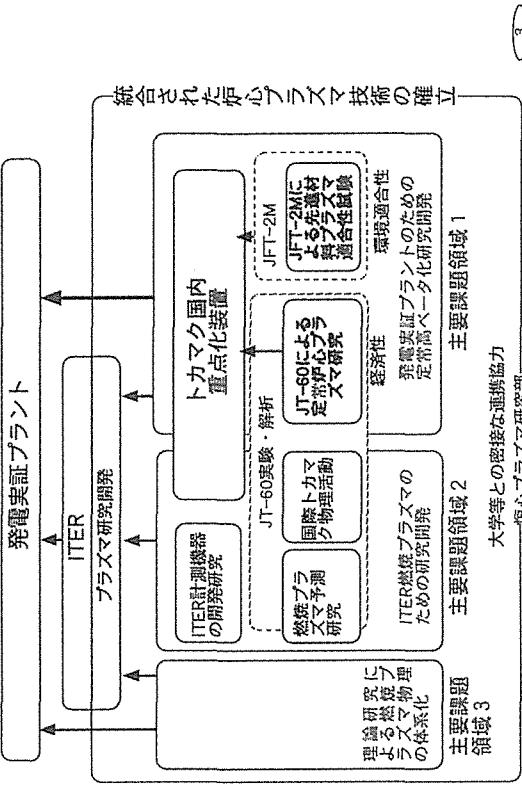
炉心プラズマ研究部の研究開発課題 (事前評価)



3つのブレークスルーと第三段階計画での位置付け



成構題課発開研究マラズ心炉



主要課題領域の研究実施体制

5課室、9研究テーマ、3業務テーマの有機的連携で実施

課室名	主要調査対象	1. 発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発		2. ITER炉心プラズマ試験装置への改修		3. 実験炉心プラズマ物理のための研究開発	
		研究・実験テーマ (*印は新規テーマ)	JT-60による内包マク風置への改修	ITER炉心プラズマ試験装置への改修	ITER炉心プラズマ試験装置の改修	ITER炉心プラズマ試験装置の改修	ITER炉心プラズマ試験装置の改修
炉心プラズマ 計画室	炉心プラズマに關する社会評価 炉心プラズマに対する社会評価*	○	○	○	○	○	○
炉心プラズマ 解析室	炉心プラズマの管理 炉心プラズマの管理*	○	○	○	○	○	○
炉心プラズマ 測量室	炉心プラズマの間に込めと 加熱に關する研究 炉心プラズマの定常化 に關する研究 炉心プラズマの計測と 計測装置の開発研究 J-60炉心測量装置の運転 及び保守*	○	○	○	○	○	○
ITER炉心開発研究室	ITER炉心開発装置の開発研究(注1) 炉心プラズマ物理 高性能化の研究(注2)	○	○	○	○	○	○
ITER炉心開発研究室 炉心プラズマ物理 高性能化の研究(注2)	ITER炉心開発装置の開発研究(注1) 炉心プラズマ物理 高性能化の研究(注2)	○	○	○	○	○	○

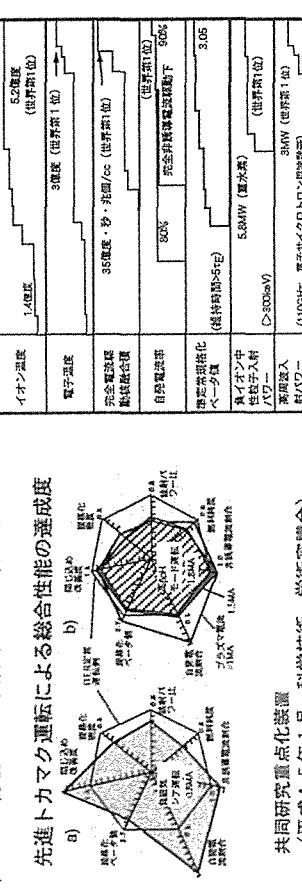
(注2) 平成17年度上り、(注2)

JET-60の研究開発実績

先進トカラマク運動の概念創出・実証で世界を牽引

- 臨界プラズマ条件の達成
世界最高のプラズマ性能
世界最高の電流駆動性能

- ・ 内部輸送障壁＆電流ホールの発見等の独創・
新規性に富む物理成果
- IJFR物理R&D、国際トカマク物理活動を主導



共同研究重点化装置
(平成15年1月・科学技術・学術懇談会)

主要課題領域

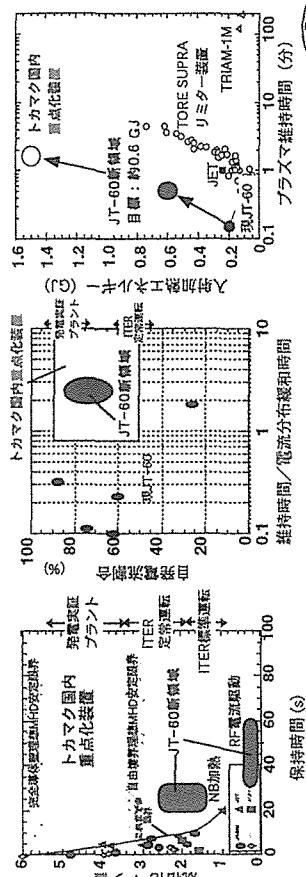
発電実証プラントのための定常高ベータ化研究開発

主要課題領域1-1: JT-60による定常炉心プラズマ研究 1

先進トカマク運転方式の上で、トカマク研究開発の新領域を開拓する。
放電時間は従来の15秒から65秒に伸長～電流分布緩和時間及び粒子壁飽和時間
ナダイバーク磁制御：世界最大の加熱入射エネルギー一箇所

- + 世界で最も多様な加熱・電流駆動を用いた複合型遮蔽技術を開発

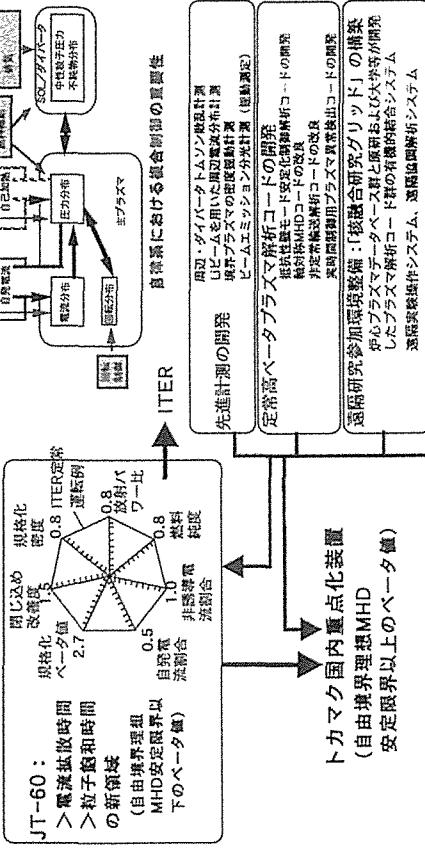
高ベータ値（規格化ベータ値 =2-2.5）、高自発電流割合（70-80%）の維持。
完全非導管電流駆動状態における性能向上（核融合構造：現在の $3.1 \times 10^{20} m^{-3} keV$ の更新）
炉心級プラズマ鏡像において、ITERの定常運転に必要な高い総合性能を実現。



1

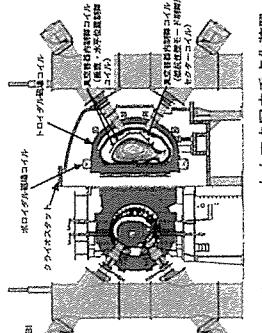
主要課題領域1-1: JT-60による足常炉心プラズマ研究2

自律系プラスマの複合帰還制御
技術の開発と総合性能の向上



主要課題領域1-2:トマト化装置への改修

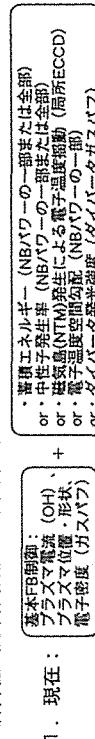
パラメータ	JT-60(実験)	トガマ2 国内盤点装置*
電磁拘束時間	15秒 (全放熱時間)	10秒 (ワット・トップ時間)
最大燃熱、	40MW (10秒)	41MW (10秒)
電磁拘束入力		14.7MW (10秒)
トロボク電流	3MA	4MA
トロボク電場	4T	3.7T
主回路 (rb)	3.4m	2.9m
小回路 (ap)	0.9m	0.9m
角度拘束 (θ _{CS})	1.8 (θ _{CS} =0.05)	1.1 (θ _{CS} =1.25)
三角形拘束 (θ _{BG})	0.4 (θ _{BG} =1.25)	0.4
沿高さ (z)	≤ 3	3.5 ~ 5.5



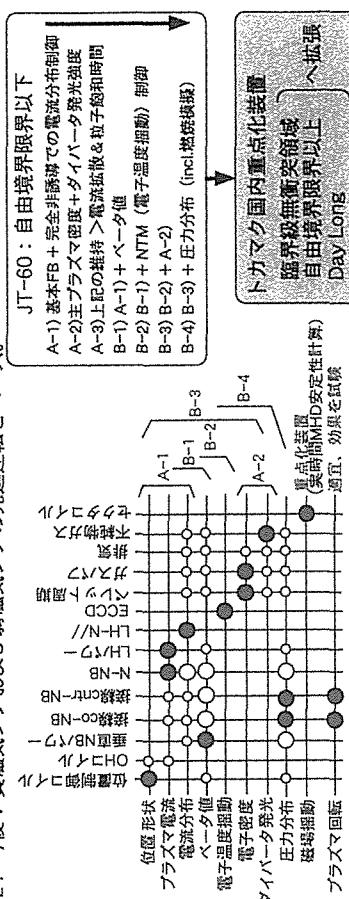
49
中華書局影印

復合帰還制御の研究開発

上に記載の如き、本件は、電力供給の問題を除くと、主として、電線の架設、電線の接続、電線の修理等の問題である。そこで、まず、電線の架設について述べる。電線の架設には、架空線と地下線がある。架空線は、地上に架けられた電線で、地下線は、地中に埋設された電線である。架空線は、地下線よりも、費用が安く、施工が簡単であるが、地下線よりも、安全性が低い。地下線は、架空線よりも、費用が高く、施工が複雑であるが、地下線よりも、安全性が高い。したがって、電線の架設には、架空線と地下線のどちらかを選択する必要がある。

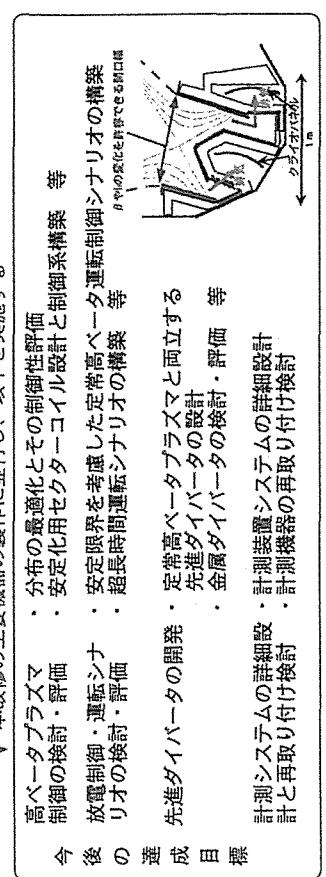


今後：負磁気シアおよび弱磁気シアの先進運転をベース



主要課題領域1-2:トカラマク国内重点化装置への改修2

実験	JT-60の世界有数の既存設備を活用し、性能向上のための研究開発に必要な機動性と自由度を最大限確保。	・高ベータ安定性解析 ・抵抗性壁モード妥当化制御性・理論 ・新古典アーリングモードの安定化制御性(ECCD) ・定常運転領域検討 ・リップル損失減化設計 等
----	--	--



1

主要課題領域1-3: JT-2Mによる先進材料プラズマ適合性試験

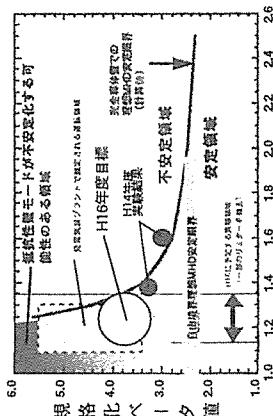
目的：高性能プラズマと低放射化フェライト鋼（強磁性体）製第一壁との適合性の実証
（世界で唯一JT-2Mのみが可能）

実験領域を高ベータ領域に拡張し、同実験計画を完了する。
原電力委員会材料C&R（平成17年度予定）に報告する。

Hモード物理研究で世界を主導
先進材料のプラズマ適合性の基本要件を実証

1) 自由境界理論MHD安定限界以上の高ベータ値維持の最大課題である抵抗性壁モードに対する近接強磁性体壁の不安定化効果を評価・解明する。
2) 中性粒子ビームによる運動量入射で、プラズマを回転させて安定化を図り、高ベータ化の展望を拓く。
3) JT-2Mが差異した高リサイクリングHモードの開拓に改善機構の解明と最適化で高ベータ化を実現する。

JT-2M+トカマク国内重焦点化装置
=発電実証プラントへの外挿性

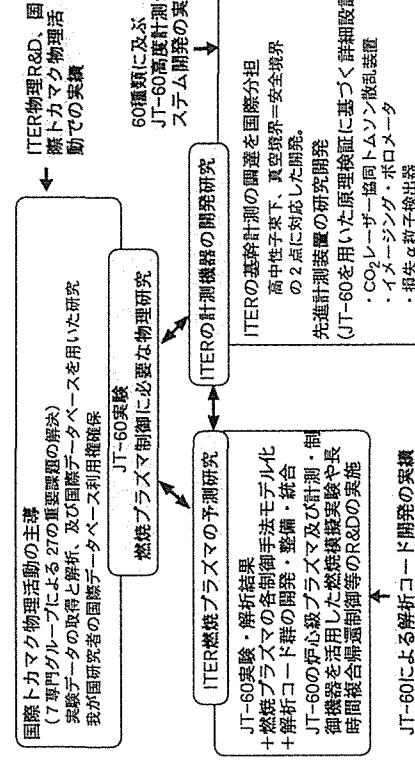


主要課題領域1 の年次的進め方

年度	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年
トカマク国内重焦点化装置	実験運転						
JT-2M	飛躍						
トカマク内重焦点化装置	放電耐久性50秒、RF出力実験60秒						
JT-2Mによる定常炉心	先進トカマク電流分布計測実験の確立						
プラズマ研究	ECOM	ターバーネル炉心形状の拡大	ターバーネル炉心形状の拡大	ターバーネル炉心形状の拡大	ターバーネル炉心形状の拡大	ターバーネル炉心形状の拡大	ターバーネル炉心形状の拡大
JT-2Mによる先進材料	国内環境での定常化炉心研究	定常高ベータプラズマ解析コード開発	定常高ベータプラズマ解析コード開発	定常高ベータプラズマ解析コード開発	定常高ベータプラズマ解析コード開発	定常高ベータプラズマ解析コード開発	定常高ベータプラズマ解析コード開発
トカマク内重焦点化装置	ITER実験データベースを利用確認						

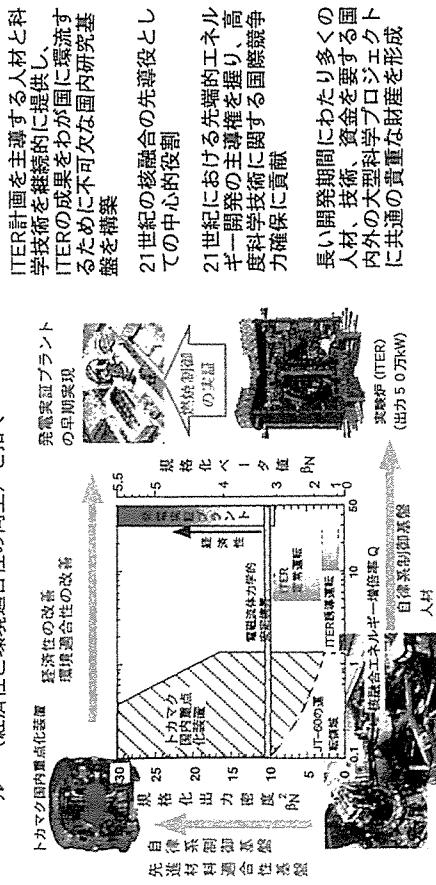
主要課題領域2 : ITER燃焼プラズマのための研究開発1

JT-60の実験・解析を中心に、ITERにおける燃焼プラズマ開発に必要な物理研究を遂行
自己加熱割合（=燃耗）+ 高自発電流割合 → 自律性の高い新たなプラズマ領域の開拓
要素性能の整合がされた燃焼プラズマ制御の最適化



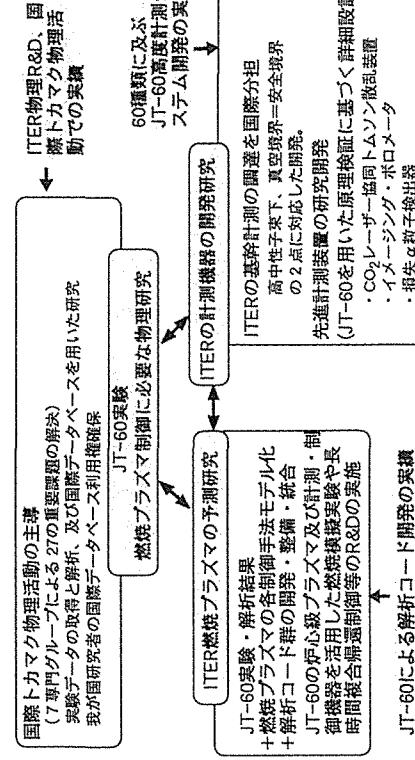
主要課題領域1 で予想される成果と波及効果

発電実証プラントに必要な二つのブレーカス
ルー（経済性と環境適合性の向上）を拓く。



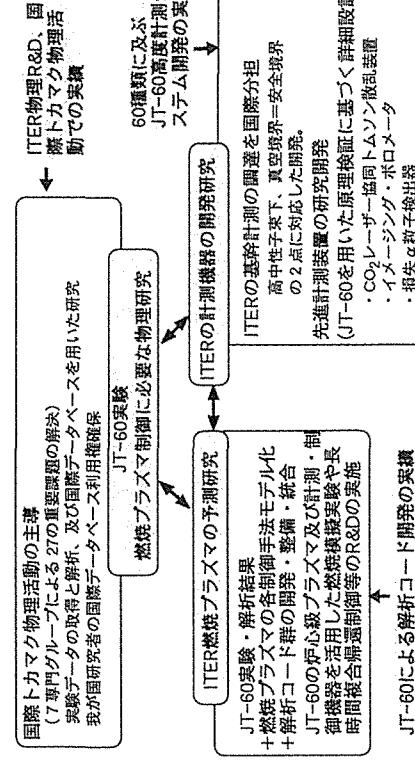
主要課題領域2 : ITER燃焼プラズマのための研究開発1

JT-60の実験・解析を中心に、ITERにおける燃焼プラズマ開発に必要な物理研究を遂行
自己加熱割合（=燃耗）+ 高自発電流割合 → 自律性の高い新たなプラズマ領域の開拓
要素性能の整合がされた燃焼プラズマ制御の最適化

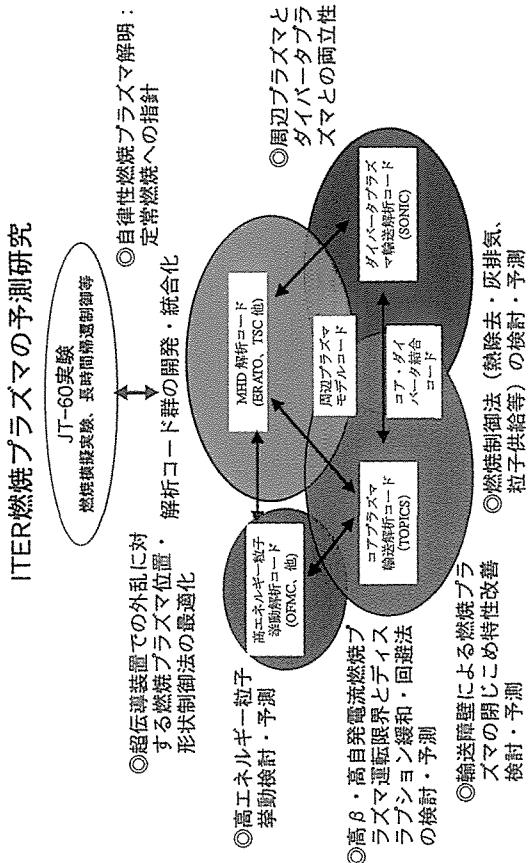


主要課題領域2 : ITER燃焼プラズマのための研究開発1

JT-60の実験・解析を中心に、ITERにおける燃焼プラズマ開発に必要な物理研究を遂行
自己加熱割合（=燃耗）+ 高自発電流割合 → 自律性の高い新たなプラズマ領域の開拓
要素性能の整合がされた燃焼プラズマ制御の最適化

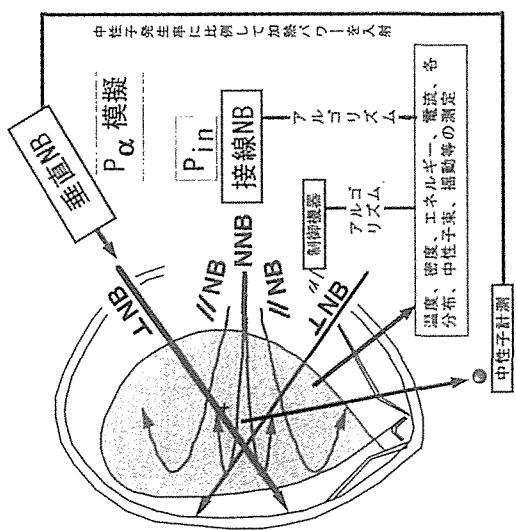


主要課題領域2：ITER燃焼プラズマのための研究開発2

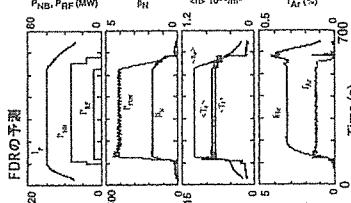


主要課題領域2の年次の進め方

JT-60による燃焼模擬実験



ITERの燃焼プラズマ予測研究



モード等の発達への影響

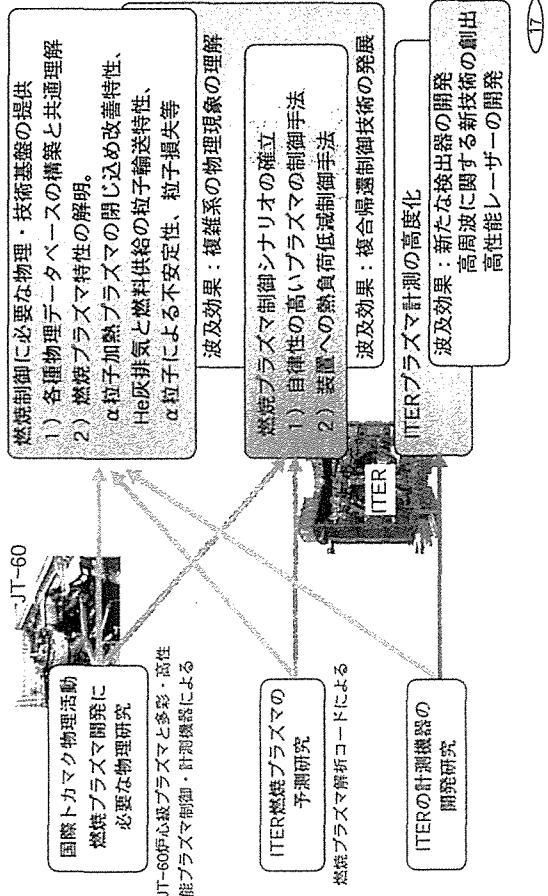
コアプラズマの高周波じ込み
と高性能ダイバータ特性
その影響

TAE, NTM, ELM
 β 限界, ダイバータ特性
等の燃焼への影響は?

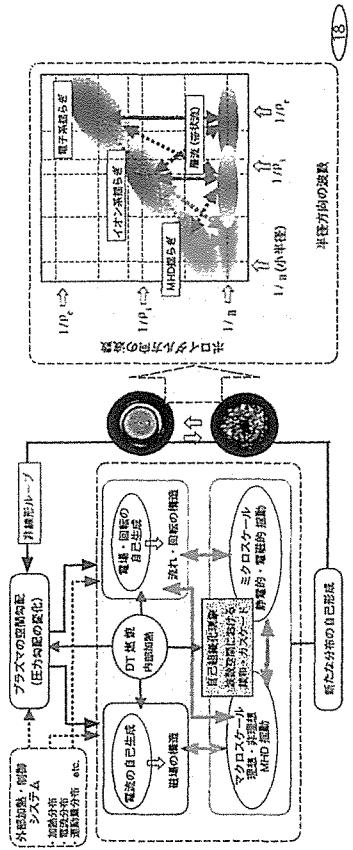
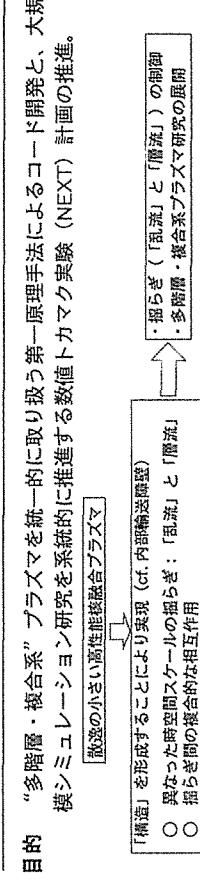
FDRの予測



主要課題領域2で予想される成果と波及効果



主要課題領域3: 理論研究による燃焼プラズマ物理の体系化



主要課題領域3の達成目標と年次的進め方

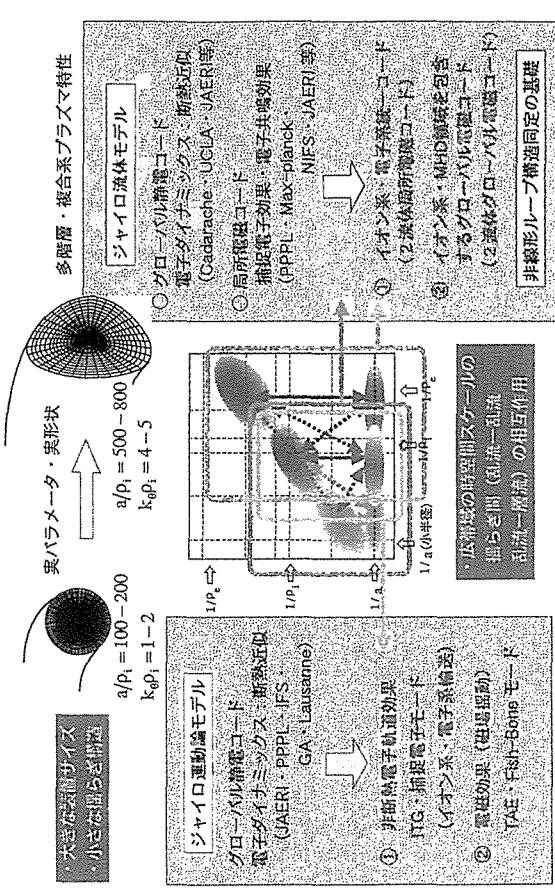
実績

- 先進理論モデルによる輸送・MHD・ダイバータコード開発・数値トカマク実験 (NEXT) 計画を推進。“多階層・複合系プラズマ”的基礎概念を導きその重要性を指摘 (ジャイロ電子モデルに基づくトロイダル磁場コード開発技術・並びに流体概念の開発 (GT3D, GS3DE, TPC) 等)
- ITERカラーレベル型 (40TELOPS : 地球シミュレータ ES) による並列化技術の開発と大規模シミュレーションの実現
- 鉛並列計算機・高度計算科学技術の進展

年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年
輸送特性に開拓する理論研究	電子系ジャイロ粒子コード (GT3D)	MHDジャイロ粒子コード (GT3DE)	複合系開拓 (GT3ED)	複合系開拓 (GT3ED)	複合系開拓 (GT3ED)
MHD特性に開拓する理論研究	多段階ジャイロ粒子コード開拓手法 (MHTP)	多段階・複合系プラズマ理論	2次元ダイバータ粒子コード (PARSOUL)	2次元ダイバータ粒子コード (PARSOUL)	2次元ダイバータ粒子コード (PARSOUL)
ITERカラーレベルによる高い実行性能とスケーラビリティ	TATE, Earth-Bone モード	ITERカラーレベルによる高い実行性能とスケーラビリティ			

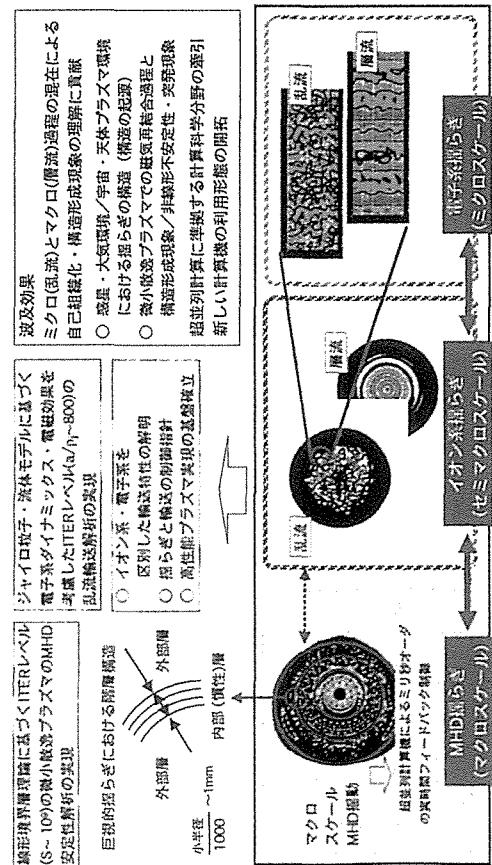
① 非線形ループ構造同定の基礎	○ 非線形ループ構造同定 (Cedarcache, UCLIA, JAERI等)
② 電子ダイナミックス 断熱近似	○ ジャイロ運動論モデル (JAERI, IPP-L, Max-Planck, NIFS, JAERI等)
③ 局所和弦コード	○ クローリー/リチャードソン電子系統コード (Cedarcache, UCLIA, JAERI等)
④ 捕捉電子効果・電子共鳴効果 (PPPL, Max-Planck, NIFS, JAERI等)	○ ジャイロ運動論モデル (JAERI, IPP-L, Max-Planck, NIFS, JAERI等)
⑤ 電子ダイナミックス 断熱近似	○ クローリー/リチャードソン電子系統コード (Cedarcache, UCLIA, JAERI等)
⑥ 電子系・イオン系、及びマクロスケールの構造形成の理解	○ ジャイロ運動論モデル (JAERI, IPP-L, Max-Planck, NIFS, JAERI等)
⑦ 高性能燃焼プラズマの数値評価や予測、制御研究を推進	○ ジャイロ運動論モデル (JAERI, IPP-L, Max-Planck, NIFS, JAERI等)

補足 輸送／多階層・複合系プラズマ特性の研究課題



主要課題領域3で予想される成果と波及効果

「多階層・複合系アライアンス」を記述する理論的枠組みの体系化：二極化



卷之三

原研他部門と從来にも増して密接な協力体制を構築する方針である。

関西研
電子科学研究所

研究部 中性子遮蔽、測定等
計算科学技術系推進センター

JT-60実験、JT-2M実験全般	ITERのための計測機器開発
加熱電流駆動装置等の工学機器の開発 JT-60第1壁材料及びリチウム除去研究	国際トマク物理活動への貢献

資源配分の計画

- ◎JT-60実験の進展、ITER計画の進展、トカマク国内重点化装置への改修段階への即応するべく、テーマ間で人材を流動的に再配分。
- ◎平成16年度のJFT-2Mの実験完了後は、ITER及びトカマク国内重点化装置の研究開発に携わる人材を転換する。

平成年度	領域予算(予定: 百万円)	人員(予定: 人)			主要課題領域3 その他	
		主要課題領域1 + 2 改修以外	主要課題領域3 JT-60Qの改修 (計測器付)	主要課題領域1 職員	主要課題領域2 職員	
平成16年	749	0	71	53	9	5
平成17年	749	0	71	42	9	15
平成18年	682	0	71	30	9	27
平成19年	682	100	71	30	9	27
平成20年	682	400	71	30	9	27
合計	3,544	500	353			

社員の「その他」は、業務協力員である。

主要課題領域 1 及び 2

21

原研他部門との協力・連携

原子力：故財團法人の理工学各総合的に推進する原の無窮環倍を十分活用

原研他部門と従来にも増して密接な協力体制を構築

関西研
子科学研究センター

計算科学技術推進センター
中性子遮蔽、測定等
ナニーシステム研究部

那珂研

物質科学研究部
JT-2M先端材料
プラズマ適合性試験
トカマク園内重点化
装置への改修

大洗研

核燃利用研究部

ITER研究室

中心プラズマ研究部

JT-60U
JT-2M
JT-60

射線高度利用センター

高崎研

計測機器材料

JT-60データ解析 本部
数値トカマク(NEXT)計画

JT-60実験、JT-2M実験全般	ITERのための計測機器開発
加熱電流駆動装置等の工学機器の開発 JT-60第1壁材料及びリチウム除去研究	国際トマク物理活動への貢献

国内協力の拡充

<p>○課題募集型研究協力：顕著な成果： H11以降の論文数30（JFT-60）、18（JFT-2M）</p>	<p>○研究テーマ班：大学等からのテーマリーダー</p>	<p>○トマスク国内重点化装置計画検討： 大学等と共に基本設計案を確定。産業界に協力。</p>
JT-60用試験装置（仮称）	JT-60用試験装置（仮称）	大学等と原研で構成 実験及びトマスク国内重点化装置への 改修に係る共同企画・共同研究の着進 実績・研究協力専門部会

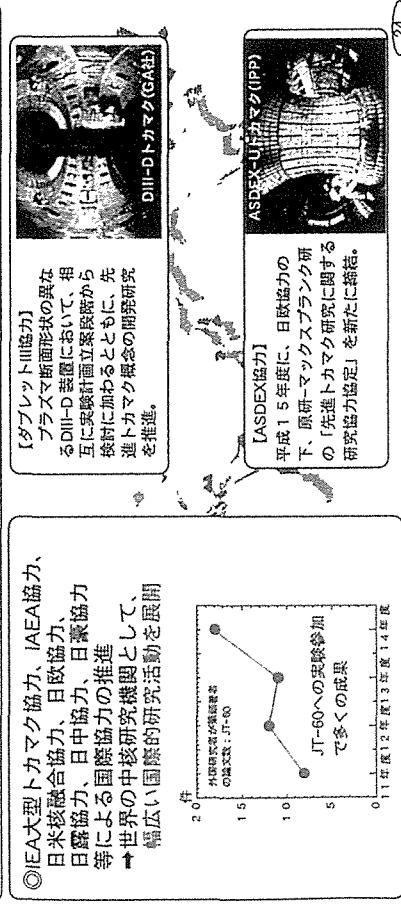
JAERI Organizational Chart:

- Central Units:**
 - 計算科学技術推進センター (Computing Science and Technology Promotion Center)
 - 中性子遮蔽・測定等 (Neutron Shielding and Measurement)
 - 那珂研 (Nakajima Research Center)
 - ITER関連室 (ITER-related Room)
- Research Departments:**
 - エネルギーシステム研究部 (Energy System Research Department)
 - 物質科学研究所 (Institute of Material Sciences)
 - JFT-2M先端材料 (Advanced Materials for JFT-2M)
 - 炉心プラスマ適合性試験 (Core-Plasma Compatibility Test)
 - トカマク国内重点化装置への改修 (Upgrade of Domestic Devices for Tokamak)
 - 大洗研 (Oarai Research Center)
 - 核融合装置試験部 (Fusion Device Test Department)
 - トカマク国内外重点化装置 (Advanced Devices for Domestic and International Tokamaks)
 - 放射線高密度利用センター (High-Density Radiation Utilization Center)
- Specific Projects:**
 - JT-60データ解析 (JT-60 Data Analysis)
 - 数値トカマク(NEXT)計画 (Numerical Tokamak (NEXT) Project)
 - JFT-2N
 - JFT-2M
 - JFT-2R

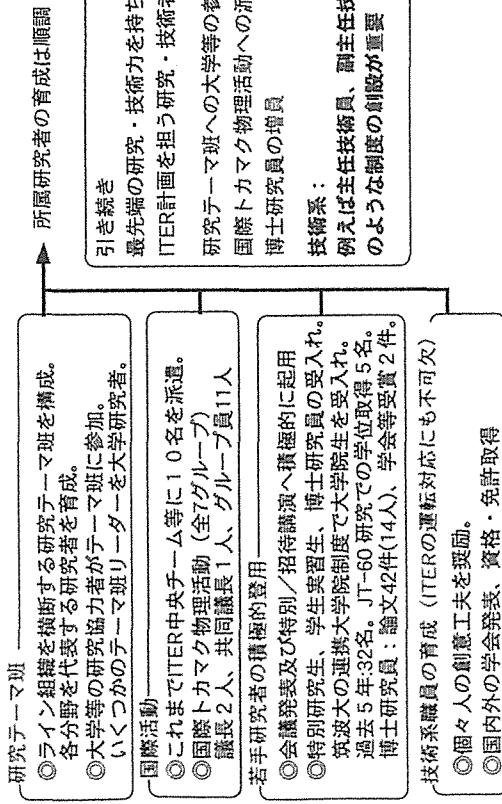
日本 (Japan)	国際 (International)
0	0
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60
7	70
8	80
9	90
10	95
11	98
12	99
13	99
14	99
15	99

国際協力の拡充

- ◎ITER物理R&D活動及び国際トカマク物理活動の方針策定、国際データベース構築・解析を主導（全7専門グループに当部から14名の専門家（議長2名、共同議長1名）。
- ◎国際トカマク物理活動：
発表が国からのトカマクデータの提供はJT-60のみ（貢献は大学等の貢献）。最新国際データベースの利用権はデータ提供グループのみ。引き続きJT-60からの貢献を行うことで、我が国研究者の貢献を行なう。

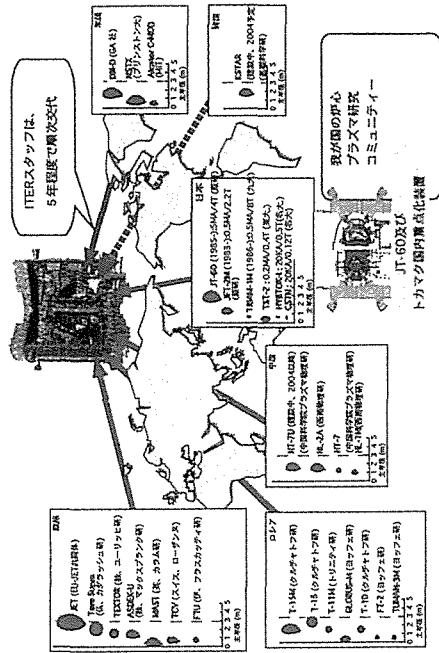


所属研究者の育成と今後の施策

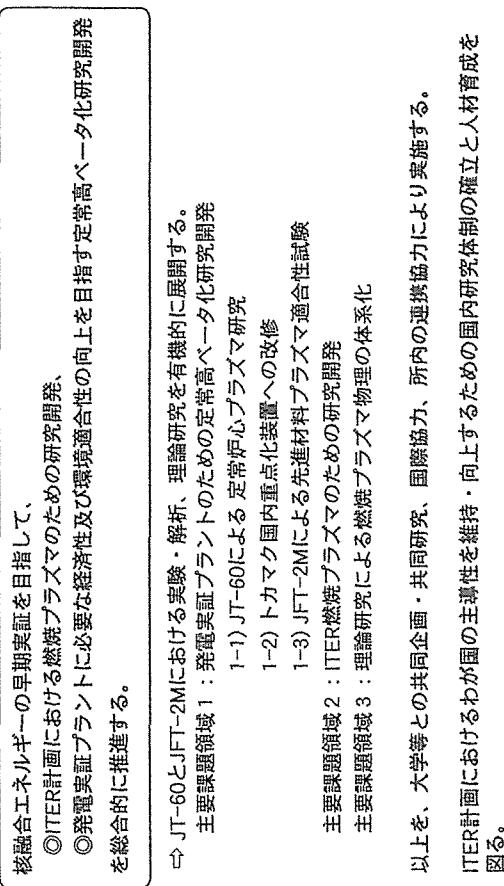


人材育成：ITER計画との連携

- 1. 世界のトカマク研究者と競争してITERでのリーダーシップを取れる世界的研究者の育成。
- 2. 世界中から集まつくるITERの運転員と協調してITERの運転できる技術者の育成。
- 3. 世界中のトカマクで開発されたトカマク解析コード、理論計算と競争できる基礎。



まとめ



目次

核融合装置試験部の理念、研究開発、全体目標	3
これまでの主な成果	6
9	
主要課題領域の構成及び研究開発／業務目標	12
	23
主要課題領域1 「トカマク国内重点化装置への改修」	27
主要課題領域2 「装置機器の運転保守と機器管理」	28
資源配分の計画	29
原研他部門との協力、連携	30
外部機関との協力、連携	31
人材育成と今後の施策	2

核融合装置試験部の研究開発課題 (事前評価)

那珂研究所

平成15年6月9日

1

核融合装置試験部の理念と研究開発

- 将来のエネルギー問題を解決する核融合発電の早期実現に貢献する。

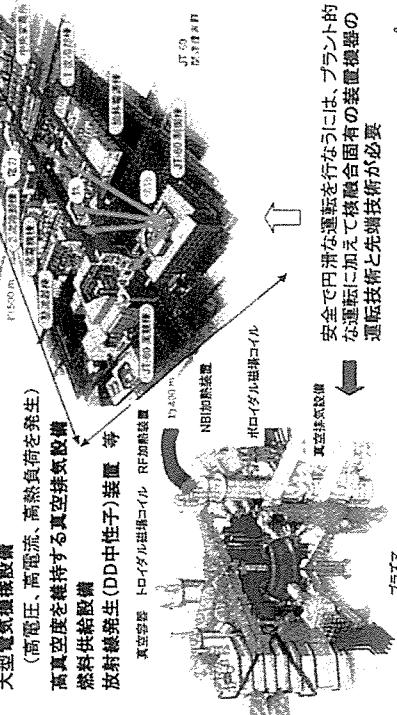
○これまで、原子力委員会による「第三段階核融合研究開発基本計画」に基づき、JT-60とJFT-2Mにより、炬心プラズマの研究開発を推進してきた。

○更なる研究進展に向けて、「トカマク国内重点化装置計画(JT-60定期高ベータ化計画)(核融合研究ワークシング・グループ報告)の実施を目指とする。

3

世界最大規模のJT-60の装置機器・施設

JT-60の特徴



4

核融合装置試験部の全体目標

- JT-60及びJFT-2Mの安全且つ円滑な運転を遂行し、実験研究の進展に貢献する。

大規模、複雑、多様な装置・機器の運転技術及び先端技術への対応、高経年化への対応、放射線安全の確保

- 炉心プラズマの実験研究[に貢献する]を行ひ、研究の進展に貢献する。

加熱・電流駆動、ダイバークタ、第一壁、燃料補給、電源、制御、真空等の核融合固有の装置機器及び開発技術の開発

新たな展開として、JT-60を超伝導化改修するトカマク国内重点化装置計画(JT-60定期高ベータ化計画)を今後の目標とする

これらの業務及び技術開発を通して

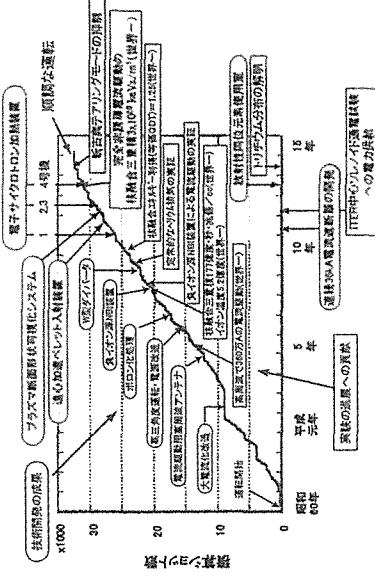
核融合技術資産(運転技術、機器管理・保全技術・安全技術等)及び核融合装置の建設ための要素技術、統合化技術

の創出と継承を図る

5

これまでの研究開発実績・成果

順調な装置の運転(稼働率76~87%)及び装置の開発及び改良・調整により研究の進展に貢献



6

核融合装置試験部における研究発表、特許及び表彰

年度	学術論文	原研 レポート (公開)	口頭発表 (国内)	口頭発表 (国際会議)	特許	表彰	
						所外	所内
11年度	5	5	20	15	5	2	2
12年度	13	4	20	18	6	1	1
13年度	11	3	10	16	2	1	2
14年度	20	5	33	19	2	1	2
合計	49	17	83	68	15	5	7

7

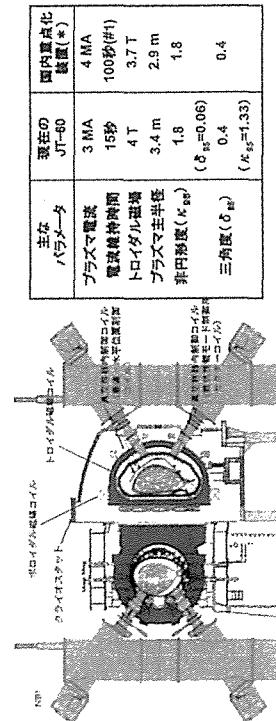
8

トカマク国内重点化装置計画の経緯

概要: 定常化研究の進展を図るために、JT-60改修計画を立案し、平成12年度の中間評価を受け、設計検討を実施。

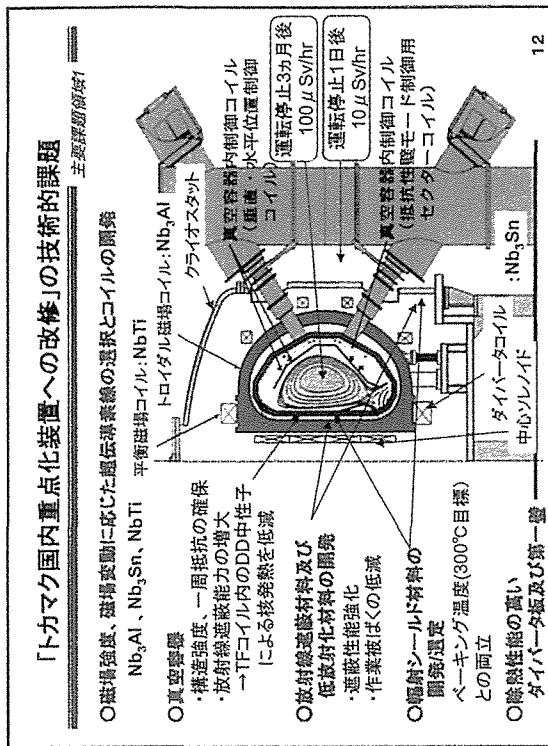
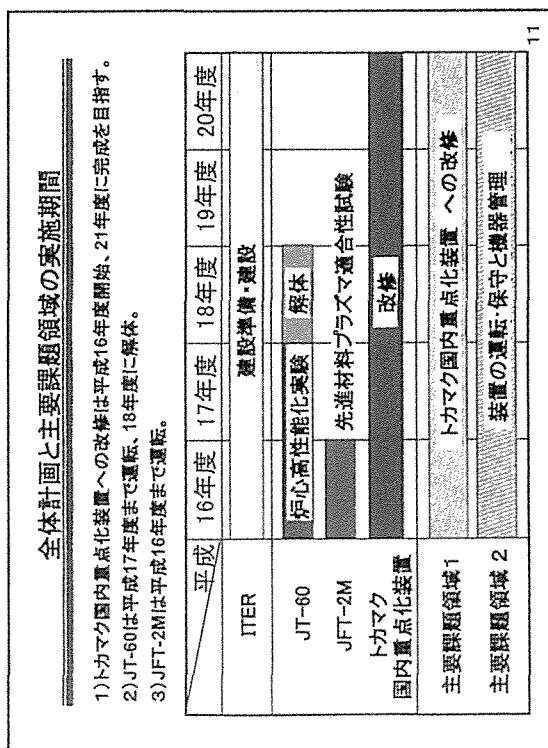
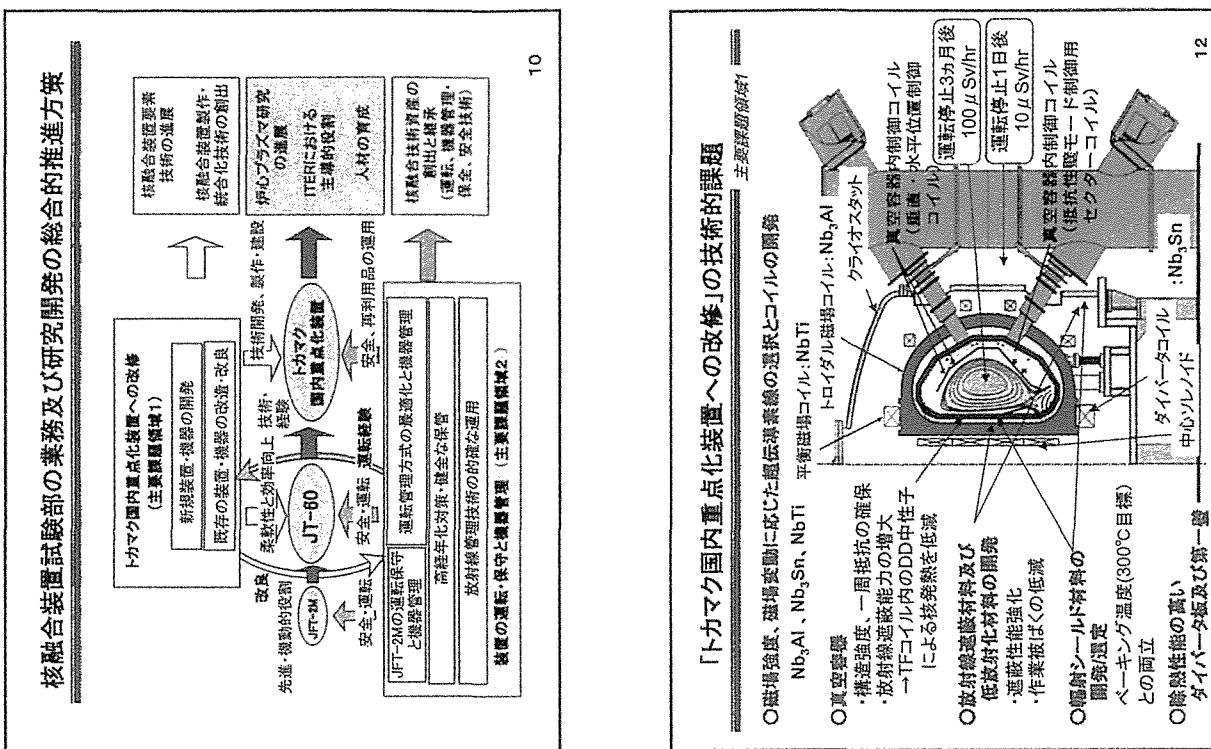
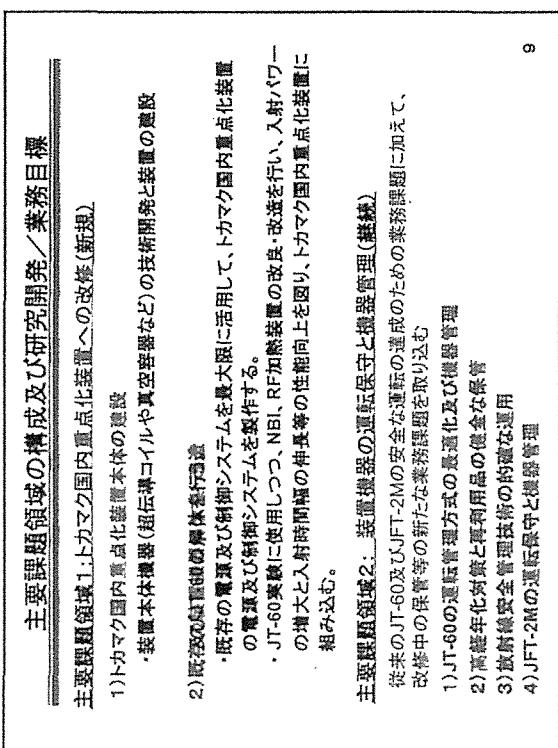
核融合研究ワークンググループの報告(平成14年度)を受けて、JT-60をトカマク国内重点化装置へ改修する計画を推進。

目標性能: 高ベータ($\beta_N = 3.5 \sim 5.5$)、非誘導電流駆動プラズマ100秒以上保持、高いアスペクト比の変更範囲、高いプラスミア形状制御性能、隔離制御性能



現在のJT-60 トカマク国内重点化装置

* 標準運転(暫定パラメータ)
#1 フラットドリフト時間



ダイバータ及び第一壁の冷却方式と達成目標

主要実験装置7

ダイバータ (強制冷却方式の開発)	ダイバータ試験体
構造: CFCタイルを銅製ヒートシンクに	
試験結果: 位相を4.1度の巾幅で電子ビーム照射により接合部の健全性確認。	
・粉末のスワール管方式の約1.5倍の熱伝導性能を確認。	
第一壁 (強制冷却方式の開発)	
構造: CFCタイルと銅製ヒートシンクの間にスーパークリアフィットシートを挿入し、タイルをボルト締め	
試験結果: シートの密着効果により接触熱伝導率を従来(100W/m ² K)の3倍以上に改善。	
今後の達成目標	試験データを基に構造を最適化して、下記の性能を達成し、更に、コスト低減を考慮した製作方法、試験検査方法を確立する
	・ダイバータ: 热流束 15MW/m ² に対し表面温度 1000°C以下
	・第一壁: 1MW/m ² 、100秒に対して表面温度 1000°C以下

14

磁場コイル電源の検討および今後の達成目標

主要実験装置7

改造基本設計	
既存機器の最大限の活用 (交流直流変換器は70%が再利用品)	
制御電圧の低電圧化による電源容量の合理化 (電界=-0.3V/m)	
電動発電機は3台から2台に合理化	
・共通バスによるファイダーハブの低コスト化、空間の合理化	
今後の達成目標	①エンジン保護回路のプロトタイプ製作と性能確認試験
	②多様な運転要求に対応可能な制御システムの構築
	③高ベータプラズマの定常化の鍵となるセクターコイル電源用電流型PWMコンバータの製作と性能確認試験
	④加熱入力の増大に対する電動発電機の同期並列運転技術の開発

16

超伝導コイルの技術開発と今後の達成目標

主要実験装置7

Q1トロイダル磁場コイル	
リニアト & ワインド法で試作した試験用コイルの特性試験	
先進材料Nb ₃ Snの採用 (設計開始当初、素線開発段階)	
特長: 互劣化が小さい、高磁場で臨界電流密度が大きい、	
構造: 構造: 錫比4.0の素線の量産技術の確立	
(熱処理後の巻き操作業) 一、低コスト化	
目標: 実機製作 D型コイル18個、最大経験磁場 7.4 T	
Q2中心ソレノイド(CS)及びダイバータコイル	
Nb ₃ Snを採用、特長: 脊界電流密度が高く、交流損失を小さくできる。	
構造: 交流損失を低減する巻線手法の開発(特許出願中)	
目標: 目標の臨界電流密度をもつコイル導体の製作に成功	
Q3平衡磁場コイル	
NBTを採用、特長: 極細ワイヤメント(～11 μm)で構成する銅比7の素線を製作し、目標の交流損失を達成。	
構造: 極細ワイヤメント(～11 μm)で構成する銅比7の素線を製作し、目標の交流損失を達成。	
目標: 导体製作 EFコイル5個、dB/dt=～2.7 T/sの磁場変化が可能	

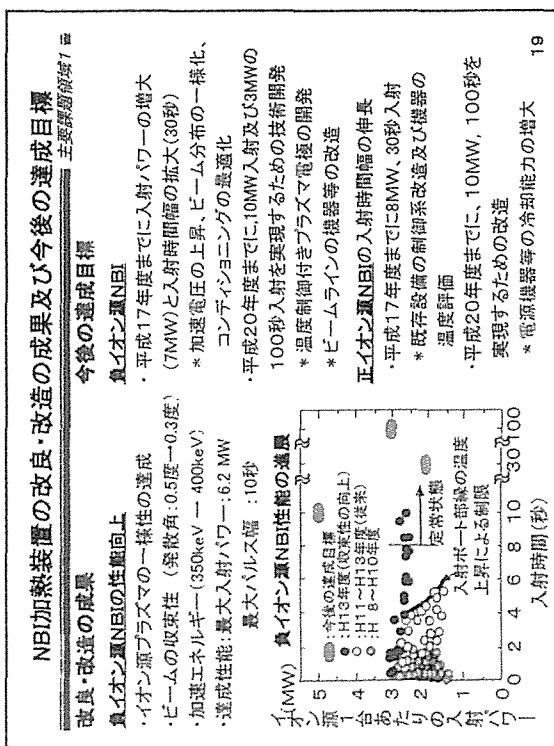
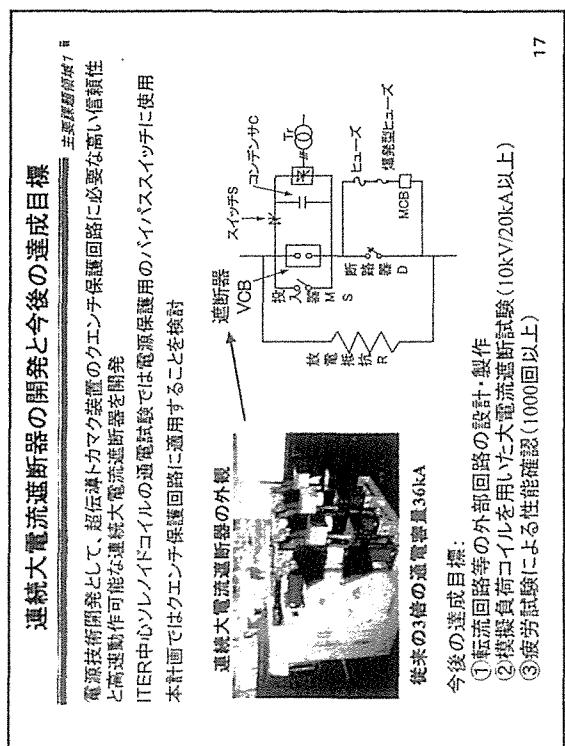
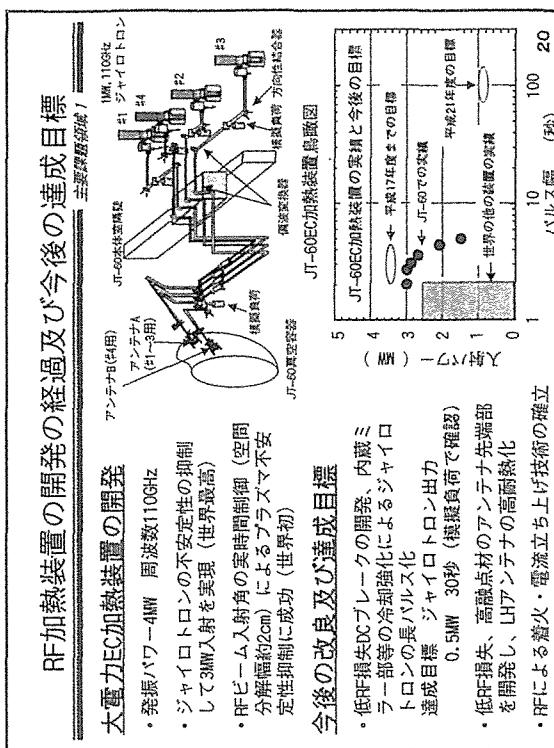
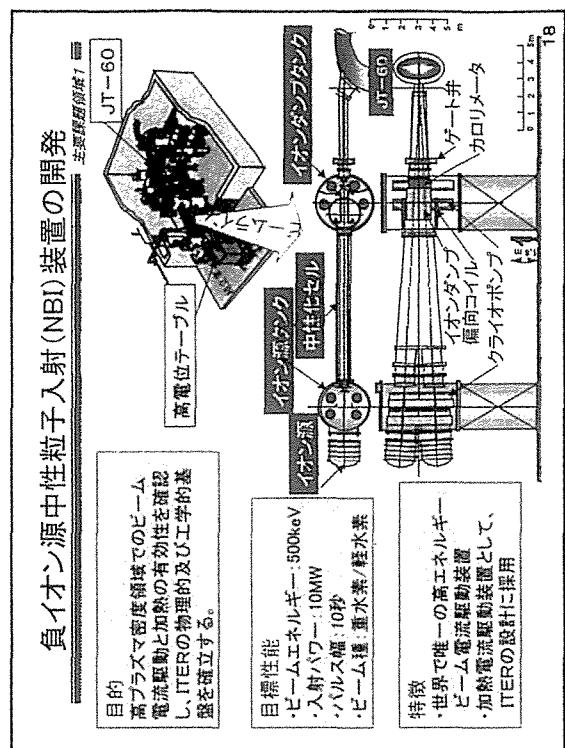
13

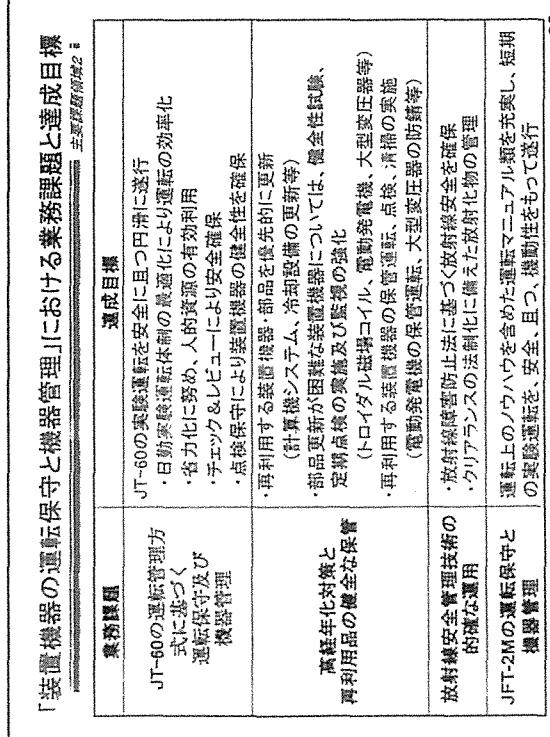
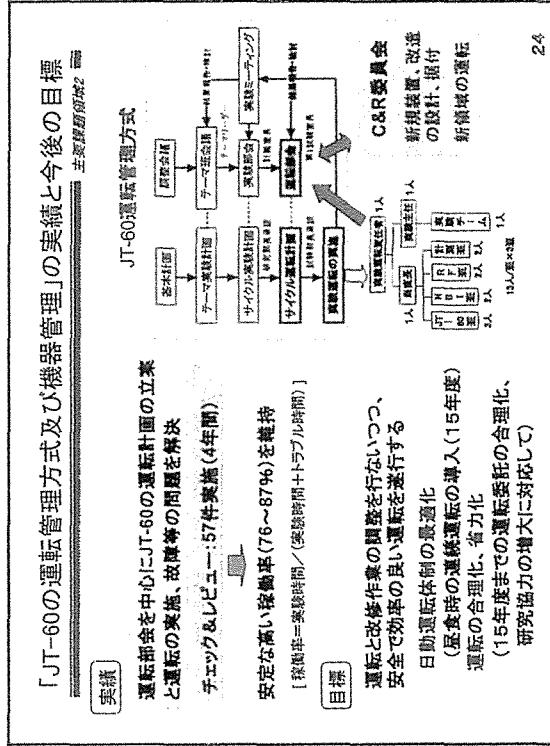
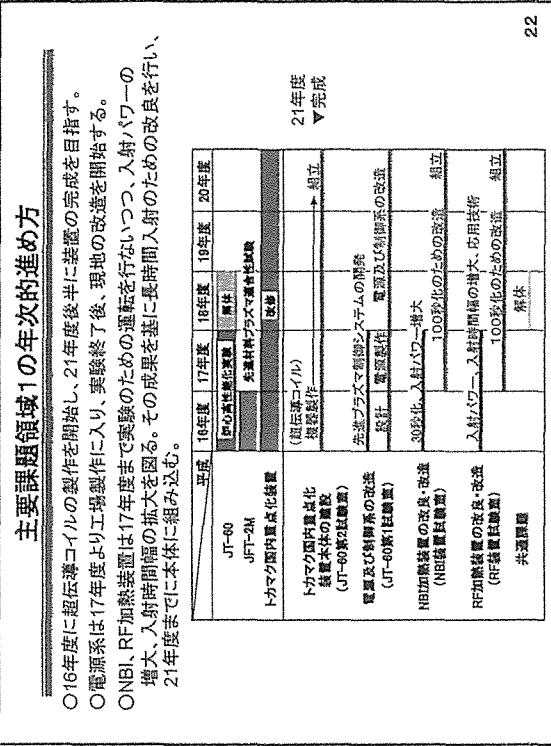
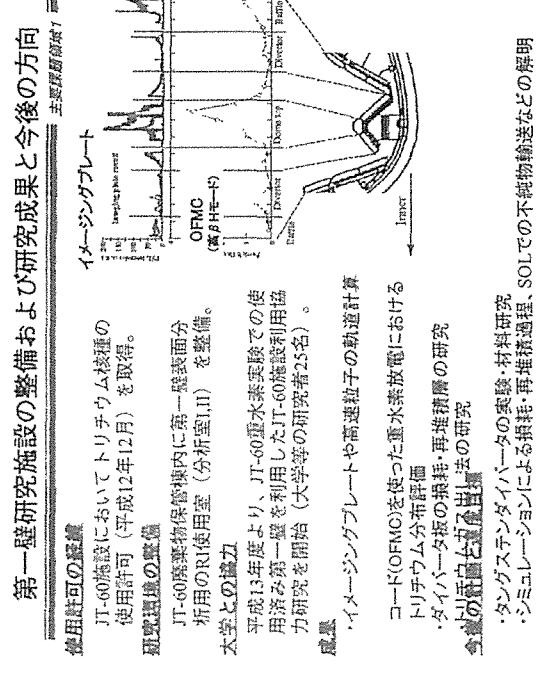
真空容器の設計及び放射線遮蔽・低減化と達成目標

主要実験装置7

設計及び技術開発の経過	
Q4 MAデバイスブロックに耐える構造強度と、一周抵抗30 μΩ以上	
・加熱冷却チャンネル付の二重壁構造の真空容器の設計	
Q1トロイダル燃焼コイル内の燃焼熱2.5 mW/cc以下とする遮蔽性能	
・二重壁内に充填した水と低コバルトSUSで基本的な遮蔽性能を確保	
・接線端子等の影響を考慮してポート部の放熱熱、遮蔽構造を評価	
Q2實際停止後3ヶ月で真空容器内100 μ Sv/hr以下	
・低コバルトSUSを真空容器に、低放射化フェライト鋼を第一壁に使用	
・ボロン添加レジンポート周りの漏れ防止用)、ボロン添加コンクリート(クライオスタット用)を試作し、良好な中性子遮蔽性能を確認	
Q3燃焼射防止の80Kシールド板への熱侵入10kW以下	
・80Kシールド板の固定方法及び固定部品材料を検討	
今後の達成目標	・上記の基本設計及び技術開発に基づく実機の最適設計及び製作

15





主要課題領域2の年次的進め方

	平成 16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
JT-60	序心高活性化実験 先進材料プロダスマ適合性試験				
JFT-2M					
トカマク国内重点化装置					
運転管理方式の最適化及び機器管理 高経年化策と再利用品の健全な保管 放射線安全管理技術の的確な運用 JFT-2Mの運転保守と機器管理	JT-60 停止 部品等の更新 施設の放射線管理 作業安全・放射化物の管理	JT-60 改修 停止 再利用品の保管			
JT-60及びJFT-2M停止前					
○ 各装置の点検保守、高経年化した機器の部品交換や点検、健全性 試験を確実に実施して安全で円滑な運転を遂行する。					
JT-60停止後	○ 再利用品を健全な保管維持するための保管運転、点検を実施する。 ○ 改修作業の極く短時間、解体によって発生する放射化物を クリアランスの法規化に対応できるように適確に管理する。				
目標	その他の再利用品(冷却設備、MG機器など)の更新 未更新システムの早期更新				

計算機システムへの更新経過

資源配分の計画

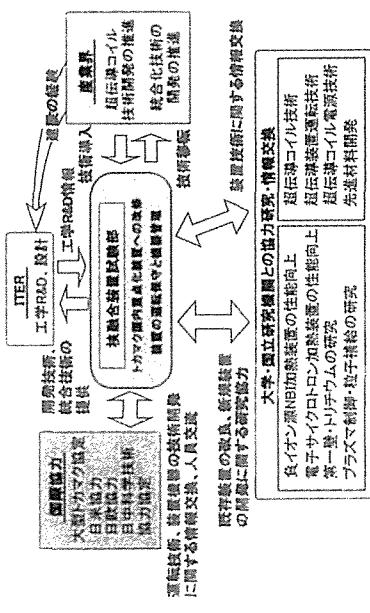
16年度	超伝導コイル製作開始、JT-60、JFT-2M運転経費					
17年度	JFT-2M停止後、人員は改修業務及びITERへ					
18年度～	JT-60運転停止、機体 再利用品、放射化物の保管業務以外は、経費、人員共に改修に投入手					
主要課題領域1	合計	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
機器開発整備費	28,027百万円	503	6,163	7,213	6,810	7,338
人員		216 人・年	27	54	54	54
その他		44 人・年	4	4	12	12
主要課題領域2	合計					
機械費、運転委託費	4,837百万円	1,664	503	503	503	503
人員		132 人・年	53	40	13	13
その他		67 人・年	17	16	8	8

原研他部門との協力、連携により技術開発の促進、放射線管理の円滑化

機器開発実験機具 <保安管理に対する布承の導入 と接続>	全所組織 (N=368名)
機器開発実験機具 <トカマク内面ガラス窓の新規開発 <放電装置の新規開発とガラス窓 用シリコンゴムの供給網路> <J-T-60及びJFT-2Mの運転実証、運営管理>	
技術導入実験機具 <電磁炉コントロールの新規開発 <J-T-60の運転実証> <ITER導入実験機具の新規開発> <ITER導入実験機具の新規開発>	
ITER開発機具 <ITER導入実験機具の新規開発> <ITER導入実験機具の新規開発>	
実験研究施設 <放電用研究施設 <放電用研究施設の新設>>	
実験研究施設 <バウコンパネル新設 <放電用実験機具の新設>>	
放射線実験用センター <放射線実験用センター <放射線実験用センターの新設>>	
放射線実験用センター <放射線実験用センターの新設>>	

人材育成と今後の展望

内化装置への改修等の超伝導コイル技術や運転技術に着目して研究する。一方、トカマク国内重点化設置への貢献による要素技術開発や整備設備の構築等で、ITERの運営への貢献等への貢献等への技術開発への保証を提供する。



研究開発課題への取り組みのまとめ

- JT-60改修計画における設計及び技術開発の成果を基に、炉心プラズマ研究部及び大学等と密接に連携して、16年度から「トカマク国内重点化装置への改修」を開始し、21年度完成を目指す。
 - 16、17年度は炉心高性能化実験を行い、既存の加熱装置等を改良して実験の進展を図ると同時に、トカマク国内重点化装置に使用するための性能向上を図る。
 - 従来の「装置機器の運転保守と機器管理」を継承し、JT-60及びJFT-2Mの安全で円滑な運転を遂行する。停止後は、再利用装置の保管維持に努めるとともに、解体後の放射性物質の管理を的確に実施する。
 - 適切な人的資源と資金の配分を行い、JT-60及びJFT-2Mの実験研究すると同時に、トカマク国内重点化装置への改修作業を実施し、予定通りの完成を目指す。

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	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
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

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

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

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

表5 SI接頭語

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

(注)

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

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名 称	記 号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

換 算 表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

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

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

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

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605J (計量法)
1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸		= 4.184J (熱化学)
9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹		= 4.1855J (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		= 4.1868J (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		= 735.499W
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
1	2.70270 × 10 ⁻¹¹	
3.7 × 10 ¹⁰	1	

吸収線量	Gy	rad
1	100	
0.01	1	

照射線量	C/kg	R
1	3876	
2.58 × 10 ⁻⁴	1	

線量当量	Sv	rem
1	100	
0.01	1	

(86年12月26日現在)

核融合研究開発専門部評価結果報告書（平成15年度事前評価）—評価対象：炉心プラズマ研究部、核融合装置試験部—

R100
古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています