JAEA-Evaluation
2010-004

平成２１年度　研究開発・評価報告書
評価課題「核融合研究開発」（中間評価）

Assessment Report of Research and Development Activities
Activity: “Fusion Research and Development” (Interim Report)

核融合研究開発部門

Fusion Research and Development Directorate

October 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

JAEA-Evaluation 2010-004

平成２１年度　研究開発・評価報告書

評価課題「核融合研究開発」（中間評価）

日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門

（2010 年 7 月 26 日受理）

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成１７年３月２９日内閣総理大臣決定）及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成１７年９月２６日文部科学大臣決定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規定」（平成１７年１０月１日制定、平成１８年１月１日改訂）等に基づき、「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」に関する中間評価を核融合研究開発・評価委員会に諮問した。

これを受けて、核融合研究開発・評価委員会は、原子力機構から提出された平成１７年１０月から平成２１年８月までの核融合研究開発部門の運営ならびに核融合研究開発の実施状況に関する説明資料の検討、及び核融合研究開発部門長による口頭発表と副部門長も交えての質疑応答・意見交換を行った。

本報告書は、核融合研究開発・評価委員会より提出された中間評価の内容、並びに、委員会による指摘事項とそれに対する措置を取りまとめたものである。

本報告書は、研究開発・評価委員会（核融合研究開発・評価委員会）が「国の研究開発に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。

日本原子力研究開発機構　核融合研究開発部門（事務局）
那珂核融合研究所（駐在）：　〒311-0193　茨城県那珂市向山８０１－１

JAEA-Evaluation 2010-004

Assessment Report of Research and Development Activities Activity: "Fusion Research and Development" (Interim Report)

Fusion Research and Development Directorate

Japan Atomic Energy Agency
Naka-shi, Ibaraki-ken

(Received July 26 , 2010)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as "JAEA") asked the assessment committee, "Evaluation Committee of Research and Development Activities for Fusion" (hereinafter referred to as "Committee") for interim assessment of "Research and Development of the technical system for extraction of fusion energy," in accordance with "General Guideline for the Evaluation of Government R&D Activities" by Cabinet Office, Government of Japan, "Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology " and "Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities" by JAEA.

In response to the JAEA's request, the Committee assessed the research program of the Fusion Research and Development Directorate (hereinafter referred to as "FRDD") during the period of four years from October 2005 to August 2009. The Committee evaluated the management and research activities of the FRDD based on the explanatory documents prepared by the FRDD, the oral presentations with questions-and-answers by the Director General and the Deputy Director Generals.

Keywords: Fusion Reseach and Development, Fusion Energy

目次

１．　概要 1
２．　核融合研究開発・評価委員会の構成 2
３．　審議経過 3
４．　評価方法 4
５．　評価結果（答申書） 6

参考資料（日本原子力研究開発機構作成資料） 33

Contents

1. Outline 1
2. Evaluation Committee of Research and Development Activities for Fusion 2
3. Status of assessment 3
4. Procedure of assessment 4
5. Results of assessment (Committee Report) 6

References (documents prepared by Japan Atomic Energy Agency) 33

This is a blank page.

１．概　要

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 17 年 3 月 29 日内閣総理大臣決定）及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成 17 年 9 月 26 日文部科学大臣決定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規定」（平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 18 年 1 月 1 日改訂）等に基づき、「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」に関する中間評価を核融合研究開発・評価委員会に諮問した。これを受けて、核融合研究開発・評価委員会は、原子力機構から提出された平成 17 年 10 月から平成 21 年 8 月までの核融合研究開発部門の運営、核融合研究開発の実施に関する説明資料の検討、及び核融合研究開発部門長による口頭発表と副部門長も交えての質疑応答・意見交換を行った。

その結果、限られたリソースの中で、重点項目について効率よく研究開発がなされており、多くの有意義な成果があがっていることが高く評価された。特に炉心プラズマ研究やブランケット・材料研究では世界最高レベルを達成しており、中期計画に対して、満足あるいはそれ以上の成果を出してきたと評価された。

また、ITER 計画及び幅広いアプローチ(BA)活動については、協定の締結、組織立ち上げ、事業の開始、という流動的な状況の下、日本の実施機関あるいは国内機関としての役割を担うという重要かつ困難な課題をこなしたことが高く評価された。

２．核融合研究開発・評価委員会の構成

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

委員長　高村　秀一　　愛知工業大学 工学部電気学科 教授
（平成２０年４月まで）

寺井　隆幸　　東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授
（平成２１年２月より、それ以前は委員）

委員　　内山　洋司　　筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授

大島　まり　　東京大学 生産技術研究所 教授
（平成２０年４月まで）

岡野　邦彦　　財団法人 電力中央研究所 原子力技術研究所 上席研究員

金子　修　　自然科学研究機構 核融合科学研究所 副所長
（平成２１年７月より）

小森　彰夫　　自然科学研究機構 核融合科学研究所 大型ヘリカル研究部 研究総主幹
（平成２１年６月まで）

笹尾　真実子　東北大学大学院 工学研究科量子エネルギー工学専攻 教授

野田　哲二　　独立行政法人 物質・材料研究機構 理事

日野　友明　　北海道大学大学院 工学研究科量子理工学専攻 教授

堀池　寛　　大阪大学大学院 工学研究科環境・エネルギー工学専攻 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 教授

（委員については、五十音順）

３．審議経過

（１）第１回核融合研究開発・評価委員会：平成 18 年 3 月 17 日
- 委員会規定に基づく委員長の選出
- 核融合研究開発・評価委員会の趣旨について
- 平成 17 年度における研究開発実績について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換

（２）第２回核融合研究開発・評価委員会：平成 18 年 10 月 31 日
- 平成 18 年度上期における研究開発の現状について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換
- 若手研究者との意見交換

（３）第３回核融合研究開発・評価委員会：平成 19 年 3 月 15 日
- 平成 18 年度における研究開発実績について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換

（４）第４回核融合研究開発・評価委員会：平成 20 年 3 月 4 日
- 平成 19 年度における研究開発実績について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換

（５）第５回核融合研究開発・評価委員会：平成 21 年 2 月 20 日
- 委員会規定に基づく委員長の選出
- 平成 20 年度における研究開発実績について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換

（６）第６回核融合研究開発・評価委員会【中間評価】：平成 21 年 9 月 11 日
- 中間評価の進め方について
- 核融合研究開発の成果及び現状と次期中期計画骨子について
- 上記報告内容に対する質疑応答・意見交換

（７）中間評価結果のとりまとめ：平成 21 年 9 月～平成 22 年 1 月

（８）答申：平成 22 年 1 月 19 日

４．評価方法

以下の評価作業手順及び評価項目に従い、核融合研究開発部門より提出された平成 17 年 10 月から平成 21 年 8 月までの核融合研究開発部門の運営、核融合研究開発の実施に関する説明資料の検討、及び核融合研究開発部門長による口頭発表と副部門長も交えての質疑応答・意見交換を行った。

（１）　評価作業手順

① 評価方法についての議論と評価方法の決定
② 核融合研究開発部門における運営及び研究開発の実施についての部門長による説明と質疑応答・意見交換
③ 提出資料に基づき、評価意見を整理
④ 答申書の取り纏め

（２）評価項目

１）総合評価

これまでの取組み、成果、今後の展開について

２）個別評価

・科学的・技術的意義について
・社会的・経済的意義について
・国費を用いた研究開発の妥当性について
・成果の有効性について
・今後の研究開発計画の妥当性について

（３）評価対象期間

平成 17 年 10 月より平成 21 年 8 月末

核融合研究開発に関する中間評価　議事次第
（第６回核融合研究開発･評価委員会）

１．日時：平成２１年９月１１日(金)、13：00～16：10

２．場所：原子力機構東京事務所　第２会議室

３．議題：

（１）あいさつ	常松部門長	13：00～13：05
（２）中間評価の実施		
１）中間評価の進め方について	寺井委員長	13：05～13：20
２）核融合研究開発の成果及び現状と次期中期計画骨子について	常松部門長	13：20～14：20
３）自由討論		14：20～16：05
（３）その他（今後の予定など）		16：05～16：10

５．評価結果（答申書）

平成２２年１月１９日

独立行政法人　日本原子力研究開発機構
理事長　岡﨑　俊雄　殿

研究開発・評価委員会
（核融合研究開発・評価委員会）
委員長　寺井隆幸

研究開発課題の評価結果について（答申）

当委員会に諮問〔２１原機（融）０３１〕のあった下記の研究開発課題の中間評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

記

研究開発課題「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」

以上

別紙

「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」の中間評価結果

当研究開発・評価委員会は、現中期計画の開始（平成１７年１０月）以降における核融合研究開発部門の「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」に関する活動実績及び研究成果に対し、毎年、年度評価を行い、進捗状況を確認するとともに、さまざまな改善点等を指摘してきた（別添参照）。それらを十分に踏まえた上で、研究開発の必要性、有効性、効率性等の観点から重要と考えられる評価の視点に基づき、中間評価を実施したので、その評価結果をここに取りまとめる。

Ⅰ．総合評価

限られたリソースの中で、重点項目について効率よく研究開発がなされており、多くの有意義な成果があがっていることは高く評価できる。特に炉心プラズマ研究やブランケット・材料研究では世界最高レベルを達成しており、中期計画に対して、満足あるいはそれ以上の成果を出してきたと考えられる。また、ITER 計画及び幅広いアプローチ(BA)活動については、協定の締結、組織立ち上げ、事業の開始、という流動的な状況の下、日本の実施機関あるいは国内機関としての役割を担うという重要かつ困難な課題を見事にこなしたことは大きく評価できる。以上のことから、「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」の総合評価は「十分に妥当」と判断する。

Ⅱ．総合的な提言

次期中期計画の策定に向けて、本研究開発をより良いものにするため、以下に、総合的な観点に基づく分野ごとの提言を示すこととする。

（１）ITER 計画

ITER 計画については、建設期間も含めて 30 年の計画であり、今後も幾つかの選択の場面に立ち会うことが予想されるが、日本の主導的な立場を崩さぬよう努力していただきたい。その意味で 5 年間の中期計画を策定するに当たっては、その期間が ITER 全体計画のどの位置にあるのかを十分考慮してなされるべきであるが、臨機応変な対応が可能な自由度を併せ持つよう配慮することが望まれる。また、ITER 計画に対しては開発研究のみならず人的貢献も重要であり、大学・産業界との連携も行いながら ITER 機構の中でリーダ

ーシップをとれる人材を育てるとともにキャリアパスを構築する努力をお願いしたい。BA活動についてはインフラ整備を進める中で、大学との連携協力も構築しながら具体的な研究計画を策定していくことが肝要である。二つのサイトにまたがるという地理的な問題もあるのでネットワークを活用するなど効率的な運営が望まれる。

（２）炉心プラズマ研究開発

次期中期計画期間は JT-60U を BA の枠組みの中で JT-60SA へ改修する期間に当たる。この間国内で大型トカマクを用いたプラズマ実験研究が出来なくなることから、研究者のレベル維持と次世代を担う若手研究者の育成に特段の配慮が必要である。国際協力の枠組み等を活かしながら最新の研究現場に触れ、JT-60SA 実験が開始された暁には、後に続く ITER における実験を先導する成果を出していただきたい。

次期中期計画において更に先進的な成果があがることを期待しているが、トリチウム・不純物を取り込んだダイバータ解析コードの開発については加速することが望まれる。

（３）核融合工学研究開発

テストブランケットモジュールの開発は、核融合炉ブランケット技術の重要なマイルストーンであり、予算の獲得も含めて、今後一層の関係者の努力を期待したい。そのために、核融合エネルギーフォーラム等を通じた大学や研究機関、民間企業との連携を強め、わが国の核融合研究を効率的に進める必要がある。また、次世代を担う若手研究者・技術者の育成やキャリアパスの構築等にも、引き続きご努力いただきたい。また、限られた予算と人員の中ではあるが、原型炉に向けた開発ロードマップにおいて指摘された開発研究項目に対しても、大学等との連携も視野に入れた取り組みを今後進めていただきたい。

次期中期計画において更に先進的な成果があがることを期待しているが、とくに現状以上に開発を加速すべきと思われる項目には、原型炉に向けた超伝導材(Nb3Al 系）及びその実用化や強磁場化に必要な構造材・絶縁材の開発（原型炉への採用可否の見通しをつけるための開発)、原型炉に向けたタングステン系のプラズマ対向材料開発、冷却系のトリチウム回収・制御技術（一部は BA で取り組むが、それを超えた原型炉に向けた研究）などがあげられる。

（４）全体

核融合研究の社会的意義について、より積極的な社会への発信が必要である。特に優秀な人材を核融合分野に引き寄せるためには、関連専門分野や産業界など社会の様々な場において「核融合が実現を見通せる段階まで成長している」ことをアピールする必要があり、

今後より一層の努力が望まれる。また、核融合研究においては、物理研究活動、工学・技術の分野で国際的に活躍できる人材等の人的資源の育成に最適な場を提供できると思われるため、定員の大幅な増員が望まれる。更に、大学や関連研究機関との役割分担を明確化すると同時に、その役割をどのように有機的に連結させるか、そのためにいかに共同研究を発展させるかの検討が望まれる。その上で、我が国として総合的に見て最も効率的に開発研究を進められるかの検討が重要である。なお、大学等向け共同研究の進め方については、契約時期などに関し、改善の余地があるので検討していただきたい。

Ⅲ．個別評価

評価の視点ごとの評価結果、提言を示すこととするので、参考にして、「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」を進めていただきたい。

１．科学的・技術的意義について

（１）ITER 計画

(A 非常に先導性がある　B 先導性がある　C 概ね先導性がある　D 先導性がない)

〔評価結果　A:７名全員〕

第三段階核融合研究開発基本計画の中心装置である ITER は核融合エネルギー開発という大きな科学的・技術的意義を持つものであり、その実現に向けた国際的役割分担を果たすことは極めて重要である。更に、核融合実現に向けて ITER 開発はプラズマ物理、計測、炉工学など科学、技術の結集であり、その計画は極めて意義深いだけでなく、プラズマ物理学をはじめとして科学的革新性が高く、すべての技術分野で先導性がある。また、世界初の核融合炉実験計画や BA 活動を国際協力で適切に実施しており、その科学的・技術的意義が非常に大きい。

（２）炉心プラズマ研究開発

(A 非常に先導性がある　B 先導性がある　C 概ね先導性がある　D 先導性がない)

〔評価結果　A:７名全員〕

高規格化ベータ領域での長パルス運転の実現や抵抗性壁モード安定化研究、中性粒子ビームの連続入射、電子サイクロトロン波加熱の高パワー化など JT-60U による実験成果は世界を先導する結果であり、プラズマ物理や加熱・計測分野の技術においても非常に高い意義がある。また、プラズマ、中性粒子輸送コードの統合化により核燃焼模擬シ

ミュレーションを可能にするなど、シミュレーションの統合化に向けた開発も着実に進歩している。ただし、シミュレーション分野の成果がやや小ぶりであり、ダイバータコードの不純物・トリチウムへの対応は加速することが望まれる。

（３）核融合工学研究開発

(A 非常に先導性がある　B 先導性がある　C 概ね先導性がある　D 先導性がない)

〔評価結果　A:5 名、B:2 名〕

核融合炉実現のためにきわめて重要な増殖ブランケットや材料に関する研究開発が世界に先駆けて適切に行われている。また、中性子工学、ビーム工学等核融合工学技術の高度化が進んでいる。これらは技術的先導性が高く、国際的にも重要な役割をはたしている。

２．社会的・経済的意義について

（１）ITER 計画

(A 大きく貢献している　B 貢献している　C 概ね貢献している　D 貢献していない)

〔評価結果　A:5 名、B:2 名〕

核融合開発の持つ社会的意義は非常に大きく、日本が国際協力の枠組みの中で主導的な立場で参加していることの意義も大きい。また、核融合実証炉を見据えた研究開発が適切になされており、社会的・経済的意義が非常に大きい。更に、当計画で開発された技術は、医療、半導体、電力利用など核融合以外の技術に展開されており、技術の波及性が極めて高いだけでなく、技術的に革新性があり、日本の技術基盤の更なる強化に繋がる。また、核融合は最終的エネルギー源の選択肢となり、エネルギー問題への貢献が大きい。ただし、現状の経済に対するインパクトが大きなものでは無く、将来への投資と理解されるべきものである。

（２）炉心プラズマ研究開発

(A 大きく貢献している　B 貢献している　C 概ね貢献している　D 貢献していない)

〔評価結果　A:1 名、B:5 名、C:1 名〕

核融合炉実現に向け、着実な成果の積み重ねが見られ、核融合研究の意義を国民（特に子供たち）に理解していただくためのアウトリーチ活動も積極的に展開している。また、炉心プラズマ研究において、人材育成に努めている。ただし、経済性を実現するための定常・高ベータ化研究が適切に行われているものの、その成果が一般国民に見える

形にはなっておらず、大きな成果があがっていても意外と知られていない。社会への成果のアピールをもっとすることが望まれる。

（３）核融合工学研究開発

(A 大きく貢献している　B 貢献している　C 概ね貢献している　D 貢献していない)

〔評価結果　A:2 名、B:4 名、C:1 名〕

核融合炉のために必要なブランケットの研究開発をしており、その社会的・経済的意義は大きい。また、材料、真空、ビーム工学など、核融合周辺技術の向上にも役立っていると考えられる。更に、真空技術や加熱技術など最先端の核融合工学研究で得られた先進的な技術成果は、産業応用にも転用されており、核融合研究のスピンオフとして社会的貢献をなしている。社会的・経済的には地味ではあるが、波及効果も含めれば効果は小さくない。

３．国費を用いた研究開発としての妥当性について

（１）ITER 計画

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:6 名、B:1 名〕

エネルギーの安定供給は我が国の将来に向けた重要な国家戦略であり、その開発は国が先導してなすべきものである。その意味で ITER/BA は極めて重要な投資対象であるとともに、国として基幹となる技術開発分野である。また、国際事業として、国際社会での責任を果たす上でも必要性は大きい。更に、核融合は最終的エネルギー源の選択肢となり、エネルギー問題への貢献が大きい。ただし、人的な貢献には物足りなさが残る。

（２）炉心プラズマ研究開発

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:6 名、B:1 名〕

核融合開発の知見は我が国として確保すべきであり、部分的な貢献にならざるを得ない国際協力に加えて我が国独自の研究開発は重要である。その意味で投資相応の研究成果を十分あげていると判断できる。また、わが国の他の研究機関では実施できないような高度な研究が適切に行われているだけでなく、リソースから最大の成果を引き出しており、非常に有効に予算を使っていると評価される。

（３）核融合工学研究開発

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:6 名、B:1 名〕

わが国として唯一のテストブランケットモジュールを想定した研究開発が行われている。ITER ブランケット、原型炉に向けた炉工技術は、国際的な我が国の先導性の上からも妥当である。また、限られた予算と人員の中で大きな専門的成果をあげるとともにその成果を産業界にスピンオフしており、国費の投資対象として極めて妥当である。

４．成果の有効性について

（１）ITER 計画

(A 非常に有効である　　B 有効である　　C 概ね有効である　　D 有効でない)

〔評価結果　A:4 名、B:3 名〕

ITER 計画が核融合開発に非常に重要であることは明白で、その中での原子力機構の取り組みの有効性も高く評価でき、ITER 計画に対する技術開発としての貢献では他国に比較して引けをとらない成果をあげている。BA 活動については開始されたばかりで有効性がまだ十分には見えない部分もあるが、準備が着実になされており、今後の具体的な研究成果が期待できる。プラズマ閉じ込め、加熱、計測、超伝導、ブランケット炉工学、トリチウム技術など、核融合技術のみならず、波及技術としても大きな成果が得られると考えられる。特に、JT-60SA、原型炉 R&D 施設、計算機・遠隔実験施設、照射施設等は核融合炉実現に向けての成果が期待できる。また、核融合エネルギーフォーラム、産学共同研究を通じて、国内全体の核融合技術の向上と若手人材育成に寄与すると考えられる。今後、更なる成果を期待する。

（２）炉心プラズマ研究開発

(A 非常に有効である　　B 有効である　　C 概ね有効である　　D 有効でない)

〔評価結果　A:7 名全員〕

定常・高ベータ化研究は今後のトカマク実証炉の実現に向けてきわめて重要であり、その成果は高く評価される。JT-60U 実験は、定常化への先鞭をつけ ITER プロジェクトの見通しをつけた。その成果は ITER の運転計画に直接寄与できるものが多く、ITER 及びデモ炉に向けた運転条件を高い信頼性をもって提示する上で非常に有用な成果をあげている。

（３）核融合工学研究開発

(A 非常に有効である　　B 有効である　　C 概ね有効である　　D 有効でない)

〔評価結果　A:4 名、B:3 名〕

ITER や原型炉に直結する技術がほとんどであり、成果の有効性は高く評価できる。また、要素技術に関する着実な研究が進んでおり、国際的にも高く評価されている。とくにブランケット開発は世界を先導しており、ITER の成果をデモ炉につなげる大きな役割を果たすことが期待できる。また、得られた成果を知財として活用する努力もなされている。トリチウム、材料、炉工学技術は、核融合炉のみならず、各種産業基盤の高度化を推し進めるものである。また、炉工学技術者の育成に貢献している。

５．今後の研究開発計画の妥当性について

（１）ITER 計画

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:4 名、B:3 名〕

計画は妥当であるが、国際共同研究であり、各国協調して計画通り進むことを望む。ITER 計画や BA の適切な実現に向けて、今後の順調な取り組みが期待される。なお、国際事業として、物理研究活動、工学・技術活動などで人的資源の貢献が重要であり、ITER 計画については、ITER 機構への派遣人員を増やすというだけでなく、そのポジションと質を重視し、機構長をサポートして ITER 機構を動かせるような日本からの人材を少しでも増やしたい。また、ITER の研究計画にはまだ流動的な部分があり、BA 活動も一部の研究計画が議論されている段階である。今後の計画確定に向け、我が国としての意見を十分反映させる努力をすべきである。BA 活動については、EU との交渉の内容、及び折衝結果の妥当性が関係者に十分に見えていない。コミュニティに納得されるためにも、これらの内容を適宜説明して、理解を得ていくようにする必要がある。

（２）炉心プラズマ研究開発

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:1 名、B:5 名、C:1 名〕

JT-60U は JT-60SA に改修されることになり、平成 28 年まで具体的成果は出ないが、その間を利用して、原型炉に向けた実験の優先順位などを議論しておく必要がある。原型炉に向けた研究目標として、高ベータ定常について更に踏みこんで、核融合エネルギー増倍率(Q＞30)と１年間定常を実現すべく具体的目標と計画を示すようにできれば、

より社会的に評価されるだろう。原型炉に必要なコード類の整備も次期計画では加速したい。なお、シミュレーション開発は統合化を進める現在の路線の継承が妥当であるが、JT-60U 実験終了後の炉心プラズマ研究開発の戦略が今ひとつ明確ではない。サテライトトカマクは、更に目標と意義に関し検討を重ねることでより大きい成果が期待できる可能性がある。また、今後 JT-60SA 完成まで、研究の遅延がないことを望む。

（３）核融合工学研究開発

(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

〔評価結果　A:2 名、B:4 名、C:1 名〕

限られた予算の中で固体増殖ブランケットに向けた研究開発目標とシナリオが適切に設定されている。今後は、大学や核融合科学研究所との連携の中で、他のブランケット概念についてもその研究開発方策について検討されることを期待したい。また、大学、企業との連携を進め、技術の高度化とともに研究者育成を更に進めることを期待する。なお、ITER/BA に関連した核融合工学開発研究は引き続き継続されるのが妥当であるが、基礎的工学研究をどの分野に重点を置いて行うのか明確ではない。また、炉システム研究は加速される必要があるだろう。

Ⅳ．個別評価のまとめ

１）評価シート提出委員：計７名

２）評価項目と評価レベル

○科学的・技術的意義
(A 非常に先導性がある　B 先導性がある　C 概ね先導性がある　D 先導性がない)
○社会的・経済的意義
(A 大きく貢献している　B 貢献している　C 概ね貢献している　D 貢献していない)
○国費を用いた研究開発としての妥当性
(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)
○成果の有効性
(A 非常に有効である　　B 有効である　　C 概ね有効である　　D 有効でない)
○今後の研究開発計画の妥当性
(A 十分に妥当である　　B 妥当である　　C 概ね妥当である　　D 妥当でない)

３）各評価項目に対して付けられた評価レベル

	科学的意義	社会的意義	研究妥当性	成果有効性	計画妥当性
ITER 計画	AAAAAAA	AAAAABB	AAAAAAB	AAAABBB	AAAABBB
炉心プラズマ	AAAAAAA	ABBBBBC	AAAAAAB	AAAAAAA	ABBBBBC
核融合工学	AAAAABB	AABBBBC	AAAAAAB	AAAABBB	AABBBBC

日本原子力研究開発機構

核融合研究開発部門

核融合研究開発・評価委員会

これまでの評価結果

（平成 17 年～平成 20 年）

This is a blank page.

平成１８年４月１３日

核融合研究開発部門長　殿

平成１７年度業務実績等に係る見解

核融合研究開発・評価委員会
委員長　高村　秀一

当委員会は、核融合研究開発部門長の求めに応じて、３月１７日に第１回核融合研究開発・評価委員会を開催し、原子力機構における核融合研究開発の計画及び平成１７年度下期の進捗状況等を聴取し、以下のとおり、当委員会の見解を取り纏めたので、貴部門の研究開発業務に関する自己評価及び来年度の計画検討の一助にされることを期待する。

１．平成１７年度下期の業務実績について

当委員会は、部門長の自己評価「平成１７年度下期年度計画上の目標は達成」について同意する。

２．研究開発に関する意見・提言について

当委員会の意見・提言は別表のとおりである。

項目	第１回核融合研究開発・評価委員会での助言・提言
概要 （共通）	・JAEA の核融合研究開発は計画に沿って順調に進捗している。また、核融合炉に向けて、炉心プラズマ研究や炉工学研究について学術的にも興味ある優れた成果を挙げており、今後、ITER や BA についても具体化して進展することを期待。 ・BA 計画における核融合シミュレーションについて、スパコン導入（ハード整備）の前段階の研究（コード開発等）が重要であり、それらを活発にしていく工夫が必要。アカデミックな活動を早く立ち上げることを期待。 ・材料開発／炉システム、デモ炉設計Ｒ＆Ｄ調整センターについて、施設等の整備計画とは別に、施設完成前までに行っておくべき準備研究の重要性に留意し、その視点からの年次展開も提示されることが大事。 ・１７年度研究成果（論文リスト）は外国誌に多く発表されているが、プラズマ核融合学会のジャーナル(Plasma and Fusion Reseach)への投稿の促進を期待。30 年計画の ITER と一緒にジャーナルを育てていくことが望まれる。 ・大学との協力関係について、核融合ネットワークとの連携を深め、一層の幅広い対応を要望。 ・原子力機構が日本の原子力開発の中核機関として国内的にどう認識されていくかが重要なポイント。核融合は国際的に先頭に立っているが、国内社会への発信が重要。すでに存在する原子力関係のネットワークをうまく利用した広報活動の推進を推奨。
ITER 計画	・ITER と BA 計画について、大学側もかなり関心があり、オールジャパン的参加体制の構築を期待。 ・BA 計画のイメージが大学側にはまだ十分には見えてこない。サテライトトカマクを立ち上げたときと同様に、研究者の意見を広く吸い上げて集約するプロセスをとることを要望。
炉心プラズマ 研究開発	・抵抗性壁モードのプラズマ回転による安定化は重要な成果。原型炉以後における実用性を確認するため、理論予測との整合性も比較検討することを期待。 ・グローバルな水素リサイクリングの定量的評価および壁条件と絡めた長パルス運転の系統的な研究を期待。
核融合工学 研究開発	・ブランケット開発について、もっと詳細な開発ロードマップを提示し、本年度の到達点がロードマップ的に評価できるような説明を期待。 ・ブランケット開発において、トリチウム増殖比の評価精度は大変機微な課題であるので、引き続き評価精度向上を追究されるよう期待。 ・IFMIF 関連の活動について、炉工学ネットワークに作業部会の設置を予定しているので十分に協調して推進することを要望。また、IFMIF 活動は LHD 計画共同研究でサポートされているので、原子力機構と NIFS の連携も重要。 ・炉システム設計を BA 計画として推進する上で、日本独自の設計チームもしっかり維持していくことが必要。 ・他分野への技術波及は非常に重要な視点である。もっとアピールすべき。 ・核融合関係者の知らないところで核融合技術が産業基盤の形成に役立っている事例も多いので、それらを積極的に見つけて広報する努力も必要。

平成１９年４月１３日

核融合研究開発部門長　殿

平成１８年度業務実績等に係る見解

核融合研究開発・評価委員会
委員長　高村　秀一

当委員会は、核融合研究開発部門長の求めに応じて、平成１８年１０月３１日に第２回核融合研究開発・評価委員会、平成１９年３月１５日に第３回核融合研究開発・評価委員会を開催し、原子力機構における平成１８年度の進捗状況等を聴取し、以下のとおり、当委員会の見解を取り纏めたので、貴部門の研究開発業務に関する自己評価及び来年度の計画検討の一助にされることを期待する。

１．平成１８年度の業務実績について

当委員会は、平成１８年度計画上の目標が達成されたことを承認するとともに、特にＩＴＥＲ計画、ＪＴ－６０による定常高ベータ化研究、核融合工学基礎研究の成果に関する科学的・技術的意義は高い評価に値すると判断する。また、それ以外の項目についても十分評価されるレベルにあると判断する。

２．研究開発に関する評価結果について

当委員会の評価結果は別紙１、２のとおりである。

別紙1

核融合研究開発・評価委員会　評価結果まとめ

1. ITER 計画

1.1 ITER 移行措置活動

[活動の方向性について]

・人員の派遣、分担機器及び関連機器の調達準備など活動の方向性は適切であり、評価できる。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・コイルの開発や遠隔、加熱機器の技術開発で世界をリードし、核融合のみならず、他の大型機器開発につながる技術の成果が得られており、高く評価できる。

1.2 幅広いアプローチ活動

[活動の方向性について]

・段階に応じた適切な活動が行われており、評価できる。
・国際的な COE を形成するための強い意思と周到な計画性が必要であるとともに、研究活動(特に共同研究)が円滑に行えるような措置が行われれば更に良い。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・サイトの決定等の実績及び核融合フォーラム等を通じて、大学、研究機関、産業界の意見を踏まえて進めており、評価できる。
・今後、文化的薫りが高いローカルコミュニティーを作るための独自の取り組みが必要であろう。

1.3 その他

[燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER 計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について]

・燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法について JT-60U の特徴を生かした模擬実験をおこなった意義は大きい。また、各界の意見を集約する場としての核融合フォーラムなど成果を共有する体制が整えつつあり、評価できる。
・ 今後、燃焼プラズマの「制御」に関して組織的、総合的な取り組みが望まれる。
・ 核融合研との連携に一層の努力を払ってもらいたい。

2. 炉心プラズマ研究開発

2.1 定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発

[活動の方向性について]

・高い規格化ベータによる定常研究、そのための装置技術を開発するという方向は適切であり、高く評価できる。
・更に加えて、熱・粒子制御の観点からデモ炉へ向けてのスクレープオフ層での不純物放射による熱散逸のシナリオ考案を期待する。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・定常化、高ベータ化研究は、今後のトカマク型デモ炉の実現に向けて非常に重要であり、成果は科学的にも技術的にも高く評価できる。
・今後、高ベータでかつ定常のシナリオを早く見出すことを期待する。

2.2 輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究

[活動の方向性について]

・燃焼プラズマへ向けた統合シミュレーションコードの開発等、方向性は評価できる。
・ITER の実験テーマの選択にインパクトを与えるなどの方向性の下での展開や、DEMO 炉を念頭に置いたシミュレータシステム構築へのビジョン、国際標準を目指す戦略などを大学の研究者等と協力して具体化することに一層の努力が求められる。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・輸送と平衡安定解析がつながって ELM などの解析が可能になったことは重要な成果であり、評価できる。

・今後、実験との精密な比較を行い，実験に示唆を与える役割も期待する。

2.3 その他

[大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について]

・連携を強めるための努力や人材育成への取り組みは、高く評価できる。
・今後、大学からの共同研究者が大学法人からも評価されるような仕組みを将来的に考えることや、産業界とも大学等と同様な連携を発展していくことを希望する。

3. 核融合工学研究開発

3.1 増殖ブランケット開発研究、構造材料開発研究

[活動の方向性について]

・増殖ブランケット開発研究、構造材料開発研究に軸足をおいた方向性は適切であり、評価できる。
・テストブランケット開発においては様々な要素技術開発が要求されるとともに各国との協力体制が必要である。また、先進ブランケットの開発は今後次世代原子力部門などの支援で拡充すること、及び大学の研究者と強力な協働体制を構築することを期待する。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・世界トップレベルの成果を着々と挙げており、評価できる。
・トリチウム生成率の評価において反射中性子の効果が課題であり、原子核データを含め更なる高精度の評価が望まれる。

3.2 国際核融合材料照射施設開発

[活動の方向性について]

・材料照射施設開発のための試験計画を策定において国内・国際合意形成に向けた進展があり、評価できる。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・EVEDA 活動への準備として RFQ 結合部の最適化やターゲット部接合法の開発を着実に進めており、評価できる。
・今後、科学的な研究成果がさらに挙げられる体制を望む。

3.3 基礎的核融合工学研究、炉システム研究

[活動の方向性について]

・ITER等に適用できる方向に向けた基礎的開発研究であり、評価できる。
・今後、原子力工学との連続化に一層の努力を求めたい。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

・産業界にも普及する基礎的研究も含まれており、成果は科学的・技術的意義があり、高く評価できる。
・産業界においては、さらに他分野への応用を積極的に進めるとともに、成果のアピールに努めることを望む。

4. 全体として特記すべき事項(顕著な成果、進言など)

・ITER や BA において、これまでの開発成果により、我が国独自の技術力を蓄積され、広い分野にて世界をリードする研究成果や開発製品を得たことは、非常に高く評価できる。今後、日本全体の知恵が反映できるような体制を構築していかれることを希望する。
・JT-60U の成果については、大変限られた運転時間の中でこれだけの成果をあげてきたことは、全体に非常に高く評価できる。
・オールジャパン研究体制の構築への努力や日本全体としての人材育成を考えた体制つくりについての提言をしていく役割もはたしていただきたい。
・近年の連携が主に大学を中心に進められており、比較して産業界との連携が手薄である。日本原子力研究開発機構は、研究開発により福祉と生活向上に役立つように原子力の利用を進めることがその目的であり、それにはもっと産業界との強い連携が必要と考えられる。

別紙2

核融合研究開発・評価委員会　評価レベルまとめ

評価レベル	点数
高く評価できる	１２０
評価できる	１００
概ね評価できる	８０
検討を要する	６０

1)全委員(11名)からの評価を左記の4段階に分類
2)項目毎に平均点を算出
3)別紙1の記述は本評価レベルに基づく

中期計画上の区分		評価項目	評価結果(平均点)
ＩＴＥＲ計画	ITER移行措置活動	○活動の方向性について	１０９
		○活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について	１１５
	幅広いｱﾌﾟﾛｰﾁ活動	○活動の方向性について	９６
		○活動の実績について	１０５
	その他	○燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について	１００
炉心プラズマ研究開発	定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発	○研究の方向性について	１１５
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１６
	輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究	○研究の方向性について	１０４
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	９８
	その他	○大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について	１１０
核融合工学研究開発	増殖ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ開発研究、構造材料開発研究	○研究の方向性について	１０２
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１０７
	国際核融合材料照射施設開発	○研究の方向性について	１０６
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１０２
	基礎的核融合工学研究、炉ｼｽﾃﾑ研究	○研究の方向性について	１０３
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１２

平成２０年４月１６日

核融合研究開発部門長　殿

平成１９年度業務実績等に係る見解

核融合研究開発・評価委員会
委員長　高村　秀一

当委員会は、核融合研究開発部門長の求めに応じて、平成２０年３月４日に第４回核融合研究開発・評価委員会を開催し、原子力機構における平成１９年度の進捗状況等を聴取し、以下のとおり、当委員会の見解を取り纏めたので、貴部門の研究開発業務に関する自己評価及び来年度の計画検討の一助にされることを期待する。

１．平成１９年度の業務実績について

当委員会は、平成１９年度計画上の目標が達成されたことを承認するとともに、ＩＴＥＲ計画における活動の実績と成果は高く評価でき、また、炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発の成果に関する科学的・技術的意義は高い評価に値すると判断する。

２．研究開発に関する評価結果について

当委員会の評価結果は別紙１、２のとおりである。

別紙1

核融合研究開発・評価委員会　平成１９年度　評価結果まとめ

1.　ITER 計画

1.1　ITER 移行措置活動、ITER 建設活動

[活動の方向性について]

- ITER の建設予定に向けて適正な活動をしており、高く評価できる。
- オールジャパン体制の更なる構築が望まれる。

[活動の実績及び成果について]

- 国際事業として果たすべき役割、特に性能保障と納期が重要な調達にむけて着実に活動しており、高く評価できる。
- JADA として人材確保等に関して活動をさらに前進させることが望まれる。

1.2　幅広いアプローチ活動（国際核融合ｴﾈﾙｷﾞｰ研究ｾﾝﾀｰ、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計、ｻﾃﾗｲﾄﾄｶﾏｸ）

[活動の方向性について]

- 国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）、照射施設、サテライトトカマクは国際的な枠組みのなかで進められており、方向は妥当と思われる。
- IFERC 内の研究内容の選択には全日本的議論の上で進め、特にブランケット材料に関しては、原型炉実現に向けて、研究の優先度を十分に勘案して計画を精査することが望まれる。

[活動の実績及び成果について]

- 国際核融合エネルギー研究センター、材料照射施設、サテライトトカマク施設と、研究計画に沿って着実に進んでいるが、それぞれの施設とも非常に大きなプロジェクトであり、具体的に何をターゲットにいつまでにどこまで達成すべきか、プログラムの内容を絞り、研究のインセンティブを高める努力を期待したい。
- 国際核融合エネルギー研究センターでの活動内容の EU との合意形成ならびに国内における合意形成に関する透明性を高めると共に、オールジャパンの体制作りに一層努力することが望まれる。

1.3　その他

[燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER 計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について]

- 改修前の限られた装置制約のなかで十分な成果をあげており、高く評価できる。
- 粒子制御装置および加熱装置によるプラズマの実時間制御、国際トカマクとの性能比較、核融合フォーラム等を通じての国内産学官の連携強化など順調に進展しているといえる。

2.　炉心プラズマ研究開発

2.1　定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発

[研究の方向性について]

- 単一項目のトップデータを狙うのでなく、総合性能を向上させ、分布・回転制御を成功させるなど、装置制約の範囲で最大限の成果を引き出している方向性は高く評価できる。
- プラズマ安定化制御に必要な具体的な目標を掲げており、計画の方向は妥当である。
- ITER 計画との連携も高く評価できる。LHDとの連携をさらに深め環状閉じこめの理解の向上に寄与することが望まれる。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

- 規格化ベータ 2.6 を 28 秒、低安全係数での自発電流増加、電流分布・回転の制御など、ITER やそれ以後の核融合装置の運転に直結する重要な成果であり、高く評価できる。
- 定常炉を実現する上で、科学的・技術的意義は大きい。また、負イオンビーム、電子サイクロトロン加熱等の連続入射伸長など成果を上げている。

2.2　輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究

[研究の方向性について]

- 適切な方向で研究が進められており、高く評価できる。
- 定常高 β プラズマの実現において、輸送コード研究が重要であり、評価できる。一方、炉心プラズマの理論・シミュレーション研究において輸送コード研究の位置付けを明確化し

ていくことが必要である。
・学際的な拡がりを持つ活動の活発化をも取り入れていくことが研究の質的発展という観点から望まれる。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]
・統合ダイバータコードの開発や、ジャイロ運動論による乱流効果の解明など、科学的・技術的には極めて高度な研究が進展しており、高く評価できる。
・統合ダイバータコードの開発は、科学的・技術的意義が大きい。

2.3 その他

[大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について]
・大学等との共同研究が適切に行われており、高く評価できる。
・予算の制約があると思うが、さらに共同研究を推進すべきである。

3. 核融合工学研究開発

3.1 増殖ブランケット開発研究、構造材料開発研究

[研究の方向性について]
・限られた予算で増殖ブランケット開発や構造材料開発の目標が適切に設定され、かつ達成されており、高く評価できる。
・増殖ブランケットの要素技術から工学試験段階へ着手し、ITERテストブランケット設置時期に合わせて開発を進めており、研究開発の方向は妥当である。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]
・増殖ブランケットや構造材料開発のために重要な科学的・技術的成果が得られており、高く評価できる。
・水冷却固体増殖ブランケットは日本独自のものであり、具体的設計とコンポーネント製作及び試験がかなり進んでいる。この成果は TBM 参加極の中で卓越しており、また炉工学の学術の発展に大きく貢献している。

3.2 基礎的核融合工学研究、炉システム研究

[研究の方向性について]
・核融合炉工学上重要な基礎技術の研究開発を行っており、高く評価できる。
・フェライト鋼を中心とした材料特性研究、トリチウム工学研究などを中心とした指針は適切である。
・ITER/BA 技術推進委員会で検討されているロードマップと整合を取りつつボトルネックの分析を進めることが望まれる。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]
・フェライト鋼の中性子損傷の評価、トリチウム理工学研究は学術的にも世界トップレベルにあり、高く評価できる。
・原型炉に必要な技術につながるRFイオン源の改良やジャイロトロンの高効率化につながった研究は、核融合基礎工学として技術的意義は高いと評価する。

4. 全体として特記すべき事項(顕著な成果、進言など)

・ITER、原型炉を含む核融合炉研究開発において、日本の研究活動は中心的な役割を果たしていると考えられる。ITER-BA 活動は、工学実証の上でも重要である。原子力機構で行っている炉心プラズマ研究、炉工学研究との整合を取りつつ進められることを期待する。炉心プラズマ研究では ITER 条件を凌駕する高ベータ値を長時間達成したことは特筆される。炉工学分野でも着実に成果をあげており、大学、企業との連携を積極的に進めるとともに、人材育成にも力を入れている。核融合工学分野をリードする機関として、さらなる技術の維持発展、若手人材確保、育成をも期待したい。
・エネルギー発生装置としての核融合実証炉の成否を決める増殖ブランケット開発に関連して、テストブランケットモジュールの研究開発がきわめて重要であり、適切な予算措置が望まれる。
・JT-60U による高いベータ定常や、高自発電流率の研究成果は、ITER のみならず、今後の原型炉開発にも大変有効な成果と考えられる。JT-60 での研究は今後の核融合研究の展開において大きなウエイトを持つので、予定されている JT-60 の改修をスケジュール通りに進めて JT-60SA への速やかな移行がなされるよう、努力されたい。
・JT-60SA 建設時のアクティビティーの確保に関する構想を早い段階で示すことが望まれる。

別紙2

核融合研究開発・評価委員会　平成１９年度　評価レベルまとめ

評価レベル	点数
高く評価できる	１２０
評価できる	１００
概ね評価できる	８０
検討を要する	６０

1)全委員(11名)からの評価を左記の4段階に分類
2)項目毎に平均点を算出
3)別紙1の記述は本評価レベルに基づく

中期計画上の区分		評価項目	評価結果(平均点)
ＩＴＥＲ計画	ITER移行措置活動、ITER建設活動	○活動の方向性について	１１３
		○活動の実績及び成果について	１１１
	幅広いｱﾌﾟﾛｰﾁ活動（IFERC，IFMIF，ｻﾃﾗｲﾄﾄｶﾏｸ）	○活動の方向性について	１０７
		○活動の実績及び成果について	１０６
	その他	○燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について	１１５
炉心プラズマ研究開発	定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発	○研究の方向性について	１１６
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１８
	輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究	○研究の方向性について	１１２
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１８
	その他	○大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について	１１３
核融合工学研究開発	増殖ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ開発研究、構造材料開発研究	○研究の方向性について	１１６
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１５
	基礎的核融合工学研究、炉ｼｽﾃﾑ研究	○研究の方向性について	１１５
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１５

平成２１年４月２７日

核融合研究開発部門長　殿

平成２０年度業務実績等に係る見解

核融合研究開発・評価委員会
委員長　寺井隆幸

当委員会は、核融合研究開発部門長の求めに応じて、平成２１年２月２０日に第５回核融合研究開発・評価委員会を開催し、原子力機構における平成２０年度の進捗状況等を聴取し、以下のとおり、当委員会の見解を取り纏めたので、貴部門の研究開発業務に関する自己評価及び来年度の計画検討の一助にされることを期待する。

１．平成２０年度の業務実績について

当委員会は、平成２０年度計画上の目標が達成されたことを承認するとともに、ＩＴＥＲ計画及び幅広いアプローチ活動における活動の実績と成果は高く評価でき、また、炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発の成果に関する科学的・技術的意義は高い評価に値すると判断する。

２．研究開発に関する評価結果について

当委員会の評価結果は別紙１、２のとおりである。

別紙1

核融合研究開発・評価委員会　平成２０年度　評価結果まとめ

1.　ITER 計画

1.1　ITER 建設活動

[活動の方向性について]

- ITER 協定に基づいて、計画通り、着実に進展しており、高く評価できる。
- 核融合のための技術統合の経験を日本側の企業も十分に積める機会を増やすような仕組みをつくることが望まれる。

[活動の実績及び成果について]

- 順調に進んでおり、日本の技術力の高さ・確実さが、国際的な協力事業で高く評価されている。
- 国内関係研究機関との連携は重要であり、さらに一層の情報共有の努力をすることが望まれる。

1.2　幅広いアプローチ活動（国際核融合ｴﾈﾙｷﾞｰ研究ｾﾝﾀｰ、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計、ｻﾃﾗｲﾄﾄｶﾏｸ）

[活動の方向性について]

- IFERC、IFMIF/EVEDA、JT-60SA の 3 つの活動の方向性は日欧合意に基づいたものであり、適切であると考えられる。
- BA における原型炉設計活動が停滞しているよう思える。人材の配分も含め、検討を加速する方法を探っていただきたい。

[活動の実績及び成果について]

- 六ヶ所村に建屋建設が始まり、開発計画の進捗は順調である。各国、企業、大学との連携も進んでおり、妥当である。サテライトトカマクについては、低アスペクト比によりトロイダル磁場を低下しつつもプラズマ電流を維持するなどコスト要件を満たしつつ概念設計を満足する方向を出すなど計画が進んでいる。
- 六ヶ所の交通・住居の現状は BA に参加しようとする者の視点からすれば不十分と感じる。国土交通省とも十分に話し合って対策を練ることが望まれる。

1.3 その他

[燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER 計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について]

- 燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得については積極的な研究が行われており、限られた実験時間でよい成果が出ている点を高く評価できる。
- 国内機関との連携については核融合エネルギーフォーラムを通じて、国内意見調整、情報発信、理解増進を図っており、活動は評価される。

2.　炉心プラズマ研究開発

2.1　定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発

[研究の方向性について]

- 高規格化圧力のプラズマの長時間維持を目指す計画の方向は妥当である。
- 積極的な研究開発が行われており、高く評価できる。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

- 規格化ベータ値 3.0 でプラズマを 5 秒間維持できたことは特筆に値する。さらに ITER を支援する定常運転シナリオをほぼカバーする成果を得ている。どれも ITER および原型炉プラズマに寄与する有意義な結果であり、定常炉を実現する上での科学的・技術的意義は大きい。
- 高規格化圧力プラズマの実現やエネルギー増倍率・イオン温度等に関する世界記録を実現し、最大限の成果を取得して無事に実験を終了したことは高く評価できる。

2.2 輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究

[研究の方向性について]

- 統合シミュレーションコード開発という方向性は適切であり、高く評価できる。
- 工学研究との連携を強めるために人員の増強が必要と考えられる。

[研究の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

- 着実に重要な成果が得られており、高く評価できる。科学的・技術的意義は大きい。
- タングステンを含む幅広い不純物なども取り扱える原型炉向けダイバータコードならびに他のコードとの接合を早期に実現していただきたい。

2.3 その他

[大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について]

- 国内重点化装置として多くの共同研究が行われ、大学等との共同研究が適切に実施されており、高く評価できる。
- 炉心プラズマ研究では、前年度に引き続き、多くの各大学の研究者、学生を共同研究者として受け入れた。特に 1/3 が大学院生で将来の研究者を育てるのに大きく貢献している。

3. 核融合工学研究開発

3.1 増殖ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ開発研究、構造材料開発研究

[活動の方向性について]

- 限られた予算の中で増殖ブランケットに向けた研究開発目標とシナリオが適切に設定されており、高く評価できる。
- ブランケットの開発戦略を多階層的に計画し、国内の研究体制を組織化するために、リーダーシップを発揮する時期にある。そのために、人員の確保が重要である。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

- 増殖ブランケットや構造材料開発のために重要な科学的・技術的成果が得られており、高く評価できる。
- 要素技術の着実な開発が進んでおり、国際的にも高く評価されている。

3.2 基礎的核融合工学研究、炉ｼｽﾃﾑ研究

[活動の方向性について]

- 核融合炉工学上重要な基礎技術の研究開発が適切に行われており、高く評価できる。
- 使用済ブランケットからのトリチウム回収や、リチウム6濃縮技術、配管におけるトリチウム透過防止膜などの開発も早期に進めることが望まれる。

[活動の実績及び成果に関する科学的・技術的意義について]

- 基礎的な研究課題についても研究が進展しており、科学的・技術的意義は大きい。
- 核融合炉システム研究（原型炉研究）は、今後の開発の方向性の決断にとって重要なので、もっとリソース投入を拡大していくことが望まれる。

4. 全体として特記すべき事項（顕著な成果、進言など）

- 全体的に、限られた予算枠で効率よく重点項目について、多大な努力をして、順調に確実に成果を蓄積しており、高く評価できる。特に、炉心プラズマ研究及びブランケット研究は卓越しており、世界最高レベルにある。今後もさらに進展させていただきたい。
- 今年度から始まった BA R&D には全日本から多くの協力者が参加しており、All Japan 体制になっている。今後の進展が大いに期待される。
- 機構内の核融合予算が限られているにもかかわらず、核融合炉実現のキーとなる炉心プラズマ研究及び核融合炉工学研究において世界を先導する成果をあげており、機構職員のご尽力に敬意を表する。
- 核融合炉の早期実現のために必須であるテストブランケット開発のためには現在の予算では不十分であり、機構内での予算配分を増やしていただくことと文部科学省からの予算配分を増額していただくことを強く期待する。

- ITER・BA 技術推進委員会の活動を、より自発的なものにするよう、積極的なかかわりが期待される。
- ITER 及び BA について、我国の成果を国際的に強くアピールすることが重要であり、その努力をしていただきたい。また、大学・産業界との更なる連携を期待する。
- ITER・BA といった全日本的参加が標榜される研究プロジェクトの推進にあたって、情報発信や意見集約のために、積極的なリーダーシップを発揮してほしい。一方で、大学等の基礎研究に「関心」を維持することで、学術界との接点を持ち続ける必要もあると思われる。
- 大学等で進められているプラズマ工学、材料技術、核物理研究は、核融合基礎技術の裾野を広げる上で重要であり、核融合エネルギーフォーラム等を通じた産学連携をさらに強化する必要がある。また、次世代の若い研究者、技術者育成のためにも大学、企業等との人材交流、キャリアパスシステム構築にも、より一層寄与されることが望まれる。
- 個々の研究については方向性並びに科学的・技術的意義は大きい。問題は、これまでもそうであったが、長期にわたって膨大な研究開発費を投じなければならないことである。また、それだけの研究投資を実施しても実用プラントが実現できる保証はないことも課題となっている。これからも巨額の R&D 資金を投入しなければならないことを考えると、研究のコスト・ベネフィットを国民に分かりやすく説明する必要がある。

別紙2

核融合研究開発・評価委員会　平成２０年度　評価レベルまとめ

評価レベル	点数
高く評価できる	１２０
評価できる	１００
概ね評価できる	８０
検討を要する	６０

1）全委員（9名）からの評価を左記の4段階に分類
2）項目毎に平均点を算出
3）別紙１の記述は本評価レベルに基づく

中期計画上の区分		評価項目	評価結果（平均点）
ＩＴＥＲ計画	ITER 建設活動	○活動の方向性について	１１８
		○活動の実績及び成果について	１１８
	幅広いｱﾌﾟﾛｰﾁ活動（IFERC，IFMIF，ｻﾃﾗｲﾄﾄｶﾏｸ）	○活動の方向性について	１０９
		○活動の実績及び成果について	１１１
	その他	○燃焼ﾌﾟﾗｽﾞﾏ制御手法の指針獲得、ITER 計画と国内機関の成果相互還流等に関する進展状況について	１１３
炉心プラズマ研究開発	定常高ﾍﾞｰﾀ化研究、装置技術開発	○研究の方向性について	１１８
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１８
	輸送ｺｰﾄﾞ等の改良、理論・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ研究	○研究の方向性について	１１６
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１６
	その他	○大学等との連携・協力、人材育成等の進展状況について	１２０
核融合工学研究開発	増殖ﾌﾞﾗﾝｹｯﾄ開発研究、構造材料開発研究	○研究の方向性について	１１３
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１８
	基礎的核融合工学研究、炉ｼｽﾃﾑ研究	○研究の方向性について	１１１
		○研究の成果に関する科学的・技術的意義について	１１３

（参考）

核融合研究開発・評価委員会　委員構成

委員長	高村　秀一	愛知工業大学 工学部電気学科 教授 （平成２０年４月まで）
	寺井　隆幸	東京大学大学院 工学系研究科 原子力国際専攻 教授 （平成２１年２月より、それ以前は委員）
委員	内山　洋司	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授
	大島　まり	東京大学 生産技術研究所 教授 （平成２０年４月まで）
	岡野　邦彦	財団法人 電力中央研究所 原子力技術研究所 上席研究員
	金子　修	自然科学研究機構 核融合科学研究所 副所長 （平成２１年７月より）
	小森　彰夫	自然科学研究機構 核融合科学研究所 大型ヘリカル研究部 研究総主幹 （平成２１年６月まで）
	笹尾　真実子	東北大学大学院 工学研究科量子エネルギー工学専攻 教授
	野田　哲二	独立行政法人 物質・材料研究機構 理事
	日野　友明	北海道大学大学院 工学研究科量子理工学専攻 教授
	堀池　寛	大阪大学大学院 工学研究科環境・エネルギー工学専攻 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 教授

参考資料

参考資料１　　研究開発課題の中間評価について（諮問）
参考資料２　　中間評価説明資料
参考資料３　　核融合研究開発・評価委員会（中間評価）における
　　委員会の指摘事項と原子力機構の措置

This is a blank page.

参考資料 1

研究開発課題の中間評価について（諮問）

This is a blank page.

21 原機（融）031
平成 21 年 6 月 24 日

研究開発・評価委員会
（核融合研究開発・評価委員会）
委員長 寺井 隆幸 殿

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
理事長 岡﨑 俊雄

研究開発課題の中間評価について （諮問）

「研究開発・評価委員会の設置について」（17（達）第42号）第3条第1項に基づき、次の事項について諮問します。

〔諮問事項〕

「核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発」に関する中間評価

以 上

This is a blank page.

参考資料２

中間評価説明資料

○中間評価の位置付け
○業務実績報告（平成 17 年～平成 20 年）
○研究開発実績（平成 17 年～平成 20 年）
○核融合研究開発の成果及び現状と次期中期計画骨子について

This is a blank page.

資料6-4

中間評価の位置づけ

今回の中間評価は、事後評価及び事前評価を
兼ねたものと理解

従って、現中期計画の進捗状況の妥当性（達成見込み等）を
評価していただくとともに、次期中期計画についてのご意見を
賜り、それを次期中期計画策定に反映させていただくために
実施

中間評価について（補足）

研究開発課題評価実施規程
第6条　評価の実施次期毎の評価の観点は、次の各号に定めるとおりとする。
（2）中間評価
研究評価の進捗状況の妥当性、情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方などの見直しの必要性（継続、変更、中止等の決定）、研究資金・人材等の研究開発資源配分のバランス、社会的・経済的ニーズ等の観点からも評価を行う。

経営企画部　評価室
（2）中間評価
中間評価は、進捗度の点検と目標管理、継続、中止、方向転換、研究開発の質の向上、機関運営の改善、研究者の意欲喚起などに活用するために実施する。

【評価の項目】

評価の観点	評価項目	評価の視点や留意点など
[総合評価]	（これまでの取組み、今後の研究開発計画）	○各観点から見た総合意見
[必要性の観点]	●科学的・技術的意義（所期の変化）	○独創性、革新性、先導性、発展性など
	●社会的・経済的意義（所期の変化）	○産業・経済活動の活性化・高度化、国際競争力の向上、知的財産権の取得・活用、社会的価値（安全・安心で心豊かな社会等）の創出、国益確保の貢献、政策・施策の企画立案・実施への貢献等
	●国費を用いた研究開発としての妥当性（所期の変化）	○国や社会のニーズへの適合性、機関の設置目的や研究目的への適合性、国の関与の必要性・緊急性、他国の先進研究開発との比較における妥当性等
[有効性の観点]	●成果の有効性	○目標の実現可能性や達成のための手段の存在、目標達成度、新しい知の創出への貢献、直接の成果の内容、（見込まれる）効果や波及効果の内容、研究開発の質の向上への貢献、実用化・事業化の見通し、行政施策実施への貢献、人材の養成、知的基盤の整備への貢献等 ○計画外事象の有無及び対応の適否を考慮
[効率性の観点]	●（今後の）研究開発計画の妥当性	○計画・実施体制の妥当性、目標・達成管理の妥当性、費用構造や費用対効果の妥当性、研究開発の手段やアプローチの妥当性

This is a blank page.

資料 6-6

日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門

中間評価

業務実績報告
(平成 17 年～平成 20 年)

This is a blank page.

3）核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発

【中期計画】

原子力委員会が定めた第三段階核融合研究開発基本計画に基づき、核融合研究開発を総合的に推進し、核融合エネルギーの実用化に貢献する。国際熱核融合実験炉(ITER) 計画及び幅広いアプローチに取り組むとともに、炉心プラズマ及び核融合工学の研究開発を進め、その成果をITER計画に有効に反映させることにより、ITER 計画の技術目標の達成に貢献する。また、補完的研究開発としてのトカマク炉心改良等の炉心プラズマ研究開発を行うとともに、増殖ブランケット・構造材料等の核融合工学研究開発を推進し、経済性を見通せる原型炉の実現に必要な技術基盤の構築に貢献する。また、国際協力を活用することにより、以上の研究開発の円滑な推進を図る。

①国際熱核融合実験炉(ITER)計画

【中期計画】

ITER 協定(イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定)発効までは、ITER 移行措置活動の実施機関として、調達の準備等、ITER 建設の共同実施を円滑に開始するために必要な活動を実施する。ITER 協定発効後は、ITER 協定に基づく国内機関として、調達や人材提供の窓口としてITER 建設活動に取り組む。

また、幅広いアプローチ協定(核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定)発効前は、ITER 建設に係る支援と並行して、幅広いアプローチ活動の推進を支援する。幅広いアプローチ協定発効後は、幅広いアプローチ協定に基づく実施機関としての業務を実施する。

また、粒子制御を活用した燃焼模擬実験等を実施することにより、燃焼プラズマ制御手法の指針を得る。

核融合エネルギーフォーラム活動を通して大学・研究機関・産業界の意見や知識を集約しつつ、ITER 計画及び幅広いアプローチに取り組み、ITER 計画及び幅広いアプローチと国内核融合研究との成果の相互還流に努める。

≪平成17年度実績≫

○ 国際熱核融合実験炉（ITER）移行措置活動(ITA)については、ITER国際チームからの要請に基づいて、国際的に合意された建設スケジュールに従って機器を調達するために、タスク（国際チームが定めた参加極が分担して実施すべき作業）として日本分担機器及び関連機器の技術仕様検討等の調達準備を実施した。日本が分担したITA期間中に完了すべき71件のタスクのうち、ITER国際チームが定めた計画に従い平成16年度までに10件、平成17年度は25件の作業を完了した。残りのタスクについては、その計画に従い、継続して実施中である。タスクにおける特筆的成果としては、超伝導コイルに関し、臨界電流密度の新たな要求値（従来要求値の1.3～1.5倍に相当）を満足するNb_3Sn超伝導素線の高性能化を行い、その量産に目処を付けるなど、機器調達に向けた準備が着実に進展した。また、加熱電流駆動機器の性能拡張試験において、MeV級負イオン加速器で高電流密度の加速（146A/m^2,836keV:世界最高のデータ）、170GHzジャイロトロンで長パルス出力（1,000秒,0.2MW:世界最高のデータ）を達成した。さらに、政府間協議で決められた国際チームへの人員派遣（実績：252人•月）、那珂サイトの活動支援を行った。国際チームの暫定リーダの派遣を継続してその活動を主導するとともに、3月からはITER機構長予定者の決定に伴いその予定者を国際チームリーダとして派遣した。

幅広いアプローチのプロジェクトの具体化については、ITER計画推進検討会(文部科学省)における国内の意見集約を支援するとともに、19回実施された日欧政府間協議及び関連技術会合において、実施するプロジェクトの具体的な内容の検討等の技術支援を実施し、国際核融合材料照射施設の設計、国際核融合エネルギー研究センター、サテライトトカマク（JT-60の超伝導化改修）の3つの活動を行うという内容の合意に貢献した。

○ JT-60において燃料密度の制御に着目した燃焼模擬実験を実施するために、ペレット入射装置にスクリュー式連続ペレット生成器を設置し、長時間化改造のための動作確認試験を実施するとともに、ガスジェット入射装置の設置を完了し、動作確認を行った。また、燃焼プラズマ制御手法の指針を得る研究の一環として、ITER参加極が共同で実施している国際トカマク物理活動にJT-60による実験結果、データベースを提供して積極的に貢献し、3編の国際共同論文を投稿した。

○ 核融合フォーラム活動については、会員メールやホームページへの掲載、および会員総会である全体会合（1回）を通じて国際交渉の進捗等の情報を発信するとともに、運営会議2回、調整委員会3回、クラスター関連会合を22回（うち、シンポジウム等4回）実施し、ITER計画および幅広いアプローチ活動に関して国内の大学・研究機関・産業界の意見や知識の集約を図った。

○ 韓国が調達分担する機器に関し、技術協力・指導の要請があり、日韓核融合研究協力協定の枠組みでNb_3Sn超伝導素線の臨界電流性能の評価方法等、超伝導技術に関する情報提供を実施している。
　また、インドからも同様の申し入れがあり検討中である。今後これらが本格化することにより、原子力機構はアジア地域での ITER 調達のセンターとなり得る。

≪平成18年度実績≫

○ ITER計画については、昭和63年の概念設計活動開始以来、実施機関として積極的にその活動を展開してきた。ITERの建設・運転に向けた国際的な枠組み策定にあたっても技術的検討や他極専門家との意見調整等を通して支援を行い、平成18年11月「イーター国際核融合エネルギー機構設立協定」が署名された。

○ ITER移行措置活動(ITA)の実施機関として、ITER国際チームからの要請に基づく建設スケジュールに従って機器を調達するための準備作業として、日本分担機器及び関連機器の技術仕様検討等のタスク（国際チームが定めた参加極が分担して実施すべき作業）を実施した。ITA期間中に日本が分担した75件のタスクのうち、平成17年度までに35件、平成18年度は24件の作業を完了した。ITER国際チームに対する支援としては、人員派遣（実績：254人・月）を行うとともに、ITER国際チームの活動拠点を那珂作業サイトからITER国際核融合エネルギー機構の本拠地として整備が進められているカダラッシュへ円滑に移行させるための支援を行い、計画通り平成18年12月末で那珂作業サイトを閉鎖した。
　協定批准までの間の暫定ITER機構に対する支援としては、ITER後に想定される我が国の技術・知識の体系を念頭に15名を派遣するとともに、暫定ITER機構が行った我が国におけるITER機構職員公募の事務手続きを支援した。

○ 調達準備に関しては、ITER製作工程上のクリティカルパスである超伝導コイルを中心に、ITER国際チームとの81回の技術会合に191名を参加させ、調達に必要な技術仕様の最終化を図った。調達に必要な研究・技術開発については、ITER用超伝導コイル製作において大きな課題であった超伝導導体用圧縮成型装置の試作に成功するなど、超伝導コイルの調達に目処をたてた。
　ITER用ジャイロトロンの開発においては、ITER で要求される性能を上回る出力1MWで800秒、出力0.6MWで１時間の連続運転を実証した。NBI用負イオン加速器の開発においては、ビームエネルギー753 keV、負イオンビーム電流0.3 Aの大電流負イオンビーム加速に成功し、ITER で要求される性能の実現に見通しを得た。これらは世界初の成果であり、ITER参加７極による調達準備に大きな前進をもたらすとともに、我が国の技術基盤の向上に寄与し、外部委員による核融合研究開発・評価委員会やITER国際チーム等内外で高く評価された。さらにITER国内機関として、調達に必要な文書管理体制や品質保証管理体制を整備した。
　プラズマ実時間計測値を用いてアルファ加熱入力を模擬するロジックの開発では、JT-60燃焼模擬プラズマの粒子連続入射に対する応答特性を取得するとともに、国際トカマク物理活動を通じて燃焼プラズマの性能予測の向上に貢献した。

○ 幅広いアプローチ(BA)に関しては、JT-60超伝導化改修装置の概念設計報告書草案をまとめるとともに、国際核融合エネルギー研究センター及び国際核融合材料照射施設のための工学実証及び工学設計活動（IFMIF-EVEDA）の施設・装置の設計検討と六ヶ所サイト整備や建家建設の準備等、国際活動実施に必要な準備を進め、平成19年2月の日本国及び欧州原子力共同体による「ブローダー・アプローチ協定」の署名を技術面から支援した。

○ 原子力機構がITER国内機関及びBA実施機関となることに備え、機構内関係部署の連携強化による意志決定の迅速化・効率化を図り、業務を円滑に推進するため、理事長を委員長とした「ITER推進委員会」を創

設した。また、財務・人事・契約等に係る課題の洗い出し及びその解決策の検討を組織的に進めるなど、準備活動を行った。

○ 大学等との連携協力については、その強化・人材育成策の具体化を目的に、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員とする「ITERプロジェクト委員会」を核融合研究開発部門に設置した。

また、核融合フォーラムの改組、及び大学・研究機関・産業界等の意見や知識の集約を図るための連携の在り方等について検討する「ITER／BA技術推進委員会」新設の検討を技術的側面から支援し、ITER／BA本格着手に向けた国の体制整備に貢献した。

核融合フォーラム活動については、会員メールやホームページへの掲載、及び会員総会である全体会合（1回）を通じて国際交渉の進捗等の情報を発信するとともに、運営会議2回、調整委員会3回、クラスター関連会合を27回（うち、シンポジウム等3回）実施した。核融合フォーラムクラスター活動を通じてITERでのテストブランケットモジュールについての国内意見の集約を行い、ITER国際チームと参加7極で構成されるアドホック委員会の議論に反映させた。また、BAのIFMIF-EVEDAプロジェクトについて、タスク分担に関する国内希望調査をクラスターで行い、その結果を踏まえた案を日欧専門家会合での議論に供すなど、活動の本格化にあわせて具体的な成果へ結実している。このような議論を通じて、核融合フォーラムと核融合ネットワーク（大学等における学術研究の全国展開ネットワーク）を母体とした「テストブランケットモジュール作業部会」及び「IFMIF-EVEDA作業部会」が組織され、国内の合意形成の場が構築された。

○ ITER計画及びBA計画を一般社会に広める目的で、核融合研究開発部門長直属スタッフを中核として、広報支援活動の強化に着手した。その結果、核融合研究開発部門内の研究者の自発的な取り組み「勝手にアウトリーチ活動班」の活動を奨励することとし、同班及び那珂核融合研究所との連携の下、日本科学未来館での「65億人のサバイバル展」への出展（H18年10月-H19年2月）、サバイバル展説明員の派遣（２０人回実施）、トークイベントへの参加、日本科学未来館のインタープリターへのレクチャー等を実施した。

≪平成 19 年度実績≫

○ ITER 計画については、昭和 63 年の概念設計活動開始以来、実施機関として積極的にその活動を展開し、平成 19 年 10 月 24 日、ITER協定（参加極：日、EU、米、韓、中、露、印）の発効を受け、機構は国内機関として指定された。

○ ITER 移行措置活動(ITA)の実施機関として、ITER 国際チームからの要請に基づく建設スケジュールに従って機器を調達するための準備作業として、日本分担機器及び関連機器の技術仕様検討等のタスク（国際チームが定めた参加極が分担して実施すべき作業）を実施した。ITA 期間中に日本が分担した 74 件のタスクのうち、平成 18 年度までに 42 件、平成 19 年度は 31 件の作業を完了し、残り 1 件が継続中である。また、ITER 協定発効後は国内機関として、ITER 機構からの設計レビュー関連の要請への対応と調達技術仕様の最終化のために日本が分担した 13 件のタスクのうち、平成19年度中に完了すべき2件の作業を計画通り完了した。ITER 機構に対する支援としては、直接雇用職員5名（うち4名が上級管理職）の他に人員派遣（実績：85 人・月）を行うとともに、ITER 機構の内部設計レビュー、統合調達工程の調整会合など 136 回の技術会合に 431 人を参加させた。さらに、ITER 理事会、運営諮問委員会及び科学技術諮問委員会に出席し、ITER 計画の方針決定等に参画・貢献した。また、ITER 機構が行った我が国における ITER 機構職員公募の事務手続きを支援し、日本人職員 15 人が採用された。

○ 調達に必要な研究・技術開発については、ITER参加極で最大の貢献となる超伝導コイル（TF コイル）導体の調達準備の最終段階として、日本が製作した超伝導導体について、欧州の試験施設（SULTAN）を用いた性能検証試験を 2 回にわたって実施し、要求値を満足する結果を得た。これを踏まえ、TF コイル導体の我が国調達担当分について、ITER 機構との間で初となる調達取決めを平成 19 年 11 月 28 日に締結し、ITER 計画が建設段階に入ったことを世界に示した。これと並行して、超伝導導体の技術仕様に関する産業界の意見を聴取した上で、コイル2個分の超伝導素線及び撚線の製作、並びに導体製作についての入札公告を行い、これらの契約を締結した。また、TF コイル巻線について、巻線時の超伝導導体長さを精密に測定する技術を開発し、自動巻線技術を確立するなど、ITERトロイダルコイル（幅9m、高さ14m、通電電流6万8千A）の製作技術基盤を世界に先駆けて構築した。

また、超伝導コイル開発に関する機構の技術力は国際的にも高く評価され、欧州が製作したITERポロイダル磁場コイル試験導体(外径1.6m、高さ3.4m、重量6t)について、ITER機構及び欧州からその試験を機構で実施することを依頼された。機構はそれを受け入れ、欧州から輸送されてきた試験導体を機構が有する試験装置へ組み込み、その試験準備を完了した。

遠隔保守機器の調達準備としては、ドライ潤滑材をコーティングした歯車の寿命試験を行い、要求値を満足することを確認するなど、技術仕様の確認を行った。また、計測装置の調達準備としては、ダイバータ不純物モニター、マイクロフィッションチェンバー、周辺トムソン散乱計測装置、ポロイダル偏光計についての設計検討を進めた。

加熱装置として用いるITER用ジャイロトロンの開発においては、高周波発振制御の工夫等により、発振が容易な従来の運転領域から高い効率が得られる運転領域(難発振領域)に安定に移行させることに世界で初めて成功し、その成果に基づいて、これまでの世界記録を大きく上回り、ITER 定格性能(出力1MW、発振効率 50%)をも上回る出力1MWで発振効率55%を達成した。ジャイロトロンの高効率動作の背景となった「非線形発振領域における安定発振の実証と機構解明」という学術的成果は、Nature 物理誌に掲載され、学会からも高い評価を得た(プラズマ核融合学会「技術進歩賞」受賞)。

同じく加熱装置として用いるNBI用負イオン加速器の開発においては、高出力ビーム加速時の熱負荷対策を施すことにより、大電流・高エネルギー負イオンビーム加速の世界記録(電流密度 131A/m^2、ビームエネルギー753keV)を、負イオンビーム電流密度140A/m^2、ビームエネルギー796 keVに更新し、ITERで要求される性能(電流密度 200A/m^2、ビームエネルギー1000keV)の実現に向けて前進した。また、真空中に設置されるイオン源と加速器の真空境界であり、かつ電力を供給する高電圧ブッシングに使用される大口径セラミック(直径1.56m)を京セラ(株)と共に開発し、世界最大のアルミナセラミックリングの試作に成功し、我が国の技術基盤の向上に貢献した。

また、調達の遂行に必要な体制の整備としては、国内機関としての品質保証計画書及び品質保証関連文書の策定、文書管理システムの整備、品質保証体制の構築を行い、運用を開始した。

○ 幅広いアプローチ(BA)活動については、4 月 1 日付で六ヶ所 BA プロジェクトユニットを設置し、六ヶ所におけるBA 活動開始の実施体制を整え、6月1日、日欧間のBA協定の発効を受け、機構は実施機関として指定された。

国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)に関する活動としては、原型炉設計に関する技術会合を開催し、原型炉の機能要求について日欧間の共通認識を得るなど設計活動の進め方の方向性に見通しを得るとともに、緊急に必要な検討作業を実施するための調達取決め案を作成し、欧州実施機関と調整の上、締結した。また、低放射化構造材料の開発、先進増殖材・増倍材の開発、材料とトリチウムの相互作用研究及びトリチウム計量技術開発に関する予備的R&Dに着手するとともに、試験施設の検討を本格的に進めた。また、日欧で合意したIFERC 関連建家の仕様に基づき調達取決めを締結するとともに、核融合計算機シミュレーションセンター活動に必要なスーパーコンピューターの機種選定に向けた特別ワーキンググループを設置することとした。また、高度なセキュリティー環境下での遠隔実験システムを開発し、1万 km 離れた欧州マックスプランク・プラズマ物理研究所から JT-60 への遠隔実験に成功し、ITER 遠隔実験センターへの適用性を実証した。

国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動に関しては、欧州実施機関と調整して、原型加速器建屋及び附属設備の詳細設計仕様を決定し、また、加速器の技術実証やリチウムターゲットに関する初期工学研究を行うための詳細計画を策定した。リチウムターゲットに関しては、高速増殖炉研究開発の分野で液体金属取扱技術を有する大洗拠点との連携協力の下で工学実証活動を実施するため、緊密な連携を保ちつつ計画策定を進めた。

サテライトトカマク(JT-60SA)に関する研究活動としては、JT-60SA 概念設計報告書を完成し、第1回BA運営委員会(平成19年6月)にて、その大綱が承認された。また、日本が担当するポロイダル磁場コイル導体及び真空容器について、詳細設計を行い技術仕様を確定し、製作を発注した。サテライトトカマク整備に向けた活動としては、品質保証計画の策定・施行、CADシステムの整備、機器の安全解析などを行った。

六ヶ所サイトの整備に関しては、仮オフィス整備や管理業務・技術支援等を行うとともに、建家及びサイトの実施設計を終了し、工事契約のための手続きを開始した。また、地元をはじめ国民の理解をより深めるために、青森研究開発センターでの広報活動等を支援し、地元説明会6回、地域イベントでの研究紹介3回、施設公開1回、公開講座4回を実施する等、情報の公開や発信に積極的に取り組んだ。

○ 燃焼プラズマの制御に関しては、新たな粒子制御装置としてガスジェット装置の運転に成功し、この粒子制御装

置及び加熱装置等を用いた制御実験を行うとともに、国際トカマク物理活動の提案による国際装置間比較実験の一環としてASDEX 装置(独)と比較実験を実施し、燃焼プラズマの性能予測精度の向上に貢献した。

○ 大学等との連携協力については、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員として設置した「ITER プロジェクト委員会」を開催し、ITER 計画の進捗状況を報告するとともに意見の集約を図った。また、ITER 関連企業説明会を5回開催し(30社から延べ181人が参加)、ITER計画の状況と調達計画、ITER機構での知的財産権の取扱い、TFコイル導体の調達取り決め等について報告し、意見交換を行った。

核融合フォーラム活動については、従来からのクラスター活動に加え、原子力機構と核融合科学研究所が連携して事務局を担当しつつ国からの依頼事項を機動的に検討する「ITER・BA 技術推進委員会」を新設した核融合エネルギーフォーラムを7月に正式発足させ、運営会議3回、調整委員会3回、全体会合2回、ITER・BA技術推進委員会 7 回、クラスター関連会合 25 回を実施し、大学・研究機関・産業界による国内核融合研究の成果がJT-60SA 概念設計報告書やITER設計書等の評価検討に盛り込まれるように議論の場を提供した。会員メール等によりフォーラム会員に情報を発信したほか、全体会合について、講演の資料やビデオ映像などをホームページで公開し、フォーラム会員だけでなく広く一般に対し、地球環境やエネルギーの課題を踏まえて国際協力で ITERを進めることの意義や ITER 計画等の最新状況を示し、ITER 時代の幕開けに対する理解促進をはかった。また、クラスター活動を通じて ITER でのテストブランケット・モジュールや BA 活動についての国内意見の集約を行い、国際会合での議論に反映させることができた。また、「ロードマップ等検討ワーキンググループ」を設置して 12 回の会合を実施し、大学・研究機関・産業界の意見を集約した人材計画案を取り纏めた。

○ ITER計画及びBA計画を一般社会に広める目的で、核融合研究開発部門長直属スタッフを中核としたアウトリーチ活動促進体制を整備し、一般人や子供にも分かりやすい説明資料(小冊子、DVD 等)を多数作成し、つくばエクスポセンターや地域イベントでの展示協力、サイエンスカフェや東大五月祭等への講師派遣などに積極的に取り組むとともに、総数2006名(うち学校関係者が1099名)の那珂核融合研究所見学者に対して適切な説明を行った。また、欧州からの JT-60 遠隔実験を実施した際には、茨城県立高萩高校の生徒 23 人を受け入れ、生きた英語教育の一環として遠隔実験の実際を見学する場を提供するなど、実体験を通した広報活動に貢献した。

○ ITER 計画及び BA 計画の効率的・効果的実施及び核融合分野における我が国の国際イニシアティブの確保を目指して、ITER 国内機関及び BA 実施機関としての物的貢献及び人的な貢献を、国内の研究所、大学、並びに産業界と連携してオールジャパン体制で行い、国内機関・実施機関としての責務を確実に果たし、国際約束の誠実な履行に努めた。

ITER 計画については、ITER 協定およびその付属文書に基づき、ITER 機構が定めた建設スケジュールに従って、トロイダル磁場コイルの超伝導導体の我が国調達分について、ITER機構との間で調達取決めを平成19年11月28日に締結し、コイル2個分の超伝導素線及び撚線の製作並びに導体の製作についての入札公告を行い、これらの契約を締結した。また、その他の我が国の調達担当機器(遠隔保守機器、加熱装置、計測装置)について、技術仕様の最終決定に必要な研究開発を実施した。

BA 計画については、BA 協定およびその付属文書に基づき、日欧の政府機関から構成される BA 運営委員会で定められた事業計画に従って、国際核融合エネルギー研究センターに関する活動(原型炉設計に関する技術会合の開催、IFERC 関連建屋及び緊急に必要な検討作業に関する調達取決めの作成・締結、予備的R&Dへの着手)及び核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動(加速器建屋及び附属設備の詳細設計仕様の決定と調達取決めの作成・締結、加速器の技術実証等を行うための詳細計画の策定)及びサテライトトカマクに関する研究活動(概念設計報告書の完成、我が国の調達担当機器に関する詳細設計と製作の発注)を実施するとともに、六カ所サイトの整備を行った。

その他、機構と欧州原子力共同体及び米国エネルギー省との間に締結されている「大型トカマク施設間の協力に関する実施協定」に基づき、トロイダル磁場リップルの影響に関する JET と JT-60U の共同実験の評価等を進めた。また、「先進トカマク運転と定常化に関する共同研究に関する日本原子力研究所とマックスプランク・プラズマ物理研究所との間の取決め」に基づき、マックスプランク・プラズマ物理研究所との研究協力による遠隔実験をプレス公開の下で実施するとともに、長期派遣を含む人員交流を進めた。これに加え、米国、ロシア、韓国、中国に対し、それぞれの研究協力協定に基づき、研究者の受け入れ、装置の貸与、実験データに関する情報交換などを行った。

≪平成 20 年度実績≫

○ ITER 計画における我が国の国内機関として、ITER 機構が提示した建設スケジュールに従って機器を調達するための準備作業として、日本分担機器及び関連機器の技術仕様検討等のタスク(ITER 機構が定めた参加極が分担して実施すべき作業)を実施した。日本が分担した 37 件のタスクのうち、平成 19 年度までに 2 件、平成 20 年度は 9 件の作業を計画通り完了し、残り 26 件が継続中である。ITER 機構に対する支援としては、原子力機構からの直接雇用職員 7 名(うち 4 名が上級管理職)の他にリエゾンを派遣し(実績:36 人・月)、ITER 機構の行う設計作業の進展に貢献するとともに、ITER 機構の内部設計レビュー、統合調達工程の調整会合など 173 回の技術会合に 514 人を参加させた。さらに、ITER 理事会、運営諮問委員会及び科学技術諮問委員会に出席し、ITER 計画の方針決定等に参画・貢献した。また、ITER 機構が行った我が国における ITER 機構職員公募の事務手続きを支援し、職員 8 人が新たに採用され、日本人職員は合計 23 人となった。また、ITER 機構が研究機関及び企業に対して募集した 3 件の研究委託及び 18 件の業務委託について、それぞれ国内向けに情報を発信し、17 社からの応募書類を ITER 機構に提出した。

人材の派遣に関しては、不定期で短期間に実施される ITER 機構職員公募に対処するため、本公募に関する情報提供を的確に行うための人材登録制度を構築して運用を開始し、これまでに合計 108 名の登録者を得ている。また、平成 20 年 7 月より、ITER 機構の職員募集に関する説明会を開始し、これまでに国内では、東京、大阪、仙台、福岡、福井、名古屋、東海村、高知、つくば、那珂、宇都宮において計 17 回の説明会を行い、ITER 機構職員の公募状況とビデオを用いた面接試験の説明、経験者による指導などを行った。さらに、国外においても、機構のパリ事務所、ワシントン事務所の協力を得て、在仏及び在米日本人専門家を対象に、フランス(パリ、エキサンプロバンス)及び米国(ワシントン、サンノゼ、ボストン)にて計 7 回の説明会を開催した。また、各説明会における質疑応答について機構ホームページに掲載し、一般公開している。さらに一層の募集情報提供の充実を図るため、国内の研究機関等(産業技術総合研究所、理化学研究所、科学技術振興機構、日本学術振興会)との連携を開始した。なお、ITER 機構職員募集の案内や応募事務手続については、機構ホームページに随時日本語で情報を掲載するとともに、日本原子力学会、プラズマ・核融合学会、日本物理学会、核融合エネルギーフォーラム、日本原子力産業協会及び核融合ネットワークを通じて周知したほか、産業技術総合研究所及び理化学研究所の所内ホームページにも掲載している。以上の通り、機構は、ITER 計画に対する我が国の人材提供の窓口、ITER 機構からの業務委託の連絡窓口としての役割を着実に果たした。

○ 調達に必要な研究・技術開発については、ITER参加極で最大の貢献となる超伝導コイル(TF コイル)導体に関し、平成 19 年度末に締結した契約の受注者と品質保証計画や作業計画を纏めるとともに製作に着手し、Nb_3Sn 超伝導素線製作では、平成 21 年 1 月に最初の納入(素線 24km分)が行われた。撚線製作では、銅線や超伝導線を用いた撚線試作を実施し、平成 21 年度に実施する実機撚線製作に向けた準備を進めた。超伝導コイル用導体の製作では、延長距離約 1km の製作工場や治具の詳細設計を完了し、平成 21 年 1 月には治具の製作を開始するとともに工場建設に着手した。超伝導コイル用導体は ITER 参加極のうち 6 極が分担するが、製作設備の準備を開始したのは我が国が最初であり、ITER の建設計画を牽引する貴重な進展である。

コイル巻線及びコイル構造物については、試作作業を通して、調達開始に必要な技術検証を終了し、調達の第一歩となる詳細設計と実規模試作段階へ移行する準備を整えた。平成 20 年 11 月 19 日には ITER 機構との間で「TF コイル調達取決め」(TF コイル巻線製作と TF コイル容器との一体化作業)、及び「TF コイル構造物調達取決め」(TF コイル容器の製作)の二つの調達取決めを締結し、ITER 計画の順調な進展を国内外に示した。また、これと並行して、TF コイル及び構造物の調達に関する技術仕様について産業界の意見聴取を実施し、産業界との連携の強化を図った。機構は、TF コイルの製作に関して、巻線、構造物、それらの一体化を一括発注による製作とすることを検討しており、産業界からも同様な意見が寄せられたため、上記二つの調達取決めに定められた調達を一つの契約に纏めて実施することとし、その第一段となる「TF コイルの詳細製作設計及び実規模試作」についての入札公告を行って契約を締結し、コイル巻線とコイル構造物の製作設計に着手するとともに、平成 21 年度から TF コイル調達実施に向けた本格的な準備作業を産業界と機構が一体となって実施する準備を整えた。

また、機構は大型超伝導コイルの試験では世界最高級の技術と豊富な実績、高性能な試験装置を有することから、欧州が製作した ITER ポロイダル磁場コイル試験導体(外径 1.6m、高さ 3.4m、重量 6t)について、ITER 機構及び欧州からその試験を機構で実施することを依頼された。機構はそれを受け入れ、欧州から輸送されてきた試験導体を機構が有する試験装置へ組み込み、磁場 6.4T、温度 4.5K の条件下で 52kA の大電流通電に成功した。

本成果により欧州、ロシア及び中国におけるポロイダル磁場コイル用導体の調達開始が可能となり、日本が直接に調達分担しない機器ではあるものの、ITER 計画に重要な貢献を行った。

ダイバータの開発においては、ダイバータ実機の調達に先立ち、調達分担する参加極（日欧露）の製作技術を ITER 機構が確認・評価する目的で実施する製作能力評価試験に向けてダイバータ評価試験体の製作を完了するとともに、高熱負荷試験をエフレモフ研究所（ロシア）にて実施した。その結果、我が国が製作したダイバータ評価試験体が、他極に先駆けて、ITER ダイバータで要求される熱負荷に対して十分な耐久性を有することが確認され、我が国の国内機関は今後のダイバータ調達を遂行する技術的能力を有するとの認定を ITER 機構から受けた。

加熱装置として用いる中性粒子入射装置用加速器の開発においては、ITER 機構の要請を受けて、これまで機構が開発を進めてきた多段型加速方式と、欧州が提案している一段加速方式の性能比較実験を実施した結果、多段型加速方式の優位性が明らかとなり、ITER の技術仕様として採用された。この成果は、機構の高い技術を示すものである。

同じく加熱装置として用いるITER用ジャイロトロンの開発においては、我が国のみが既に調達仕様を達成しているが、平成 20 年度には引き続き単機性能試験を継続し、合計出力エネルギー200GJ の達成等、ジャイロトロンの高い信頼性を実証し、ITER への適用をさらに確実なものとした。また、ITER 機構の要請に基づき、ITER で想定されるパルス幅 400 秒の発振を 30 分毎に繰り返す運転モードの試験を行い、このモードが可能であることを実証した。これらの成果は、ITER の運転計画の検討に寄与するものである。これら一連のジャイロトロン開発の成果は国内外から高く評価され、文部科学大臣表彰「科学技術賞」（平成 20 年 4 月）及び第7回大強度マイクロ波国際ワークショップ「最優秀発表賞」（平成 20 年 8 月）を受賞した。さらに、本成果を報告した論文は、「2008 年に Nuclear Fusion 誌に掲載された論文のうち、最も多くダウンロードされた論文のトップ20」に含まれている。

遠隔保守機器の調達準備としては、技術仕様を確定するため、保守ロボットアームの制御に必要不可欠な計装アンプについて、高崎量子応用研究所のガンマ線照射施設を用いて、ITER 保守作業時と同様の放射線環境下での照射試験を行い、ITER での使用に耐えうる計装アンプの選定を行った。また、計測装置の調達準備としては、ダイバータ不純物モニター、マイクロフィッションチェンバー、周辺トムソン散乱計測装置、ポロイダル偏光計についての設計検討を進めた。

なお、調達活動の遂行にあたっては、国内機関としての品質保証計画書及び品質保証関連文書に基づいて品質保証活動を実施するとともに、文書管理業務を継続して実施した。また、調達機器の製作については、これまで産業界との十分な連携の下に開発を進めてきたが、産業界の意見聴取を積極的に実施することにより、本年度はさらにその連携強化を図った。

○ 幅広いアプローチ（BA）活動については、各プロジェクトの作業計画に基づいて、実施機関としての活動を行った。

国際核融合エネルギー研究センターに関する活動としては、原型炉設計の指針・制約を明らかにすべく、国内研究機関、大学及び産業界の専門家と連携し、原型炉の物理設計及び工学設計、システム設計に関わる課題と制約についての整理、定常炉及びパルス炉の比較検討などの作業を開始した。また、原型炉の R&D 課題に関し、低放射化構造材料研究開発、SiC/SiC 複合材の研究開発、トリチウム技術研究開発、先進増殖材料研究開発及び先進中性子増倍材の研究開発のそれぞれ第一フェーズの調達について、欧州実施機関と調達取決めを締結し、新たに設置する試験設備の設計を進めるとともに、予備的 R&D を実施した。また、核融合計算機シミュレーションセンター事業については、計算機の選定等に係る特別作業グループに委員4人を派遣し、検討を開始し、ベンチマークコードの選定を終えた。

国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動に関しては、専門家3人を事業チームに派遣するとともに、支援要員4人を事業チームに提供し、設計統合等の作業の本格化を支援した。また、事業チーム、欧州貢献研究機関との間で安全ワーキンググループ会合を開催し、原型加速器の許認可申請に向けての検討作業を開始した。加速器の標的設備であるリチウム試験ループについて、基本設計を実施し技術仕様を確定し、欧州実施機関と調達取決めを締結した後、国内メーカーと契約して製作を開始した。

サテライトトカマク（JT-60SA）に関する研究活動としては、サテライトトカマク事業チーム及び日欧両実施機関からなる統合プロジェクトチームを組織して統合設計を進め、国内意見を集約しながら欧州実施機関と共同作業を行い、コスト要件及び当初ミッションを満たしつつ、さらに運転裕度を拡大する設計を完了し、機能仕様・詳細日程・費用を含む統合設計報告書を作成し、日欧の政府機関から構成される BA 運営委員会の承認を得た。その統合

設計報告書に基づき、また、新たに構築したJT-60SA品質保証体制に従って、日本が担当する超伝導ポロイダル磁場コイル導体及び真空容器トーラス部、ダイバータ炭素繊維複合材に関する調達作業(材料調達、製作設計等)を継続するとともに、ダイバータ機器について、詳細設計を行い技術仕様を確定し、欧州実施機関と調達取決めを締結した後、入札を経て国内メーカーと契約した。超伝導導体については、すでに試作及び性能確認を終え、量産を開始している。真空容器については、全ての板材(168 枚、約 200 トン)の納入が終了しており、今後、真空容器製作の受注メーカーの要請に応じて板材を支給する。また、ダイバータ炭素繊維複合材については、モノブロックターゲット用素材1100個及びボルト固定タイル用素材148個が納入されている。さらに、超伝導コイルを製作するため、那珂核融合研究所内にて、長さ600m の導体製造ラインと導体製作棟及び超伝導コイル巻線棟の建設工事を完了した。また、平成22年度から開始するJT-60解体に向け、海上コンテナヤード他の整地に関する検討を行うとともに、再使用機器の定期点検や保守等の維持活動を実施した。

六ヶ所サイトの整備に関しては、管理研究棟及び研究施設に必要なユーティリティー施設(給水施設、排水施設、守衛所、構内道路、敷地境界フェンス、排水路等)を予定通り平成 21 年 3 月までに完成させ、本格的な業務を開始するとともに、原型炉R&D棟、計算機・遠隔実験棟、IFMIF/EVEDA開発試験棟及び中央受電所の建設工事を継続した。また、地元をはじめ国民の理解をより深めるために、青森研究開発センターでの広報活動等を支援し、地方自治体への説明会 3 回、地域イベントでの研究紹介4回、大学等での講演 3 回、プレス向け事業計画説明会 1 回を実施する等、情報の公開や発信に積極的に取り組んだ。

○ 燃焼プラズマの制御に関しては、自己加熱と外部加熱を模擬する二つの加熱装置を用いた燃焼模擬手法を開発し、ガスジェット等の粒子制御装置を利用することにより燃焼模擬プラズマの実時間制御を実証し、燃焼プラズマ制御手法の指針を得た。また、国際トカマク物理活動の提案による国際装置間比較実験の一環として、JET 装置(欧)、ASDEX装置(独)、DIII-D装置(米)等と合わせて29件の比較実験を実施し、燃焼プラズマの性能予測精度の向上に貢献した。

○ 大学等との連携協力については、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員として設置した「ITER プロジェクト委員会」を開催し、ITER計画の進捗状況を報告するとともに意見の集約を図った。また、日本原子力産業協会の協力のもと、ITER関連企業説明会を5回開催し(109社から延べ164人が参加)、ITER計画の状況と調達計画、ITER機構での知的財産権の取扱い、TFコイルの調達取り決め等について報告し、意見交換を行ったほか、BA関連企業説明会を1回開催し(31社から39人が参加)、BA活動の状況と調達計画等について報告し、意見交換を行った。さらに、BA 原型炉 R&D の実施に当たっては、核融合エネルギーフォーラムと全国の大学等で構成される核融合ネットワークに設立された合同作業会で共同研究の公募に関する意見集約を図り、大学・研究機関・産業界の連携協力の強化に努めた。

核融合エネルギーフォーラム活動については、機構と核融合科学研究所が連携して事務局を担当し、運営会議2回、調整委員会3回、全体会合1回、ITER・BA技術推進委員会7回、クラスター関連会合35回を実施した。それらの会合において、大学・研究機関・産業界の連携強化のあり方等を検討し、とくに ITER 理事会や BA 運営委員会、BA 事業委員会などに関わる案件については、大学・研究機関・産業界の意見などが全日本的に反映されるプロセスを確立した。なお、ITER・BA技術推進委員会が取り纏めた2件の報告書(「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」及び「トカマク型原型炉に向けた開発実施のための人材計画に関する検討報告書」)は、ロードマップ等検討ワーキンググループ会合を合計17回開催し(平成20年度は5回)、産業界も参加して全日本的な協力体制のもとで検討して取り纏め、文部科学省に提出したものである。また、ITER設計に関する評価検討やBA活動におけるR&Dに関する議論の本格化に伴い、クラスター活動を通じて議論の活性化を促し、ITER計画とBA活動における開発研究・技術開発と学術研究の相互補完的推進に貢献した。さらに、クラスター関連活動については発表資料を含む会合報告をフォーラムのホームページに掲載し、核融合エネルギー研究開発の現状についての情報発信やその理解増進にも寄与した。

○ ITER計画及びBA活動を一般社会に広める目的で、核融合研究開発部門長直属スタッフを中核としたアウトリーチ活動促進体制を整備し、一般人や子供にも分かりやすい説明資料(小冊子、DVD等)を作成した。さらに一般向けの核融合入門講座をホームページ上に作成したほか、日本科学未来館の新規常設展示「地球環境とわたし」への展示協力とトークイベントへの参加、つくばエクスポセンターや地域イベントでの展示協力、青森での地元学生へ向けた講義や研修などに積極的に取り組むとともに、総数1939名(うち学校関係者が1089名)の那珂核融合研

究所見学者に対して適切な説明を行った。また、サマー・サイエンスキャンプ（平成20年8月実施）では、全国各地からの高校・高専生 18 名に核融合に関する講義を受講させた後、研究者の指導により JT-60 実験運転へ参加させるなど、実体験を通した広報活動に貢献した。

○ 国際約束の履行の観点からは、ITER 計画及び BA 活動の効率的・効果的実施及び核融合分野における我が国の国際イニシアティブの確保を目指して、ITER 国内機関及び BA 実施機関としての物的貢献及び人的な貢献を、国内の研究所、大学、並びに産業界と連携してオールジャパン体制で行い、国内機関・実施機関としての責務を確実に果たし、国際約束の誠実な履行に努めた。

ITER 計画については、ITER 協定およびその付属文書に基づき、ITER 機構が定めた建設スケジュールに従って、平成 19 年度に世界に先駆けて開始したトロイダル磁場コイルの超伝導導体の製作を本格化するとともに、トロイダル磁場コイル9個分のコイル巻線とコイル構造物について、ITER 機構との間で調達取決めを平成 20 年 11 月 19 日に締結し、ITER 計画の順調な進展を国内外に示した。また、その他の我が国の調達担当機器（ダイバータ、遠隔保守機器、加熱装置、計測装置）について、技術仕様の最終決定に必要な研究開発を実施した。

BA 活動については、BA 協定およびその付属文書に基づき、日欧の政府機関から構成される BA 運営委員会で定められた事業計画に従って、国際核融合エネルギー研究センターに関する活動（原型炉の設計指針・制約の検討、低放射化構造材等に関する予備的な技術開発の実施、計算機選定に必要な検討の実施）及び核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動（加速器関連機器等の設計、製作等）及びサテライトトカマクに関する研究活動（日本分担機器の詳細設計と製作、関連機器・施設の整備・維持等）を実施するとともに、六カ所サイトの整備を行った。

その他、機構と欧州原子力共同体及び米国エネルギー省との間に締結されている「大型トカマク施設間の協力に関する実施協定」に基づき、内部輸送障壁の形成条件に関する JET と JT-60 の共同実験の評価等を進めた。また、「核融合研究開発における協力に関する日本原子力研究所と韓国基礎科学研究所との間の実施取り決め」に基づき、機構が製作した KSTAR 用正イオン源を韓国原子力研究所に持ち込んで試験を行い、高出力・長パルスの正イオンビームの発生に成功した。さらに、平成 20 年 2 月には、「日本原子力研究開発機構とカザフスタン原子力センターとの間の核融合エネルギー及び技術分野における研究開発協力のための実施取決め」を締結し、ダイバータやブランケット等に関する研究開発協力を推進する準備を整えた。これに加え、米国、ロシア、ドイツ、中国に対し、それぞれの研究協力協定に基づき、研究者の受け入れ、装置の貸与、実験データに関する情報交換などを行った。

②炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発

【中期計画】
炉心プラズマ研究開発としては、実験炉の補完的研究開発として、定常高ベータ化研究を進め、高自発電流割合のプラズマや高い規格化ベータ値のプラズマの維持時間を伸長する。
上記研究を進めるため、加熱装置の連続入射時間を伸長する等の装置技術開発を行うとともに、プラズマ輸送等のコードを改良する。また、大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献する。
理論・シミュレーション研究では、炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に関わる理論・数値計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的指針を取得する。
核融合工学研究開発としては、増殖ブランケットや構造材料の研究を行うとともに、核融合エネルギー利用のための基礎的な研究開発や炉システムの研究を実施する。
増殖ブランケットの研究開発では、ITER での試験に向けた検討を進め、試験モジュールの基本要件を明らかにする。
構造材料の研究開発では、低放射化フェライト鋼について高中性子照射線量の照射条件での材料特性等のデータを蓄積し、原型炉への適用可能性を評価する。また、核融合材料照射試験に関し、現在国際協力で行われている検討活動に参加する。

≪平成17年度実績≫

○ 炉心プラズマ研究開発としては、JT-60の真空容器内の第一壁に強磁性体タイルを装着することにより、高速イオンの損失低減、閉じ込め改善度の向上、プラズマ電流方向への回転速度の増大を確認するとともに、規格化ベータ値が2.3以上の高性能プラズマを28.6秒間維持することに成功し、ITERの標準運転シナリオで要求される値を超える高性能プラズマの長時間維持を実証した。これにより、ITERの性能の実現をより確実なものとした。また、導体壁のプラズマ安定性改善効果を利用し、理想安定性限界を超える規格化ベータ値3.8を得るとともに、世界で初めてプラズマ回転制御による抵抗性壁モードの安定性の改善を示した。
高自発電流割合(70-80%)の維持時間伸長を目指す実験では、プラズマ電流の空間分布を実時間で計測し、電流分布に応じて加熱ビームパワーを制御することで不安定性の発生を抑える新たな帰還制御手法を開発し、プラズマ電流分布の時間変化に応じた加熱・運動量注入の制御が定常維持に必要であるという指針を得るとともに、70%の高自発電流割合の維持時間を伸長した。また、高密度長パルス(30秒)Hモード放電を繰り返し、ダイバータ排気とともにガスパフ量を調整することにより、壁飽和状態の下でプラズマ密度をほぼ一定に維持できるという指針を得た。

○ 上記研究のために、負イオン源ビーム入射装置と電子サイクロトロン波加熱装置の入射時間を30秒まで伸長するための課題摘出を行い、負イオン生成の長時間安定化、ジャイロトン発振器直流ブレークの過熱抑制の必要性と対策等を明らかにした。
炉心プラズマ制御技術の向上に資するため、ダイバータコードと中性粒子コードを結合するとともに、電磁流体安定性解析コードを上下非対称なプラズマ断面形状でも計算可能な機能へ拡張した。
大学等との連携・協力については、241人日の大学等からのJT-60実験参加者を受け入れて、JT-60の実験・解析や炉心プラズマ計測・制御技術等に関する大学等との公募型研究協力31件を継続して実施した。これらの研究協力の推進により、第21回IAEA核融合エネルギー国際会議及び第17回制御核融合装置におけるプラズマ表面相互作用に関する国際会議に採択されたJT-60関係論文30件のうち共同研究者を筆頭著者とする論文は1/3に達した。

○ 理論・シミュレーション研究としては、電子系の輸送をつかさどる微視的乱流の飽和機構に関する理論モデルを提案するとともに、CIP法を用いた１成分スラブモデルのブラゾフコードを開発することに成功し、成果の取りまとめを行った。また、超並列計算機を最大限に活用するための非線形電磁流体コードの並列化を行い、3.3-6.6TFLOPSのシミュレーションを行うことにより並列化効率を検証した。

○ 核融合工学研究開発としては、増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験の計画書を取りまとめた。

工学規模の性能試験については、準備に着手して第一壁部分モデルを試作し、矩形管のシャルピー試験等の機械試験等により製作手法の妥当性を確認した。併せて、矩形管の製作性確認試験を終了し、酸化物添加増殖材の不定性比評価試験を完了するとともに、電気化学水素ポンプ及び圧力スイング吸着塔の原理実証試験を行い、トリチウム回収技術候補として有望であることを検証した。

構造材料の研究開発では、HFIR炉照射による低放射化フェライト鋼の重照射試験を継続し、7dpaまでの照射を達成するとともに、300℃及び500℃、5dpa照射済試験片の照射下クリープデータの取得を終了し、その成果を公表した。

核融合材料照射試験装置に関しては、RFQ(高周波四重極加速器)の結合部及びターゲット背面壁の形状改良設計を完了するとともに、欧州と協力して工学実証・工学設計活動の実施内容の検討を進めた。

統合による融合効果として、核融合研究開発部門と次世代原子力システム研究開発部門及び大洗研究開発センターとの連携協力体制が確立され、高速増殖炉関連の液体金属研究施設・研究資源を有効活用できる見通しを得た。

○ 核融合工学技術の高度化については、技術フェア等へ研究成果を積極的に出展し、技術移転活動を継続的に支援、真空計測技術を移転した企業への技術指導を鋭意進めることで、放出ガス測定装置（グラビマス）の製品化を実現させ、製品納入を開始した。

トリチウム安全工学の高度化を進め、ITERでの条件を模擬して38 eV (10^{25} D/m^2)重水素プラズマ照射実験を行い、このエネルギーで予想される水素イオンの侵入深さよりも2桁大きい厚さのブリスタリングがタングステン表面で発生することを初めて明らかにした。

中性子工学では、中性子弾性散乱によるプラズマ対向壁内の水素同位体分布の分析法開発を終了するとともに、低放射化コンクリートを産業界と連携して開発し、特許申請を行った。

先進超伝導技術では、物質・材料研究機構との共同研究によりBi系高温超伝導線の臨界電流値測定を20Tの高磁場まで実施した。

炉システム研究では、ITERの次段階で利用可能と想定される炉心プラズマ技術および炉工学技術に基づいた低アスペクト比原型炉の炉構造の概念を固め報告書に取りまとめるとともに、ブランケット等の炉内機器の設計検討に着手した。

○ 幅広いアプローチにおいてサテライトトカマク・プロジェクトとして採用されたJT-60超伝導化改修計画については、機構の大型施設であるJT-60を日欧協力により改修するという前例のないプロジェクトの運営体制の構築に関する調整を欧州と進めた。また、欧州との協議により変更された仕様の成立性確認等のJT-60超伝導化改修の概念設計に対する調整作業を終了した。

また、日韓核融合研究協力協定に基づき、JT-60 中性粒子入射加熱装置用イオン源の長パルス試験を韓国で共同実施し、200 秒以上の運転を実証し、韓国政府がプレス発表するなど、韓国の装置技術開発に貢献するとともに、JT-60 超伝導化改修計画に向けて加熱装置技術の基盤を構築した。

≪平成18年度実績≫

○ JT-60では、真空容器（導体壁）による高ベータプラズマに対する安定化効果を利用し、規格化ベータ値4.2を達成するとともに、その長時間維持のための課題となっていた「安定維持に必要なプラズマ回転速度」が従来予測の15%で良いことを発見し、ITERの運転領域を将来の核融合炉の高出力密度化に向けて大きく拡げる見通しを得た（Phy. Rev. Lett.掲載）。また、高自発電流割合70-100%のプラズマにおいて外乱摂動に対する応答特性を取得し、規格化ベータ値が高いとベータ値の変動に対する電流分布の変化が大きくなることを明らかにするなど、定常高ベータ化計画を進展させた。輸送特性においては、プラズマ中の運動量輸送の系統的理解、内部輸送障壁構造の非局所性等の評価に成功した。また、長時間放電におけるダイバータ特性やプラズマ壁相互作用において、第一壁への粒子吸蔵量の温度依存性が定常化に重要な因子であることを明らかにした。これらの成果は核融合研究開発・評価委員会やIAEA国際エネルギー会議で高く評価されるとともに、プラズマ・核融合学会「論文賞」を受賞した。

加熱装置の技術開発については、負イオン源ビーム入射装置の高電圧電源とイオン源の最適化及び電子サイクロトロン波加熱装置のアノード電圧発振制御技術の開発等により、両装置共に21秒間の入射を達成し、長時間入射に見通しを得た。また、荷電交換分光計測の改良、ビームエミッション分光の開発等によ

り、プラズマの輸送現象の解明に必須であるプラズマ温度や密度等の高速・高空間分解計測を可能とした。輸送コードの高度化については、非定常輸送解析コードと磁気流体安定性解析コードの結合を行い、プラズマの輸送特性と磁気流体特性の相互作用によるエネルギー吐出し機構の解明に成功した。大学等との連携・協力については、JT-60実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を22大学・機関と33件実施し、この成果の一つとして高度なセキュリティの下での遠隔地（京都大学）からの核融合実験を実現し、ITERにおける国際間遠隔実験に向けて大きく前進した。

理論・シミュレーション研究では、粒子モデル及び流体モデルのシミュレーション結果に基づいて電子系乱流の飽和機構モデルを構築し、その成果を発表（Physics of Plasmas）した。また、エネルギー保存性等を高精度で保障する有限差分法に基づくスラブ配位の高精度乱流輸送コードの開発を行い、従来の粒子手法との精度・数値特性等の比較を終了し、その成果を発表（Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation）した。

○ 増殖ブランケットの開発については、平成17年度に策定した計画に基づき、増殖ブランケットの第一壁実規模大モックアップの試作と接合部健全性評価試験を完了し、その製作手法の妥当性を世界に先駆けて確認した。また、核特性評価用工学試験体の製作に向けて、単純体系（平板体系、単一微小球充填層体系）での核特性評価を完了し、発表した（プラズマ・核融合学会「技術進歩賞」受賞）。また、JMTR照射により取得したトリチウム増殖材微小球充填体及びトリチウム透過低減皮膜について、トリチウム放出特性に関する照射下データ解析と照射後試験を開始した。構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所のHFIR炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続するとともに、F82H標準材の9dpa照射済み試験片の破壊靭性データの取得を完了した。また並行して、テストブランケット用溶接材の確証試験を実施し、薄肉容器の製作性に見通しを得た。国際核融合材料照射試験施設の工学実証・工学設計についてはその検討活動に参加し、日欧の専門家会議等により加速器及びターゲットのモックアップ試験計画を策定した。

核融合工学技術の高度化については、Bi-2212高温超伝導線材を6本束ねた撚線導体を試作し、性能を評価して導体化手法の改良について検討した。その他、バイオ技術を用いたトリチウム除去技術の開発、中性子弾性散乱によるプラズマ対向壁の分析、効率的な負イオンビーム生成に繋がる高電子温度プラズマ中における高密度負イオン生成の発見等の成果を得た。また、炉システムの研究では、低アスペクト比炉の基本炉構造を決定するとともにその妥当性や得失について検討し、IAEA核融合エネルギー会議に報告した。

○ 大学等との連携については、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員とする「炉心プラズマ共同企画委員会」及び「核融合炉工学研究委員会」を核融合研究開発部門に創設し、JT-６０及び核融合工学研究施設の共同企画や研究協力等について大学との連携強化・人材育成策の具体化のための検討を行うとともに、BA等の活動に国内の研究者等が円滑に参加できる体制について検討した。

○ ITER計画及びBA計画の効率的・効果的実施及び核融合分野における我が国の国際イニシアティブの確保を目指して、従来のIEA協力、日米協力、日韓協力を推進するとともに、国際トカマク物理活動の一環として国際装置間比較実験を実施し、磁場リップルの効果の系統的理解を得ることなどに成功した。これに加え、中国とは、中国科学アカデミープラズマ物理研究所並びに核工業集団公司西南物理研究所と研究協力協定を締結し、炉心プラズマ及び核融合工学分野の研究協力を開始し、プラズマ物理研究所の完全超伝導トカマクEASTの実験・解析への参加、西南物理研究所のHL-2Aトカマクの改造に係るプレレビュー委員会の開催、及び工学分野の研究協力の具体化についての打合せを実施した。また、欧州とは、マックスプランクプラズマ物理研究所との研究協力協定を締結し、JT-60の第一壁分析、国際トカマク物理活動の相互共同実験等を実施した。更に、インドとの研究協力に関する検討に着手した。

○ 真空蒸着膜の重量測定天秤に関する特許を使用した鋳物の吸脱着ガス成分検査装置（グラビマス）が企業から発売されるなど、核融合工学技術開発の中で生み出した真空技術等の核融合技術を民間に移転して、具体的な波及効果が現れ始めた。

≪平成 19 年度実績≫

○ JT-60 では、定常高ベータ化研究を推進し、規格化ベータ値 2.6 を 28 秒間維持し、目標を達成するとともに、壁安定化効果を利用した放電開発を進め、自由境界限界を超える規格化ベータ値 2.7 を実現し、高自発電流割合 72%を原型炉と同等の安全係数領域で初めて実現することに成功した。また、高規格化ベータ・高自発電流割合のプラズマ維持のため、イオン温度勾配の実時間制御手法を開発し、先進トカマク運転に必要な内部輸送障壁以内での圧力分布の実時間制御を実現するとともに、世界で初めて広範囲に亘るプラズマ回転速度の実時間制御に成功した。さらに、先進運転でのプラズマ安定性確保の要である安全係数最小値の実時間制御手法の開発を行い、電流分布を制御することによりその制御に成功した。また、輸送・ダイバータ特性等の評価を進め、ダイバータ部からのアルゴンガス注入による放射パワー制御手法を開発し、実際の制御に成功した。なお、Hモードの物理的性質と制御に関する研究は学術的にも高く評価され、プラズマ核融合学会「学術奨励賞」を受賞した。

加熱装置の技術開発については、負イオン源ビーム入射装置のビーム偏向を補正する電極構造の改良等により 27 秒間の入射に成功するとともに、電子サイクロトロン波加熱装置のカソードヒーター入力制御方式の開発等により安定な発振を実現して 30 秒間のプラズマ入射にも成功し、長時間入射に見通しを得た。また、電子サイクロトロン波加熱装置のアノード電圧制御を改良し、発振が停止した場合に自動的に発振を復活させる制御方法を開発して長時間連続発振の成功率を大幅に向上させた(文部科学大臣表彰「創意工夫功労賞」受賞)。さらに、電子サイクロトロン波加熱装置の高電圧絶縁部の材質を変更し、過熱対策を施した改良型ジャイロトロンに対して精密な発振調整を行うことにより、単管出力として世界最高の 1.5 MW(1秒間)を達成し、更なる高パワー化に向けた見通しを得た。

イオン温度・プラズマ回転計測用荷電交換分光計測装置については、新しい分光器と CCD カメラを導入することにより、時間分解能及び空間分解能を(16.7ms、7cm)から(2.5ms、3.5cm)へ大幅に向上させ、プラズマの輸送現象の解明に必須であるイオン温度の詳細な時間変化を高精度で計測することが可能になった。

輸送コードの高度化については、従来困難であった中性粒子と不純物を粒子的に取り扱うモンテカルロ法を、計算の高速化と重み付き粒子計算法を用いることにより数値ノイズなどの問題を克服し、ダイバータ流体モデル、中性粒子モデル、不純物モデルを含んだ統合ダイバータコードの原型版の開発に成功した。

大学等との連携・協力については、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員とする「炉心プラズマ共同企画委員会」を開催し、JT-60 停止期間中は機構研究者を大学等に派遣するなど大学との連携強化・人材育成策の具体化のための検討を行うとともに、JT-60 実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を18大学・機関と27件実施した。

理論・シミュレーション研究では、散逸性プラズマの磁気流体的な挙動を解析するため、共役変数法として知られている技法を使って、散逸性磁気流体力学系に適用できるハミルトンの変分原理及び正準摂動論を考案し、その成果を発表(Plasma and Fusion Research)するとともに、本手法を用いてバルーニング方程式等の MHD 安定性を記述する方程式の解析を進めた。また、炉心プラズマの乱流構造の解明に関する成果は高く評価され、文部科学大臣表彰「若手科学者賞」を受賞した。さらに、スラブ配位での高精度乱流輸送コードの開発を完了し、その成果を発表(Journal of Computational Physics)するとともに、このコードで開発した高精度計算手法の完全トーラス配位への拡張手法を発表(Computer Physics Communications)した。

○ 増殖ブランケットの開発については、平成17年度に策定した計画に基づき、工学規模の性能試験に着手した。平成 18 年度に作成した実規模第一壁モックアップの流動試験と高温水流動条件下での高熱負荷試験を実施し、伝熱流動特性や構造健全性に問題の無いことを確認した。これは、ITER 参加極に先駆けたテストブランケット・モジュール(TBM)の第一壁製作技術の確立と性能実証の成果であり、TBM 計画で参加極をリードする成果である。また、充填層構造体に関しては、冷却管と薄板の溶接条件を選定して部分モックアップを試作し、金相観察および硬さ試験を実施して製作手法が妥当であることを確認した。さらに、固体増殖ブランケットにおける微小球充填体の特性に関する研究の成果が学会から高く評価され、原子力学会核融合工学部会「奨励賞」を受賞した。ブランケットの核特性研究では、TBM の核特性測定手法として、多数放射化箔法の適用を検討し、予備実験を実施するとともに、その評価手法の開発に着手した。トリチウム回収技術開発では、冷却水からのトリチウム回収システム開発の基礎試験を行い、最適なトリチウム吸着剤を開発するとともに、ヘリウムスイープガスからのトリチウム回収システムの安全解析等を実施し、その安全性を確認した。また、照射技術開発として、トリチウム増殖材料の照射後試験設備整備のための調査検討を進め、負圧を維持できる装置構造の設計を行うとともに、昨年度に行った設計検討に基づき、スイープ照射済みキャプセル解体装置の切断機構部の製作を開始した。

構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所の HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続するとともに、F82H 標準材に関し 18dpa レベルまで引張データを拡充した。また、テストブランケット用の薄板 HIP(高温等方加圧)接合においては衝撃特性の低下が課題であったが、HIP 前処理の最適化によって母材並の特性を持つ HIP 接合が可能であることを明らかにした。さらに、ブローダーアプローチ(BA)に係る活動として、低放射化フェライト鋼の大型溶解にむけた第一回調査溶解、および SiC/SiC 複合材料開発で用いる標準材の評価を実施した。低放射化フェライト鋼の開発に関する成果は国際的にも高く評価され、第8回国際核融合炉工学シンポジウムで宮・アブドゥ賞を受賞した。

核融合工学技術の高度化については、高温超伝導線材を使用した長尺小規模撚線を試作し、高温超伝導線材の熱処理において、線材表面のクロムメッキが超伝導性能を低下させることを明らかにし、撚線の表面被覆に新たな方策が必要であることを示した。また、トリチウムと材料の相互作用に関する基礎データの取得、荷電粒子生成断面積測定データの整備(原子力学会核融合工学部会「奨励賞」受賞)、低いガス圧での高周波によるプラズマ生成、ジャイロトロンに印加する磁場の高速制御、中性子源用トリチウムターゲット製作などの成果を得た。炉システムの研究では、低アスペクト比原型炉に関し、稼動率向上の観点で望ましいセクター保守概念について検討し、技術課題を摘出した。

これらの核融合工学分野において、世界を先導する成果を着実に挙げ、我が国の国際的イニシアティブの確保をより強固なものにしつつある。

≪平成 20 年度実績≫

○ JT-60 を用いて、定常高ベータ化研究を推進し、高速イオンに起因する新たな不安定性を発見するとともに、その安定化手法を開発することにより、自由境界理想ベータ限界を超えたプラズマ(規格化ベータ値 3.0)を実現し、その制御指針を得ただけではなく、約 5 秒間維持することに世界で初めて成功し、その結果を ITER の運転計画に反映させた。

また、高規格化ベータ・高自発電流割合のプラズマ維持のため、プラズマ圧力分布と電流分布の複合実時間分布制御を実証し、その安定維持への有効性を確認した。

また、JT-60 において、欧州の JET 装置や米国の DIII-D 装置等と連携した比較実験等の国際研究協力を積極的に展開し、高ベータ安定性、輸送特性、ダイバータ熱・粒子制御特性等の評価を進め、国際装置間比較実験 29 件に貢献するとともに、高ベータ化に妨げとなっている不安定性の特性評価を装置間比較により進める等、JT-60SA 及び ITER における先進プラズマの定常化に必要な制御手法の開発を進めた。

プラズマ回転制御によるトカマクプラズマの高性能化の研究は高く評価され、文部科学大臣表彰「若手科学者賞」を受賞した。さらに、トカマクにおけるプラズマ回転速度分布と運動量輸送に関する研究は学術的にも高く評価され、プラズマ核融合学会第 13 回「学術奨励賞」を受賞した。

○ 加熱装置の技術開発については、JT-60 の装置技術開発を継続し、負イオン源ビーム入射装置の電極形状を工夫して電極の熱負荷を低減させることにより連続入射時間(従来値:20 秒間)を伸長し、30 秒間の入射に成功するとともに、世界最高入射エネルギー 80MJ (従来値:60MJ)を達成し、定常高ベータ化研究の進展に貢献した。

また、炉心プラズマ制御技術の向上に資するため、プラズマ圧力、電流、高エネルギー粒子等による磁気流体不安定性モデル群とプラズマ輸送モデルを統合し、核燃焼模擬シミュレーションを可能とした。

大学等との連携・協力については、広く国内の大学・研究機関の研究者等を委員とする「炉心プラズマ共同企画委員会」を開催し、JT-60 停止期間中は機構研究者を大学等に派遣するなど大学との連携強化・人材育成策の具体化のための検討を行うとともに、JT-60 実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を18大学・機関と26 件実施(研究協力者数 149 名)した。さらに、これらの共同研究の成果として、大学等の研究者との共著論文53編を投稿した。なお、第22回 IAEA 核融合エネルギー会議の JT-60 からの発表 21 件の内、7 件の主著者が大学等の研究者であり、大学等との連携・協力は非常に強化されている。また、JT-60 研究協力者の半数以上が助教と大学院生であり、人材育成の観点からも大きな貢献をすることができた。

○ 理論・シミュレーション研究では、磁気流体力学理論を拡張し、磁気流体安定性の効率的な解析を可能とする新しい解析モデルを考案し、これに基づいて、高ベータ定常トカマクにおいて重要な抵抗性壁モードに対するプラズマ回転効果を解析するコードの開発を行った。また、ジャイロ運動論モデルを位相空間の連続媒質として解き、か

つ、保存性の高い乱流輸送コードのトーラス配位への拡張を完了し、従来の粒子コードとの比較によりコードの妥当性を検証した。

○ 平成 20 年 8 月 29 日、23 年4ヶ月間にわたる JT-60 の実験を完遂した。JT-60 は、昭和 60 年 4 月に実験を開始して以来、平成 8 年の世界最高温度 5.2 億度達成及び臨界プラズマ条件達成、平成 10 年のエネルギー増倍率 1.25（世界記録）達成を経て、経済的核融合炉に必要とされる高い圧力のプラズマの長時間維持に必要な研究開発を展開し、前述の通り、平成 20 年には自由境界理想安定限界を超える高規格化圧力のプラズマを約5秒間維持することに成功するなどの世界記録を樹立するとともに、ITER の燃焼プラズマ実現のための主要タスクへデータを提供し、当初目標通り現状の装置で最大限の実験データを取得して運転を終了した。とくに実験完遂までの最後の2ヶ月間では、19 名の外国人研究者、50 名を越える国内の研究者の協力を得て、全ての実験データを取得した。10 月にジュネーブで開催された第 22 回 IAEA 主催核融合エネルギー会議の初日の JT-60 全体講演発表後には、会議参加者全員が起立し拍手をもって実験完遂に対する敬意が表された。これは、これまでに JT-60 を用いて得られた機構の研究成果が国際的にも高く評価されていることを示している。JT-60 は、原子力委員会が定めた第二段階核融合研究開発基本計画（昭和 50 年 7 月）における中核装置として臨界プラズマ条件の目標領域の実現を目指して開発された大型トカマク装置であるが、平成元年 7 月にその目的を達成し、その後は、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、実験炉（ITER）や原型炉の開発に必要な炉心プラズマ技術を確立するための研究開発を精力的に展開し、常伝導装置としての役割を果たし終え、我が国のみならず、世界における核融合研究開発の進展に大きく貢献した。

○ 増殖ブランケットの開発については、平成17年度に策定した計画に基づき、増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する工学規模の性能試験を継続した。

将来 ITER の炉心に取り付けて性能試験を行う ITER テスト・ブランケット・モジュールについて、その一部を構成する充填層構造体及び側壁の実規模大モックアップの製作と性能実証試験（高温流動試験及び機械試験等）に世界で初めて成功し、設計・製作手法が妥当であることを確認した。この成果は、ITER 試験用ブランケットの国際的な技術開発競争において、我が国の技術的優位性と主導的立場を一層強固にするものである。

核特性研究では、ITER テスト・ブランケット・モジュールの核特性測定手法として有望な多数放射化箔法及びその評価手法の開発を進め、ITER テスト・ブランケット・モジュールの設計に反映した。

トリチウム回収技術開発では、大量低濃度と少量高濃度のトリチウム水処理システムの開発試験を進め、トリチウムが冷却水に漏洩して発生するトリチウム水濃度を明らかにするとともに、トリチウム水蒸気吸着剤に関する基礎データを取得し、高性能吸着剤開発の見通しを得た。

照射技術開発としては、材料試験炉（JMTR)で照射したトリチウム透過低減皮膜の照射後水素同位体透過試験装置の整備に着手するとともに、トリチウム増殖材料照射後試験のためのキャプセル解体装置に組み込むトリチウム焼き出し装置のトリチウム焼き出し系、トリチウム計測系及びトリチウム除去系に対する設計検討を実施した。なお、トリチウム増殖材料のリサイクル技術の開発に関する機構の研究成果は学術的に高く評価され、第7回核融合エネルギー連合講演会「優秀発表賞」を受賞した。

構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所の HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、F82H 標準材に関し 20dpa レベルまで破壊靭性データを拡充した。その結果、照射後の延性脆性遷移温度指標が 100℃近くまで上昇することが明らかになった。

また、テストブランケット用の HIP 接合後に行う母材特性回復熱処理条件として、従来採用している 1040℃以上の高温での熱処理に加えて、960℃30 分の追加熱処理を加えることにより、結晶粒がより細かくなり標準材並の衝撃特性および引張特性を持つことを確認した。なお、ITER テスト・ブランケット・モジュール第一壁製作のための HIP 接合法の最適化に関する研究成果は学術的にも高く評価され、第7回核融合エネルギー連合講演会「優秀発表賞」を受賞した。また、BA に係る、低放射化構造材料開発の予備的活動として、低放射化フェライト鋼の第一回調査溶解材より各種厚さの板材を作成し、標準熱処理により F82H 標準材と同等の特性を有することを確認した。

○ 核融合工学技術の高度化については、先進超伝導技術では、高温超伝導線材の熱処理によりジャケット材が超伝導性能を低下させるという課題について、ビスマス系高温超伝導線材の導体構造を工夫したサンプルで臨界電流値を測定し、性能低下を防ぐ方策を見出した。

真空技術では、真空中で使用可能な絶縁被膜としてアルミナ溶射コーティングを施した部品について耐久性試験を行い、67,000 時間まで健全性を保つことを検証した。

トリチウム安全工学では、トリチウムの安全閉じ込めにおいて重要なトリチウム水と材料の相互作用やトリチウム貯蔵ベッドの長期安定性等に関する基礎データベースを構築した。

中性子工学では、ブランケット核特性評価に大きな影響のあるベリリウムについて、一部の実験データと解析結果が異なる問題を解決するために DT 中性子による積分実験の追加実験を実施し、熱中性子に対するベリリウムの弾性散乱や中性子捕獲反応に関する核データを改善する必要があることを明らかにした。

ビーム工学では、JT-60 負イオン NBI で問題となっているビームレット相互の空間電荷による反発と偏向に関して、3 次元ビーム軌道解析コードを用いて評価し、新たにビームレット偏向を補正する方法を見出した（第7回核融合エネルギー連合講演会「優秀発表賞」受賞）。

高周波工学では、高周波加熱装置の高性能化の一環として、一台で複数周波数の発振が可能なジャイロトロンの開発をすすめ、複数の周波数に対応可能なモード変換器の詳細設計を行うことにより、170GHz と 136GHz の2つの周波数で、出力1MW、効率50％のジャイロトロンが設計上、実現可能である事を明らかにした。

炉システムの研究では、低アスペクト比原型炉の高ベータ運転、ダイバータ成立性に関連する物理設計を進め、設計値を満足するベータ限界値が得られる条件を明らかにするとともに、当初の設計目標を満たすダイバータ形状等に関する設計指針を得た。

これらの核融合工学分野において、世界を先導する成果を着実に挙げ、我が国の国際的イニシアティブの確保をより強固なものにしつつある。

日本原子力研究開発機構

核融合研究開発部門

中間評価

研究開発実績

（平成 17 年～平成 20 年）

This is a blank page.

核融合研究開発部門

平成１７年度研究開発実績

１．研究開発課題：国際熱核融合実験炉（ＩＴＥＲ）計画

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】ITER 移行措置活動（ITA）の実施機関として、超伝導コイル、遠隔保守機器、加熱装置、計測装置、遮蔽ブランケット、トリチウムシステム等の調達準備や極内機関の立ち上げ準備など、ITER 建設の共同実施を円滑に開始するために必要な ITER 国際チームへの支援を実施する。

○ＩＴＥＲ国際チームからの要請により、国際的に合意された建設スケジュールに従って機器を調達するために、日本分担機器及び関連機器の技術仕様検討等の調達準備を ITA タスクとして実施した。現在、日本が分担した ITA 期間中に完了すべき６６件のタスクのうち、３４件（このうち１７年度は２４件）について、作業を完了し最終報告書を提出した。残りの ITA タスクについては、計画通り継続して実施中である。ＩＴＥＲ移行措置活動として、政府間協議で決められた国際チームへの人員派遣（実績：２５２人･月）、那珂サイトの活動支援を行った。

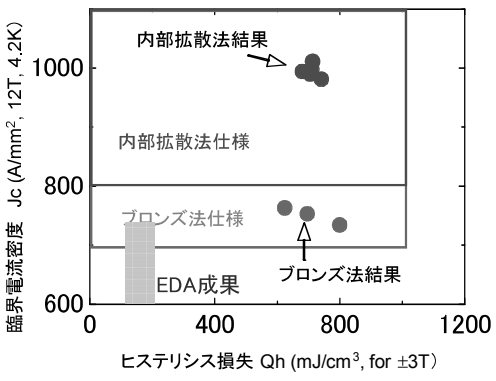
○以下に ITA タスクとして実施した調達準備の代表的な成果を示す。

・超伝導コイル

これまで日本が進めてきた Nb_3Sn 素線やコイル構造材の開発成果に対するＩＴＥＲ計画参加極の高い評価に基づき、日本は ITER 調達分担として、TF コイル導体の約 1/4、CS 導体全量、及び TF コイル構造材全量を分担することになり、超伝導コイルに関しては、参加極中、最大の貢献をすることになった。

TF コイルの調達は１９年度から開始されることが想定されている。１７年度は、超伝導コイルの調達準備として、Nb_3Sn 超伝導素線の高性能化、撚線の試作、及びトロイダル磁場（TF）コイルで使用される構造材の実規模での試作試験などを実施した。

EDA 後の ITER コンパクト化の要請に応えるため、さらに日本が主体となって開発した CS モデル・コイルの詳細な性能評価で新たに発見された Nb_3Sn 大電流導体に特有の現象（電磁力により導体内で微小な波状変形が発生し、臨界電流値が低下する現象）の下でも必要な性能裕度を確保するため、Nb_3Sn 素線のさらなる高性能化が必要となった。このため、１６年度に基礎的検討と量産試作を実施し、今年度は試作した素線の性能評価を行った。その結果、12T、4.2K における臨界電流密度の新たな要求値（ブロンズ法 700A/mm2 以上、内部拡散法 800A/mm2 以上）を満足していることを確認し、高性能 Nb_3Sn 素線の量産に目処を付けた。さらに、ITER 超伝導導体の正確な性能予測には Nb_3Sn 素線に作用する上記の歪みの影響評価が重要となった（上述の現象）ことを受け、臨界電流密度に対する歪みの効果をより厳密に評価できる試験装置を考案、製作した。これにより、平成 18 年度目標（Nb_3Sn 素線の超伝導特性に関する詳細なデータベースの取得と、TF コイル用素線調達準備作業の完了）の達成に見通しを得た。さらに、超伝導素線と同じ直径（0.8mm）の銅線を約千本束ねた模擬撚線を試作し、目標の撚線外径（41.1mm）を達成する見通しを得て、超伝導撚線試作（平成 18 年度実施予定）の準備を完了した



高性能 Nb_3Sn 素線開発

核融合研究開発部門

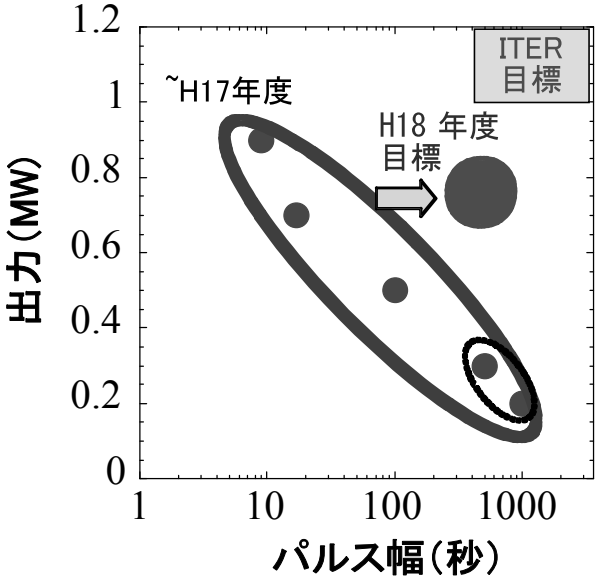
TF コイルでは、材料及び形状が異なる数種類の大型構造材を溶接で一体化したコイル容器が使用される。現在のＩＴＥＲ国際協議で想定されているスケジュールに従い、２０年度末までにこれら構造材の製作技術を確立し調達準備を完了することを目標に、実規模試作試験を実施している。１６年度には実規模レベルの鍛造品（高マンガン・ステンレス鋼 JJ1、高強度 316LN)、及び熱間圧延材（SUS316LN）を試作し、今年度はこれらの機械特性について詳細評価を実施した。鍛造品（それぞれ約 15 トン）については様々な場所から切り出した試験片で 4K における強度（0.2%耐力）分布を測定し、平均値として、JJ1 では 1,124MPa、316LN では 1,078MPa が得られ、TF コイル容器の要求値（それぞれ 1,000MPa、850MPa）を十分満足することを示した。さらに、SUS316LN 熱間圧延板材(長さ 2m、幅 2m、厚さ 200mm)では､強度が最も低いと思われる板端部の表面付近でも 950MPa 以上の 0.2%耐力が得られ､要求値(750MPa 以上）を十分満たすことを確認した。本成果により、１８年度計画である機械加工技術及び溶接技術の確立・実証を実施する準備が整った。

・遠隔保守機器

日本が調達を分担することとなったブランケット遠隔保守機器の調達準備については、２２年度からの調達が想定されており、それまでに、EDA におけるビークル型マニピュレータのＲ＆Ｄの成果を基にシステム全体の詳細仕様を確定するために、電力・信号ケーブルの引き回しと収納のスリム化、駆動部及び位置決め機構の高性能化の実証を行う必要がある。このため１７年度は、高い清浄度が要求される真空容器内作業に必要な潤滑油を用いない伝達ギヤ、及び、電力・信号伝達用回転機器等の構成要素の試作を開始した。また、ブランケットの高精度取り付けに必要な位置決め用ターゲットの形状最適化のために基礎試験を開始し、角度や表面処理状態の位置決め精度への影響等のデータを取得した。合わせて、実機での総合性能を高めるため、 (1)レール断面形状の小型化、(2)ビークル走行機構の単純化、(3)回転機構用歯車の小径化の設計を行い、マニピュレータの総重量を 11 トンから 8 トンに低減できる見通しを得た。

・加熱装置

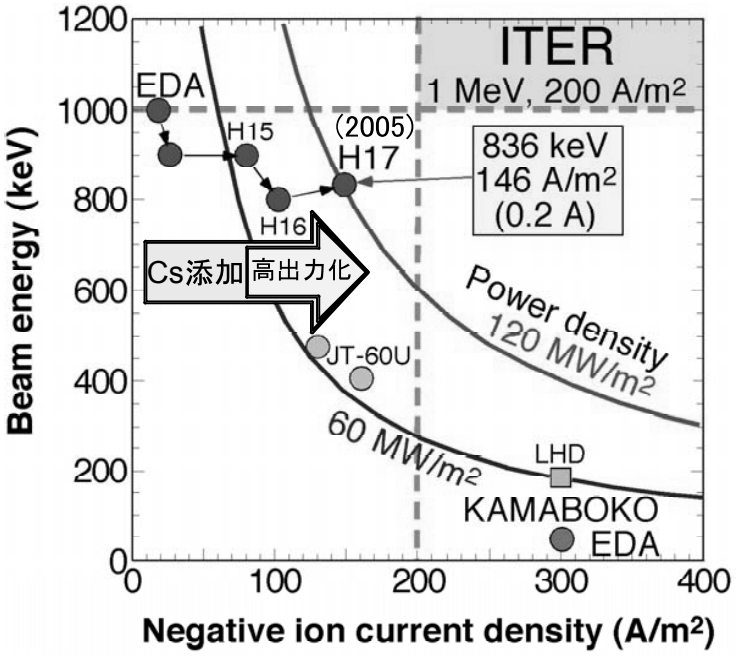
加熱装置の調達開始は、２２年頃と想定されているが、EDA で各極が分担して行った成果をシステムとして統合し、発注の詳細仕様を確定する必要がある。その中での最重要課題である EC(電子サイクロトロン加熱電流駆動装置)開発では、「170GHz ジャイロトロンの長パルス化」を実施中である。EDA において、0.9MW で 9 秒、0.5MW で 100 秒等のデータを得ているが、現在、これらの成果をベースに ITER ジャイロトロンの目標値である 1000 秒での 1MW 発振を目指した長パルス化試験を行っている。これまで長パルス化を阻んでいた電子ビームがショット中に減少する現象を、電子銃のヒーター電力のプレプログラミング制御を導入することにより、電子ビーム電流の時間的一定化に成功した。初期結果として出力 0.2MW においてパルス幅 1000 秒の安定出力を実証した。ジャイロトロン内真空度および各機器の温度も定常に達している。これと平行し、ジャイロトロン内部の回折損失を 1/4 に減少させる高効率モード変換器の開発にも成功し、1MW レベルでの 1000 秒発振への見通しを得た。



定常化に関する図

ITA タスク「水平ランチャーの設計とランチャー機器の開発」では、ランチャーの電磁力解析を進めるとともに、可動ミラーのモックアップを製作し、熱負荷試験装置(JEBIS)を用いて電子ビーム繰り返し照射試験を行った。3000 ショット照射による変化は全く見られず、ITER で使用できる見通しを得た。

NBI（中性粒子入射装置）開発においては、EDA 期間に達成した個別性能（加速器真空絶縁：1 MV、負イオン電流密度：200 A/m^2）の成果を統合し、ITER NBI で要求される 1 MeV、200 A/m^{2}負イオンビームの実証を目標として、負イオン MeV 級加速器の電流密度高度化開発を推進した。その結果、17 年度にはビームエネルギー836 keV、電流密度 146 A/m^2（ビーム電流 0.2 A）の負イオンビーム加速に成功した。このビームのパワー密度（ビームエネルギー×電流密度）は、JT-60U 並びに LHD で実用化されている負イオン NBI の２倍以上に相当する 120 kW/m^{2}に達し、ITER 級の負イオンビームを世界で初めて実現したものである。また、この ITER 級高パワー密度負イオンビームでもビーム発散角は 5 mrad と小さく、ITER での要求値を満足することを実証して、ITER NBI 建設に向けた ITA 期の開発目標を達成できる見通しを得た。



ビームエネルギー836 keV、電流密度 146 A/m^2（ビーム電流 0.2 A）の負イオンビーム加速に成功

・計測装置

計測装置の調達はＩＴＥＲ建設期間の後期と想定されており、本中期計画中の課題は個々の機器の性能実証と同時にポート内での配置、構造健全性の確証を得ることである。そのため、限られた空間での各計測装置構成機器や他機器との干渉及び取り合いを考慮した真空容器内及び計測ポート内の配置設計と、それに基づく計測ポートの技術仕様を国際チーム及び他参加極チームが共同で確定する「計測ポート工学設計タスクチーム」の作業を１６年度から開始した。１７年度は、日本が調達する見込みの基幹計測装置の概念設計の確認作業を進めるとともに、ダイバータ不純物モニターについて真空容器ポート内の基本配置設計を行った。また、日本が調達を分担する予定の２カ所の計測ポートプラグについて、中性子遮蔽、電磁力の解析・評価をするためのモデルの構築と解析に着手した。上記国内チームの作業の進捗を適宜反映しつつ、国際チームが実施し作成した計測ポートの設計と技術仕様等の案について、計測ポート工学設計タスクチームにおいてレビュー・協議し、今後の設計作業の基盤を構築した。

・遮蔽ブランケット

遮蔽ブランケットの調達開始は、２２年度頃と想定されており、それまでに品質確認手法と判断基準を含め技術仕様の確定、及び、製造業者の製作能力の評価を完了する必要がある。１７年度は、第一壁パネル調達仕様の詳細を確定するために、ベリリウムアーマータイル接合条件の確認試験を行うとともに、第一壁の受け入れ検査で最も重要な異材接合部の許容欠陥について定常熱応力に関する感度解析を

行い、銅／SUS 界面では 1mm 程度の寸法の欠陥を検出できることが必要であることを明らかにし、受け入れ基準を策定した。さらに、第１壁の本格的調達に先立ち、調達分担する参加極の製作技術を確認・評価する目的で計画されている製作能力評価試験用モックアップの基盤部分を製作し、次年度以降に予定されている評価試験に向け、モックアップの準備を進めた。

・トリチウムシステム

サイト条件を反映した建家設計と整合し、規制上の手続きに必要な機器設備の技術仕様を本体着工までに確定することが必要である。１７年度は、ITER 建家の排気設備レビュー、及び、現設計における排気設備の要件（機能、容量、信頼性等）の確認を行い信頼性解析等に基づいた設備の簡素化設計を完了し提示するとともに、これに沿ったトリチウム除去設備調達の工程作成、人員体制の検討等を開始した。また、トリチウム処理工程シナリオのレビュー、現設計における燃料処理貯蔵設備の要件（機能、容量等）の確認、及び、トカマクの運転シナリオとの整合性の検討を行い、改善案を提示した。

・中性子解析

日本が分担する機器の遮蔽性能を確保することを目的として、CAD データから中性子輸送計算コード MCNP の入力モデルを自動作成するプログラムの開発に着手した。

＜特記事項＞

○ITER 移行措置(ITA)において、国際チームの暫定リーダ（下村）の派遣を継続し国際活動力の維持を指導するとともに、３月より、ITER 機構長の予定者の派遣を支援した。

○ITER/ITA 国際チームのカダラッシュサイトに２名（うち１名はサイト長）を１月末より派遣し、ITER 機構の早期開設に向けた作業を積極的に支援した。

○韓国が調達分担する機器に関し、技術協力・指導の要請があり、日韓核融合研究協力協定の枠組みで実施している。また、インドからも同様の申し入れがあり検討中である。今後これらが本格化することにより、原子力機構はアジア地域でのＩＴＥＲ調達のセンターとなり得る。

○加熱電流駆動機器の性能拡張試験では、MeV 級負イオン加速器で高電流密度の加速（146Ａ/㎡，836keV:世界最高のﾃﾞｰﾀ)、170GHz ジャイロトロンで長パルス出力（1,000 秒,0.2MW:世界最高のﾃﾞｰﾀ）を達成。

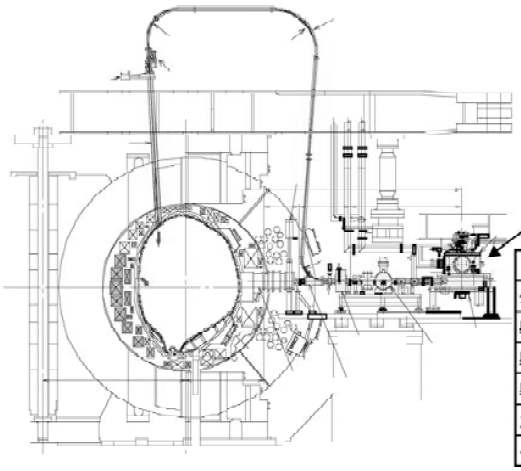
【年度計画】幅広いアプローチのプロジェクトの具体化に向けた支援を実施する。

○16 回実施された日欧政府間協議及び関連技術会合（TV 会議を含む）の技術支援を実施するとともに、サテライトトカマクワーキンググループ会合を 3 回、計算機センターに関する技術会合を 3 回、ITER 遠隔実験センターに関する技術会合を 2 回実施。実施する内容の概ねの合意がなされ、現在政府間の実施取り決め案を協議中。

【年度計画】燃焼模擬実験に向けて、JT-60 の粒子制御装置の長期間化改造とその動作確認を行う。

燃焼プラズマ制御に関する中期計画は、ITER で実現される燃焼する自律プラズマの性能予測、物理検討、制御手法の指針獲得に向けた燃焼模擬実験等を推進し、ITER 計画の技術目標の達成に貢献することである。この達成に向け平成 17 年度は以下の成果を得た。

○ 現在、長時間放電（65 秒／30 秒間追加熱）を可能にした JT-60 において、燃焼プラズマにおける数少ない外部制御可能な物理量のひとつである燃料密度の制御に着目した燃焼模擬実験を実施するために、ペレット入射装置にスクリュー式連続ペレット生成器を取り付け（下図参照)、ペレット入射による効率的粒子制御の長時間化（7 秒から連続に）を目指している。3 月中に、長時間生成、射出試験による動作確認を行う予定である。また、同様に効率的粒子制御を目指して準備しているガスジェット入射装置は、12 月末までに JT-60 装置への設置をほぼ完了し、年度末までにプラズマ入射実験を行う予定である。





生成槽内に新設した
スクリュー式生成器
外観写真

項目	改造前	改造後
生成器方式	ピストン押出方式	スクリュー方式
射出時間	約7秒	連続（約600秒）
射出周波数	1~10 Hz	
射出速度	100~1000 m/s	
ガス種	D_2, H_2, Ne	D_2, H_2, (Ne)
ペレット形状	2.1mm立方体	

JT-60本体断面及びペレット入射装置設置図

○ 燃焼プラズマの理解と制御に向けては ITER 参加極が共同で実施している国際トカマク物理活動に JT-60 による実験結果、データベースを提供して積極的に貢献した。平成 17 年度下期には以下３編の国際共同論文を投稿した。

(1) N. Oyama, P.Gohil, L.Horton, et al., “Pedestal conditions for small ELM regimes in tokamaks”, submitted to Plasma. Phys. Control. Fusion.

(2) A.Hubbard, K. Kamiya, N. Oyama,et al., “Comparisons of small ELM H-mode Regimes on the Alcator C-Mod and JFT-2M Tokamaks”, submitted to Plasma. Phys. Control. Fusion.

(3) R. V. Budny, R. E. Waltz, T. Takizuka, et al., “Gyrokinetic Simulations and Measurements of Transport and Density Fluctuations in a JT-60U Plasma with Box-like ITB”, submitted to Plasma. Phys. Control. Fusion.

【年度計画】核融合フォーラム活動を通して、大学・研究機関・産業界の意見や知識の集約を図りつつ、ITER 計画への支援や国内核融合研究計画との連携のあり方等について検討するため、核融合フォーラム会員に ITER 計画の情報を発信し、炉工学、プラズマ物理等のクラスター会合、調整委員会などの各種会合を開催する。

○１２月までに調整委員会２回、運営会議を１回、サブクラスター会合を９回、シンポジウム等を４回実施した。更に３月までに調整委員会１回、運営会議１回と全体会合１回、サブクラスター会合１０回を開催する。核融合フォーラムの活動が活発化し、サブクラスター会合の開催回数が増加の傾向にある。

＜特記事項＞

○幅広いアプローチ活動に関連して、核融合シミュレーションセンター、デモ設計 R&D 調整センター、遠隔実験センターに関する提案等が円滑になされ、具体的な国内の意見集約が軌道に乗りつつある。

核融合研究開発部門

平成１７年度研究開発実績

１．研究開発課題：炉心プラズマ研究開発

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】炉心プラズマ研究開発としては、JT-60 を用いて、定常高ベータ化研究を推進し、規格化ベータ値 2-2.5 のプラズマの維持時間を 25 秒以上に伸長する。併せて、高自発電流割合 70-80%のプラズマの維持時間を伸長し、その定常制御の指針を得る。

炉心プラズマ研究開発に関する中期計画では、高い圧力のプラズマを定常的に維持するための研究（定常高ベータ化研究）等を推進し、原型炉の実現に向けた実験炉の補完的研究開発としてのトカマク炉心改良等の研究開発を実施する。具体的には、高い規格化ベータ値のプラズマや高い自発電流割合のプラズマの維持時間を伸長し、高ベータプラズマの運転シナリオの最適化、制御技術の開発を行う。この達成に向け上記に示す平成 17 年度の年度計画について以下の成果を得た。

○　平成 17 年度前半に、プラズマ回転の制御性の向上、中性粒子入射加熱パワーの増大等を目的としてトロイダル磁場リップル低減化を終了した（強磁性体タイルを真空容器内の第一壁に装着し、磁場構造を最適化した）。平成 17 年度 12 月からの実験で、高速イオンの損失低減（中性粒子入射加熱パワーの増大）、閉じ込め改善度の向上、プラズマ電流方向への回転速度の増大を確認した。

○ この結果を受け、規格化ベータ値が 2.3 以上の高性能プラズマを 28.6 秒間維持することに成功した。このとき、規格化ベータ値×閉じ込め改善度≧２であり、ITER の標準運転シナリオ（規格化ベータ値×閉じ込め改善度＝1.85）を越える高性能プラズマの長時間維持を実証した（図１参照）。

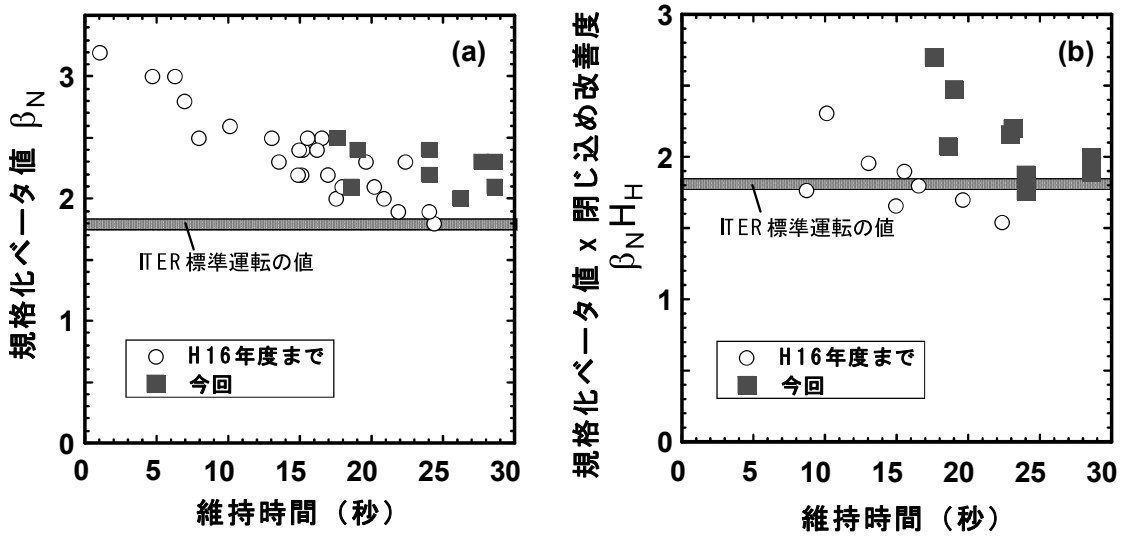


図１：高規格化ベータ値の長時間維持：(a) 規格化ベータ値と維持時間、(b) 規格化ベータ値×閉じ込め改善度

○ トロイダル磁場リップルの低減により、第一壁に近接したプラズマの研究が可能となった。そこで、壁に誘起される電流によって、プラズマの電磁流体的安定性を改善（壁安定化）し、規格化ベータ値の上昇を狙う実験を行い、規格化ベータ値 3.8 を得た。また、一連のプラズマで、規格化ベータ値の到達値を決定しているのは、「抵抗性壁モード：RWM」であることを確かめた。さらに、JT-60 の特長である多彩な中性粒子入射装置を活かして、プラズマへの運動量注入を変化させることで、世界で初めてプラズマ回転が RWM の成長率を変化させるデータを取得することができた。

○　高自発電流割合(70-80%)の維持時間伸長を目指す実験では、これまでの実験から、プラズマの安全係数、圧力分布、回転分布の制御が定常制御に重要であることを示唆する結果を得ている。これに、プラズマ電流の空間分布を実時間で計測し、電流分布に応じて加熱ビームパワーを制御することで不安定性の発生を抑える新たな帰還制御手法を開発して、3 月に実験を実施する予定である。

○　高密度長パルス(30 秒)H モード放電を繰り返すことにより「壁飽和」状態を作り出し、密度制御性を調べる実験を行った。ダイバータレッグの位置を調整し、従来に比べて排気スリットへ多くの粒子が達するように工夫した。その結果、ダイバータ排気と共にガスパフ量を調整することにより、壁飽和状態の下でプラズマ密度をほぼ一定に長時間にわたり維持できることを実証した。また、その時の閉じ込め性能は、壁排気が有効でガスパフ量が大きい場合と違いはみられなかった。この結果は、閉じ込め性能が粒子源の分布によらずに決まることを示唆している。

＜特記事項＞

○ プラズマ・核融合学会「学術奨励賞」を受賞
受賞者：　仲野友英（トカマク実験グループ）
対象となる主な成果：　ダイバータプラズマにおける炭素不純物の素過程とプラズマの熱・粒子制御に関する分光学的研究

【年度計画】上記研究を進めるため、装置技術開発を継続し、負イオン源ビーム入射装置及び電子サイクロトロン波加熱装置の連続入射時間を 30 秒まで伸長するための課題を明らかにする。炉心プラズマ制御技術の向上に資するため、コアプラズマ輸送コードと周辺プラズマ輸送コード等の統合に向け、ダイバータコードと中性粒子コードを結合する。

装置技術の開発研究においては、定常高ベータ化研究を推進するため、中心／局所加熱及び電流駆動装置である負イオン NBI(NNB)装置及び電子サイクロトロン波加熱装置の入射時間を伸長することが中期計画の達成目標である。具体的な平成 17 年度の年度計画は上記前半の通りである。

○　負イオン源ビーム入射装置の運転時の負イオン生成量、電極熱負荷、負イオン源内部の発光等を 12 月までに調査し、連続入射時間の伸長に必要な課題として、
A）加速部の耐電圧向上：真空絶縁破壊の原因解明と抑制、
B）電極の熱負荷軽減：マルチビームによる空間電荷を考慮した加速構造の最適化、
C）負イオン生成の長時間安定：イオン源内のアーク放電の長時間安定化とアーク放電を維持するためのフィラメント損耗の抑制、
の３項目の開発課題があることを明らかにした（図２参照)。年度末までの JT-60 での運転を踏まえ、課題解決の手段を明確化する。

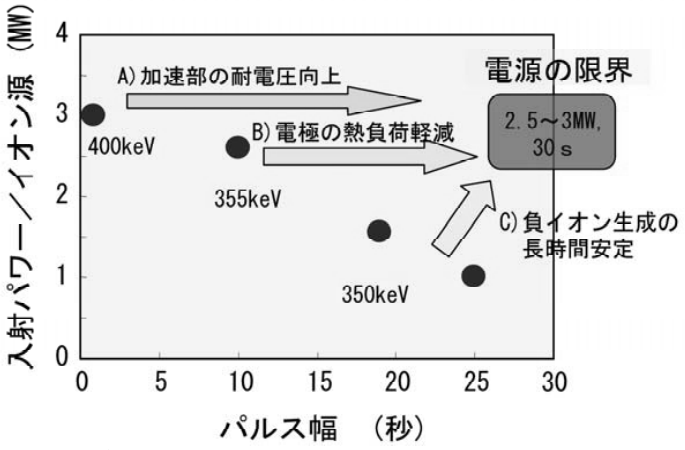


図２：負イオン源ビーム入射装置の連続入射時間の伸長に必要な課題

核融合研究開発部門

○　電子サイクロトロン波加熱装置では、直接計測することが出来ないジャイロトロンの DC ブレークの温度上昇を 2 種の冷却液の温度変化から評価する方法を構築した。これを用いて 12 月までの運転データ解析（図３参照）から、入射時間を伸長する課題として DC ブレーク過熱の抑制が開発課題であることを明らかにした。今後は、DC ブレーク過熱の詳細を調べ、課題解決の方法を探る予定である。

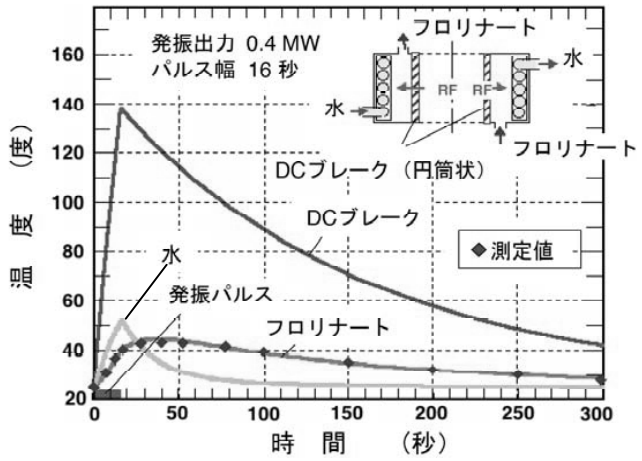


図３：電子サイクロトロン波入射装置の DC ブレークの温度上昇の評価

ダイバータにおける粒子制御を矛盾無く解明できるコードへ改良し、JT-60 の実験結果を再現

○　炉心プラズマ研究開発における解析コードの開発では、コア及び周辺プラズマ輸送コードと電磁流体安定性解析コード等を改良・統合することが中期計画の目標であり、燃焼プラズマの性能予測の高精度化、高性能プラズマの制御手法確立に資する。平成 17 年度は、炉心プラズマ制御技術の向上に資することを目的としたコード開発を実施した。電磁流体安定性解析コードでは、上下非対称なプラズマ断面形状でも計算可能な機能へ拡張し、任意断面形状での解析を可能とした。米国の同様のコードとのベンチマークテストを実施し結果が一致することを確認した。また、ダイバータの流体プラズマモデルと中性粒子モデルを統合し、できることを確認する（X 点 MARFE 現象、図４参照）とともに、JT-60 改修計画におけるダイバータプラズマ制御に向けた設計に貢献した。

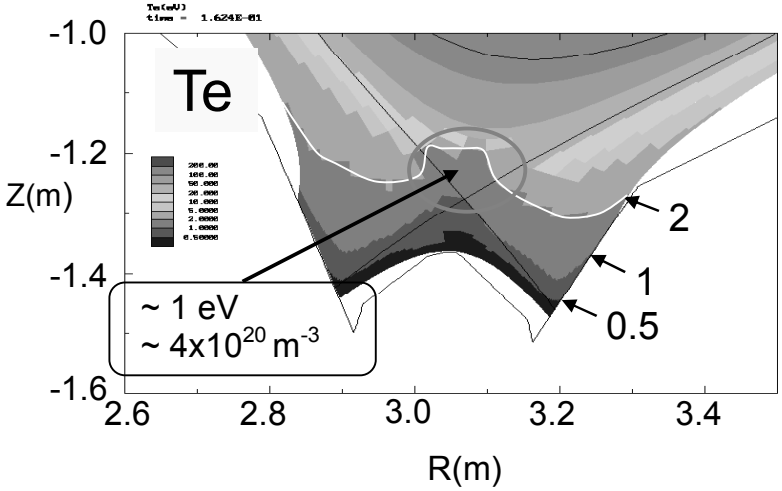
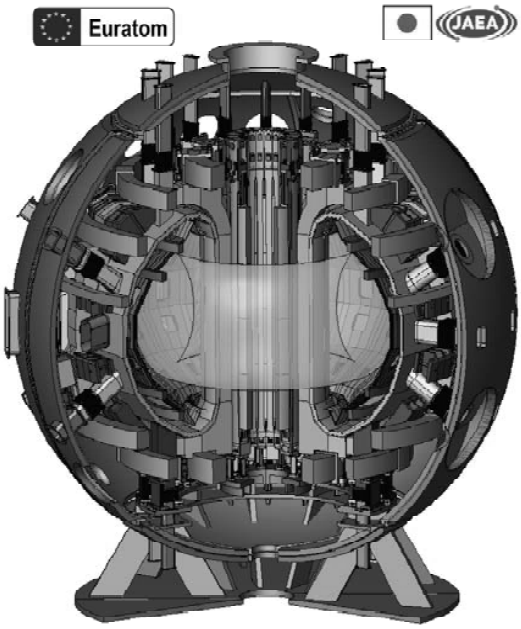


図４：流体プラズマモデルと中性粒子モデルを統合したダイバータコードを用いて再現した JT-60 の X 点 MARFE 現象

○ JT-60 装置本体部に超伝導コイルを導入する JT-60 超伝導化改修計画では、10 月-11 月で 3 回の「日欧サテライトトカマクワーキンググループ」会合を実施した。ITER への貢献、定常高ベータ化研究の物理課題を明確化し、要求される装置性能（図５参照）を明らかにして、概念設計に対する調整作業を終了した。



JT-60超伝導化改修装置	
Plasma Current	5.5MA/3.5MA
Major Radius	3.01m / 3.16m
Minor radius	1.14m / 1.02m
Elongation κ_{95}	1.83 / 1.7
Triangularity δ_{95}	0.57 / 0.33
Toroidal field B_t	2.72 / 2.59
Safety factor q_{95}	3.77/ 3.0
Flat top	100s (8hours)
H&CD power	41MWx100s
Perp NB	16MW
Co P-NB	4MW
CTR P-NB	4MW
N-NB	10MW
ECRF	7MW
PFC heat flux	10MW/m^2
Annual neutron	4x10^{21}

図５：「日欧サテライトトカマクワーキンググループ」で合意した JT-60 超伝導化改修装置とそのパラメータ

＜特記事項＞

○ JT-60 超伝導化改修計画では、原子力機構の資産である JT-60 の改修を２国間協力で実施するための前例のない運営体制について日欧間の利害得失バランス調整を進めた。

○ 日韓核融合研究協力協定に基づき、JT-60 中性粒子入射加熱装置用イオン源の長パルス試験を韓国で共同実施し、200 秒以上の運転を実証し、韓国政府がプレス発表。韓国の装置技術開発に貢献するとともに、JT-60 超伝導化改修計画に向けて加熱装置技術の基盤を構築した。

【年度計画】大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献するため、JT-60 に関する共同実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を実施する。

○ 平成 17 年の上期から実施している大学等との公募型研究協力 31 件を継続して実施した。密度限界が内部インダクタンスとともに上昇すること、高エネルギーイオンの非等方性が駆動する磁気揺動の物理研究、高周波のみによるプラズマ電流立ち上げを示す初期データの獲得、自発電流割合が 100%程度に達する放電の実現、内部輸送障壁を作り出す輸送の分岐に関する物理研究等で多くの成果を得た。これらの成果を、原子力機構以外の筆頭著者による論文として平成 18 年 10 月に中国で開催される第 21 回 IAEA 核融合エネルギー国際会議に 4 件投稿した。

○ JT-60 におけるプラズマ壁相互作用の共同研究の成果に関しては、平成 8 年 5 月に中国で開催される第 17 回制御核融合装置におけるプラズマ表面相互作用に関する国際会議において、筆頭著者が原子力機構以外の研究者による招待講演 1 件、一般講演 5 件が採択された。

○ 反磁性計測用長時間安定積分機の開発、負イオン源でのブレークダウン解析等の計測・制御技術に関する共同研究も進展した。

○ 研究協力において、大学等から受け入れた JT-60 実験参加者は平成 18 年 2 月末時点で 165 人日である（図６参照）。今後も、JT-60 実験運転計画に従って大学等との共同実験や計測・制御技術等に関する共同研究を実施する予定である。

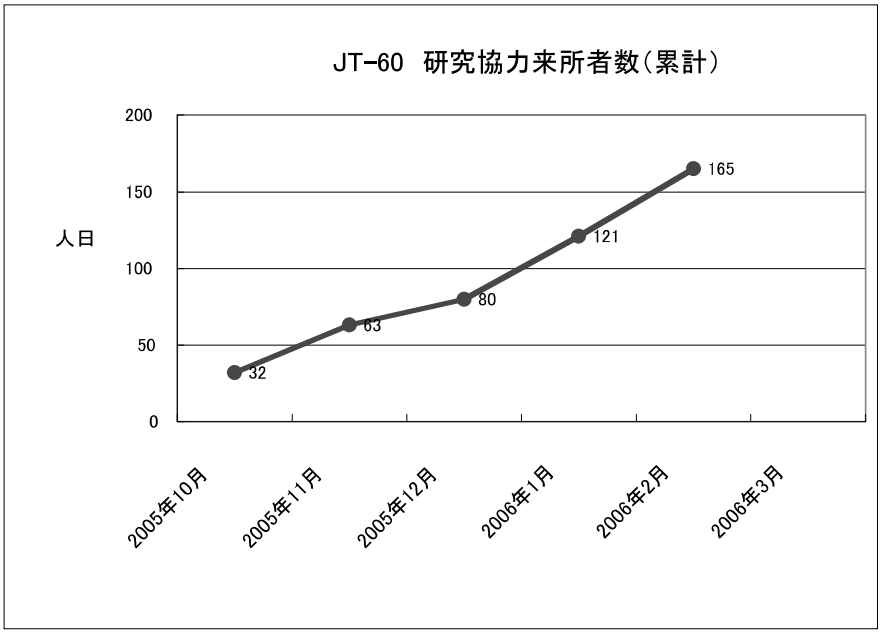


図６：平成 17 年度下期の JT-60 研究協力者の来所者数の累計

＜特記事項＞

○　プラズマ・核融合学会「技術進歩賞」を受賞
受賞者：波多江仰紀（定常高ベータ化計画調整グループ），
中塚正大，吉田英次（大阪大学レーザーエネルギー学研究センター）
技術成果題目：誘導ブリルアン散乱位相共役鏡を用いたトムソン散乱診断法の改善

○　大阪大学レーザーエネルギー学研究センター「進歩賞」を受賞
受賞者：波多江仰紀（定常高ベータ化計画調整グループ），
中塚正大，吉田英次（大阪大学レーザーエネルギー学研究センター）
技術成果題目：誘導ブリルアン散乱位相共役鏡を用いたトムソン散乱診断法の改善

○ 大学等における博士論文審査３件、修士論文審査１件に審査員として貢献
- 連携大学院教官（筑波大学教授：三浦幸俊、筑波大学助教授：藤田隆明）
- 博士論文審査
  (1) 論文著者：R. D. Smirnov（総合研究大学院大学）
  論文タイトル：Statics of Dust Particles on Plasma-Facing Wall and Dynamics in Boundary Plasma
  貢献者：滝塚知典（トカマク解析グループ）
  (2) 論文著者：山口太樹（総合研究大学院大学）
  論文タイトル：磁気計測による３次元配位の MHD 平衡量同定
  貢献者：三浦幸俊（定常高ベータ化計画調整グループ）
  (3) 論文著者：松下啓行（総合研究大学院大学）
  論文タイトル：計測用ビームと中性粒子分析器を用いた高エネルギー粒子閉じ込めの研究
  貢献者：草間義紀（トカマク計測開発グループ）
- 修士論文審査
  (4) 論文著者：藤本省吾（筑波大学）

核融合研究開発部門

論文タイトル：GAMMA10 における端損失イオンの揺動測定
貢献者：三浦幸俊（定常高ベータ化計画調整グループ）

【年度計画】理論・シミュレーション研究では、電子系の輸送をつかさどる微視的乱流の飽和機構に関するモデルを構築し、次年度公表に向けて成果を取りまとめる。また、10 テラフロップス級超並列計算機を最大限に活用するための電磁流体シミュレーションコードの並列化とその検証を行う。

理論・シミュレーション研究に関する中期計画では、炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に係わる理論・計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的指針を取得することを目標としている。この中で、平成 17 年度は以下の成果を得た。

○　乱流構造の解明に関する研究では、トカマクの電子系輸送を司る電子温度勾配乱流のモード間結合および逆カスケードによる飽和機構のモデルを提案した（井戸村泰宏,「電子温度勾配駆動乱流における自己組織化」、プラズマ・核融合学会第 22 回年会、2005 年 11 月 29 日、東京)。また、「ジャイロ運動論的ブラゾフコードの開発」に着手し、計算流体力学分野における先進的スキームの一つである CIP 法を用いて１成分スラブモデル（運動論的イオン＋断熱電子、もしくは、運動論的電子＋断熱イオン）のブラゾフコードを開発することに成功した。イオン系乱流のテスト問題において、新しいブラゾフコードと従来の粒子コードのベンチマークを行い、ほぼ等しい精度で同様の結果が得られることを確認しコードの妥当性を検証した。このベンチマークにより、数値特性や計算コスト等に関して、今後のトロイダルコード開発に向けた指針を得ることができた。

○　非線形電磁流体コードの並列化を進め、マクロスケールとミクロスケールの両不安定モードの相互作用に焦点を当てた非線形時間発展のシミュレーションを可能とした（図７参照)。スケールの異なる両者をまたいだ解析を実行するためには広い空間領域に多数の計算点を配置する必要があり、１０テラフロップス級大型計算機の計算資源を必要とする。並列化を進め、原子力機構における Altix3900 システムにおいて運用上許される最大 CPU 数（1024 個/6.6 テラフロップス)を使用し、ほぼ最大限の効率でのシミュレーションを実現した。

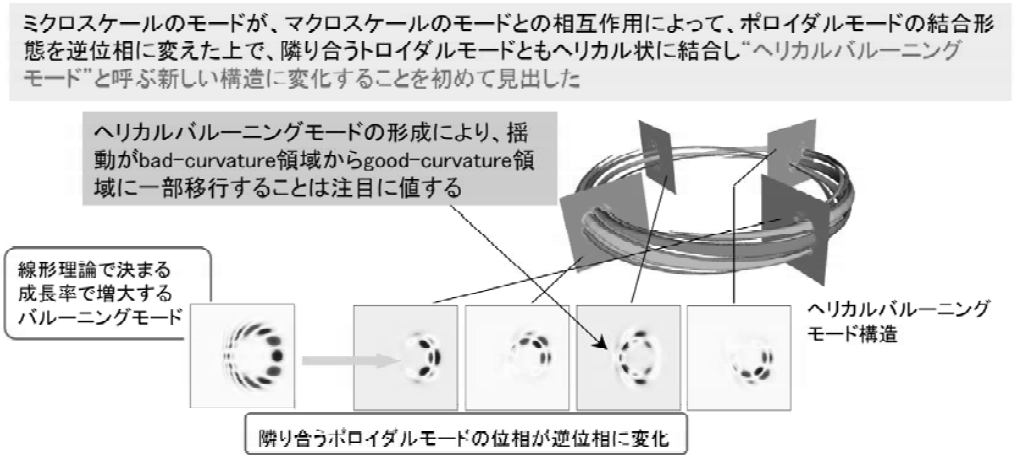


図７：非線形電磁流体コードによるスケールの異なる不安定モード間の相互作用／長時間ダイナミックスの解析結果（ヘリカルバルーニングモードの形成を初めて見出した）

＜特記事項＞
○トカマク乱流の飽和機構やスペクトル構造に関する研究は中性流体や惑星大気のダイナミックスと深く関係し、分野融合型研究の活性化に貢献できる可能性がある。

核融合研究開発部門

平成１７年度研究開発実績

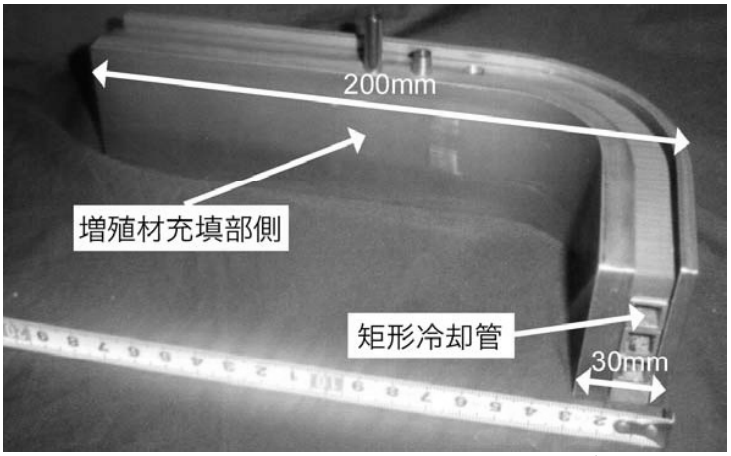
１．研究開発課題：核融合工学研究開発

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画書を取りまとめ、工学規模の性能試験の準備を進める。工学規模の試験体設計で重要となる第１壁に関しては、部分モデルを試作し、機械試験を終了することにより、その製作手法の妥当性を評価する。

増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画書を取りまとめ、工学規模の性能試験の準備を進めた。その中で以下の成果を得た。

○第一壁部分試作のための矩形管の製作性確認試験を終了し、部材として用いる矩形管の加工、第一壁部分モデル試作の最終工程の HIP 接合工程を終了。金相観察及び機械試験を実施して、その製作手法が妥当であることを確認した。



改良 HIP 条件により製作した第一壁部分モデル外観図

○天然 Li20 ペブル充填層核特性実験結果に対してモンテカルロ法による数値計算を行い、ペブル充填層端部を除くと、計算結果は、実験結果と８％以内で一致することを明らかにした。

○増殖ブランケットからのトリチウム回収に関する性能試験の準備を進めた。その中で、電気化学水素ポンプ及び圧力スイング吸着塔の原理実証試験を行い、トリチウム回収技術候補として有望であることを検証した。

○酸化物添加増殖材に関し、水素添加等の種々の雰囲気において高温（800℃）で加熱して重量変化を測定し、不定比性挙動を明らかにした。今後データ解析を進め、原子力学会 2006 年春の年会（３月末、大洗）で発表する予定。

＜特記事項＞

○電気化学水素ポンプの電極構造の開発により、一桁の水素透過速度向上の見通しを得た。

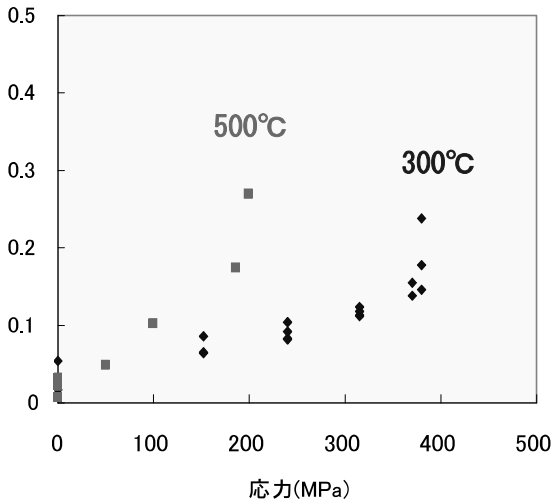
【年度計画】構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所の HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、5 dpa 照射済み試験片の照射下クリープ挙動データの取得を終了し、その成果を公表する。

○当初の予定通り、HFIR で重照射キャプセルの照射を 1 サイクル(12/21-1/13)実施。中期計画の目標に対し、今期はその 1/6 の照射を達成。

核融合研究開発部門

○300／500℃、5dpa 照射済試験片の照射下クリープデータ取得を終了。成果を取り纏め、論文投稿も終了【Journal of Nuclear Materials】。

5dpa 照射済試験片の
低放射化フェライト鋼
IEA-F82H 鋼他の
照射下クリープデータ
(300℃及び 500℃)



＜特記事項＞
○日米エネルギー協定の失効に伴う事務処理に関し、国際部の多大な尽力により、HFIR での重照射試験が継続でき、計画どおりに中期計画を遂行できることとなった。

【年度計画】核融合材料照射試験に関しては、核融合材料照射試験施設の工学実証、工学設計に関する検討活動に参加し、RFQ（高周波四重極加速器）の結合部及びターゲット背面壁の形状改良設計を終了する。

○RFQ 結合部については、12m を超す RFQ 全体の電場の一様性を改良する方策として、高周波ドライブループの RFQ 結合部を複数箇所に配置する設計を実施し、その評価を終了。
○ターゲット背面壁については、背板内に生じる温度差に起因する過大な応力が材料の弾性限界を超えるため、その緩和を目的として周縁部にベローズ様構造を設けた設計により、所定の条件を満たすことを検証。

＜特記事項＞
○融合効果として、大洗研究開発センター技術開発部及び次世代原子力システム研究開発部門との連携協力体制が確立され、旧 JNC の保有する液体金属関連の研究施設・研究資源の有効活用が図られる見込み。

【年度計画】核融合エネルギー利用のため、真空技術、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進め、真空技術では民間移転により製品化したガス量測定天秤の製品納入を開始し、先進超伝導技術では、Bi 系高温超伝導線の臨界電流値を 20 テスラ条件まで測定する。

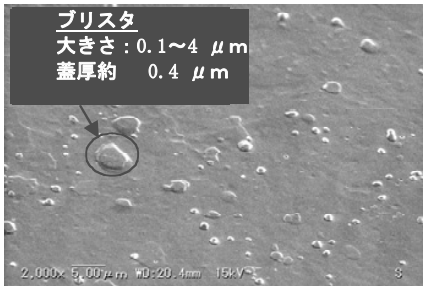
○真空技術については、①産学連携推進部が実施する技術フェア等へ研究成果を積極的に出展し、同部の技術移転活動を継続的に支援した。
②真空計測の技術移転を受けた企業への技術指導を鋭意進めることで、ガス量測定天秤の製品化を実現させることができた。この製品化に関して、平成 17 年 11 月に新聞発表を行なった。

放出ガス測定装置「グラビマス」



核融合研究開発部門

○トリチウム安全工学の高度化を進め、各種材料に対するトリチウム挙動に関する基礎研究を行った。またダイバータ等で用いられるタングステンへのトリチウム取り込み機構解明を目標として、ITER での条件を模擬して 38 eV (10^{25} D/m^2)重水素プラズマ照射実験を行い、このエネルギーで予想される水素イオンの侵入深さよりも２桁大きい厚さのブリスタがタングステン表面で発生することを確認した(H17 年度原子力総合科学研究推進制度)。



タングステン表面及び断面の顕微鏡写真

○中性子工学では、中性子弾性散乱によるプラズマ対向壁内の水素同位体分布の分析法開発を終了するとともに、低放射化コンクリートを共同研究により開発し、特許申請を行った。

○ヒートシンク材である CuCrZr 合金の金相観察、硬さ試験の照射後試験を終了。

○物質・材料研究機構との共同研究に基づき、H17 年 10 月に同機構の強磁場センターが有する設備を使用して Bi-2212 超伝導素線の臨界電流値を、磁場 4ー20T、温度 8ー20K の範囲での測定を終了。

＜特記事項＞
○真空技術について、研究成果を技術移転し短期間で製品化に到達できたのは、技術移転先企業の選定段階から産学連携推進部と密接な連携をとりつつ計画的に技術移転作業を推進したことに負うところ大である。

○低放射化コンクリート関連の特許を２件申請。

○１８年２月１日に茨城県高圧ガス保安協会（社）より平成１７年度自家消費製造事業所部会長表彰優良保安係員賞を受賞（山田正行）

【年度計画】炉システムの研究では、低アスペクト比原型炉の構造概念を構築し、報告書に取りまとめる。

○炉システム研究では、ITER の次段階で利用可能と想定される炉心プラズマ技術および炉工学技術に基づいた低アスペクト比原型炉の炉構造の概念を固め、ブランケット等の炉内機器の設計検討に着手した。

○この炉概念および構造概念に関する研究成果を核融合炉技術に関する国際シンポジウムで発表すると共に、論文として発表した。
【K. Tobita et al., Design study of fusion DEMO plant at JAERI, Fusion Eng. Design 81 (2006) 1151-1158.】
【S. Nishio et al., Consideration on blanket structure for fusion DEMO plant at JAERI, Fusion Eng. Design 81 (2006) 1271-1276.】

＜特記事項＞
○部門内に組織された原型炉チェック&レビュー委員会において、構築した低アスペクト比原型炉概念の妥当性を審議中であり、3 月末までには、説明資料と本委員会の審議結果が報告書としてまとめられる予定である。

核融合研究開発部門

平成１８年度研究開発実績

１．研究開発課題：国際熱核融合実験炉（ＩＴＥＲ）計画

〔研究開発進捗状況、成果の発現状況〕

【年度計画】ITER 移行措置活動の実施機関として ITER 建設の共同実施を円滑に開始するために必要な ITER 国際チームへの支援、超伝導コイル、遠隔保守機器、加熱装置、計測装置、遮蔽ブランケット、トリチウム機器等の調達準備及び国内機関の立ち上げのための文書管理体制の整備等を実施する。

○ITER 建設開始のスケジュールに従って機器を調達することを目的として日本が分担した 75 件の調達準備タスクのうち、56 件の作業を完了し、数件のタスクを残して今年度中に完了できる見通しを得た。国際チームへ 254 人･月の人員派遣を行い、各種技術会合に国内チーム員を 153 人参加させた。平成 18 年 12 月末まで那珂作業サイトの活動支援を行い、サイトを閉鎖した。平成 18 年 12 月に暫定的活動を開始するとともに、日本国内での ITER 機構の職員公募の事務手続きを支援した。

極内機関として必要な業務の準備を円滑に推進するために「ITER 推進委員会」を新たに設置し、検討課題の取り纏め、原子力機構内の関係部署との調整、並びに実施体制の整備を進めた。また、品質保証の体制を検討し、品質方針、品質保証計画書、調達管理基準、設計管理基準、品質重要度分類基準等の品質保証文書案を作成するとともに、文書管理体制の整備計画を取り纏め、文書管理に必要な機器、ソフトウエア、文書管理基準、管理要領書等を整備した。

○以下に ITA タスクとして実施した調達準備の代表的な成果を示す。

１．超伝導コイル

超伝導コイルの調達準備として、日本が分担する①トロイダル磁場（TF）コイル導体、②TF コイル巻線、③TF コイル構造物に関して、以下の試作試験及び設計検討を実施した。

①TF コイル導体

・TF コイル導体撚線を試作し、技術仕様を満足していることを確認（図１）。
・導体ジャケット材料 SUS316LN 鋼の炭素含有量を減らすことで熱処理後においても ITER の材料強度の仕様値を満たせることを明らかにした。
・実機サイズの TF コイル導体用ジャケットを 90m 製作し（図１）、製作技術を確立した。
・超伝導撚線及びジャケットを一体化し単長約 800m の TF コイル導体を製作するコンパクション装置を試作し（図 1）、所定の性能が得られることを確認した。
・日本の Nb_3Sn 素線を使用した 2 組の実導体サンプルを製作し、欧州の試験装置（SULTAN）を用いた TF コイル導体の性能評価試験の準備を進めた。

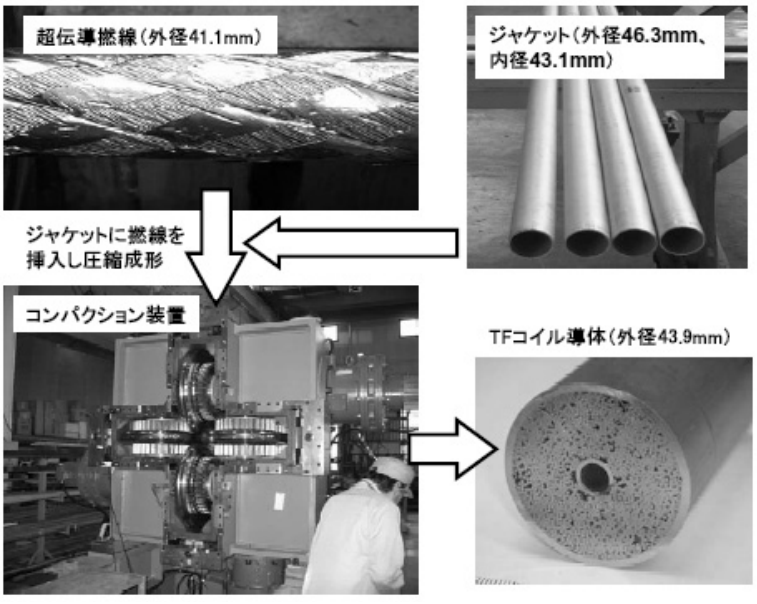
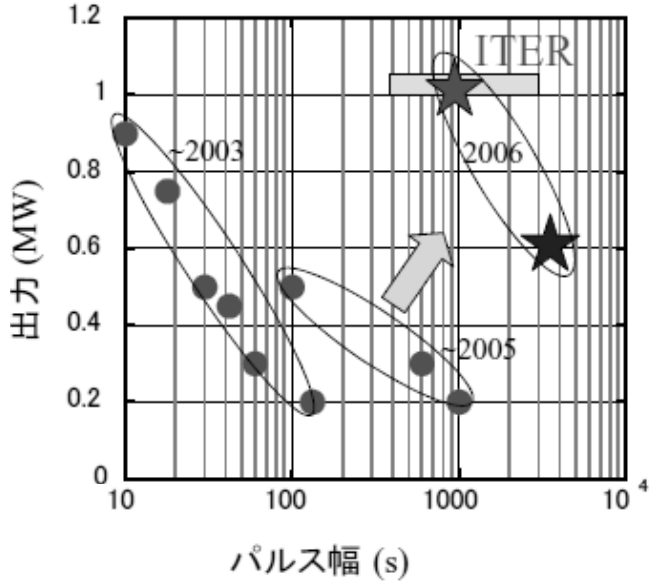


図１．TF コイル導体の試作とコンパクション装置

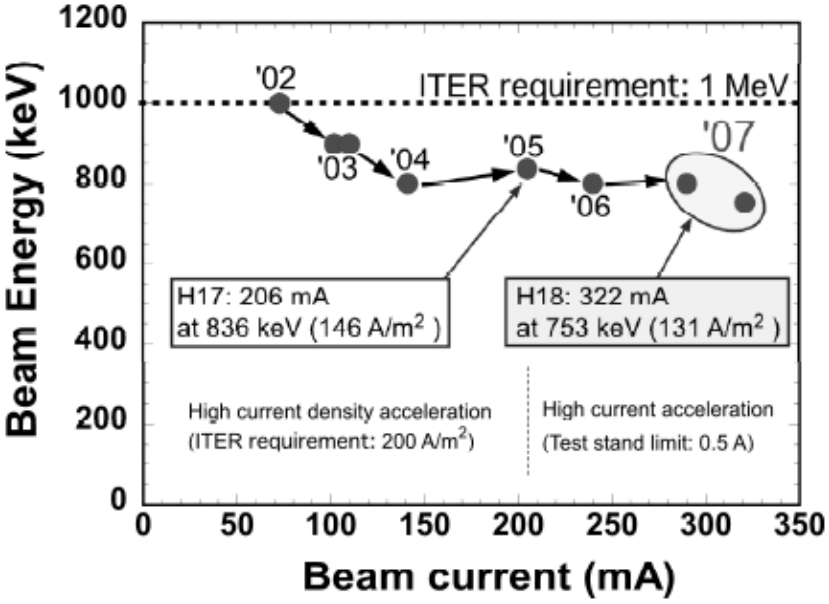
②TF コイル巻線
・超伝導生成熱処理に伴う寸法変化を評価した
・3 点曲げローラを使用した自動巻線の検討を行い要求精度を満足する自動巻線技術の実現に見通しを得た。
③TF コイル構造物
・高マンガン・ステンレス鋼 JJ1、高強度 316LN の切削速度と工具寿命の関係を明らかにし、最適加工条件を得た。
・ラジアル・プレートの機械加工による変形を抑止できる加工方法を見出し、寸法精度や平面度精度を満足する結果を得た。
・厚さ 100mm の片側狭開先 TIG 溶接の試験を行い、施工条件に関する基礎データを収集した。
・疲労特性評価では、高強度 316LN の 4K 疲労データを取得し、設計（3 万回の運転サイクル）を満足する特性が示された。

２．遠隔保守機器
・駆動系や信号系機器の要素試験を実施し、ビークル型マニピュレータの信頼性・操作性を向上させるために制御系を高度化した。
・潤滑油を用いない伝達ギヤの開発のため、DLC（ダイヤモンド・ライク・カーボン）コーティングの要素試験を行ない、耐久性の要求値を満足することを確認した。
・AC サーボモータ用制御信号および歪みゲージの出力信号のノイズ対策法を見いだした。
・遠隔保守ロボットの制御制御シミュレーションソフトを開発し、マニピュレータの操作性を改善した。
・マニピュレータの炉内走行用軌道の組立機構やケーブルハンドリング機構の設計を行い、試作試験のための準備を整えた。

３．EC(電子サイクロトロン加熱電流駆動装置)開発
・ジャイロトロンパラメータのプログラミング制御、ジャイロトロン内部の回折損失を 1/4 に減少させる高効率モード変換器の開発、ジャイロトロン内補足電子の低減に成功し、大電力化、長パルス化を進めた。その結果、出力 1MW で 800 秒の連続発振に成功した。これは、ITER の EC 加熱装置への要求を満たすものである。さらに出力 0.6MW で 1 時間の連続発振の実証にも成功し、連続運転への見通しを得た。
・ランチャー内伝送系に準光学ミラーを導入することにより、構造を大幅に簡素化するとともに伝送電力密度を１／３以下に低減出来ることを明らかにした。
・ジャイロトロンを用いた大電力伝送実験で、ITER で要求される伝送系の伝送効率 83%を満足できる見通しを得た。



４．NBI（中性粒子入射装置）開発
・ITER NBI 用負イオン加速器開発において、負イオンビーム電流を従来の 1.5 倍以上である 322 mA（電流密度 131 A/m^2、ビームエネルギー753 keV）まで増大させた（大電流・高エネルギー負イオンビーム加速の世界記録を更新）。
・大型負イオン源の負イオン非一様生成の原因を解明し、「テント型磁気フィルター」を考案して、ITER 要求性能を満足する負イオン空間一様性を達成した。



５．計測装置

平成 23 年度頃と想定される調達開始に向け、日本が調達分担する予定の以下の計測装置の設計検討と試作試験を実施した。

・ダイバータ不純物モニター
・周辺トムソン散乱計測装置
・ポロイダル偏光計
・マイクロフィッションチェンバー
・ポートプラグの設計検討

６．遮蔽ブランケット

・#18 モジュール第一壁パネルの調達仕様の詳細を確定するための構造検討を進めた。
・第１壁の本格的調達に先立ち、調達分担する参加極の製作技術を確認・評価するための製作能力評価試験用モックアップを製作担当極として製作し、次年度以降に予定されている評価試験に向けての準備を進めた。

７．トリチウムシステム

・トリチウム除去システムの現設計の問題点を指摘し、合理化案を提案した。
・ITER 機構のトリチウム除去システムの概念設計の再構築作業に集中的に人員を派遣して、協力した。
・火災等異常時でのトリチウム除去システムの性能実証、トリチウムプラントの運転シナリオの検討等 R&D タスクを完了し、ITER 機構に報告した。

＜特記事項＞

○ITER 用超伝導コイルの調達準備として、ITER 用超伝導導体のジャケッティングに必要な圧縮成型装置を試作し、ITER の仕様を満足する寸法精度が得られることを確認した。

○ITER 用ジャイロトロンの開発において、出力 1MW で 800 秒、出力 0.6MW で１時間の連続運転を実証し、ITER の運転シナリオへの対応を可能とした。

○ITER NBI 用負イオン加速器の開発において、ビームエネルギー753 keV、負イオンビーム電流 0.3 A（電流密度 131 A/m^2）の大電流負イオンビーム加速に成功した。

○ITER 国際チームの運営支援、ITER 機構の設立準備及び上記調達準備を実施し、
ITER 計画における我が国の実施機関としての責務を果たし ITER 計画の順調な推進に貢献した。

核融合研究開発部門

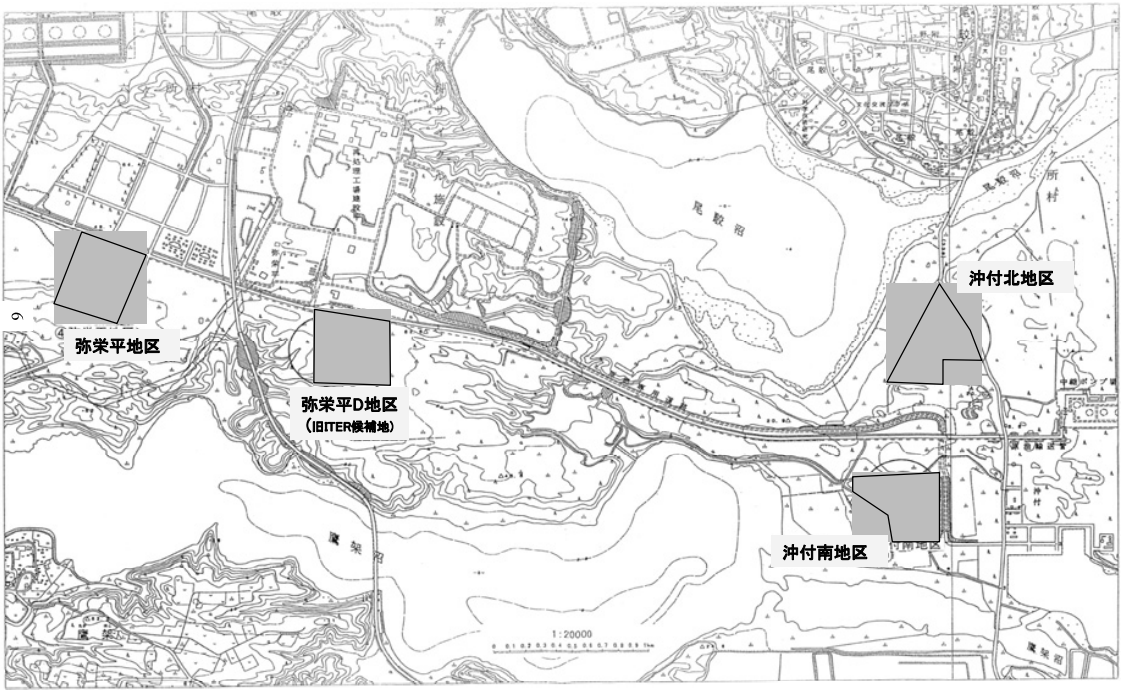
【年度計画】 幅広いアプローチにおける施設・装置の設計検討を行い、その実施に必要な準備を進める。

○サテライトトカマク（JT-60SA）の概念設計については、H19 年 2 月までに、欧州が製作を分担する機器を中心にした設計レビュー会合を 5 回開催し、そのフィージビリティを改善した。これらの議論を踏まえた JT-60 定常高ベータ装置の概念設計報告書（英文、約 450 ページ）のドラフトを、計画通り 12 月上旬までにまとめた。現在は、国内および欧州の関係者および専門家からのコメントを反映して改訂中である。

○六ヶ所幅広いアプローチ活動（以下“BA 活動”と言う）サイト候補地の技術的検討

昨年度に、ITER 計画推進連絡協議会（文部科学省、青森県、日本原子力研究開発機構）において示された、六ヶ所村内の BA 活動サイト候補地 4 カ所（図 1 参照）の技術的検討を行い、定量化された結果などから、埋蔵文化財調査で問題が無いと確認される前提で、弥栄平 D 地区を技術的にはもっとも有力な候補地とした。青森県による埋蔵文化財の予備調査及び本調査を経て、弥栄平D地区が BA 活動サイト地として選ばれた。

図 1　青森県六ヶ所村 BA 活動サイト候補地
（平成 18 年 1 月 ITER 計画推進連絡協議会幹事会で示されたもの）



○サイト整備のための基本計画の検討

サイト候補地の技術的検討と並行して、今後のサイト整備に向けての基本計画の検討に着手した。年度末までに基本配置計画、造成基本計画の見直し、研究施設の基本設計検討を行い、研究施設の実施設計仕様として取りまとめ、敷地全体の簡単なイメージ図を作成する見通しを得た。

○BA 活動各プロジェクトの施設、設備の概念検討

1)建家の基本設計・実施設計のための条件設定。
2)許認可（放射性同位元素／特定化学物質の使用）の為のデータ、資料等の整備。
3)環境アセスメントの要否に関する判断材料の提供
4)施設、設備の仕様の確定
を実施した。

核融合研究開発部門

○BA 協定に関する日欧協議の支援

BA 活動に関する協定（“核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定”）は、2 月 5 日（月）に東京で署名された。これを受けて、2 月 8 日（木）に日欧実務者レベルで、BA 協定発効までの暫定的活動、運営委員会、事業委員会、事務局及び事業チームの設置、事業長の指名に係る今後の進め方等について協議が行われた。これら日欧協議に対し、機構として技術的な支援を行った。

＜特記事項＞

○日欧協議への技術支援や装置・施設の設計検討、サイトの準備を通じ、BA 活動の順調な立ち上げに貢献した。

○BA 活動に関する原子力機構の HP を立ち上げた。
（ http://www.naka.jaea.go.jp/BA/ ）

○プラズマ核融合学会誌に BA 活動に関する情報発信を行った。
（“幅広いアプローチ活動便り”、プラズマ核融合学会誌、Vol　　）

【年度計画】中性子発生率でアルファー加熱入力を模擬した JT-60 の燃焼模擬プラズマに、粒子制御装置を用いて粒子の連続入射を行い、その応答特性を取得する。国際トカマク物理活動に積極的に貢献し、燃焼プラズマの性能予測の向上に貢献する。

燃焼プラズマ制御に関する中期計画は、ITER で実現される燃焼する自律プラズマの性能予測、物理検討、制御手法の指針獲得に向けた燃焼模擬実験等を推進し、ITER 計画の技術目標の達成に貢献することである。この達成に向け平成１８年度は以下の成果を得た。

○核融合反応断面積の温度依存性を考慮してアルファ粒子加熱を模擬するロジックを開発した。本ロジックとイオン温度およびプラズマ密度の実時間計測値を組合わせることで、JT-60 の燃焼模擬プラズマにおいて粒子の連続入射に対する応答特性を取得した。また、燃焼模擬実験結果と 0 次元モデルによるシミュレーション結果に関する 論文が掲載された。さらに、1 次元モデルに拡張したシミュレーション結果を 東京工業大学との共同研究の成果として論文投稿した。

(1) H. Takenaga et al., “Burn control study using burning plasma simulation experiments in JT-60U”, Fusion Engineering and Design **50** (2006) 76.

(2) K. Shimomura et al. “Burn control simulation experiments in JT-60U”, submitted to Fusion Engineering and Design.

○国際トカマク物理活動の提案による JET（欧州）や DIII-D（米国）装置との国際装置間比較実験を実施した（比較実験の総件数 60 件中、JT-60 を必要とするものが 34 件を占めた)。また、7 専門グループにおいて、ITER の性能予測に必要なデータ提供、合同解析等を実施するとともに、活動戦略の策定を主導した。ITER 設計レビューに貢献した。平成 18 年度には以下５編の国際共同論文が掲載された。

(1) N. Oyama, P.Gohil, L.Horton, et al., “Pedestal conditions for small ELM regimes in tokamaks”, Plasma Phys. Control. Fusion **48** (2006) A171.

(2) A.W. Leonard, N.Asakura, J.A. Boedo, et al., “Survey of Type I ELM dynamics measurement”, Plasma Phys. Control. Fusion **48** (2006) A149.

(3) A.Hubbard, K. Kamiya, N. Oyama,et al., “Comparisons of small ELM H-mode Regimes on the Alcator C-Mod and JFT-2M Tokamaks”, Plasma Phys. Control. Fusion **48** (2006) A121.

(4) S.M. Kaye, M. Valovic, (T. Takizuka), et al., “The role of aspect ratio and beta in H-mode confinement scalings” Plasma. Phys. Control. Fusion **48** (2006) A429.

(5) D.C. McDonald, A.J. Meakins, (T. Takizuka), et al., “The impact of statistical models on sclings derived from multi-machine H-mode threshold experiments” Plasma. Phys. Control. Fusion **48** (2006) A439.

【年度計画】核融合フォーラム活動を通して、大学・研究機関・産業界の意見や知識の集約を図りつつ、ITER 計画と幅広いアプローチでの連携のあり方等について検討するため、核融合フォーラム会員に情報を発信し、炉工学、プラズマ物理等のクラスター会合、調整委員会などの各種会合を開催する。

○２月までに調整委員会３回、運営会議１回、全体会合１回、クラスター幹事会３回、サブクラスター会合１６回、シンポジウム等を３回実施した。更に３月までに運営会議１回、サブクラスター会合や検討会などを５回程度開催する。クラスター活動の本格化に伴い会合の開催回数が増加傾向にあり、会員数も１月現在で４５０名を越した（発足時の２倍強）。

＜特記事項＞

○クラスター活動を通じて ITER でのテストブランケットモジュールについての国内での意見集約を行い、国際チームと参加極で構成されるアドホック委員会に代表が出席した。また、幅広いアプローチの IFMIF-EVEDA プロジェクトについて、タスク分担に関する国内希望調査を行い、その結果を踏まえた案を日欧専門家会合での議論に供すなど、活動の本格化にあわせて具体的な成果への結実があらわれ始めた。

核融合研究開発部門

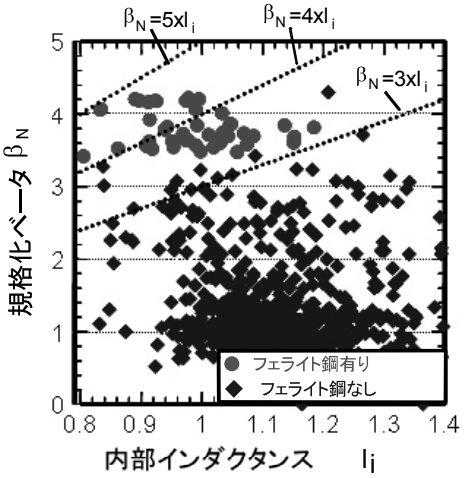
平成１８年度研究開発実績

２．研究開発課題：炉心プラズマ研究開発

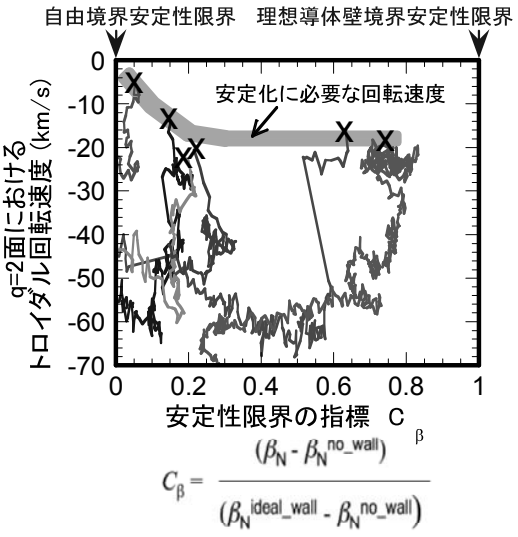
〔研究開発進捗状況、成果の発現状況〕

【年度計画】炉心プラズマ研究開発としては、JT-60 を用いて、定常高ベータ化研究を推進し、真空容器（導体壁）による高ベータプラズマに対する安定化効果を利用し、高い規格化ベータ値（4 以上）を達成し、その長時間維持に向けた課題を明らかにする。併せて、高自発電流割合 70-80%のプラズマにおいての外部摂動に対する応答特性を取得する。輸送・ダイバータ特性等を評価し、定常化に重要な因子を明らかにする。

炉心プラズマ研究開発に関する中期計画では、高い圧力のプラズマを定常的に維持するための研究（定常高ベータ化研究）等を推進し、原型炉の実現に向けた実験炉の補完的研究開発としてのトカマク炉心改良等の研究開発を実施する。具体的には、高い規格化ベータ値のプラズマや高い自発電流割合のプラズマの維持時間を伸長し、高ベータプラズマの運転シナリオの最適化、制御技術の開発を行う。この達成に向け上記に示す平成 １８年度の年度計画について以下の成果を得た。

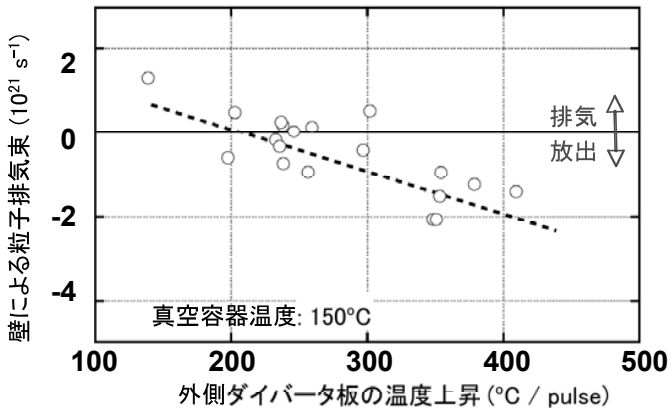


○真空容器（導体壁）による高ベータプラズマに対する安定化効果を利用し、自由境界安定性限界（ー4xl_i）を超える高い規格化ベータ値 4.2 を達成した（右上図）。このような高圧力のプラズマを維持する上で、プラズマ回転が重要な役割を担うこと、及び抵抗性壁モードの安定化に必要な回転速度のしきい値がアルフヴェン速度の約 0.3%と小さいことを世界で初めて見いだした（右下図）。この成果は、回転速度のしきい値が、DIII-D における magnetic braking 法を用いた評価値（アルフヴェン速度の約 2%）よりも、実は一桁近く小さいことを示すもので、高ベータプラズマを維持するための炉設計への要求を緩和できる可能性を示すとともに抵抗性壁モードの減衰機構に関する理論モデルの検証にも貢献すると期待できる。



○高自発電流割合 70-100%のプラズマにおいて様々なタイプのプラズマ加熱（中性粒子ビームと電子サイクロトロン波）を行い、外部摂動に対する応答特性を取得した。また、圧力分布と電流分布が強く相互作用して不安定化しうる高自発電流割合のプラズマでは、中性粒子ビーム入射によるプラズマの回転速度の制御が有効な安定化手法であることを明らかにした。更にこの知見に基づき、安全係数分布の実時間計測に応じて回転速度を帰還制御する手法を開発し、自発電流割合 70%のプラズマを世界最長の８秒間維持することに成功した。

○輸送特性において、プラズマ中の運動量輸送の系統的理解、内部輸送障壁構造の非局所性等の評価に成功した。また、長時間放電におけるダイバータ特性やプラズマ壁相互作用において、第一壁への粒子吸蔵量の温度依存性が重要な因子であることを明らかにした（次頁図）。この成果により、密度を一定に保持するためには、ダイバータ板の強制冷却と能動的排気が重要であることが明らかとなった。また、壁飽和に至っても閉じ込め性能が劣化しない（グリンワルド密度 64%にて HHー0.71）ことを確認した。



＜特記事項＞

○世界で初めて、抵抗性壁モードの安定化に必要な回転速度のしきい値が従来の予測に比べて小さいことを発見（Phys. Rev. Lett.に掲載)。

○上記の成果について 2007 年 1 月 26 日プレス発表を行い、新聞２紙で報道された。

○高閉じ込め･高規格化ベーター2.3 を 28 秒間維持した成果について 2006 年 5 月 9 日プレス発表を行い、読売新聞（一面）を含む　新聞８紙および NHK テレビで報道された。

○ プラズマ・核融合学会「学術奨励賞」を受賞
受賞者：　大山直幸（トカマク実験グループ）
対象となる主な成果：　Edge Localized Mode の物理と制御に関する研究

○ プラズマ・核融合学会「論文賞」を受賞
受賞者：　篠原孝司（トカマク共同実験研究グループ）
対象となる主な成果：　Instability in the Frequency Range of Alfvén Eigenmodes Driven by Negative-Ion-Based Neutral Beams in JT-60U

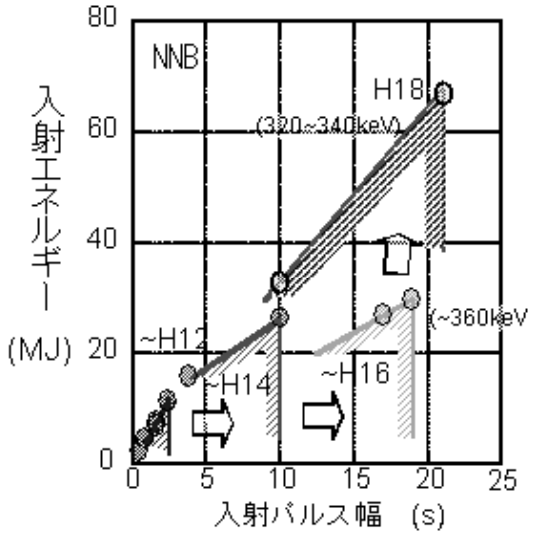
○ 科学技術分野の文部科学大臣表彰「創意工夫功労者賞」を受賞
受賞者：　坂田信也（トカマク解析グループ）
対象となる主な成果：　核融合プラズマ実時間処理システムの改良

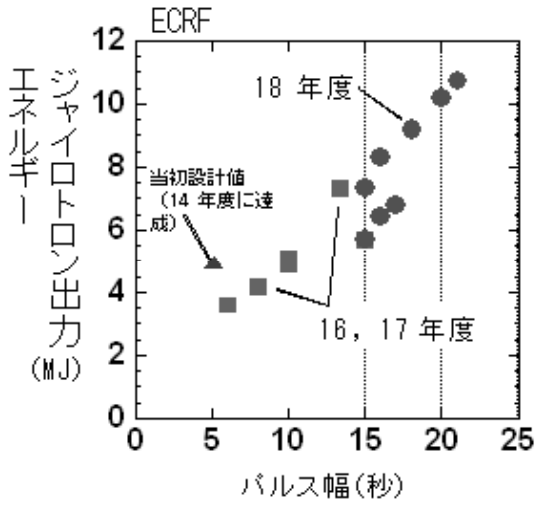
○ 科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」を受賞
受賞者：　竹永秀信（トカマク実験グループ）
対象となる主な成果：　核融合プラズマ分野における粒子輸送の研究

【年度計画】上記研究を進めるため、装置技術開発を継続し、負イオン源ビーム入射装置及び電子サイクロトロン波加熱装置の連続入射時間をそれぞれ 20 秒以上に伸長する。また、計測装置の高速化や空間分解能向上に必要な準備を進める。炉心プラズマ制御技術の向上に資するため、コアプラズマ輸送コードと周辺プラズマ輸送コード等の統合に向け、非定常輸送解析コードと磁気流体安定性解析コードを結合する。

定常高ベータ化研究を推進するため、中心／局所加熱及び電流駆動装置である負イオン NBI(NNB)装置及び電子サイクロトロン波加熱装置の入射時間を伸長することとシミュレーションコードを改良することが中期計画の達成目標である。

○負イオン源ビーム入射装置において、高電圧電源とイオン源の動作条件を最適化し、２イオン源を用いて 21 秒入射に成功するとともに、従来値の 2 倍を上回る入射エネルギー67MJ（世界最高値）を達成した（左下図）。電子サイクロトロン波加熱装置においては、高電圧絶縁部の材質変更及び冷却系の強化、アノード電圧発振制御技術の開発等により目標を上回る 21 秒の入射を達成した（右下図）。





○荷電交換分光計測の改良、ビームエミッション分光の開発等により、プラズマの輸送現象の解明に必須であるプラズマ温度や密度等の高速・高空間分解計測を可能とした。また、ダイバータ板の熱負荷低減に有効な非接触ダイバータプラズマの理解に向けた２次元広帯域分光計測の開発により、ダイバータ部の原子分子過程（電離及び再結合過程）の空間構造の計測に世界で初めて成功した。

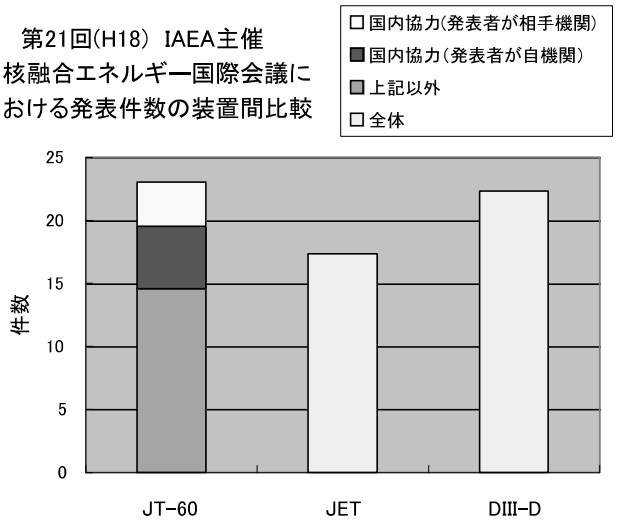
○燃焼プラズマの統合シミュレーションコードの開発に向けて非定常輸送解析コードと磁気流体安定性解析コードの結合を行い、プラズマの輸送特性と磁気流体特性の相互作用によるエネルギー吐出し機構の解明に成功した。

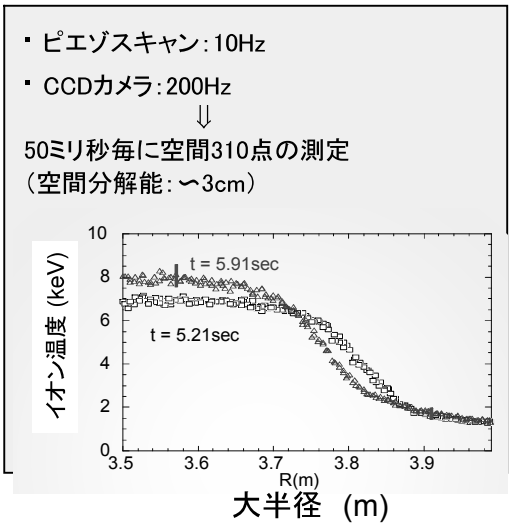
＜特記事項＞
○ 科学技術分野の文部科学大臣表彰「創意工夫功労者賞」を受賞
受賞者： 小又将夫（粒子ビーム加熱システム開発グループ）
対象となる主な成果： 帰還制御による負イオンビーム出力安定化の改善

【年度計画】大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献するため、JT-60 に関する共同実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を実施する。

○ 342 人日の大学等からの JT-60 実験参加者を受け入れて、JT-60 の実験・解析、高速・高空間分解能の荷電交換分光計測（次頁右図）等の炉心プラズマ計測、制御技術等に関する大学等との公募型共同研究 33 件を実施した。これら JT-60 共同研究の成果として、36 編の共著論文(原著論文)を投稿した。また、炉心プラズマ共同企画委員会等での平成 19 年度共同研究の公募に関する議論を踏まえて募集要項を作成し、共同研究の募集を行った。

○ 高エネルギーイオンの非等方性が駆動する磁気揺動の物理研究、高周波のみによるプラズマ電流立ち上げを示す初期データの獲得、自発電流割合が 100%程度に達する放電の実現、内部輸送障壁を作り出す輸送の分岐に関する物理研究等で多くの成果を得た。これらの成果を、原子力機構以外の筆頭著者による論文として平成 18 年 10 月に中国で開催された第 21 回 IAEA 核融合エネルギー国際会議で 4 件発表した。





○JT-60 におけるプラズマ壁相互作用の共同研究の成果に関しては、平成１８年５月に中国で開催された第 17 回制御核融合装置におけるプラズマ表面相互作用に関する国際会議において、筆頭著者が原子力機構以外の研究者による招待講演１件と一般講演６件の論文発表を行った。

○炉心プラズマ共同企画委員会を設置し（委員長：犬竹東北大学教授)、大学等との連携・協力について討議を行った（第１回を平成 18 年 11 月 14 日に実施)。

＜特記事項＞

○文部科学省 核融合研究作業部会「重点化に関するタスクフォース」のチェック・アンド・レビューにおいて、JT-60 における共同研究の実績が高い評価を受け、トカマク国内共同研究の中核装置としての意義が認められた。

○遠隔実験成功について 2006 年８月８日にプレス発表を行い、新聞 11 紙に掲載された。この成果は、国内共同研究の中核装置としての JT-60 の役割を高めるだけに留まらず、青森県六ヶ所村に建設予定の遠隔実験センターの技術基盤を実証したものである。

○連携大学院教官として貢献

・筑波大学助教授：藤田隆明

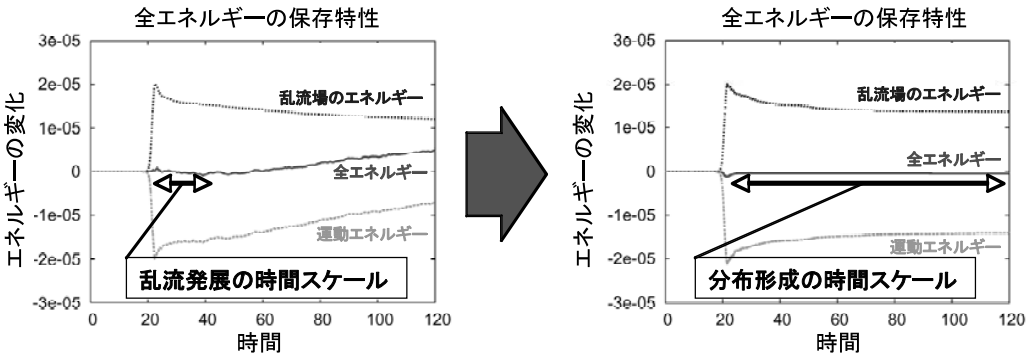
【年度計画】理論・シミュレーション研究では、電子系の輸送をつかさどる微視的乱流の飽和機構に関するモデルを公表する。また、位相空間を連続媒質として解くジャイロ運動論に基づくスラブ（板状）配位での高精度乱流輸送コードの開発を継続し、乱流構造等に関して従来の粒子手法と比較する。

理論・シミュレーション研究に関する中期計画では、炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に係わる理論・計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的指針を取得することを目標としている。この中で、平成 18 年度は以下の成果を得た。

○粒子モデルおよび流体モデルのシミュレーション結果に基づいて電子系乱流の飽和機構モデルを構築し、論文を米国学術雑誌に公表した。

核融合研究開発部門

○エネルギー保存性などを高精度で保障する有限差分法に基づいたスラブ配位のジャイロ運動論的ブラソフコードの開発を行い、従来の粒子手法との精度・数値特性等の比較を終了した。従来の δf 法による粒子コードでは、分布関数 f をモンテカルロサンプリングで表現するため粒子数が保存されず、蓄積誤差のために長時間計算が難しかった（左下図）。一方、新しい保存系スキームによる格子コードでは、厳密に粒子数を保存する数値流体力学スキームにより f を表現するため、分布形成を伴う長時間トカマク乱流シミュレーションが可能になった（右下図）。これらの成果を 2006 年 9 月に開催された Vlasovia2006 において報告し、欧州学術雑誌に公表した。



核融合研究開発部門

平成１８年度研究開発実績

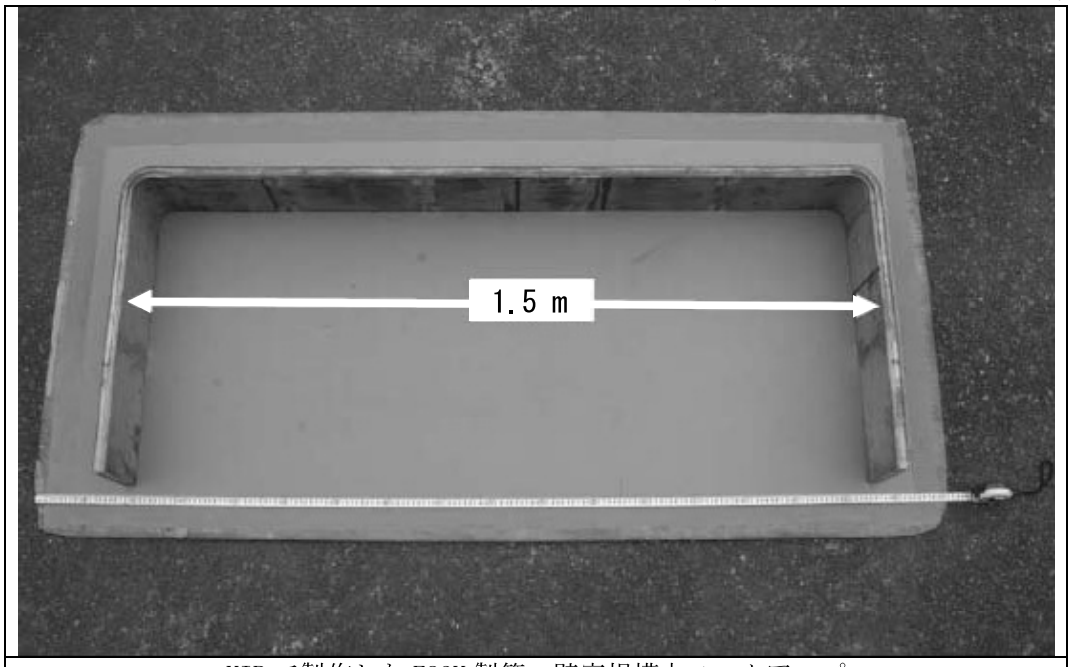
３．研究開発課題：核融合工学研究開発

〔研究開発進捗状況、成果の発現状況〕

【年度計画】核融合工学研究開発としては、増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画に基づき、工学規模の性能試験の準備を進める。工学規模の試験体設計で重要となる第１壁に関しては、実規模大のモックアップを試作し、評価試験を完了する。照射技術開発として、JMTR 照射により取得したトリチウム増殖材微小球充填体のトリチウム放出特性データ等の解析及びトリチウム透過低減皮膜の照射後試験を開始する。

増殖ブランケットの熱･流動･機械･核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画に基づき、工学規模の性能試験の準備を進めた。その中で以下の成果を得た。

○低放射化フェライト鋼とベリリウム･アーマとの HIP 接合技術の開発に成功すると共に､当初予定通り、低放射化フェライト鋼による第一壁実規模大モックアップの試作を完了した（下図参照)。また、モックアップの一部を切断することにより金相観察を実施し、製作手法の妥当性を確認した。



HIP で製作した F82H 製第一壁実規模大モックアップ

○増殖ブランケットの核特性試験では、単純体系（平板体系、単一微小球充填層体系）での核特性評価を完了し、第 21 回 IAEA 核融合エネルギー会議で発表した。これまでに FNS で行ってきた種々の核特性実験の相互比較、解析との比較を実施し、今後の実験の方向性を決定した。また核特性評価用工学試験体の詳細設計を開始した。

○増殖ブランケットからのトリチウム回収システムの性能試験準備を行った。ヘリウムスイープガスから水素を選択的に回収する電気化学ポンプに関しては、電極構造が水素透過速度に与える影響を評価した。圧力スイング吸着塔によるブランケット冷却水処理技術に関しては、トリチウム水分離（吸脱着による）を支配する吸着剤の物理化学的特性を調べた。

○トリチウム増殖材微小球充填体及びトリチウム透過低減皮膜の JMTR 照射試験は昨年８月初旬に完了した。前者については、照射下データ解析の一環として、トリチウム放出特性に関する照射データ整理を

開始した。後者については、照射後試験の準備を進め、今年２月末に評価試験を開始した。

＜特記事項＞

○増殖ブランケットの核特性試験の成果により、プラズマ・核融合学会「技術進歩賞」を受賞した。(受賞者：佐藤　聡、落合謙太郎、西谷健夫)

○トリチウム増殖材の研究の成果により、日本原子力学会核融合工学部会「奨励賞」を受賞した。(受賞者：星野　毅)

○低放射化鋼とベリリウムで構成される第一壁製作技術の開発についてプレス発表を行った。

【年度計画】構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所の HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、F82H 標準材の 9dpa 照射済み試験片の破壊靭性データを取得するとともに、テストブランケット用溶接材の確証試験を進める。

○F82H 標準材の 9dpa 照射済み破壊靭性試験片の試験前予備試験（硬さ試験）を終了した。また、その結果を踏まえ、破壊靭性データの取得を完了した。

○F82H 標準材溶接部の短時間クリープ特性評価を終了すると共に、テストブランケット用増殖増倍格納箱の製作に必要となる薄板接合手法の絞り込みを完了した。

＜特記事項＞

○昨年６月に、IEA の核融合炉材料開発シンポジウムを主催し、IFMIF の重要性を再確認するとともに、原型炉設計には既存照射施設によるデータ蓄積、およびモデリング・シミュレーション研究による支援が重要であるとの共通認識を、会合の結論として導き出し、「幅広いアプローチ」における材料開発研究に対する基本指針への基盤を整えた。

【年度計画】国際協力により国際核融合材料照射試験施設の工学実証・工学設計活動の実施内容の検討を進め、加速器及びターゲットのモックアップ試験計画を策定する。

○昨年 11 月 9～10 日六ヶ所で日欧専門家会合を開催し、日欧で共同実施する工学実証・工学設計活動の基本計画案について討議を行い、概ね合意を形成した。

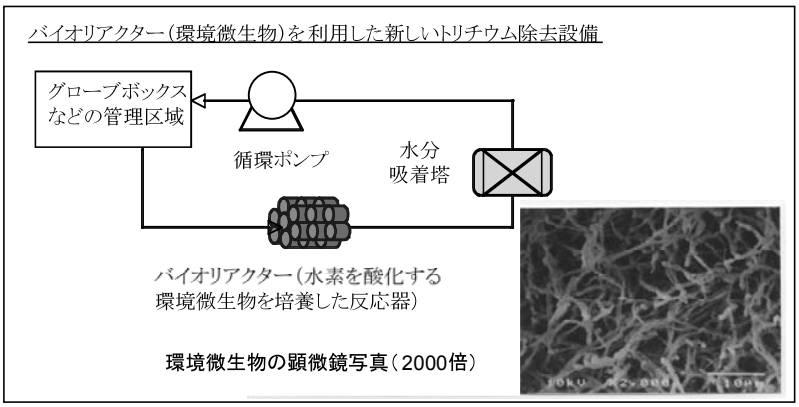
○工学実証・工学設計活動における加速器試験計画及びターゲット試験計画については、各々、今年３月上旬及び２月下旬に開催した日欧専門家会合において、より詳細な実施計画案の議論を行い、初期実施タスク案の詰めを行った。

【年度計画】核融合エネルギー利用のため、真空技術、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進め、先進超伝導技術では、高温超伝導線材を使用した小規模撚線を試作し、導体化の手法を検討する。

○高温超伝導線材の研究では、低銀比 Bi-2212 線材を 6 本束ねた小規模導体を試作し、臨界電流値を磁場 15T、温度 4.2K で測定した結果、予想値の約半分となった。超伝導生成熱処理前に線材に与えた機械的歪みが性能低下を引き起こしたと推察され、従来の金属系超伝伝導線材よりも歪を低減する撚線方法が必要であることが明らかとなった。

核融合研究開発部門

○トリチウム安全工学の高度化を進め、タングステン等金属、コンクリート、有機材料中でのトリチウム挙動データ、トリチウム長期貯蔵時の崩壊 He 挙動データを測定すると共に、バイオリアクターによるトリチウム除去技術開発、トリチウム化学形分別モニター開発を遂行した。



○中性子工学では、中性子弾性散乱によるプラズマ対向壁の分析を実施し、その成果を第 21 回 IAEA 核融合エネルギー会議で発表した。

○ビーム工学では、高電子温度プラズマ中における高密度負イオン生成を見い出した。水素負イオンは高速電子による損失反応断面積が大きいため、従来の負イオン源では低電子温度・低密度プラズマ中で負イオンを生成していたが、JT-60U や ITER の NBI のようにセシウムを添加して負イオン表面生成を促進した状態では、高電子温度プラズマ中で損失を遥かに上回るを負イオン生成が得られることを示唆するものである。この結果を受けて、容易に高電子温度・高密度プラズマが得られる高周波駆動負イオン源の開発に着手した。

○真空技術では、真空計測技術開発の一環として開発した環境分離型天秤を一般産業分野の品質管理技術へ応用するニーズが高まってきたことを受け、産学連携推進部が進める、民間企業への技術移転に協力した。

＜特記事項＞
○中性子弾性散乱によるプラズマ対向壁の分析の成果により日本原子力学会核融合工学部会「奨励賞」受賞。（受賞者：久保田直義）

○バイオリアクターによるトリチウム除去技術開発についてプレス発表

○茨城県高圧ガス保安協会（社）平成 18 年度自家消費製造事業所部会長表彰「優良保安係員賞」を鈴木卓美（トリチウム工学研究グループが受賞（平成 19 年 2 月 6 日）

【年度計画】炉システムの研究では、原型炉概念としての低アスペクト比炉の技術的妥当性と得失を検討する。

炉システムに関する中期計画では「炉システムの研究を実施する」と記載されているのみであるが、原子力委員会核融合専門部会報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」（平成１７年１０月）の要請を満たすべく、ITER 程度の炉心サイズで経済性を見通しうるコンパクトな原型炉の具体的構想を提示する。この達成に向け、平成１８年度の年度計画について以下の成果を得た。

○炉システムの研究では、原型炉概念としての低アスペクト比炉の技術的妥当性の検討を進め、低アスペクト比原型炉（SlimCS）の基本炉構造を決定するとともに技術的課題の抽出の準備を完了した。得失の検討については作業をほぼ完了し、この成果を第 21 回 IAEA 核融合エネルギー会議において報告すると共に、論文投稿した。

核融合研究開発部門

＜特記事項＞

○ITER およびそれと並行して実施される炉心プラズマおよび炉工学の研究開発の成果に基づいてワンステップで実用化を見通しうる原型炉概念の構築をBAの枠組みで進められる原型炉設計活動に対応しながら進めるため、部門内に原型炉設計検討チームを編成した。

核融合研究開発部門

平成１９年度研究開発実績

１．研究開発課題：国際熱核融合実験炉（ＩＴＥＲ）計画

［研究開発進捗状況、成果の発現状況］

【年度計画】ITER 計画においては、ITER 移行措置活動の実施機関として、ITER 建設の共同実施を円滑に開始するために必要な活動を実施する。『イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定（ITER 協定)』の発効後は、ITER 計画における国内機関として「ITER 国際核融合エネルギー機構」を支援するとともに、我が国が製作する機器・装置（超伝導コイル、遠隔保守機器、加熱装置、計測装置等）の調達準備を実施するとともに、調達の遂行に必要な品質保証体制と文書管理体制の整備等を実施する。

○ITER 建設開始のスケジュールに従って機器を調達することを目的として日本が分担した 74 件の ITER 移行措置活動（ITA）タスクのうち、71 件はタスク完了または最終報告書を ITER 国際核融合エネルギー機構（以下「ITER 機構」という。）に提出済み。残り 3 件についても報告書を ITER 機構担当者と調整中であり、近々完了できる見通しである。ITA から建設段階に移行したことを踏まえ、ITER 機構からの設計レビュー関連の要請への対応と調達技術仕様の最終化のために各極の国内機関が分担することなった ITER タスクについては、2 件のタスク報告書を提出、10 件を実施中、1 件が締結手続き中である。この他、ITER 機構及び他極からの受託研究等として 3 件の有償作業の取り決めを締結し実施中である。直接雇用職員の他に ITER 機構へ約 80 人・月の人員派遣を行い、また ITER 機構の内部設計レビュー、統合調達工程の調整会合をはじめ各種技術会合に国内チーム員を平成 20 年 1 月末時点までに 353 人参加させた。さらに、ITER 理事会、運営諮問委員会及び科学技術諮問委員会に出席し、ITER 計画の方針決定等に参画・貢献した（ITER 理事会：委員１名,専門家２名参加、運営諮問委員会：委員１名,専門家２名参加、科学技術諮問委員会：専門家２名参加)。

○前年度に引き続き、日本国内での ITER 機構の職員公募の事務手続きを支援し、日本人職員 15 人（うち、シニア級以上は、プロジェクトオフィス・ヘッド１人、プロジェクトオフィス/R&D 調整・管理・上級管理官１人、機構長オフィス・ヘッド１人、ITER 理事会秘書室長１人、トカマク部/真空容器ディビジョン・ヘッド１人、核融合科学・物理部/プラズマ物理・チーフ科学官１人、中心技術・プラント支援部/燃料供給設備・セクション・リーダー１人、核融合科学・物理部/プラズマ物理・科学官１人、安全・保安部/品質保証・上級技術官１人の合計９人）が採用された。

○国内機関としての品質保証計画書及び品質保証関連文書（管理基準文書、管理要領書等）の策定、文書管理システムの整備、品質保証体制の構築を行い、国からの国内機関としての指名を受けて運用を開始した。

○ 国民の理解をより深めるため、イーターの建設に関する情報の積極的な公開・発信を行った。
- 12 月 19 日　核融合エネルギーフォーラムの全体会合（ITER 機構発足記念シンポジウム)。　125 名参加。
- Web ページの更新、核融合エネルギーフォーラムと協力して ITER 公式 Web の和文化ページ数の大幅拡大。
- 学会への情報提供。
  ITER 機器の製作に関して 27 件の報告を行った（プラズマ・核融合学会および低温工学・超伝導学会)。
  プラズマ核融合学会誌へ隔月で定期的・継続的に ITER 関連最新情報を掲載。
- 地域イベントでの研究紹介１回、施設公開１回、公開講座２回を実施。
- ITER 計画に関する情報発信のためシンポジウム等に講師を派遣。
- ITER 関連企業説明会を 5 回開催し、ITER 計画の状況と調達計画、ITER 協定とその附属書に記載された情報及び知的財産権に関する条項、ITER 機構での知的財産権の取扱い、TF コイル導体の調達取り決め等について報告し、意見交換を行った。約 30 社から延べ 181 人が参加。

○ITER 移行措置活動の実施機関及び ITER 協定の国内機関として実施した調達準備の代表的な成果を以下に示す。

核融合研究開発部門

１．超伝導コイル

① TF コイル導体

TF コイル導体の調達準備の最終段階として、日本が製作した超伝導導体について、欧州の試験施設（SULTAN）を用いた性能検証試験を５月と７月の２回にわたって実施した。本試験ではブロンズ法と内部拡散法による Nb_3Sn 素線を使って、異なるボイド率（29%及び 33%）を有する導体をそれぞれ製作し（平成 18 年度）、これらを 2 本づつ組み合わせて 2 組のサンプルとし（図１）、分流開始温度（超伝導状態を維持できる最高の温度）などを測定した。TF コイル導体の分流開始温度に関する ITER 要求値は 5.7K 以上で、ブロンズ法導体は十分にこれを満足したが、内部拡散法導体ではマージナルな結果（ボイド率 29%では約 5.9K, 33%では約 5.7K）となり、ITER 機構とともに詳細な評価を進めている。ITER 用 Nb_3Sn 素線を製造可能な国内 4 社のうち、まだ SULTAN での試験を行っていない 2 社の素線については、2 月上旬に試験を開始した。

上記の結果を踏まえて、TF コイル導体の我が国調達担当分について、ITER 機構に協力して「TF コイル導体調達取り決め」文書を作成し、ITER 機構との間で調達取決めを 11 月 28 日に締結した。これと並行して、導体の技術仕様に関する産業界の意見を聴取（公示による意見招請）した上で、コイル２個分の素線及び撚線の製作、並びに導体製作についての入札公告を行った。これにより 3 月にこれらの契約を締結する準備が整った。

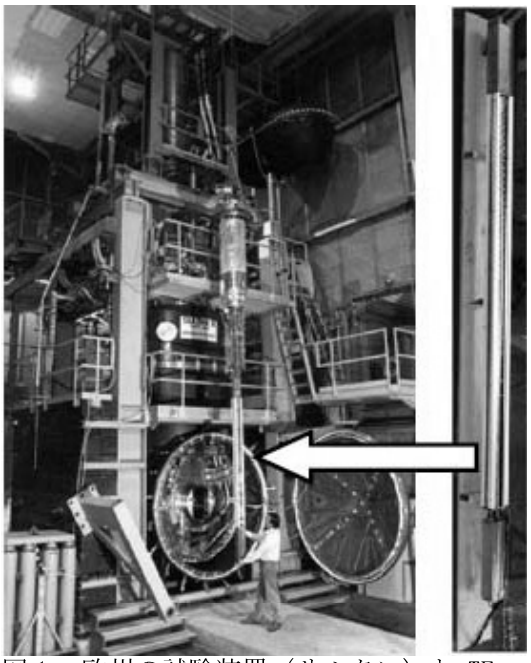


図１．欧州の試験装置（サルタン）と TF コイル導体の性能検証のための日本のサンプル（長さ 3.6m）。



図２．那珂研の試験装置に据え付けられる PF インサートコイル
（コイル外径 1.6m、高さ 3.4m）

② TF コイル巻き線

TF コイル巻線では、高精度巻線の実現のための検討を継続し、レーザーマーカーと CCD カメラを組み合わせて巻線時の導体長さを精密に測定する技術の開発に着手し、自動巻線技術をさらに発展させた。また、新たに開発された高耐放射線性絶縁樹脂の基礎的な特性評価を実施するとともに、本樹脂を用いた巻線の含浸手法を検討し、TF 巻線の含浸技術確立に見通しを得た。

③ TF 構造物

TF 構造物では、狭開先 TIG 溶接による溶接部の室温、液体窒素温度（77K）、及び液体ヘリウム温度（4K）での引張特性を評価し、すべての温度において ITER で要求される特性を満足することを示した。さらに、炭素及び窒素の含有量と室温強度をパラメータとして低温における強度を推定する式を考案し、実機試作材を用いてこの式の妥当性の検証を終了した。これにより、TF 構造物の調達においては、素材の品質管理をすべて室温で実施できる見通しを得た。一方、TF 構造物で使用する素材調達や最終製品への機械加工を効率化するため、日本のメーカーに加えて、欧州や韓国のメーカーとの技術協力を進め、欧州では 316LN 鋼の鋼塊（直径約 1m、高さ約 1.6m、約 13ton）の製作を完了するとともに、韓国ではラジアルプレートの

試作（0.6m の直線部及び 1.8m の曲線部）を完了した。

④ PF インサートコイル試験

欧州が製作した NbTi 製超伝導コイル（PF インサート・コイル）を那珂研にある CS モデル・コイル試験装置に組み込み、平成 20 年度に性能評価試験を行うという受託研究を ITER 機構、欧州、原子力機構間の 3 者で締結した。PF インサート・コイルの試験は、ITER 機構が PF コイル導体の技術仕様を確定し、欧州が調達を開始するために非常に重要なもので、ITER 機構及び欧州から委託を受けてこの試験を実施することになった。本受託研究に基づき PF インサート・コイルは 9 月に那珂研に搬入され、高圧ガス保安法に基づく耐圧気密試験などの検査を完了したが、その後、試験装置との取り合い部や低温温度センサーに不具合が判明した。このため急遽、欧州と協力して補修を行い、1 月に試験装置への据え付けを完了した（図２）。これにより平成 20 年度の試験開始に目処を付けた。

２．ブランケット遠隔保守機器

ブランケット遠隔保守機器の技術仕様の検討として、以下の作業を実施した。

- ドライ潤滑材の一種であるダイヤモンド・ライク・カーボン(DLC)をコーティングした歯車の寿命試験を行ない、要求面圧 1.5GPa の下で要求値 1 万回を超える 3 万回以上を達成し、ドライ潤滑材の適用性に見通しを得た。
- 真空容器内での軌道関節部の接続実証および多芯複合ケーブル(動力線と信号線の合計：300 芯)移動時のハンドリング実証のための実規模部分モデルを製作し、H20 年度に予定している試験の準備を進めた。
- ブランケット遠隔保守機器の 3 次元 CATIA モデルを用いて、キャスク内での軌道接続、真空容器内への軌道展開、保守ポートからの軌道支持、マニピュレータによるブランケットの取り付け・取り外しなどのブランケット遠隔保守に関する１連のアニメーションを制作し、機器間に干渉がないことを確認した。

３．EC（電子サイクロトロン加熱電流駆動装置）開発

- 核燃焼プラズマの加熱・プラズマ電流維持・安定化制御法として期待される電子サイクロトロン共鳴加熱に関し、そのシステムの心臓部である 170GHｚ帯大電力高周波発振器（ジャイロトロン）の開発において、ITER 目標性能を大きく上回る「出力１MW、パルス幅 800 秒、効率 55%」等を世界に先駆けて達成し、その後も安定なオペレーションを行った。これまでの累計出力エネルギーは約 150GJ に達し、信頼性の高さを実証した。ジャイロトロンの高効率動作の背景となった「非線形発振領域における安定発振の実証と機構解明という学術的成果は、Nature 物理誌に掲載され、学会からも高い評価を得た（第 12 回プラズマ核融合学会技術進歩賞受賞）。

４．NBI（中性粒子入射装置）開発

- ITER NBI 用負イオン加速器開発において、高出力ビーム加速時の逆流性イオンビームによる熱負荷対策を施し、大電流・高エネルギー負イオンビーム加速の世界記録を、負イオンビーム電流 320 mA（電流密度 140 A/m2)、ビームエネルギー796 keＶに更新した。

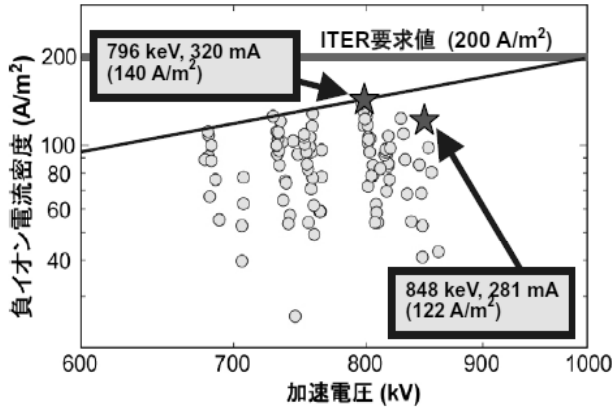


図 3. ITER NBI 用負イオン加速器開発における、ビームエネルギー796 keV、負イオンビーム電流 0.32 A（電流密度 140 A/m²）の大電流負イオンビーム加速に成功

・ 真空中に設置されるイオン源と加速器の真空境界であり、かつ電力を供給する高電圧ブッシングに使用される大口径セラミック（直径 1.56m）を京セラ（株）と共に開発し、世界最大のアルミナセラミックリングの試作に成功した。



図 4. 京セラ(株)と共同試作に成功した世界最大の ITER NBI 用アルミナセラミックリング。

・ 日本と欧州が調達を分担する ITER NBI 電源について、平成 20 年度に予定される調達開始に向けて共同設計作業を進め、詳細機能仕様をほぼ確定した。

5．計測装置

・ ダイバータ不純物モニターでは、開発した再帰反射鏡アレイを用いて、その場感度較正を行える見通しを得た。
・ マイクロフィッションチェンバーでは、真空容器内設置図を作成し、他の様々な機器との取り合いの調整がほぼ完了した。
・ 周辺トムソン散乱計測装置、ポロイダル偏光計の試作試験と設計検討を進めるとともに、レーザーの開発を実施するためのクリーンルームの整備を行った。

6．遮蔽ブランケット

・ 第 1 壁の本格的調達に先立ち、調達を分担する参加極の製作技術を確認・評価する製作能力評価試験に向けて、1 体目の第一壁評価試験用モックアップの製作を完了して、接合強度試験などの評価試験を実施した。
・ 日本が調達を担当する第一壁パネルの調達仕様の詳細を確定するために構造検討を進めた。

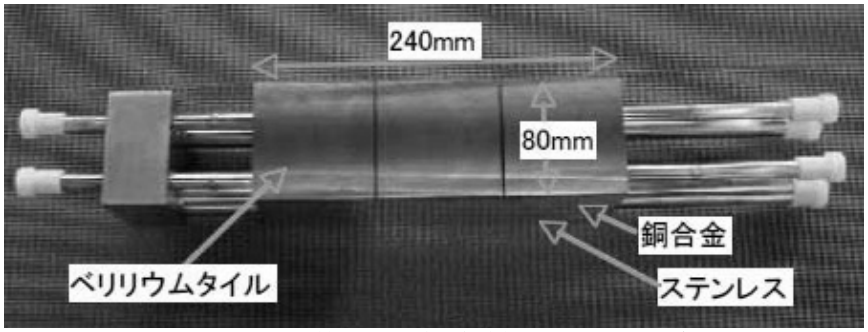


図 5. ITER 第一壁評価試験用モックアップ

7．ダイバータ

・ 調達分担する参加極の製作技術を、本格的調達に先立って確認・評価する製作能力評価試験に向けて、評

価試験用ダイバータモックアップの製作仕様を確定した。
・ 実機調達に向けて、調達仕様の内容について検討を進めた。

８．トリチウムシステム
・ トカマク建家のトリチウム除去システムのサイト適合設計に関する作業を、ITER機構に協力して集中的に行った。取り纏められた設計案は、ITER機構安全グループの承認を得た。
・ ホットセルのトリチウム除去系に対しても、概念検討をITER機構に協力して進めた。
・ 上記トリチウム除去系調達に必要なR&D計画の立案、調達技術仕様確定のための設計検討を行った。また、ITER全体計画に整合したトリチウム除去系の調達スケジュールを、ITER機構と調整して策定した。

＜特記事項＞
○ 平成 19 年 10 月 24 日の「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」の発効を受けて、同日、日本原子力研究開発機構は同協定第８条４に規定する国内機関として指定された。

○ 国内機関としての品質保証計画を策定し、これに基づく体制を構築して運用を開始した。

○ TF コイル導体の我が国調達担当分について、ITER 機構との間で調達取決めを締結した。これに基づいて、コイル２個分の素線及び撚線の製作、並びに導体製作についての入札公告を行い、3 月にこれらの契約を締結する準備が整った。

【年度計画】 幅広いアプローチ（BA）活動においては、『核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定（BA 協定）』発効までは、BA 活動を支援して必要な準備活動を行う。BA 協定発効後は、各プロジェクトの実施計画に基づいて、国際核融合エネルギー研究センターに関する活動として、原型炉設計に係る技術会合を開催し、設計活動の進め方の方向性に見通しを得
るとともに、低放射化構造材料の開発、先進増殖材・増倍材の開発、材料とトリチウムの相互作用研究及びトリチウム計量技術開発に関する準備を本格的に進めるとともに、核融合計算機シミュレーションセンター活動に必要な準備に着手する。国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動に関しては、施設機器の設計及び実証試験の検討を開始する。サテライトトカマクに係る研究活動として、サテライトトカマク概念設計書を完成し、日本分担機器の詳細設計に着手するとともに、サテライトトカマク整備に向けた機器・施設の整備・維持等の活動を行う。また、六ヶ所サイトの仮オフィス整備や管理業務・技術支援等を行い、造成や建家設計・建設等のサイトや施設の整備に着手する。

○BA の日本実施機関としての体制の準備等
・4 月 1 日付で六ヶ所 BA プロジェクトユニット（業務推進グループ、BA 計画調整グループ、IFMIF 開発グループ）を設置し、六ヶ所における BA 活動開始の実施体制を整えた。また、実施機関としての責任を果たすための種々の手続き（調達取り決め、分担金管理、欧州側からの人員受入等）の速やかな実施のため、欧州との協議と並行して機構全体で体制を検討し、実施へ向けた準備を行った。

○国際核融合エネルギー研究センターに関する活動
・原型炉設計・研究開発、計算シミュレーションセンター活動及び ITER 遠隔実験センター活動について、実施または評価・議論すべき項目を決めるため、合計４回のワークショップや技術会合を開催した。
・原型炉Ｒ＆Ｄに関しては、緊急に実施すべき作業項目の選定に必要なデータベースの準備、六ヶ所に設置すべき装置の調査、及び設計活動に関する長期研究開発項目について、以下の研究開発に関する緊急に必要な検討作業を実施するため、調達取決め（案）を作成し、欧州実施機関と調整の上、締結した。
－原型炉ブランケット用先進トリチウム増殖材に関する研究開発
－原型炉ブランケットのための材料工学に関する研究開発
－SiCf/SiC 複合材の機械特性に関する研究開発
－原型炉ブランケットのための先進中性子増倍材に関する研究開発
・設備を含むサイト及び建屋について、平成２０年に建設を開始し平成２１年度中頃に完了するために、第１回運営委員会で承認された暫定作業計画に基づき、IFERC 関連建屋（管理研究棟、原型炉Ｒ＆Ｄセンター棟、計算機・遠隔実験センター棟）の実施設計を平成１９年８月に開始した。

(1)原型炉の概念設計活動

ＢＡ活動の最初の年である 2007 年度における主な原型炉の概念設計活動は、日欧の考える原型炉設計概念の共通認識を得るべき意見交換及び原型炉の基本設計における共通の課題等から協議を開始した。

2007 年 7 月に開催された第１回ＢＡ原型炉設計に関するワークショップにおいては、原型炉の役割及び機能要求が欧州、日本それぞれの核融合開発プログラムの立場から議論され、その技術開発においては、設計における重要な決定要因（Design Drivers）及び設計への制約事項等を中心に検討を開始することが有効であるとの共通認識を得た。

また、実施機関としての体制、活動としては、原子力機構の物理及び核融合工学の専門家から成る原型炉の設計研究チームの再構成を進める一方、核融合エネルギーフォーラムの下での活動を軸に産業界を含めた原型炉設計、特に高ベータのシミュレーション研究及びダイバータ保守シナリオに焦点を当てた。さらに、2008 年の活動のため実施項目を選定するためのタスクを実施し、下表のような共通の課題の抽出を提案した。

表１ 2008 年の原型炉設計に関する共通課題案

基本設計	物理	・ プラズマ形状と磁気構造
		・ 位置安定性と断面形状制御
	炉工学技術	・ 超伝導磁石に関するアセスメント
		・ 電流駆動システムに関するアセスメント
		・ 電磁力に関するアセスメント
		・ トーラス形状と保守
システム設計	・ パルス原型炉の実現性	
	・ 設計パラメータの感度解析	

(2)原型炉の研究開発活動

・六ヶ所に設置すべき装置の調査・設計を実施し、2007 年緊急に実施すべきタスクの調達取り決めを欧州実施機関と締結し、以下のように R&D の事前調査及び予備的 R&D に着手した。

a)SiCf/SiC 複合材

SiCf/SiC 複合材の関する研究開発においては、既存の情報を元に NITE-SiCf/SiC 複合材料が標準材料としての資質を有すると考え、これを使用することを前提として研究開発の計画立案を行った。

b)トリチウム技術

トリチウムを用いた研究を行うために必要な多目的 RI 施設の概念設計を行い、原型炉 R&D センター棟の実施設計に必要な情報を提供した。

c) DEMO ブランケット用材料工学（低放射化フェライト鋼）

原型炉規模の低放射化フェライト鋼の大容量製造技術の見通しを得るため、5t 溶解および 2 次精錬(エレクトロスラグ再溶解 ESR）による試作を実施した。

d) DEMO ブランケット用先進中性子増倍材

六ヶ所「原型炉設計Ｒ＆Ｄ調整センター棟」に整備予定のベリリウムの取扱い施設（ベリリウム製造施設）に関する概念設計を行うとともに、設置すべき装置の検討を行った。また、Be 等の特定化学物質取扱い施設に関して労働基準監督署への予備的説明を実施するとともに届出書類の準備を開始した。

e) DEMO ブランケット用先進増殖材

六ヶ所「原型炉設計Ｒ＆Ｄ調整センター棟」に整備する予定の先進トリチウム増殖材研究開発用コールド実験室について、増殖材微小球製造装置並びに関連設備及び装置類の予備的な設計検討を開始した。

(3)核融合計算機シミュレーションセンター（CSC）活動

計算機センター建屋の構造に関して日欧の共通理解を得るための技術会合(2007 年 9 月 7 日)を開催し、スーパーコンピューターの保護（財産保護、保安及び情報セキュリティーの観点を含む）のため２階建て構造とし、１階は空調、電源設備等の補機室、２階をスーパーコンピューターおよび周辺機器のための計

算機室として、空間的に分離する構造とすることに日欧が合意し、これに基づいて建屋設計に入った。

IFERC のミッションレポートに記載されている“200 テラフロップス以上のスカラーコンピューターあるいは同等のベクトルプロセッサー”に関する必要項目として、CSC の運用開始である 2012 年における計算機の電源、スペースの評価を行った結果、電源は 4.5MW 以下、スペースは 600 平方メートル以下の推測値を日欧が得、それが妥当であるという合意が形成され、計算機室および補機室のスペースが決定された。

計算機センター構築のための調達分担を含めた相互理解を確立するための技術会合（2007 年 12 月 10-11 日）を開催し、必要な項目の定義・確定を行った。そのうち、非常用電源（UPS）については、現行の計算機では必要としない設計が主流であり、CSC が調達する時代の計算機も UPS は不必要との日本側の主張に対して欧州側が合意し、１階補機室にはハードディスク及びバックアップシステム等の電源を担う UPS のスペースのみを確保することになった。空調システムについては、空冷・液冷の両者の可能性を残して 2008 年度中に結論を出すこと、また、周辺機器等の空調のため 0.5MW 相当の空冷システムを設置することを合意した。

スーパーコンピューターの機種設定に向けて BA 運営委員会の指示によって設けられる特別ワーキンググループ（SWG-1）に関して、ベンチマークコードの選定を主たる任務とする SWG-1a と機種策定を主たる任務とする SWG-1b を設け、それぞれの委員を 2008 年度中に選定することが IFERC 事業長から両実施国に要請された。

○国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）に関する活動

・欧州から４人の専門家を受入れた。日本からの専門家３人と支援要員１人を加えて、IFMIF/EVEDA 事業チームは専門家７人及び支援要員１人の体制となった。

・今後の活動実施において必要となる主要な施設及び物品等についての入札を行うための準備として、欧州実施機関及び事業長と調整し、以下を実施した。

ー加速器建屋及び据付器具（主に高圧電源）の詳細設計仕様決定

ー加速器の技術実証（高周波四重極ｶﾌﾟﾗｰ及び制御ｺﾏﾝﾄﾞ）の詳細計画策定

ーリチウムターゲットに関する初期工学研究を行うための詳細計画策定

ー試験施設に関する初期工学研究を行うための詳細計画策定

このうち、加速器建屋の実施設計については、平成１９年８月に開始した。

（１）IFMIF/EVEDA事業計画等；

・第１回 IFMIF/EVEDA 事業委員会（平成 19 年 10 月 11～12 日、六ケ所村）に向けて、事業チームからの要請に対応し、EVEDA 事業計画及び作業計画の技術概要に関する資料作成支援、および、第２回運営委員会に向けた事業チームの資料改訂作業支援を行った。また、第２回 IFMIF/EVEDA 事業委員会（平成 20 年 3 月 27～28 日、六ケ所村）にむけて、年報等の資料作成支援を行っている。この他、調達取決めについては、加速器建家について日欧実施機関及び事業チームの合意を得て実施設計及び建設に向けての作業が進んだ、現在，EVEDA Li loop 等の調達取り決め案の検討中である。

（２）EVEDAタスクにおける実績

・加速器系では、EVEDAプロトタイプ加速器の高周波四重極加速器（RFQ）の入力結合系設計のため、MW-Studioコードにより長軸RFQ高次モード解析を行い、空洞結合板挿入で回転モードが抑制されることを明らかにした。また、RF入力結合系の結合度測定のため、高周波窓を有するRFQテストモジュール試験装置の検討を進めた。EVEDAプロトタイプ加速器の中央制御系では、概念設計を行い、人員安全装置と機器保護安全装置の２システムからなる概念を提案した。この他、六ヶ所の加速器建家の設計検討では、FNSグループの協力を得て中性子遮蔽解析を行い、加速器室の遮蔽厚さが妥当なことを示した。

・ターゲット系では、遠隔交換に対応したリップシール方式ターゲット背面壁の設計のため、ABAQUSコードによる熱応力解析を行い、許容応力以下にするためには、リップシール部に導入した熱応力緩和部の厚さが5mm以上必要なことを明らかにした。 von Mises熱応力結果を図１に示す。また、リップシール部の316L材のYAG溶接部材、およびF82H背面壁と316Lリップシールの TIG溶接部材の引張り試験を実施し、顕著な強度劣化が無いことを明らかにした。図２に、引張り試験結果を示す。この他、EVEDA Liループの概念検討を行い、仕様書案を作成するとともに、大学と連携してLi自由表面計測、純化系のタスク内容案を定めた。

・テストセル系では、照射後試験(PIE)設備の設計条件を検討した。また、H20 年度から実施する高中性子束照射モジュールと微小試験片試験技術などの EVEDA タスク内容案を大学と連携して定めた。

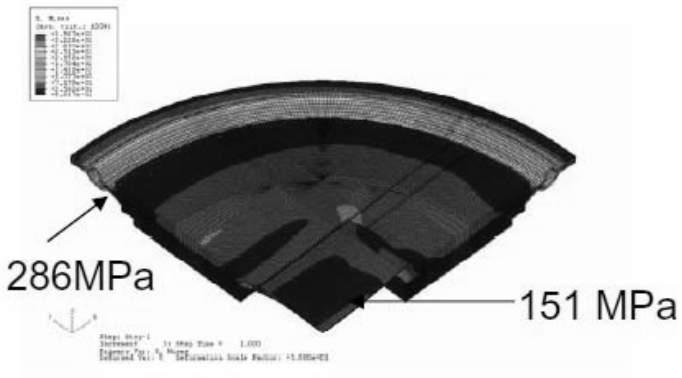


図１　背面壁の von Mises 応力分布

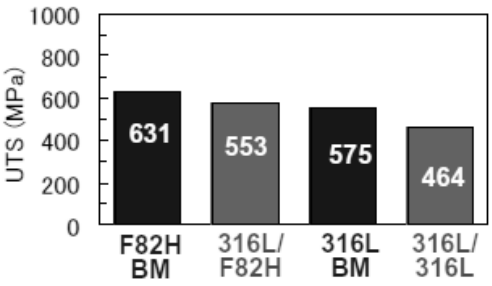
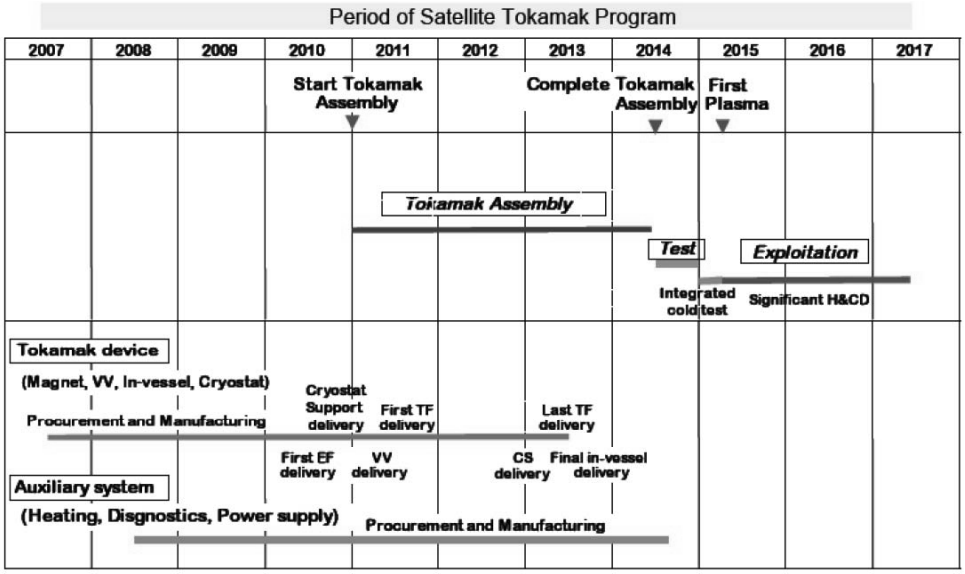


図２　316L/F82H, 316L/316L 接合材の引張り試験結果

○サテライトトカマク（JT-60SA）

・概念設計報告書については、平成 18 年度中にそのドラフトを作成し、平成 19 年度においては、JT-60SA 専門部会、ITER・BA 技術推進委員会等において国内の核融合コミュニティからのレビューを受けた。国内から頂戴したコメントを反映しつつ、欧州との設計調整を進めて、BA 協定の発効前には、日欧の製作分担・責任範囲などをより明確化するために機能仕様を改訂して、製作段階へ移行する準備を整えた。

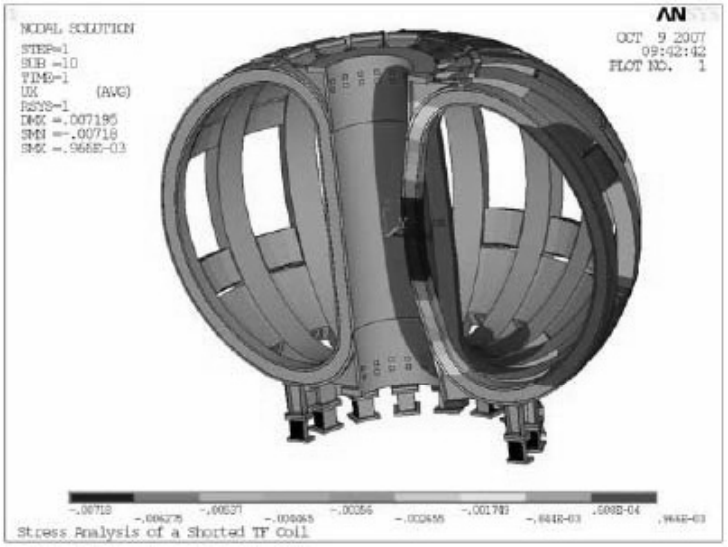
・BA 協定の発効後の第 1 回ステアリング委員会で、次に示す全体計画が承認された。ステアリング委員会およびプロジェクト委員会、および日欧の実施機関から独立したプロジェクトチームや、欧州の実施機関と協力しながら活動した。



JT-60SA 計画全体工程

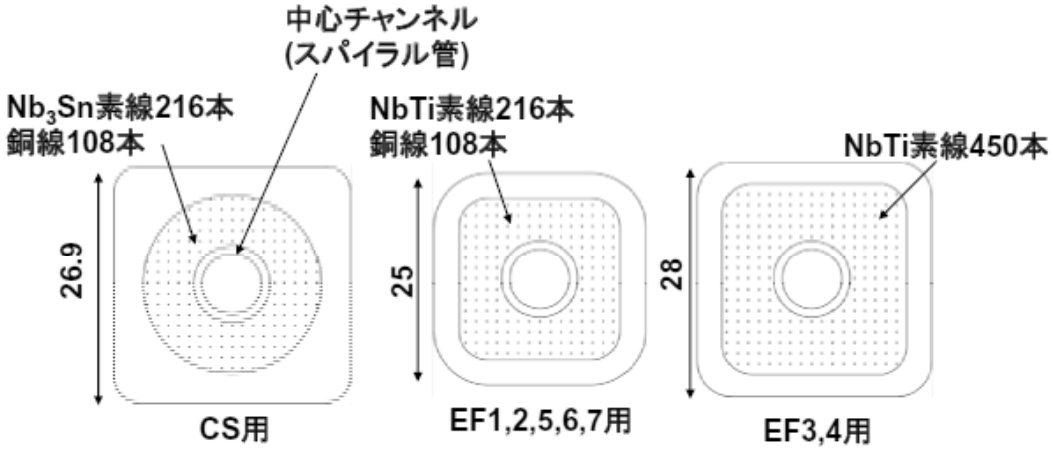
・超伝導コイルの設計では、電磁界解析に加えて、プラズマ放電シナリオに沿った熱流体解析や、ディスラプション時の解析を実施して、コイルの性能を確認した。さらに、欧州から物納されるトロイダル磁場(TF)コイルについて安全解析も実施した。次頁上図は、TF コイルの保護回路動作時に、1 個のコイルが短絡した場合の挙動の解析例を示す。その場合でも TF コイルは十分な構造強度を有していることを確認した。

核融合研究開発部門

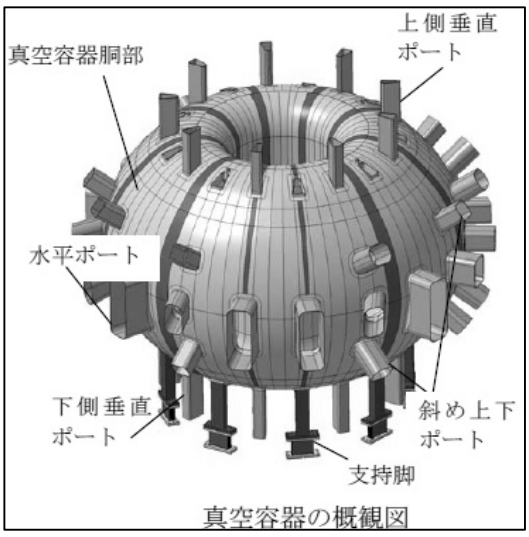


TF 短絡事故時の TF コイルの変位コンター図

・日本が担当する中心ソレノイド(CS)と平衡磁場コイル(EF)に用いる超伝導導体の設計は、主にプラズマの運転中に発生する交流損失による発熱を除去するために、中心部に冷却チャンネルを配置した強制冷却導体を採用した。以下に導体の断面を示す。CS 用導体の動作磁場は 9 T で、EF 用導体は磁場 6.2 T (EF3,4), 4.8 T(EF1,2,5,6)の 2 種類の導体を採用し、すべて導体の電流値を 20kA で設計した。超伝導素線の特性から、素線の一部を銅線に置き換えて撚線を最適化した設計を行った。これらの設計結果から超伝導導体の技術仕様を確定し、超伝導導体の撚線と導体複合化の製造を発注した。



・我が国が製作を担当する真空容器については、電磁力解析に加えて製作性を改善するために真空容器耐圧条件、板厚、溶接法、組立手順、製作精度、検査方法・検査基準等の合理化設計を進めた。これらを踏まえ、真空容器の調達に関する取り決めを取り交わし、真空容器の製作を発注した。



真空容器の概観図

・電源システムについては、ITER 形状のシングルヌル配位、低アスペクト比のダブルヌル配位の２つの標準放電シナリオに対して実現可能な各電源の設計書を作成した。また、既存のトランスを出来る限り再利用し、プラズマ立ち上げ時の高電圧発生も既存の電源を再利用することで、EU が物納する電源と調和を保つ設計が可能であることを示した。また、超伝導装置特有のクエンチ現象に対応するために、

コイルの保有磁気エネルギーを高速に熱消費するクエンチ保護回路の設計に向け、EU と共同でポロイダル磁場コイル電源のシミュレーションモデルを作成し、正常時および異常時動作シナリオ案をシミュレーションを用いて作成した。

○建家建設及びサイト整備の実施設計

・BA 協定発効までは、昨年度実施した幅広いアプローチ活動六ケ所サイトの基本計画に基づき、建屋、サイト整備の実施設計の準備を進めた。この準備では日欧の協議対象となる建屋については、実施設計に必要な情報の入手や建屋と設備の取り合いの検討等に関して、必要なアクションリストを作り、日欧の専門家間で仕様について協議を開始した。また、サイト整備に関係する各方面（青森県、六ヶ所村、労働基準局、電力会社等）との協議の支援を継続し、必要な諸手続についての準備を行った。

・BA 協定発効後は、主要建屋の調達について欧州との協議を行い、実施設計に向けた、建屋の設計要件の調整を行った。特に、欧州側からの物納品を収める計算機・遠隔実験センター棟及び IFMIF/EVEDA 開発試験棟については、調達する欧州側の機器の仕様に未定な部分があることから、協議に時間を要したが、予定通りの工程で建設工事が開始される見通しが得られた。

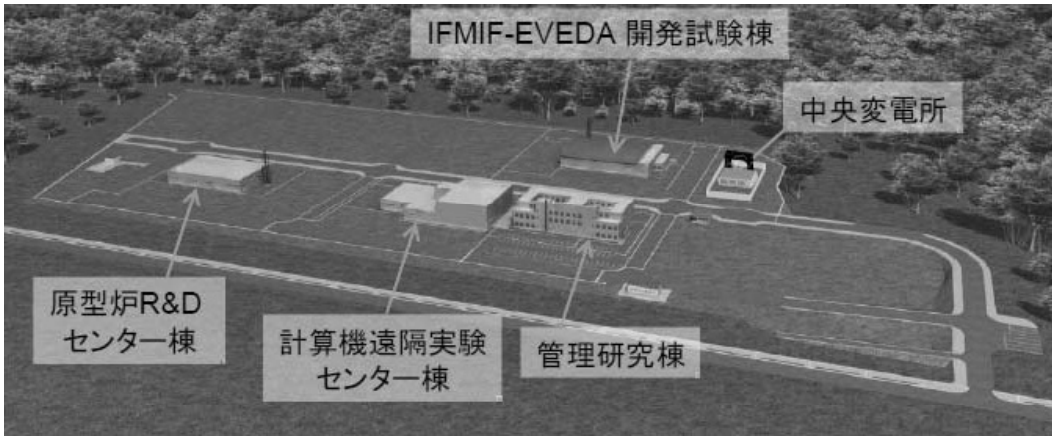
・実施設計のためのサイトの地盤調査を行い、建屋の配置、基礎についての検討を行った。その結果、IFMIF/EVEDA 開発試験棟については、当初位置での基礎とする地盤が予想より深かったため、西側にずらすこととした。

・建家建設及びサイト整備の実施設計を終了し、工事契約のための手続きを開始した（図 1 及び図 2 参照）。

図１　BA サイト現況（2007 年 11 月 15 日撮影）



図２　六ヶ所 BA サイト完成予想図（実施設計に基づく）



＜特記事項＞

○青森研究開発センターでの広報活動等の支援

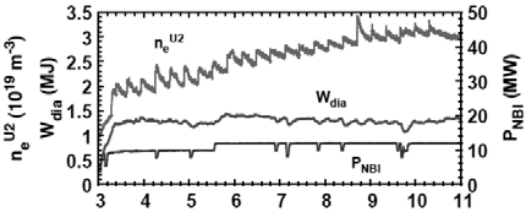
・地元をはじめ国民の理解をより深めるために、地元説明会６回、地域イベントでの研究紹介３回、施設公開１回、公開講座４回を実施する等、情報の公開や発信に積極的に取り組んだ。

核融合研究開発部門

【年度計画】粒子制御装置及び加熱装置等を用いて、燃焼模擬プラズマを制御する。国際トカマク物理活動や国際装置間比較実験に積極的に貢献し、燃焼プラズマの性能予測精度の向上に貢献する。

○新粒子制御装置の試験に成功する等、JT-60 での入射実験を行った。

新たな粒子制御装置として、ガスジェット装置の運転に成功した。右図に示す電子密度波形の正のスパイク各々がガスジェット装置からの燃料供給である。密度はグリーンワルド限界の 72%まで上昇した。今後、ガスジェット、ガスパフ及び中性粒子ビームを用いて燃焼模擬プラズマの実時間制御を実施する基礎データを得た。



図：ガスジェットによる密度上昇

○国際トカマク物理活動の提案による国際装置間比較実験に関し、H モードプラズマの周辺 MHD 安定性(ELM)や輸送特性等について、ASDEX 装置（独）と比較実験を実施し、DIII-D（米）、JET（欧）との比較実験の準備を完了した。また、７専門グループにおいて、ITER の性能予測に必要なデータ提供や合同解析等を実施するとともにレビュー論文を執筆する等、国際活動を主導した。これらの成果は、平成 19 年度には 12 編の国際共同論文として掲載された。また、ITER の物理検討に大きな貢献を果たした Nuclear Fusion 誌の「ITER Physics Basis」はダウンロード数が 10000 回に達するほど注目された。

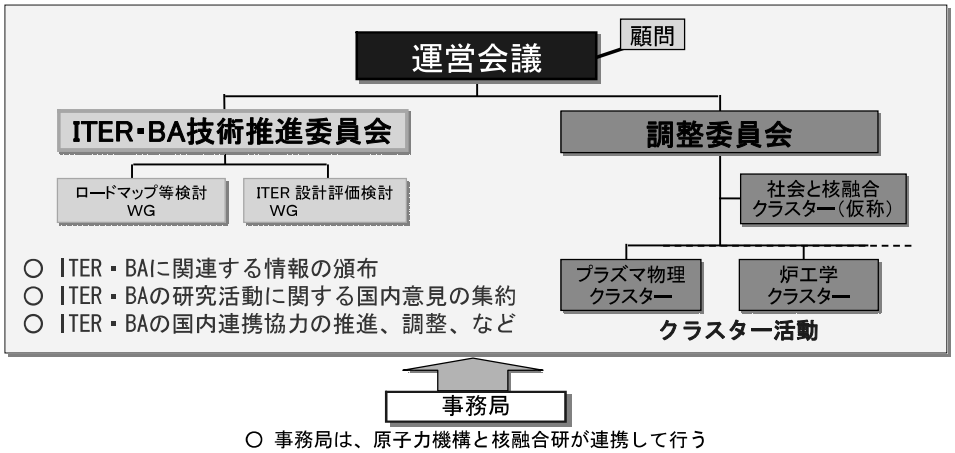
【年度計画】核融合フォーラム活動等を通して、大学・研究機関・産業界の連携強化のあり方等の検討、関連情報提供、意見集約、連携協力調整等を促進するとともに、核融合フォーラム会員に情報を発信し、炉工学、プラズマ物理等のクラスター会合、調整委員会などの各種会合の開催を支援する。これらにより、ITER 計画と BA 活動における開発研究と学術研究の相互補完的推進に貢献する。

○平成１８年度の科学技術・学術審議会　研究計画・評価分科会　原子力分野の研究開発に関する委員会核融合研究作業部会での審議及び要請にもとづき（同部会報告書「ITER 計画、幅広いアプローチをはじめとする我が国の核融合研究の推進方策について」参照)、また核融合フォーラム運営会議での承認を受けて、核融合フォーラムを発展継承する「核融合エネルギーフォーラム」に改組するための趣意書や規約の改定や制定など、必要な手続きと準備を進めた。その結果、従来からのクラスター活動に加え、原子力機構と核融合科学研究所が連携して事務局を担当しつつ国からの依頼事項を機動的に検討する「ITER・BA 技術推進委員会」を新設した核融合エネルギーフォーラムを７月に正式発足させることができた。

○１０月に文部科学省から運営会議議長に対して「核融合エネルギーの実現に向けた取組体制」及び「ITER 設計書の評価」について２件の検討依頼があり、運営会議議長からその検討や評価が ITER・BA 技術推進委員会に付託された。運営会議の同意を得つつ同委員会の下に「ロードマップ等検討ワーキンググループ」及び「ITER 設計評価検討ワーキンググループ」を設立する準備を進めた。前者については、クラスター活動の一環として従来から検討を進めてきた「核融合炉開発ロードマップ検討委員会」が中間報告書を纏めたのを機に、その中心メンバーに産業界や大学・研究機関の専門家を加えて１０月から正式に活動が開始できるように貢献した。後者については、１月から準備活動が開始できるように寄与した。

○核融合エネルギーフォーラムは、準備期間を含めると５月から活動を開始し、これまでに全体会合２回、運営会議２回、調整委員会３回、クラスター幹事会４回、サブクラスター幹事会２回、サブクラスター会合１８回、シンポジウム１回、ITER・BA 技術推進委員会６回、ロードマップ等検討ワーキンググループ会合１１回、ITER 設計評価検討ワーキンググループ（仮称）準備会合２回を開催した。これらの会合を円滑に開催するための必要な支援を行った。

核融合エネルギーフォーラムの構成



○ITER 用テストブランケットモジュール(TBM)や BA に関連する国際的な専門家会合に向けて国内意見の交換や集約の場などを多く提供するとともに、核融合エネルギーへの理解増進や情報発信、人材育成などについて幅広く意見交換する場も提供するため、専門クラスターの会合開催を積極的に支援した。核融合科学研究所の研究会や核融合ネットワークとも一部連携し、TBM や BA に関しては、日本案としての提言に繋がり、国際会合での議論に反映させることができた。

○７月と１２月に２回開催した全体会合について、講演の資料や要旨、ビデオ映像などをホームページで公開した。フォーラム会員だけでなく広く一般に対し、地球環境やエネルギーの課題を踏まえて国際協力で ITER を進めることの意義や ITER 計画等の最新状況を伝えるとともに、核融合エネルギーの実用化に向けたロードマップを示して、ITER 時代の幕開けに対する理解促進をはかった。

○文部科学省からの「JT-60SA 概念設計報告書」に対する評価依頼（５月）に対応するため、ITER・BA 技術推進委員会を準備会合として２回開催した。同報告書の評価検討や「JT-60SA 概念設計報告書の評価報告書」の取り纏めに対して核融合科学研究所の事務局幹事と協力して必要な調整と支援を行い、６月の幅広いアプローチ第１回運営委員会開催前に文部科学省に提出することができた。

○ロードマップ等検討ワーキンググループで取り纏めつつある中間報告書案と人材計画案について、円滑な委員会審議を支援した。その結果、文部科学省を通じて、第１０回核融合研究作業部会（２月）にトカマク型原型炉・実用炉のロードマップ案に伴う人材計画案を今後の検討素材として提供することができた。中間報告書については、次回 ITER・BA 技術推進委員会での審議を経て、運営会議議長を通じ今年度内に文部科学省に提出する予定である。

＜特記事項＞

○１９年度から「核融合エネルギー奨励賞」を創設し、若手研究者・技術者による優れた成果もしくは優れた成果が見込まれる研究開発活動を顕彰することになり、事務局は募集要領や申請書類の作成、調整委員会の選考にもとづいて受賞者に対し原子力機構から研究助成する仕組みの構築など必要な準備を進め、幅広く募集案内を発した（５月）。第１回全体会合（７月）にて、優秀賞２名、奨励賞４名の授賞式を執り行うことができた。

核融合研究開発部門

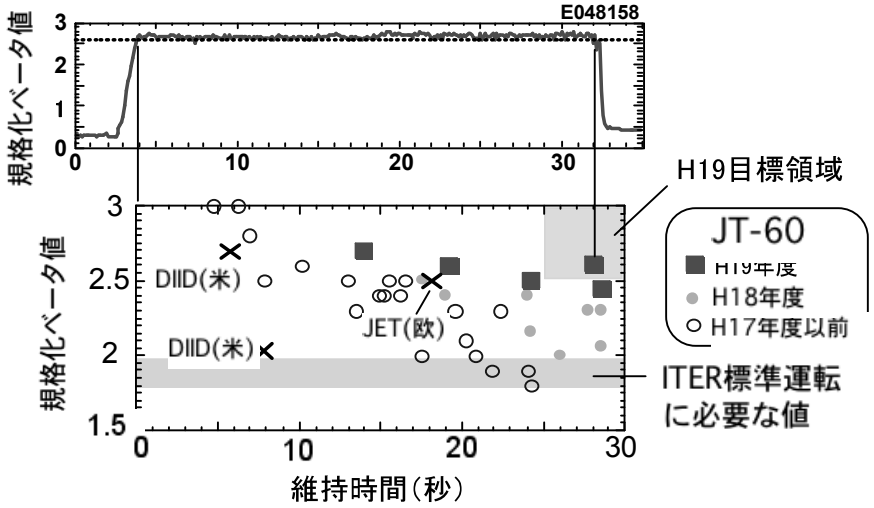
平成１９年度研究開発実績

１．研究開発課題：炉心プラズマ研究開発

［研究開発進捗状況、成果の発現状況］

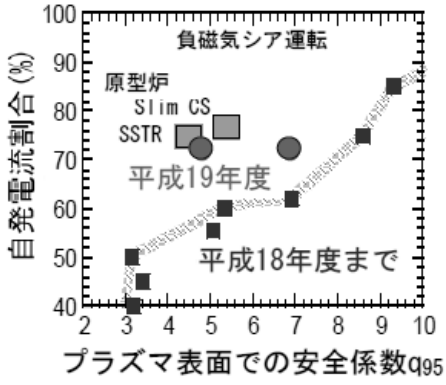
【年度計画】炉心プラズマ研究開発としては、JT-60 を用いて、定常高ベータ化研究を推進し、規格化ベータ値 2.5−3 のプラズマの維持時間を 25 秒以上に伸長する。また、高規格化ベータ・高自発電流割合のプラズマ維持のための実時間分布制御手法を実証する。輸送・ダイバータ特性等の評価を進め、定常化に必要な制御手法を開発する。

○JT-60 では、プラズマ加熱時間の伸長やプラズマ安定化制御技術の開発を進めてきた。これを用いた高規格化ベータ値の長時間維持に必要な高い安定性を有するプラズマの放電シナリオを完成し、規格化ベータ値 2.6 を 28 秒間維持し、目標を達成した（下図）。この規格化ベータ値は ITER 標準運転に必要な値(1.8) を 44%上回っており、核融合出力（規格化ベータ値の２乗に比例）として２倍の上昇に相当するものである。



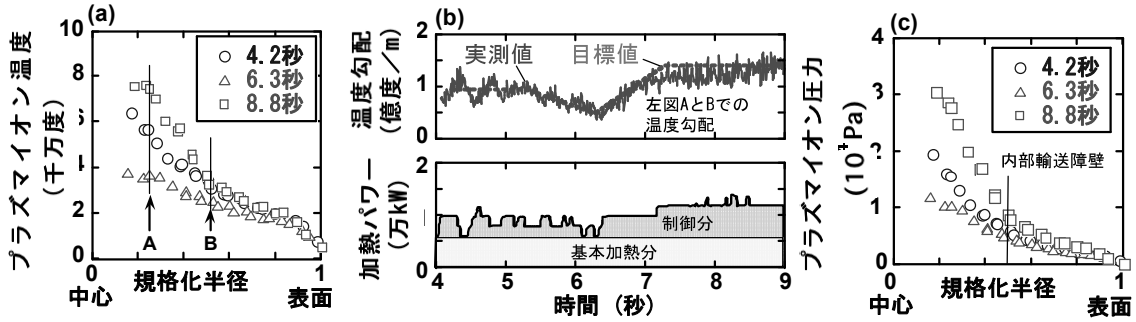
図：規格化ベータ値の維持時間

○高自発電流割合負磁気シア運転の大きな課題は、安定な規格化β値が低いために安全係数が高い領域での運転に留まっていたことである。今回、壁安定化効果を利用した放電開発を進め、自由境界限界を超える規格化ベータ値 2.7 を実現し、高自発電流割合 72%を、原型炉 SlimCS 炉や SSTR 炉の安全係と同等の安全係数領域で初めて実現することに成功した。下図に運転領域の拡大を示す。



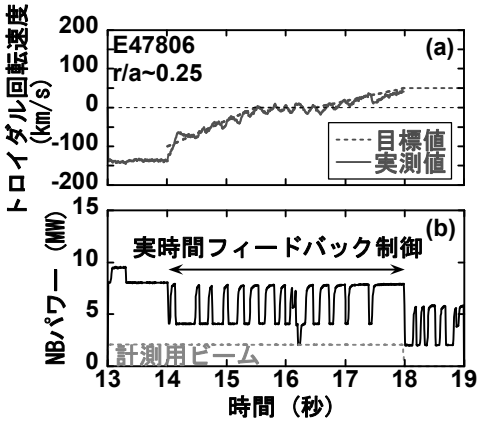
図：高自発電流割合負磁気シア運転の低安全係数領域への拡大

○高速イオン温度計測をセンサ、中性粒子ビーム加熱をアクチュエータとした、プラズマ温度（イオン温度）勾配の実時間帰還制御手法を開発した。次図に示すように、空間 2 点（図(a)の A と B）での温度を実時間で計測し、その勾配（約 1 億度／m）を、目標値に従って実時間制御（PID 制御）することに成功した（図(b)）。先進トカマク運転に必要な、内部輸送障壁以内での圧力分布の実時間制御が初めて実現され、目標を達成した（図(c)）。



図：プラズマ温度勾配実時間制御の実証：図(a)点 A と B との温度勾配を、図(b)に示すように目標値に従って制御した。図(c)は図(a)に対応するイオン圧力分布。

また、世界で初めて広範囲に亘るプラズマ回転速度の実時間制御に成功した（下図）。



図：プラズマ回転速度実時間制御の実証：(a) 実際のトロイダル回転速度(実線)が目標値(点線)に追随する結果が得られた。(b)接線 NB ユニットが帰還制御されている。

○電流分布計測をセンサ、低域混成波周辺電流駆動をアクチュエータとした、安全係数最小値の実時間帰還制御手法を開発した。実時間で電流分布を制御することによって、先進運転でのプラズマ安定性確保の要である安全係数最小値を、指令値通りに実時間制御（PI 制御）することに成功し、目標を達成した。次図に示すように、不安定性の発生を意味する磁場揺動が 11.5 秒以降抑制され、先進プラズマ運転に必要な、安全係数最小値＞２の実時間帰還制御が初めて実現された。

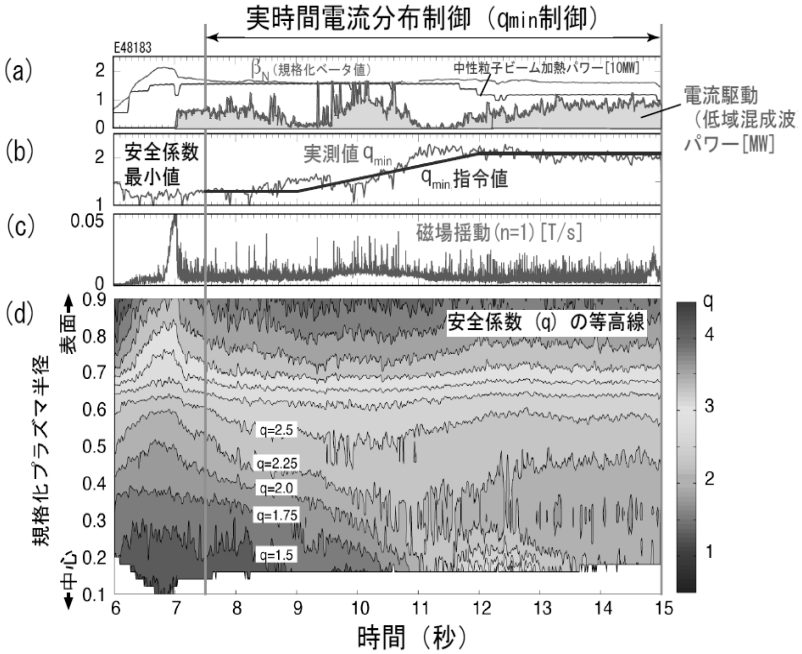


図　：安全係数最小値の実時間制御の実証：(a)制御用電流駆動パワー（低域混成波）、加熱パワー、規格化ベータ、(b) 安全係数最小値の指令値と実測値、(c)プラズマ不安定性による磁場揺動、(d) 安全係数分布等高線

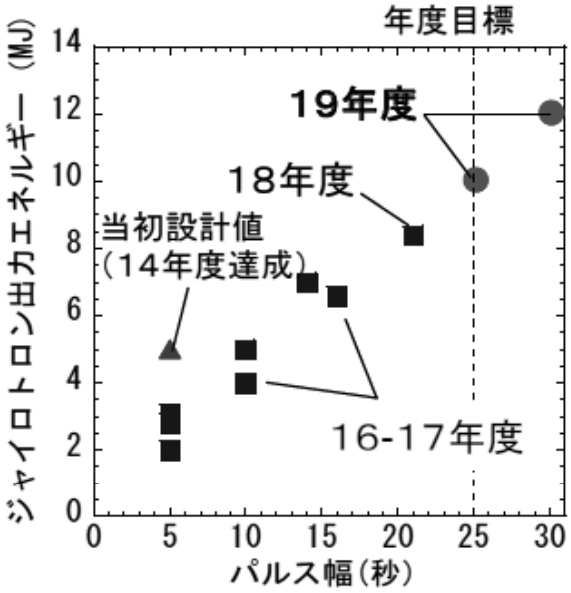
また、ダイバータ部からのアルゴンガス注入等による放射パワー制御手法の開発を進め、応答特性を取得した。

＜特記事項＞
○ プラズマ・核融合学会「学術奨励賞」を受賞
受賞者：　浦野　創（定常高ベータ化計画調整実験グループ）
対象となる主な成果：　Edge Localized Mode の物理と制御に関する研究

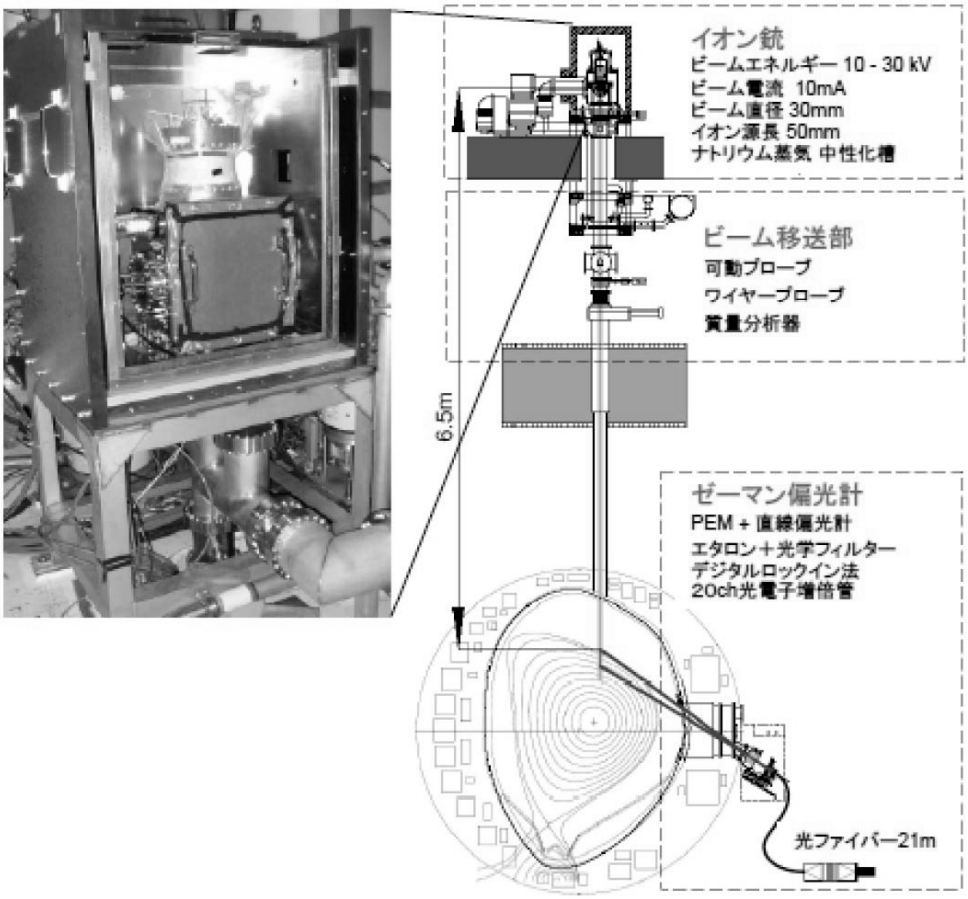
【年度計画】上記研究を進めるため、装置技術開発を継続し、負イオン源ビーム入射装置及び電子サイクロトロン波加熱装置の連続入射時間をそれぞれ 25 秒以上に伸長する。また、計測装置の高速化や空間分解能向上等の高度化を進める。コアプラズマ輸送コードと周辺プラズマ輸送コード等の統合に向け、ダイバータ流体モデル、中性粒子モデル、不純物モデルを含んだ統合ダイバータコードを開発する。

○負イオン源ビーム入射装置では、多孔電極で発生したビーム同士の空間電荷による斥力を 3 次元シミュレーションにより定量的に解析し、その計算に基づきビーム偏向を補正する電極構造の改良を行った。この結果、電極熱負荷を従来比で 20%改善することに成功した。これらの改良等により、年度目標の 25 秒を上回る 27 秒間の入射に成功した。

○電子サイクロトロン装置では、発熱が大きい伝送機器の冷却を強化して圧力上昇による放電を抑制するとともに、カソードヒーター入力制御方式を開発してこれまでのアノード電圧制御方式と組み合わせることで安定な発振を実現し、目標を上回る 30 秒間のプラズマ入射に成功した(右図)。

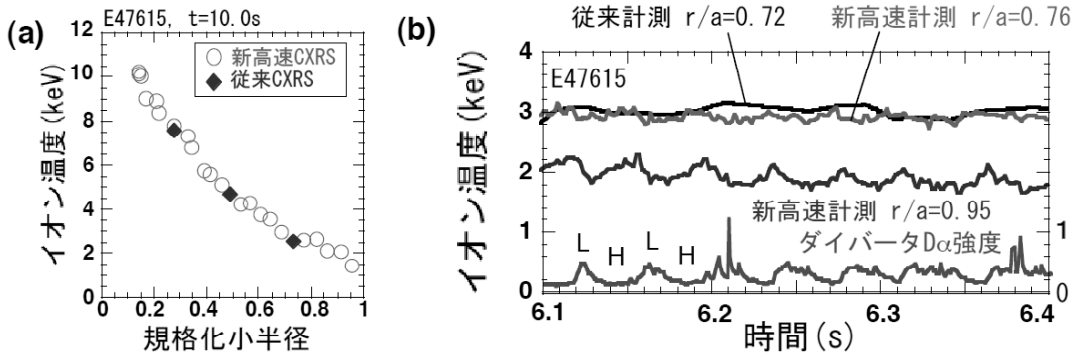


○JT-60 における周辺電流分布計測を目的として、科学研究費補助金により、リチウムビーム入射装置の開発を進めて来た。電子ビーム加熱型リチウムイオン源の開発に成功し、７月に、世界最大級・長パルスのリチウムビーム装置となる引き出し電流量 10mA、入射時間 50 秒を実現し、開発目標を達成した。ビームエネルギーは 10keV-30keV で可変である。このリチウムビーム入射装置は、計測用ビームとしては長距離となる 6.5m 先で 3cm の細いビーム径を達成するために、イオンビームの引き出し・収束電極を最適化し、また、イオン源の表面を凹状としている。その後、中性化セルを用いて中性リチウムビームの調整実験を進め、中性化効率の最適化、ビーム収束の最適化を進め、１１月に JT-60 本体への設置を完了、１月に Li ビームを JT-60 プラズマに入射することに成功した。



○イオン温度計測を高度化

イオン温度・プラズマ回転計測用荷電交換分光計測（CXRS）装置の大幅な高度化に成功した。従来の CXRS 装置の時間分解能は最速で 16.7ms(空間 22 点)であった。今年度、新しい分光器と CCD カメラを導入し、時間分解能 2.5ms(空間 30 点)の計測に成功した。次図 a に高速 CXRS 装置で測定したイオン温度の分布を示す。空間 3 点のデータ(◆)は、比較のために、従来の CXRS 装置で得られたイオン温度を示している。両者は良く一致している。次図 b にイオン温度の時間発展を示す。従来の CXRS では捉えることのできなかった L⇄H モードの遷移におけるイオン温度の変化（L->H 遷移で温度上昇、H->L 遷移で温度低下）を詳細に捉えることができていることがわかる。この CXRS 装置の高度化は、H モードや ELM 研究、内部輸送障壁やイオン系摂動輸送研究等の様々な研究領域へ大きく貢献することが期待される。



図：新旧計測の比較：(a)　空間分布、(b)時間変化。ほぼ同じ小半径位置（∽0.75）での従来の計測結果（黒実線）と新計測結果（赤実線）から精度の向上が判る。

○高速測定の同時性向上

近年の高速・大容量データ収集システムの導入や JT-60 放電の長時間化対応により、計測器毎に独立したクロックを用いて収集していることによる時間軸のずれの問題が顕在化しきた。例えば、±1ppm という高精度の 10MHz 水晶発振器を使用した場合でも、60 秒後には±60μs 程度のずれが発生する。また、ＭＨＤ不安定性やＥＬＭ等の現象を研究する際、現象の因果関係を議論するためには複数の計測器の信号を１μs 以下で同期することが必要になる。そこで、計測に必要な基準クロックとトリガ信号を同時に多設備に配信するクロック・トリガ同期システムの開発・整備を進め、H18 年度から試験運用を開始した。H19 年度は復調器を増設し、JT-60 の主要計測器を網羅する以下の 19 設備を同期することに成功し、年度目標を達成した。(ミリ波反射計、高速Ｄα、不純物高速分光、ダイバータ静電プローブ、内側可動プローブ、水平可動プローブ、Ｘ点可動プローブ、高速可視カメラ、ＦＩＲ干渉計、ダイバータ干渉計、ＥＣＥ、磁気プローブ、高速ＣＸＲＳ、ルビートムソン散乱、ＹＡＧトムソン散乱、ＢＥＳ、Li ビームプローブ、軟Ｘ線強度、ドップラー反射計)

○ダイバータプラズマ・中性粒子・不純物の挙動を総合的に扱う統合ダイバータコードの開発を進めた。従来困難であった中性粒子と不純物を粒子的に取り扱うモンテカルロ法を、計算の高速化と重み付き粒子計算を用いることにより、時間ステップの制限や数値ノイズなどの問題を克服した。これにより、ダイバータ流体モデル、中性粒子モデル、不純物モデルを含んだ統合ダイバータコードの原型版の開発に成功した。

＜特記事項＞

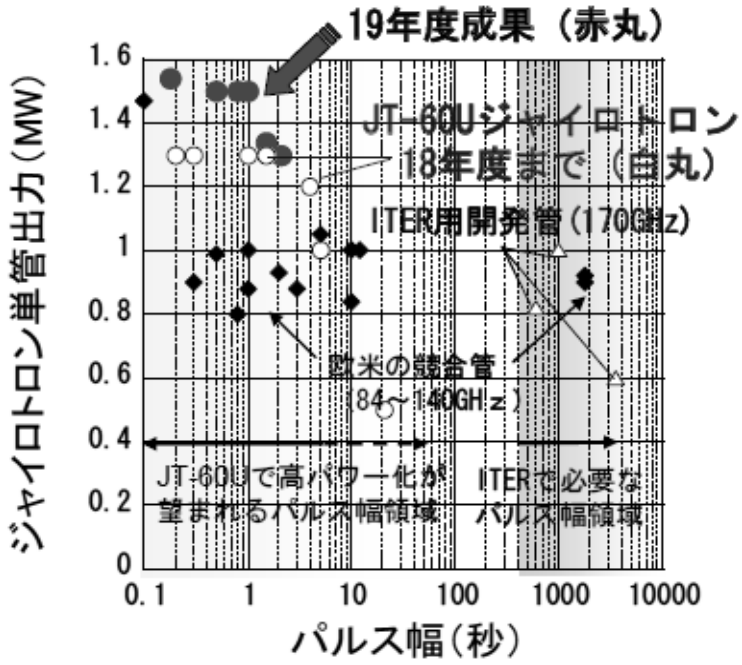
○電子サイクロトロン装置では、高電圧絶縁部の材質を変更し、ミラー駆動ベローの過熱対策を施した改良型ジャイロトロンに対して精密な発振調整を行うことにより、単管出力として世界最高の 1.5 MW（１秒間）を達成した(次頁図)。

○物理学会若手奨励賞受賞

受賞者：　相羽信行（トカマク解析グループ）

対象となる主な成果：トカマクプラズマの高精度電磁流体力学（MHD）安定性解析手法の開発と周辺プラズマへの応用

核融合研究開発部門



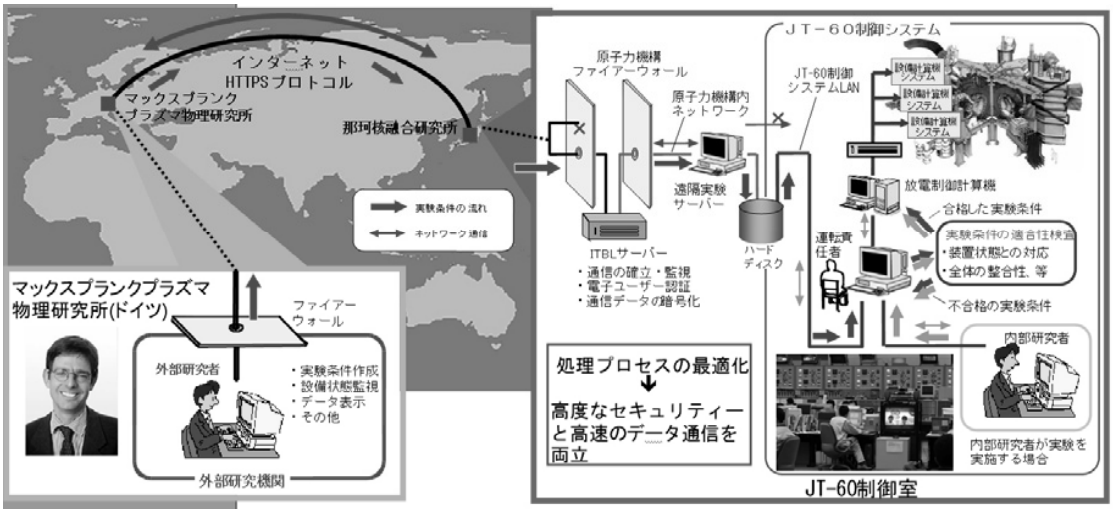
【年度計画】大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献するため、JT-60 に関する共同実験及び炉心プラズマ計測・制御技術等に関する共同研究を実施する。

○大学等の研究者との共著論文 37 編を投稿、今年度の到達目標（30 編以上）を達成した。炉心プラズマ共同企画委員会及び JT-60 実験専門部会、JT-60SA 専門部会を組織・開催した。JT-60 公募型研究については、平成 18 年度終了課題について成果報告会を開催するとともに、27 件（149 名）を実施中である。JT-60SA 専門部会は、JT-60SA に関する国内レビューの推進母体としての役割を果たしている。

＜特記事項＞

○システム計算科学センターとの協力により、高度なセキュリティー環境下でのインターネット回線を用いた遠隔実験システムを開発し、2007 年 12 月 13 日欧州マックスプランク・プラズマ物理研究所から JT-60 への遠隔実験を実施し、セキュリティと高速の通信速度を確保した遠隔実験システムの有効性を実証した。これは、遠隔地に居ながら日本の研究者とほぼ同等の環境で実験を実施できることを、初めて実証したものであり、BA 遠隔実験センターへの技術基盤となるものである。

同日、報道関係の取材があり、新聞８紙、インターネットで２件、NHK テレビでは２度に亘りニュース報道され、ドイツでもプレス発表された。



○連携大学院教官として貢献
- 筑波大学教授　：三浦幸俊
- 筑波大学助教授：藤田隆明

○客員教官として貢献
- 核融合科学研究所客員教授：徳田伸二
- 九州大学客員教授　　：清水勝宏

○アウトリーチ活動
◇欧州マックスプランク・プラズマ物理研究所からJT-60への遠隔実験（平成19年12月13日）を実施した際に、茨城県立高萩高校の見学者２３人を受入れ、生きた英語教育の一環として遠隔実験の実際を見学する場を提供すると同時に、欧州とのＴＶ会議の参加により、実体験を通した広報活動に貢献した。

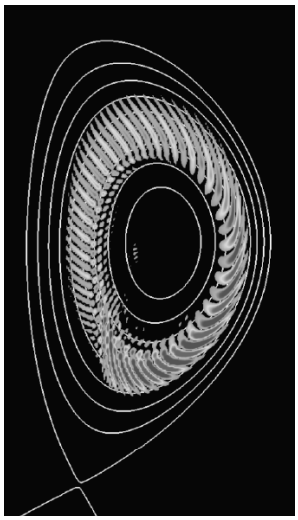


【年度計画】理論・シミュレーション研究では、従来は不可能であった変分原理およびハミルトン力学に基づいて散逸性プラズマの磁気流体的な挙動を解析する手法を開発し、公表するとともに、安定性の理論的な解析を実施する。ジャイロ運動論モデルを位相空間の連続媒質として解く高精度乱流輸送コードのスラブ（板状）配位での開発を完了し、成果を公表する。コードのスラブ配位から完全トーラス配位への拡張を進める。

○ 理論・シミュレーション研究に関する中期計画では、炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に係わる理論・計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的な指針を取得することを目標としている。この中で、平成１９年度は以下の成果を得た。

○共役変数法として知られている技法を使って、散逸性磁気流体力学系に適用できるハミルトンの変分原理及び正準摂動論を考案した。年度内に学会誌に投稿予定である。また、本手法を用いてバルーニング方程式等の MHD 安定性を記述する方程式の解析を進めた。

○スラブ配位乱流輸送コードの開発を完了し、成果を学術誌に出版した。このコードで開発した高精度計算手法のトーラス配位への拡張手法（右図）を国際会議で公表するとともに、学会誌に投稿した



トカマクイオン乱流シミュレーションで得られた線形モード構造。等高線は磁気面を示し、カラーコンターは静電ポテンシャルを示す。

核融合研究開発部門

＜特記事項＞
○文部科学大臣表彰”若手科学者賞”受賞
　受賞者：　井戸村泰宏
　対象となる主な成果：トカマクプラズマにおける電子断熱層の研究

○物理学会若手奨励賞受賞
　受賞者：　宮戸直亮
　対象となる主な成果：トカマクプラズマにおけるイオン温度勾配駆動乱流と帯状流・GAM との相互作用についてのシミュレーション研究

核融合研究開発部門

平成１９年度研究開発実績

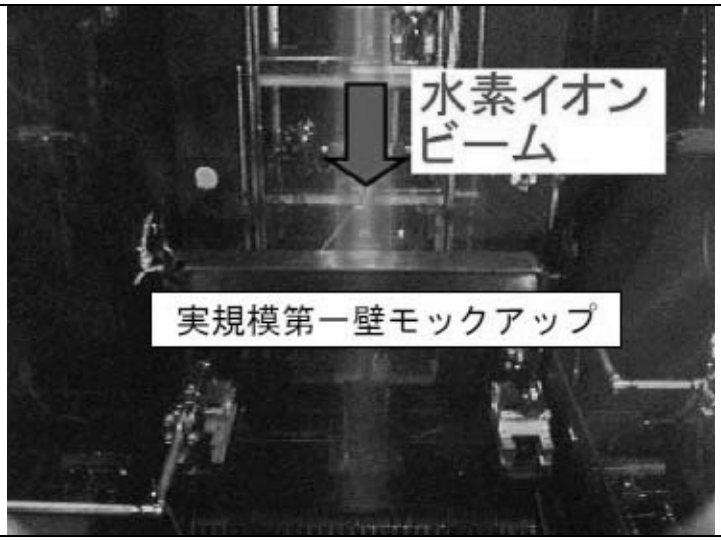
１．研究開発課題：核融合工学研究開発

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】核融合工学研究開発としては、増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画に基づき、工学規模の性能試験に着手する。ITER テスト・ブランケット・モジュールの設計で重要となる充填層構造体に関しては、部分モックアップを試作し、機械試験を完了して製作手法の妥当性を評価する。核特性研究では、ITER テスト・ブランケット・モジュールの核特性測定手法及びその評価手法の開発に着手する。
トリチウム回収技術開発では、冷却水からのトリチウム回収システム開発の基礎試験を行うとともに、ヘリウムスイープガスからのトリチウム回収システムの安全解析等を実施する。照射技術開発として、照射後試験設備整備のための調査検討を進め、スイープ照射済みキャプセルの解体装置製作を開始する。

増殖ブランケットの熱･流動･機械･核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画に基づき、工学規模の性能試験に着手した。その中で以下の成果を得た。

○充填層を構成する冷却管と薄板の溶接条件を選定し、充填層構造体の部分モックアップを試作し、金相観察および硬さ試験を実施して製作手法が妥当であることを確認した。また H18 年度に作成した実規模第一壁モックアップの高温水流動試験および常温での冷却条件で高熱負荷試験(0,7MW/m2)を実施し、伝熱流動特性や構造健全性に問題の無いことを確認した。



実規模第一壁モックアップの加熱試験

○ITER テストブランケット・モジュールの核特性測定手法として、多数放射化箔法の適用を検討し、予備実験を実施した。。

○ITER テストブランケットのトリチウム回収システムの安全解析等を実施し、ITER 機構主催のワークショップで報告した。またヘリウムスイープガス中の水蒸気からトリチウムを回収する電気化学還元法に関し、電極の改良による効率の大幅増の見通しを得た。圧力スイング吸着塔によるブランケット冷却水処理技術に関しては、吸着剤最適化に関する研究を進めた。

○JMTR 改装計画の進捗に留意しつつ、トリチウム増殖材料の照射後試験設備整備のための調査検討を進めた。また、昨年度に行った設計検討に基づき、スイープ照射済みキャプセル解体装置の切断機構部の製作を９月に開始した。。

核融合研究開発部門

＜特記事項＞
○ITER-TBM 用先進トリチウム増殖材料の創製の成果により平成１９年度核融合エネルギー奨励賞を受賞。（受賞者：星野　毅）

○固体増殖ブランケットにおける微小球充填体の熱機械挙動の解明とモデル化の成果により原子力学会核融合工学部会奨励賞を受賞。（受賞者：谷川　尚）

【年度計画】構造材料の研究開発では、米国オークリッジ国立研究所の HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、F82H 標準材に関し 15dpa レベルまで引張データを拡充する。また、テストブランケット用の薄板 HIP 接合条件の確認を行うと共に、ブローダーアプローチに係る活動として、低放射化構造材料工学の開発に関する予備的活動を進める。

○これまで 300 度 12dpa 照射データを取得し、その結果を他の結果と併せて核融合炉材料国際会議（ICFRM13）にて公表した。また 300 度 18dpa 照射データを、3 月に実施する照射後試験により取得する。

○これまでの HIP 接合においては衝撃特性の低下が課題であったが、HIP 前処理の最適化によって母材並（80%）の特性を持つ HIP 接合が可能であることを明かにした。

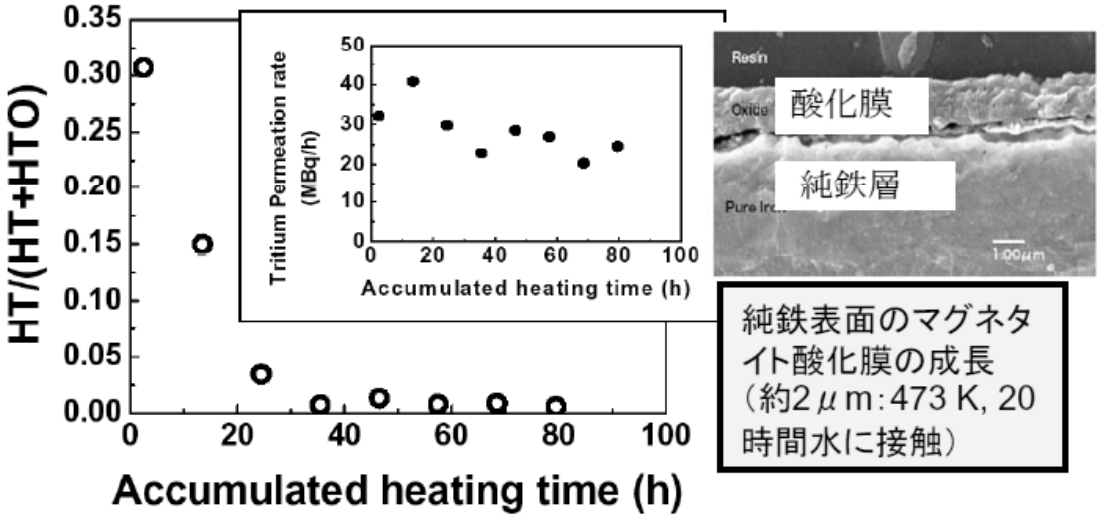
○「幅広いアプローチ」活動における予備的活動として、低放射化フェライト鋼の大型溶解にむけた第一回調査溶解、および SiC/SiC 複合材料開発で用いる標準材の評価を実施した。

＜特記事項＞
○低放射化フェライト鋼の開発の成果により、第８回国際核融合炉工学シンポジウムで宮・アブドゥ賞を受賞。（受賞者：谷川博康）

【年度計画】核融合エネルギー利用のため、真空技術、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進め、先進超伝導技術では、高温超伝導線材を使用した長尺小規模撚線を試作し、熱処理に関する課題を抽出する。

○高温超伝導線材の熱処理において、線材表面のクロムメッキが超伝導性能を低下させることを明らかにし、撚線の表面被覆に新たな方策が必要であることを示した。

○トリチウムと材料（純鉄及びタングステン等金属へのトリチウム及びトリチウム水の透過、高分子樹脂及びセラミックへのトリチウムの吸着等）の相互作用（次頁図）、トリチウムの分析（トリチウム計量ベッドの特性、ガスクロマトグラフ及び高分子膜を用いたトリチウム化学種の分別測定等）に関する基礎データを取得して、データベースを構築した。



図：純鉄を介したトリチウム透過量の変化
表面酸化膜の成長に対し、水に移行するトリチウム総量は大きく変化しないが、水素形の透過量は著しく減少することを観測。

○これまでに実施した積分実験の解析を最新の核データライブラリーで実施し、核データライブラリーの問題点を明らかにするとともに、実験データに問題がありそうな実験については再実験を行った。また、荷電粒子生成断面積測定データの総合的なまとめを行った。

○ビーム工学では、これまで取り組んできた高電子温度プラズマ中の高密度負イオン生成の成果を活かして、容易に高電子温度・高密度プラズマが得られる高周波駆動負イオン源の開発に着手した。従来、高周波によるプラズマ生成には数 Pa 以上の高いガス圧力が必要であるが、原子力機構における大型負イオン源の負イオン一様生成研究で開発されたテント型磁気フィルター配位を適用して、0.5 Pa という低いガス圧において安定なプラズマ生成を実現した。

○高周波工学では、原型炉等で必須となる周波数可変型ジャイロトロンの開発の一環として、ジャイロトロンに印加する磁場の高速可変制御を行った。その結果、0.04T／１秒の高速制御に成功した。これは１秒あたり１GHz の周波数変更に対応し、プラズマ対向ミラー無しの加熱システムの構築に見通しを与えた。

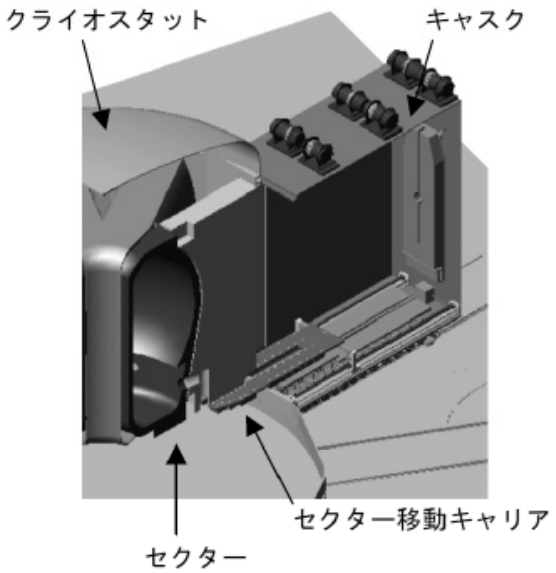
＜特記事項＞
○荷電粒子生成断面積測定の成果により、原子力学核融合工学部会奨励賞、同核データ部会奨励賞を受賞。（受賞者：近藤恵太郎）

○外部資金として、科研費特定領域「核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開」を獲得した。

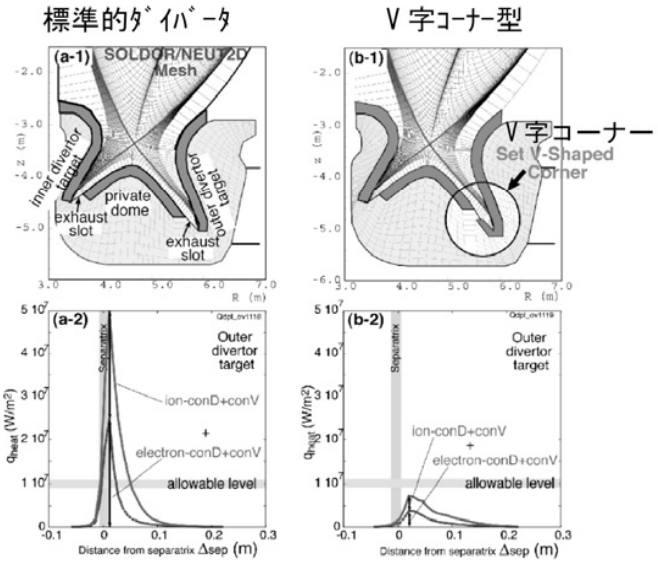
【年度計画】炉システムの研究では、低アスペクト比原型炉の保守概念を中心とした検討を進め、その技術課題を摘出する。

○保守概念については、稼働率向上の観点で望ましいセクター保守概念を具体化した。既存技術またはその延長技術を利用して、約 600 トンの重量を持つセクターの移動・脱着、セクター搬送用キャスク、およびホットセルの基本概念を決定し、学会で報告した。（次頁左図）

○低アスペクト比原型炉を実現する上で不可欠なプラズマ高ベータ化およびダ　　イバータ除熱に見通しをつけるため、数値解析に着手した。原型炉の厳しいダイバータ除熱条件を満たす方式として V 字コーナー型ダイバータに展望があることを示す初期結果を得た。（次頁右図）



図．低アスペクト比原型炉の保守概念図



図．V字コーナーによるダイバータ外脚での熱負荷の低減

核融合研究開発部門

平成２０年度研究開発実績

１．研究開発課題：国際熱核融合実験炉（ＩＴＥＲ）計画

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定（ITER 協定）」に基づき、ITER 計画における我が国の国内機関として、「ITER 国際核融合エネルギー機構（ITER 機構）」を支援し、トロイダル磁場コイル導体の製作を継続し、コイル巻線とコイル構造物の製作設計等に着手する。調達作業に必要な品質保証活動と文書管理等を実施する。ITER 機構にリエゾンを派遣して ITER 機構の行う設計作業を支援するとともに、ダイバータ等の調達準備作業を実施し、技術仕様の確定に反映する。調達機器の製作については、産業界との連携が不可欠であり、その強化を図る。ITER 計画に対する我が国の人材提供の窓口、ITER 機構からの業務委託の連絡窓口としての役割を果たす。

○ ITER 機構が提示した ITER 建設開始時のスケジュールに従って機器を調達することを目的として日本が分担した 74 件の ITER 移行措置活動（ITA）タスクのうち、73 件は完了または最終報告書を ITER 国際核融合エネルギー機構（以下「ITER 機構」という。）に提出済み。残り 1 件（ダイバータのモックアップ評価試験）についても報告書を近々提出する見通しである。ITA から建設段階へ移行したことを踏まえ、ITER 機構が実施する設計レビューに伴う要請への対応と調達技術仕様の最終化のために各極の国内機関が分担することなった ITER タスクについては、完了または報告書提出済みが 7 件、実施中が 9 件、締結手続き中が 3 件となっている。この他、ITER 機構からの受託研究（有償タスク）については、１件が報告書を提出済み、９件が実施中、２件が取り決めの手続き中である。

○ 前年度に引き続き、日本国内での ITER 機構の職員公募の事務手続きを支援し、平成 20 年度には、日本人専門職員１人の減員があったが、5 人が新たに着任し、合計 19 人となった（うち、シニア級以上は、プロジェクトオフィス・ヘッド１人、監査室・内部監査役１人、機構長オフィス・ヘッド１人、ITER 理事会秘書室長１人、トカマク部/真空容器ディビジョン・ヘッド１人、核融合科学・物理部/プラズマ物理・チーフ科学官１人、中心技術・プラント支援部/燃料供給設備・セクション・リーダー１人、核融合科学・物理部/プラズマ物理・科学官１人、安全・保安部/品質保証・上級技術官１人の合計 9 人）。さらに採用内定者２人が平成 21 年４月に着任予定である。また、支援職員については、すでに４人が採用されており、新たに採用内定となった２人が平成 21 年４月に着任予定である。

○ 上記 ITER 機構直接雇用職員の他に、ITER 機構へ約 30 人・月の人員派遣を行い、また ITER 機構が実施する設計レビュー、統合調達工程の調整会合をはじめ各種技術会合に国内チーム員等を平成 20 年 1 月 16 日時点までに延べ 398 人参加させた。さらに、ITER 理事会、運営諮問委員会及び科学技術諮問委員会に出席し、ITER 計画の方針決定等に参画・貢献した（ITER 理事会：委員１名,専門家３名参加、運営諮問委員会：委員１名,専門家２名参加、科学技術諮問委員会：専門家３名参加）。

○ ITER 機構が研究機関及び企業に対して募集した１件の研究委託及び 19 件の業務委託について、それぞれ国内向けに情報を発信し、16 社からの応募書類を ITER 機構に提出し、２社が ITER 機構と交渉中である。

○ 国内機関としての品質保証計画書及び品質保証関連文書（管理基準文書、管理要領書等）に基づいて、調達の遂行に必要な品質保証活動を実施した。

○ 国民の理解をより深めるため、ITER の建設に関する情報の積極的な公開・発信を行った。
ーITER 計画の理解促進を目的に ITER 計画説明会及び報告会を新たに企画し、ITER 計画の概要と現況、日本が調達する機器（超伝導コイル、加熱機器、他）等の情報発信を行った（計４回、北海道大学、大阪、

名古屋、茨城大学)。

－学会等において、ITER 機器の製作等に関する３６件（核融合エネルギー連合講演会１３件、低温工学・超伝導学会１１件、プラズマ核融合学会６件、保全学会２件、計測自動制御学会２件、高崎量子応用研究シンポジウム２件）の報告を行う等、広く情報提供を行った。

－プラズマ核融合学会誌へ隔月で定期的・継続的に ITER 関連最新情報を掲載。

－日本原子力産業協会の協力のもと、ITER 関連企業説明会を 4 回開催し、ITER 計画の状況と調達計画、TF コイルの調達取り決め等について報告し、意見交換を行った（のべ 101 社が参加）

－ ITER 機構職員公募の説明会を新たに企画し、国内外で説明会を実施（１月末現在計 16 回、内フランス２回）するとともに、より効果的・効率的な情報提供のために新たに登録制度を発足・運営している（１月現在 91 名が登録)。

－原子力機構のホームページによる情報発信を行った。

○ ITER 協定の国内機関として実施した調達及び調達準備の代表的な成果を以下に示す。

１．超伝導コイル

① TF コイル導体の調達

我が国が分担する TF コイル用導体の調達では、昨年度末に、世界に先駆けて、TF コイル 2 個分の Nb_3Sn 素線の製作（2 件)、Nb_3Sn 撚線の製作（1 件)、及び超伝導コイル用導体の製作（1 件）の合計 4 件の契約を行った。今年度はこれらの受注者と品質保証計画や作業計画を纏めるとともに製作に着手し、Nb_3Sn 素線製作では、平成 21 年 1 月に最初の納入（素線 24ｋｍ分）が行われた。撚線製作では、銅線や超伝導線を用いた撚線試作を実施し、平成 21 年度に実施する実機撚線製作に向けた準備を進めた。超伝導コイル用導体の製作では、延長距離約 1km の製作工場や治具の詳細設計を完了し、平成 21 年 1 月には冶具の製作を開始するとともに工場建設に着手し、予定通りの進捗を得た。超伝導コイル用導体は ITER 参加極の内 6 極が分担するが、製作設備の準備を開始したのは我が国が最初であり、ITER の建設計画を牽引する貴重な進展である。

② TF コイル巻線の技術検証

TF コイル巻線の主要な製作工程の一部である「ラジアルプレートにカバープレートを溶接する工程」に関して、長さ約 1m のラジアルプレート部分モデルに、機械加工で製作したカバープレートを溶接する試作試験を実施し、溶接後の面外変形の要求値である 2㎜を満足できることを実証した。さらに、曲線部カバープレートの製作では 3 点曲げを用いた試作を進め、カバープレートの幅方向の要求公差±0.2㎜を達成できる見通しを得、機械加工の工数を低減することで製作合理化に目処を付けた。これらの試作作業を通して、調達開始に必要な技術検証が終了し、調達の第一歩となる詳細設計と実規模試作段階へ移行する準備を整えた（④参照)。

③ TF コイル構造物の技術検証

ドイツの鉄鋼メーカーと高窒素を含有する 316LN 鋼の鍛鋼品の試作を実施し、原子力機構において本材料の液体ヘリウム温度（4K）における引張特性を評価し、ITER で要求される特性を満足することを確認した。これにより、国内メーカーに加え、外国からも 316LN 鋼の鍛鋼品の調達が可能となり、実機製作のための量産に目処を付けた。さらに、実機 TF コイル容器と同じ断面寸法を有する長さ 1m のモックアップを試作し、狭開先 TIG 溶接後の変形に関するデータを取得するとともに、放射線透過試験により溶接部の健全性を確認した。これらの作業を通して、調達開始に必要な技術検証が終了し、調達の第一歩となる詳細設計と実規模試作段階へ移行する準備を整えた（④参照)。

④ TF コイルの調達

我が国が分担する 9 個の TF コイルの調達は、「TF コイル調達取決め」（TF コイル巻線製作と TF コイル容器との一体化作業)、及び「TF コイル構造物調達取決め」（TF コイル容器の製作）の二つの調達取決めに基づいて実施される。原子力機構は、ITER 機構に協力して、これらの調達取決めの本文（一般条項)、附属書 A（管理仕様)、及び附属書 B（技術仕様）を作成した。平成 20 年 11 月 19 日には ITER 機構との間でこれら二つの調達取決めを締結し、ITER 計画の順調な進展を内外に示した。また、これと並行して、TF コイル及び構造物の調達に関する技術仕様について産業界の意見聴取（公示による意見招請）を実施した。原子力機構は、TF コイルの製作に関して、巻線、構造物、それらの一体化を一括発注による製作とするこ

とを検討しており、産業界からも同様な意見が寄せられたため、上記二つの調達取決めに定められた調達を一つの契約に纏めて実施することとし、その第一段となる「TF コイルの詳細製作設計及び実規模試作」（詳細製作設計、製作治具の設計･製作、実規模での技術検証を実施）について、平成 20 年 12 月 12 日に入札公告を行った。これにより本年 2 月末に契約を締結し、平成 21 年度から TF コイル調達実施に向けた本格的な準備作業を産業界と原子力機構が一体となって実施する準備を整えた。

⑤ PF インサート・コイル試験

ITER 機構、欧州、原子力機構の 3 者で締結した契約に基づき、欧州が製作した NbTi 製超伝導コイル(PF インサート・コイル)の試験を那珂核融合研の超伝導コイル試験装置で行った。本試験は ITER 機構がポロイダル磁場 (PF) コイル用 NbTi 導体の技術仕様を確認するために非常に重要な試験であり、試験には ITER 機構のほか、欧州、ロシア及び米国の研究者も参加した。

平成 20 年 1 月に試験装置へのコイル据え付けを行い(図１)、5 月には冷却ヘリウムガスを循環させて徐々に温度を下げる冷凍を開始し、6 月には温度が約 9K に到達しコイルは超伝導状態となった。その後行った通電試験では(図２)、ITER の PF コイル用導体で必要な性能である磁場 6.4 T、温度 4.5 K において 52kA の大電流通電に成功した。さらに、NbTi 導体の超伝導特性を詳細に把握するために、分流開始温度（超伝導状態を維持できる最高の温度）の測定を行った。その結果、磁場 6.4 T、電流 52kA において、6 K まで超伝導状態を維持できることを確認した。さらに、異なる磁場及び温度で測定を行い、これらの結果、分流開始温度の測定結果は、導体を構成する約 1,000 本の NbTi 超伝導素線の性能から予想されるものと一致することが示され(図３)、PF コイル用導体の設計の妥当性が確認さた。本成果により欧州、ロシア及び中国による PF コイル用導体の調達開始が可能となり、日本が直接に調達分担しない機器ではあるものの、ITER 計画に重要な貢献を行なった。



図 1. PF インサート・コイルの据付状況
（平成 20 年 1 月）



図 2. 那珂研究所での試験状況
試験には ITER 機構、欧州、ロシア、米国からの研究者延べ 21 人が参加（2008 年 6 月）

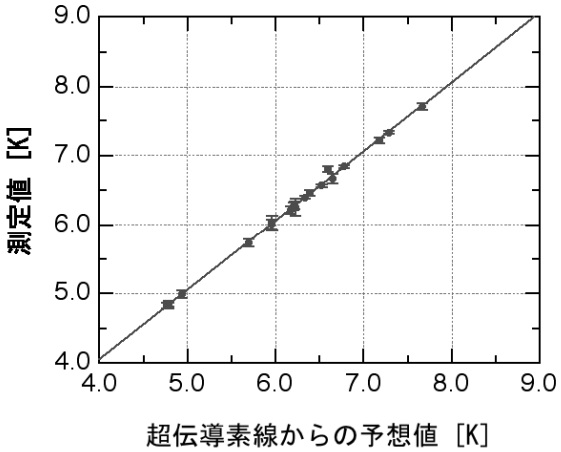


図 3. 分流開始温度の測定結果と予想値。
これらは一致し、設計の妥当性を確認

２．ブランケット遠隔保守機器

ブランケット遠隔保守機器の技術仕様を確定するため、今年度は以下の作業を実施した。

- 昨年度に製作した保守ロボットアーム走行用レール敷設装置の実規模部分モデルを用い、ブランケット遠隔保守における一連の手順の中で最も難易度の高い分割レールの遠隔接続に関する基礎試験を実施して、基本的な設計概念の実現性を確認すると共に構造上の改善点を明らかにした。
- 同じく昨年度製作した多芯複合ケーブル(動力線と信号線を撚り合わせたケーブル、ケーブル数の合計は300)移動時のハンドリング実証のための実規模部分モデルを用い、ケーブル巻き取り部分のコンパクトな設計に不可欠なスリップリングが、懸念されたようなノイズをケーブルの信号系に与えないことを確認した。
- 保守ロボットアームの制御に必要不可欠な計装アンプについて、高崎量子応用研究所のガンマ線照射施設を用いて、ITER保守作業時と同様の放射線環境下での照射試験を行い、ITERでの使用に耐えうる計装アンプの選定を行った。
- ITER建設時において、ブランケットの真空容器への取り付け作業に保守ロボットアームを使用することを想定し、作業時間の評価を行った。その結果、所定の期間内に取り付けを終えるための条件を明確にした。
- ブランケット遠隔保守機器の真空容器-ホットセル間の搬送に用いるキャスクとのインターフェイスに係る設計条件を明らかにし、ITER機構を通じてキャスクの調達担当国である中国に提示した。また、キャスクの設計に係る関係参加極会議に参加し、相互の調達を円滑にするための協議を行った。

３．EC（電子サイクロトロン加熱電流駆動装置）開発

- 核燃焼プラズマの加熱・プラズマ電流維持・安定化制御法として期待される電子サイクロトロン共鳴加熱に関し、そのシステムの心臓部である170GHz帯大電力高周波発振器（ジャイロトロン）の開発において、前年度にITER の目標性能（出力１MW、パルス幅500 秒、効率50%）を達成したところであるが、引き続き単機性能試験を継続し、出力0.8MW、パルス幅１時間、効率56%の安定発振の実証、合計出力エネルギー200ギガジュールの達成等、ジャイロトロンの高い信頼性を実証し、ITERへの適用をさらに確実なものとした。また、ITER機構の要請に基づき、ITERで想定されるパルス幅400秒の発振を30分毎に繰り返す運転モードの試験を行い、このモードが可能であることを実証した。これらの成果は、ITERの運転計画の検討に寄与するものである。これら一連のジャイロトロンの成果を中心とするITER用高周波加熱機器の開発に対し、平成２０年度の文部科学大臣表彰（科学技術賞研究部門）を受賞した。

４．NBI（中性粒子入射装置）開発

- ITER機構の要請を受けて、ITER NBI用加速器の２つのコンセプト(図４)である、単段単孔方式(SINGAP、EU が最近提案を行っている方式）と多段多孔方式（MAMuG、原子力機構が従来から開発を行ってきた方式）の比較試験を原子力機構の試験装置を用いて実施し、高電圧保持と電子加速抑制性能においてMAMuG方式の優位性を明らかにした。この結果を受けてITER機構は、MAMuG加速器をベースライン設計に採用することを決定した。この成果は、原子力機構の高い技術を示すものである。
- その後、MAMuG 加速器の長パルス試験を開始し、冷却なしの短パルス用電極を装備した加速器ながら、550 keV、131 mA (57 A/m^2)、５秒間の負イオンビーム加速に成功した。
- 真空中に設置されるイオン源と加速器に電力を供給する高電圧ブッシング（EUからの要請を受けて、我が国が分担調達する予定）について、3 次元電界解析に基づく設計を開始すると共に、セラミックと金属フランジをつなぐ封着金属である大判・肉厚コバール板の調達とろう付け試作を進めた。
- EU からの要請を受けて、日欧が調達を分担するNBI 電源について、日欧及びITER 機構で共同設計作業を進め、詳細機能仕様及び取合い部設計を推進した。

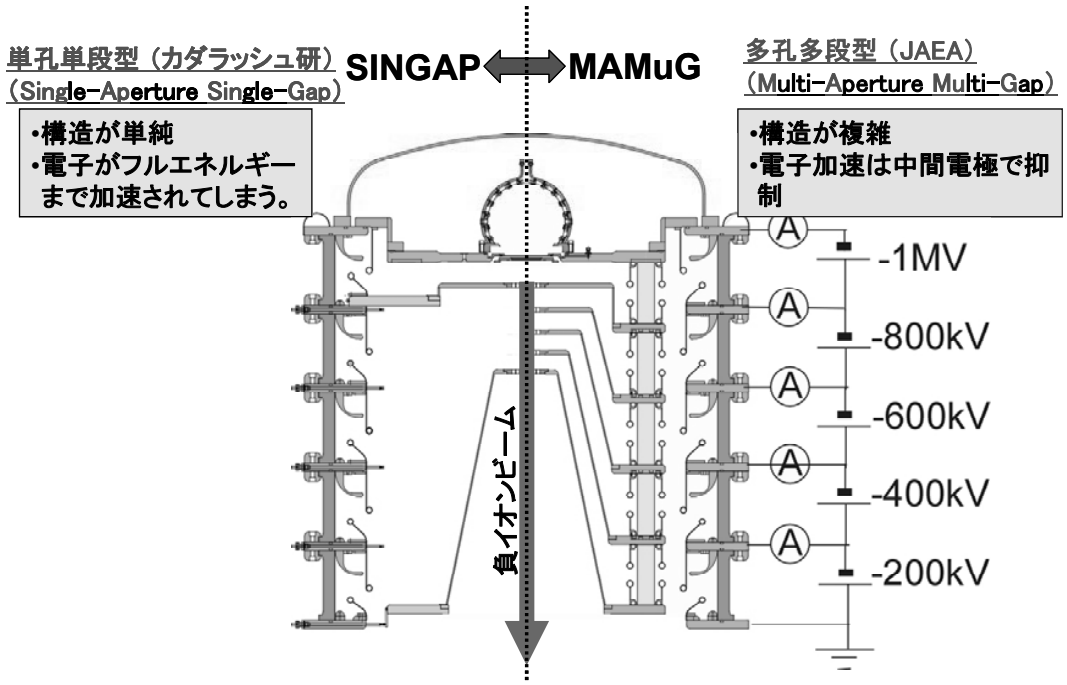


図 4. SINGAP(左)及び MAMuG(右)加速器の断面図。
SINGAP は MAMuG から中間加速電極を取り除いた単純な構造であり、中間電極による電子加速抑制が働かない。

5．計測装置

- 周辺トムソン散乱計測装置では、YAGレーザー増幅器の試作試験を進め、ITERで必要なYAGレーザーロッド１本当たりの抽出エネルギー（1.6J）を上回る1.76Jを達成し、増幅器の開発に見通しを得た。
- ダイバータ不純物モニターでは、試作した光学機器を組み合わせて実機規模での光学性能の評価を行い、課題の抽出とその対策を検討した。
- マイクロフィッションチェンバーでは、他の真空容器内機器の設計変更に伴う取り合いの調整を行うとともに、モンテカルロコードを用いてストリーミング中性子が計測に与える影響を評価した。
- ポロイダル偏光計では、遠赤外レーザーの設計と試作試験の準備を完了するとともに、真空容器内光学機器の設計を進めた。

6．遮蔽ブランケット

- 第一壁の調達に先立ち、ITER機構との間で、調達極の製作技術を確認する評価試験のための協定を締結し、これに基づいて、1 体目の第一壁評価試験用モックアップの製作と試験地（米国サンディア国立研究所）への輸送及び試験開始準備を完了した。また、２ 体目のモックアップの製作に着手した。
- ITER機構に研究者を派遣し、遮蔽ブランケットの設計・解析作業をITER機構と連携して進めた。また、真空容器内機器全体を含む電磁力評価を行い、他極との解析結果の精度評価を開始した。

7．ダイバータ

- ダイバータ実機の調達に先立ち、調達分担する参加極（日欧露）の製作技術を ITER 機構が確認・評価する目的で実施する製作能力評価試験に向けて、図５に示すダイバータ評価試験体の製作を完了すると共に、高熱負荷試験をエフレモフ研究所にて実施した。その結果、我が国が製作したダイバータ評価試験体が、他極に先駆けて、ITER ダイバータの設計熱負荷に対して十分な耐久性を有することが確認され、我が国の国内機関が今後のダイバータ調達を遂行する技術的能力を有するとの認定を ITER 機構から受けた。さらに、2 体目の試験体も製作を完了し、エフレモフ研究所で信頼性データ取得のための熱負荷

試験を開始した。

・ 実機調達に向けて、調達取り決めの内容について検討を進めた。

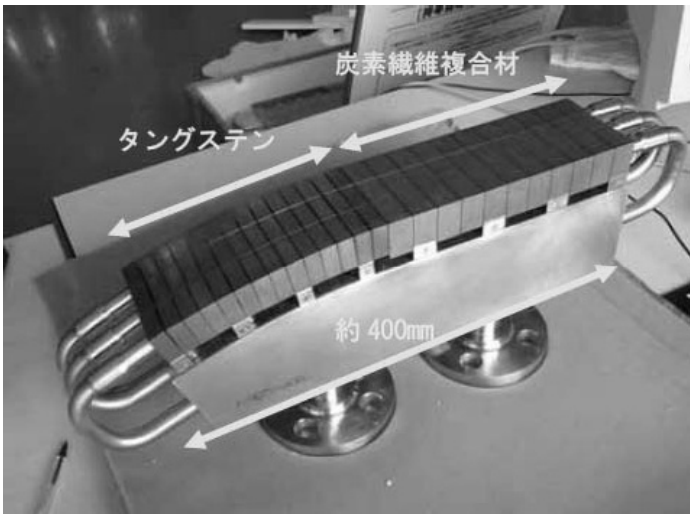


図 5. 完成したダイバータ評価試験体

8．トリチウムシステム

・ ITER 機構に協力し、ITER トリチウム除去システム（DS）の設計を行った。DS にスクラバー塔を採用する設計変更が行われたため、ITER 機構の SRD(System Requirement Document)の作成援助、システムのコスト再評価を行った。また DS の HAZOP（Hazard & Operability）解析作業に着手した。

・ ITER 機構からの受託研究として、タングステンにおけるブリスタリングによる重水素保持量評価を行った。図6に示すように、照射温度の増加に伴い保持量も増加し、530K で最大の保持量となり、その後減少することを明らかにした。

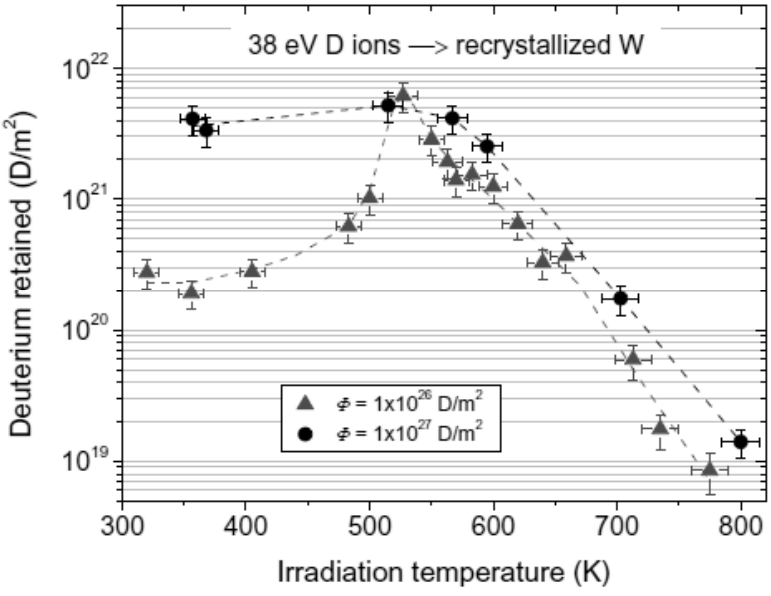


図 6. 再結晶タングステンにおける重水素保持量に対する温度の影響
（38 eV D ions at ion flux of 10^{22} D/m^{2}s to fluences of 10^{26} and 10^{27} D/m^2）

＜特記事項＞

○ 我が国が調達を分担するTFコイル巻線・構造物の調達取決めについて、原子力機構内の関係部等の協力を得て最終案を取りまとめ、平成20年11月19日の第三回ITER理事会の場で、ITER機構と調達取決めを締結した。TFコイルは、ITER主要機器のうちで最大規模のものであり、この締結により建設が大きく進展したことを、内外に示した。

○ ITER機構及びEUからの受託研究「PFインサート・コイル試験」の性能試験を　完了し、ITERポロイダル磁場コイル用の導体が要求性能を満足することを確認した。これにより、ポロイダル磁場コイルの製作を開始できることを明示した。

○ 高周波加熱用ジャイロトロンでの0.8MWでの定常発振（1時間動作）に成功した。ITERの1日分の運転パターンを模擬した運転を行い、連続繰返し運転が可能である事を実証し、ITERへの適用に見通しを得た。

○「ニオブチタン超伝導導体で大電流化への課題を解決」（PFインサート・コイル試験）についてプレス発表（平成20年9月）

【年度計画】「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定（BA 協定）」の各プロジェクトの作業計画に基づいて、実施機関としての活動を行う。六ヶ所 BA サイトの整備を進める。国際核融合エネルギー研究センターに関する活動として、原型炉の設計指針・制約の検討に着手するとともに、低放射化構造材料等に関する予備的な技術開発を実施する。核融合計算機シミュレーションセンターの計算機選定に必要な検討に着手する。国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動に関しては、設計統合等の作業の本格化を支援し、加速器関連機器等の設計、製作等に着手する。サテライトトカマクに係る研究活動として、日本分担機器の詳細設計を行うとともに、サテライトトカマク整備に向けた機器・施設の整備・維持等の活動を行う。

○国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）に関する活動

・専門家1人（事業長）を事業チームに派遣するとともに、支援要員12人年を提供した。

・ 原型炉設計については、原型炉設計活動に関する技術コーディネーター会合において、共通設計課題及び定常・準定常運転における利害得失の検討を実施した。また、第3回原型炉設計研究開発ワークショップへ研究開発関係者7名を参加させ、平成19年の成果、平成20年の進捗状況及び平成21年の具体的な作業計画等を報告した。

・ 原型炉のR&D課題に関してはSiC/SiC複合材、低放射化ブランケット構造材料、トリチウム技術、先進増殖材及び先進中性子増倍材に関するR&D課題について、12月に事業長の了解の下、欧州側実施機関と調達取決めを締結し、作業等に着手した。また、六カ所に新たに設置する多目的RI設備の設計を進めた。

・核融合計算機シミュレーションセンター事業については、計算機の選定等に係る特別作業グループ（SWG-1）に委員4人を派遣し、検討を開始し、ベンチマークコードの選定を終えた。また、計算機建屋のための冷却設備について日欧の協議を行うため、計算機との取り合いを考慮した冷却システムの構成、コスト等について調査を開始した。

・各々活動内容の詳細と主な成果を以下に記載する。

(1) 原型炉の概念設計活動

・現在進行中のPhase Oneの活動方針に沿って、ワークショップ及び技術会合形式により、EUと炉概念、炉設計課題など原型炉設計全般にわたって意見交換を実施した。その結果、原型炉の定常運転・パルス運転の比較検討から議論を始める必要があるという結論を得た。

▪ 原型炉設計の指針・制約を明らかにすべく、国内研究機関、大学及び産業界の専門家と連携し、以下の原型炉設計課題、即ち、物理設計ではプラズマ形状因子（アスペクト比、楕円度、三角度）間の相関の分析、工学設計では超伝導コイルの高磁場化のためNb3Al導体を用いる場合の設計方法論の検討、様々な保守方式の利点、問題点、課題、システム設計に関わる制約についての整理、システム設計では定常炉及びパル

ス炉の比較検討などの作業を開始した。

(2) **原型炉の研究開発活動**

- SiC/SiC 複合材：破損強度評価のための試験法の選定、六ヶ所原型炉 R&D 棟に設置予定の試験装置の準備、共通材料の試作を行った。また、照射下電気抵抗その場測定のための試験片ホルダーを設計した。特に、関連する予備的 R&D を大学との共同研究にて開始した。
- トリチウム技術：六ヶ所に新たに設置する多目的 RI 設備の製作に向け、トリチウム除去設備の詳細設計、許認可に向けた安全解析作業を行った。また六ヶ所建設チームと、建家側と RI 取扱い設備のインターフェイス（電気容量、機器配置、ユーティリティ等）を調整した。
- DEMO ブランケット用材料工学（低放射化フェライト鋼）：溶接技術最適化、照射効果予測技術開発にむけた予備的 R&D を大学との共同研究等にて開始した。さらに、六ヶ所原型炉 R&D 棟に設置予定の試験装置の準備を行った。
- DEMO ブランケット用材料工学（低放射化フェライト鋼）：溶接技術最適化、照射効果予測技術開発にむけた予備的 R&D を大学との共同研究等にて開始した。さらに、六ヶ所原型炉 R&D 棟に設置予定の試験装置の準備を行った。
- DEMO ブランケット用先進中性子増倍材：六ヶ所「原型炉 R&D 棟」に整備予定のベリリウムの取扱施設（ベリリウム製造施設室）に関する詳細設計を行うとともに、製造試験及び特性評価のための装置の検討を行った。また、ベリリウム等の特定化学物質の取扱施設に関して労働基準監督署への届出書類の準備を実施した。
- DEMO ブランケット用先進増殖材：六ヶ所の原型炉 R&D 棟に整備予定の先進トリチウム増殖材料の研究開発用設備に関する詳細設計を行うとともに、製造試験及び特性評価のための装置の検討を行った。

(3)計算機シミュレーションセンター（CSC）

計算機調達とベンチマークコード選定のための特別作業グループ（SWG-1）会合が欧州ジュネーブおよびローザンヌで開催され(2008 年 10 月 18 日、20, 21 日)、ベンチマークコードの選定を行った(委員４人が出席)。その会合で、日本側から提案した 3 本のベンチマークコード（乱流輸送シミュレーションコード等）がすべて採択された。今後、計算機の仕様策定において日本側の要求を実現する上で重要な成果である。

なお、ベンチマークコードの選定に当たっては、核融合科学研究所(NIFS)および大学の協力を得てオールジャパン体制で臨んだ。すなわち、核融合ネットワーク、核融合エネルギーファーラム等を通じて、情報の周知に努めるとともに、ベンチマークコード候補の調査および選定のためのデータベースの整備を行った。さらに会合（核融合エネルギーフォーラム・モデリング・シミュレーションサブクラスター会合）を開催して（2008 年 7 月 31 日)、同会合の参加者からの了解を得て、SWG-1 の委員が日本側から提案するベンチマークコードを選定した。また、SWG-1 会合の結果は核融合エネルギーフォーラム（同サブクラスター）で報告している（2008 年 12 月 12 日)。

CSC に関する第５回技術会合において昨年度策定を開始した貢献分担の確認協議を行った（2008 年 11 月 4 日、5 日)。その結果、計算機建屋のための冷却設備の分担については、日欧の協議を行うこととし、計算機との取り合いを考慮した冷却システムの構成、コスト等について調査を開始した。

CSC は六ヶ所村に建設されるため、国内および欧州から利用する場合、ネットワークを通じての遠隔利用が主要な利用形態の一つになる。遠隔利用に関する整備を日欧で検討するため、ネットワークのデータ転送試験を開始した。これらの試験結果はCSC計算機の技術要件の検討に資するためSWG-1に報告されることになっている。

○国際核融合炉材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）

- 専門家３人を事業チームに派遣するとともに、支援要員４人を事業チームに提供した。
- ターゲット系では、調達取り決めの締結に向けて事業チーム、欧州貢献研究機関との協議・調整を進めるのに並行して、リチウム試験ループの建設等の作業着手に必要な契約手続き、設計検討、大学との共同研究等を進めた。
- 加速器系では、制御システムや高周波結合系の調達取決め案を作成し、締結に向けて事業長、欧州貢献研究機関との調整を進めた。また、加速器施設の安全性、取り合いに関する欧州との協議、調整を進めた。

・ テストセル系活動では、調達取り決めの締結に向けての事業チーム、欧州貢献研究機関との協議・調整、並行して作業着手に必要な契約手続き、設計検討、大学との共同研究等を進めた。
・ 各系の活動内容や成果の詳細を以下に示す。

(1)ターゲット系活動

EVEDA リチウム試験ループの発注仕様確定の為、基本設計を実施し、リチウム試験ループの全体構成・リチウム量・必要電力等の主要な仕様を明らかにした。EVEDA リチウム試験ループの全体構成を、図 1 に示す。リチウムループの設計、建設及び運転に関する調達取決めについて、欧州側実施機関との調整を終え、日本側及び事業長の署名が完了して欧州側実施機関の署名待ちとなっている。リチウム試験ループ製作の契約は、平成 21 年 2 月中に完了の予定である。遠隔操作実証タスクでは、交換可能なターゲット背面壁開発のためのリップシール溶接部の評価を行い、溶接影響の少ないファイバーレーザーによる溶接試験片製作の準備を進めた。大学との共同研究により、計測系タスクでは自由表面流計測の精度向上のための計測器や計測ポートの検討、純化系タスクでは窒素およびトリチウム制御特性評価のための循環試験装置の検討を実施した。工学設計では、汎用熱構造解析コード(ABAQUS)により、ターゲット背面壁の熱応力評価を行い、熱応力低減のため、装置運転開始時の温度制御が必要なことを明らかにした。

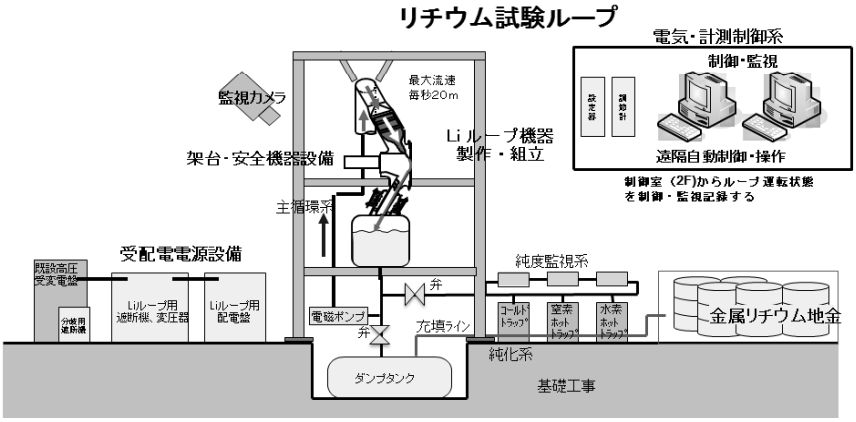


図 1.　EVEDA リチウム試験ループの全体構成

(2)加速器系活動

EVEDA プロトタイプ加速器の高周波四重極加速器（RFQ）の RF 結合系の開発では、MW-Studio コードにより RF 結合系全体の高周波設計を行い、運転周波数 175MHz として反射率 1%以下を満たす周波数帯域が±15MHz 程度以上得られ、更に RF 損失が 1kW 程度以下となることを明らかにした。また原子力機構で実施する、RFQ テストモジュールにループアンテナを挿入した場合の反射率や結合度の測定等を行う低電力試験、また、高 Q 負荷回路を用いた高周波窓の耐電力試験、RF 結合系全体の耐電力試験を行う高電力試験を計画して、事業チーム、欧州貢献研究機関と協議の上、調達取決めをまとめた。制御系は昨年度の概念設計をベースに、制御システムを中央制御(CCS 及び LAN)、人員保護システム（PPS)、機器保護システム（MPS)、タイミングシステム（TS)、及び、ローカル制御（LCS）の 6 サブシステムからなる基本構成とした。この制御システム構成に基づいて、事業チーム、欧州貢献研究機関と協議の上、調達取決めをまとめた。各サブシステムの要求性能、及び、安全系の主要信号の選定等については、欧州担当者と連絡を密にとり調整を進めた。また、制御システム開発環境整備として、制御信号をモニタする計測機器、サーバ等の計算機の選定を行った。

加速器施設の安全性については、事業チーム、欧州貢献研究機関との間で第 1 回安全ワーキンググループ会合を原子力機構（原子力科学研究所）で開催し、J-PARC の安全管理体制と日本の放射線障害防止法等など、関連する規定、規則を紹介し、ライセンス取得に向けての機構内、国内手続きについて協議、検討を行った。また、欧州側の装置・機器と加速器施設との取り合いに関して、第 1 回インターフェース会合を六ヶ所サイトで開催し、装置・機器の配置、容量、干渉、接地手法、アライメント手法等について事業チーム、欧州貢献研究機関との協議、調整を行った。

(3)テストセル系活動

日本側のタスクである微小試験片試験技術の開発、高中性子束テストモジュール（HFTM）の開発、及び照射後試験施設の設計に関し、事業チーム、欧州貢献研究機関と調達取り決めの締結に向けて協議、調整を進めた。微小試験片試験技術の開発及びHFTMの開発では大学との共同研究を開始し、前者では微小試験片用破壊靭性と疲労に関する試験技術と試験法の国際標準化に向けた検討等を行った。後者では、高温照射条件で使用できるテストモジュールの設計のために、最新のHFTM設計概念の評価及びそのHFTMが使用されるテストセル環境での他の機器との取り合いに関する適合性の評価等を実施した。また、照射後試験施設の設計では、原型炉用のデータ取得のために必要とされる微小試験片試験が、効率良く実施できるよう、放射能に依存する取扱い物質に関する分類の評価やHFTM照射リグと微小試験片等の取扱い作業工程の評価等を行った。

○六ケ所BA活動支援

・ IFERC、IFMIF/EVEDA建屋建設工事を継続した。
・ 六ヶ所サイトの整備について、サイトに建設する研究施設等に必要なユーティリティーについて施設の建設工事を継続し、その確保に必要な諸手続の支援を行った。
・拠点活動支援として、欧州から事業チームに派遣されている研究者の滞在支援、地元をはじめ国民の理解をより深めるための広報活動等を継続した。
・活動内容や成果の詳細を以下に示す。

(1)IFERC、IFMIF/EVEDA建屋建設

・IFERC関連建屋及びIFMIF/EVEDA開発試験棟及びその附属設備について、欧州側実施機関と締結した実施設計及び建屋建設に関する調達取決めに基づき、それぞれの建屋の工事を継続した。平成20年12月末時点での進捗率は、管理研究棟69%、計算機・遠隔実験棟49%、原型炉Ｒ＆Ｄ棟29%及び、IFMIF/EVEDA開発試験棟18%である（図２参照）。このうち管理研究棟については平成20年度内に当初計画通り竣工予定である。



図2. 六ヶ所BAサイト近況（平成21年1月19日撮影）

(2)サイト整備、拠点活動支援

・六ヶ所サイトの整備については、研究施設に必要なユーティリティー施設（給水設備、排水処理設備、守衛所、中央受電所、敷地境界フェンス、構内道路、排水路等）の建設工事を継続するとともに、電気、水、排水等に係るユーティリティーの供給、使用等に関する諸手続きの支援を行った。また、放射線障害防止法等の法令に基づく許認可のためのデータ、資料等の整備を行い、申請に向けた検討・準備を継続した。
・欧州から事業チームに派遣される研究者の滞在支援として、諸手続に必要な書類の整備等を行うとともに青

森県と六ヶ所村による外国人研究者の子弟のための教育環境の整備（国際学級の設立）への支援を行った。

・地元をはじめ国民の理解をより深めるため、地方自治体への説明会３回、地域イベントでの研究紹介４回、大学等での講演５回、プレス向け事業計画説明会１回を実施する等、情報の公開や発信に積極的に取り組んだ。

＜特記事項＞
○六ケ所サイトにおける理解促進活動の充実
・仏首相 BA サイト訪問（4 月 12 日、参加人数 100 名）
・第２回 ITER 理事会 BA サイトツアー(6 月 19 日、参加人数 47 名）
・核融合エネルギー連合講演会参加者の BA サイトツアー(6 月 20 日、参加人数 128 名）

○サテライトトカマク（JT-60SA）
事業チーム及び日欧両実施機関からなる統合設計チームを組織し、統合設計を進め、設計変更報告書を作成した。報告書は、事業委員会設計レビュー委員会及び事業委員会の審議・承認を経て、日欧政府間の幅広いアプローチ計画運営委員会で承認された。図３に装置の鳥瞰図、図４に断面図、表１に代表パラメータ、図５に建設・運転スケジュールを記す。本設計変更の要点は、コスト要件を満たしつつ、当初ミッション（概念設計報告書）を満足し、さらに改善（プラズマ電流フラットトップでの供給可能磁束の上昇、トロイダル磁場リップルの低減、形状ファクターの上昇）するものである。低アスペクト比化により、トロイダル磁場を低下（2.7T→2.2T）しつつも従来同の 5.5MA のプラズマ電流を確保した。また、ポロイダル磁場コイル配置の最適化により、平衡磁磁場(EF)コイルを従来の７系統から６系統とした。センターソレノイド(CS)4 系統を独立制御とし、プラズマ平衡配位の自由度を向上した。

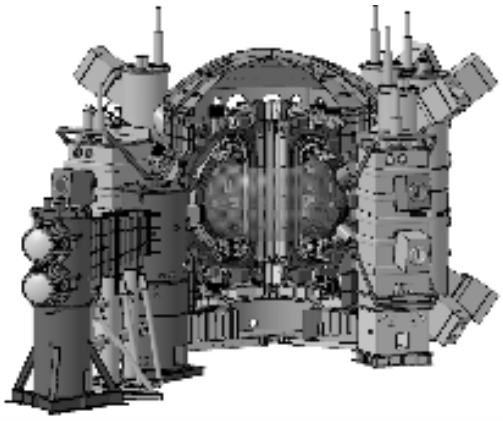


図３：JT-60SA 装置の断面及び鳥瞰図

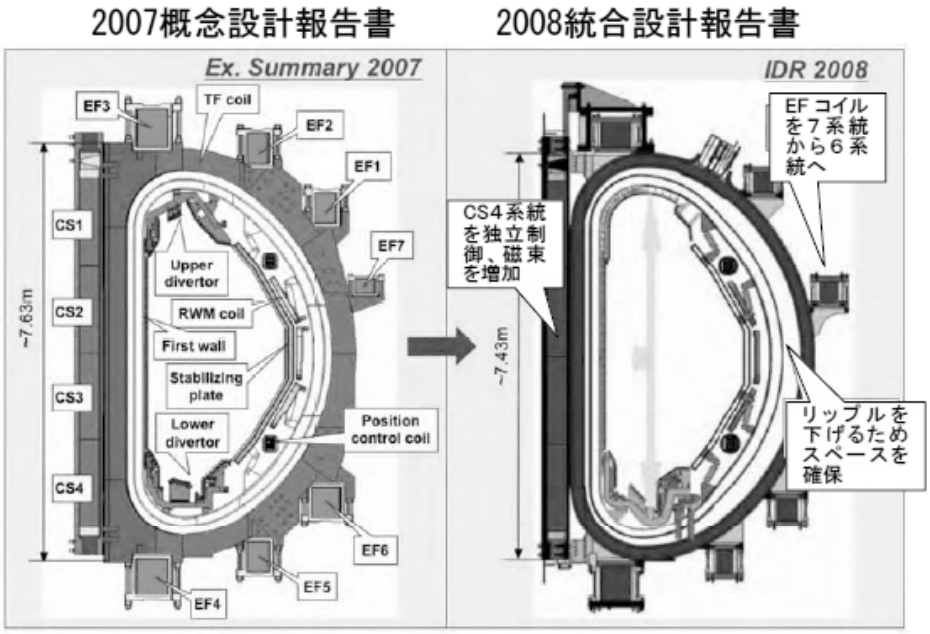


図 4：JT-60SA 装置の断面図（2007 年概念設計報告書と
2008 統合設計報告書の比較）

装置設計	2007概念設計報告書	2008統合設計報告書 (Initial Research Phase)	2008統合設計報告書 (Extended Research Phase)
実施計画	ITER＆原型炉へ向けた 長パルス	性能確認、ITER＆原型炉へ向けた 短パルス(限定された長パルス)	ITER＆原型炉へ向けた 一層の高加熱・長パルス
	高規格化ベータ値=4.1,・高自発電流完全非誘導電流駆動、プラズマ電流5.5MA臨界条件級、新古典テアリングモード＆抵抗性壁モード制御、周辺ペデスタル＆ELM制御、高エネルギー粒子、ダイバータ・SOL研究		
配位	低アスペクト比(ダブルヌル)	低アスペクト比(シングルヌル)	低アスペクト比(ダブルヌル)
プラズマ電流(MA)	5.5	5.5	5.5
トロイダル磁場(T)	2.68	2.25	2.25
アスペクト比	2.66	2.54	2.52
形状ファクター	5.4	5.6	6.1
大半径(m)	3.07	2.97	2.97
小半径(m)	1.15	1.17	1.18
楕円度 kx	1.89	1.83	1.93
三角度 dx	0.61	0.5	0.57
安全係数 q95	3	3	3
パルス長(秒)	100	100	100
加熱電流駆動パワー	41MW x 100 s	21.5MW x 100s 31.5MW x 60s 33.0MW x 5s	41MW x 100 s
N-NB	10MW	10MW	10MW
P-NB	24MW	20MW	24MW
ECRF	140GHz, 4MW 110GHz, 3MW	110GHz, 1.5MW x 100s + 110GHz, 1.5MW x 5s	110GHz 7MW
ダイバータ熱負荷	15 MW/m2	3MW/m2 x 100s 10MW/m2 x 10s	15 MW/m2
年中性子量	4 E21	4 E19	1.5 E21

表 1：JT-60SA 主要パラメータ



図 5：JT-60SA の建設・運転スケジュール

	Phase	Expected Duration		Annual Neutron Limit	Remote Handling	Divertor	P-NB	N-NB	ECRF	Max Power	Power x Time
Initial Research Phase	phase I	1-2 y	H	-	R&D	LSN partial monoblock	10MW	10MW	1.5MW x100s + 1.5MW x5s	23MW	NB: 20MW x 100s 30MW x 60s duty = 1/30 ECRF: 100s
	phase II	2-3y	D	4E19			Perp. 13MW Tang. 7MW			33MW	
Integrated Research Phase	phase I	2-3y	D	4E20		LSN full-monoblock			7MW	37MW	
	phase II	>2y	D	1E21	Use						
Extended Research Phase		>5y	D	1.5E21		DN	24MW			41MW	41MW x 100s

表 2：JT-60SA の段階的運転計画

また、段階的運転計画を採用し、研究段階に対応して加熱装置の増力、ダイバータの増設等を行うこととした（表２）。JT-60SA は、BA 計画のサテライトトカマク計画とわが国のトカマク国内重点化装置計画の合同計画であり、炉心プラズマ共同企画委員会及び同委員会 JT-60SA 専門部会での議論に基づき日本コミュニティの意見を設計に集約し、核融合エネルギーフォーラム ITER・BA 技術推進委員会での審議を経つつ、これを日欧の協議に反映した。



図 6：日欧の技術調整会合

事業チームを支援するとともに、事業チーム及び欧州側実施機関と設計・製作の統合、設計の合理化等を検討するための会議（技術調整会議３回、事業調整会議３０回、設計レビュー会議１回）を開催した。また、第３回事業委員会、第１回及び第２回事業委員会設計レビュー会議について、会場準備等の会議支援とともに委員及び専門家を派遣し、活動の方針決定等に参画・貢献した。

調達に関しては、わが国分担分の超伝導ポロイダル磁場コイルの超伝導導体、真空容器トーラス部、ダイバータ炭素繊維複合材(CFC)に関する調達作業（材料調達、製作設計等）を計画通りに進めた。超伝導ポロイダル磁場コイル化及びダイバータカセット等の調達については、平成２０年度末までの契約締結を目指し、準備を進めている。以下に製作に関する進捗状況を記す。

中心ソレノイド(CS)と平衡磁場（EF）コイルの構成を図 7 に示す。EF コイルで使用する超伝導導体の断面は、図 8 に示すように、太さ 0.8mm の超伝導素線が約 500 本撚りあわせて、その周りはステンレス鋼のパイプで覆われている。平成 20 年度は、CS 用と EF 用超伝導導体の製作を開始するとともに、那珂核融合研究所内で EF コイルの巻線作業を行うための超伝導コイル巻線棟の建設を行った。

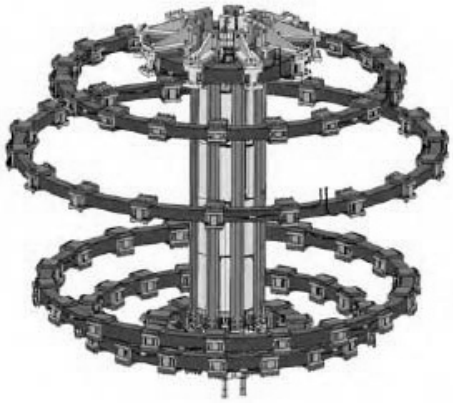


図 7：JT-60SA 用 CS と EF コイル

超伝導導体の部品である素線、ケーブル、ステンレス鋼パイプの製作については、まず試作から開始した。素線はコイルの動作領域で超伝導性能を確認してから、量産を開始した。ケーブルの撚線試作は純銅製の素線を用いて長さ 200m のケーブルを試作し、仕上がり寸法が所定内である事を確認した。また、ステンレス鋼パイプは、試作品を完成し、溶接試験などの加工を開始した。



図 8：EF コイル用導体断面（試作品）

超伝導導体の組立の手順は、図 9 に示すように、長さ 13m のパイプを突合せ溶接で接続して 600m の長尺パイプを作り、そこに超伝導ケーブルを引込む。その後、圧縮成型し、輸送用ドラムに巻取りして完成する。そのため、導体製作の冶具を設置するため長さ 600m の直線路(幅 2m) を那珂研内に設けた。図 10 の直線路の 600m 先の向こう側に導体組立装置を設置する導体製作棟を建設中である。平成 21 年 4 月から超伝導体の組立装置を設置し、夏から試作を開始する予定である。



図 9: 超伝導導体の組立手順



図 10：導体製造ライン(長さ 600m)



図 11：超伝導コイル巻線棟建設工事

EF コイルは、図 7 に示すように大型の円輪状のコイルであり、最も大きなコイルは外径が 12m を超える。そのため、一般道を用いてコイルを輸送することは困難であり、那珂核融合研究所の中にコイルの巻線を行う建物を建設している。建設工事（図 11）は平成 21 年 2 月年 3 月末に完了し、その後コイル製造設備の据付を開始し、平成 22 年から EF コイル巻線を開始する予定である。一方、CS と EF コイルの設計を完了し、詳細設計書にまとめ、調達取決め（PA)を EU 側と合意した。同時に、CS と EF コイルの第 I 期の政府調達に基づく契約を準備中である。

ドーナツ型の真空容器(図 12)は、構造強度の確保と適切な一周抵抗を確保するために二重壁構造となっている。この二重壁間のスペース（内側 152／外側 187 ㎜）には重量濃度８％のホウ酸水を流して、中性子遮蔽の機能を補強する。また、運転休止時にホウ酸水を水抜きした後に、200℃の高温窒素ガスを循環させることで 200℃ベーキングを可能とする。真空容器製作の第Ⅰ期（40°セクター×３体）の契約を平成 20 年３月に行い、製作を開始した。20°セクター上半分の試作を平成 21 年２月から開始する予定である。

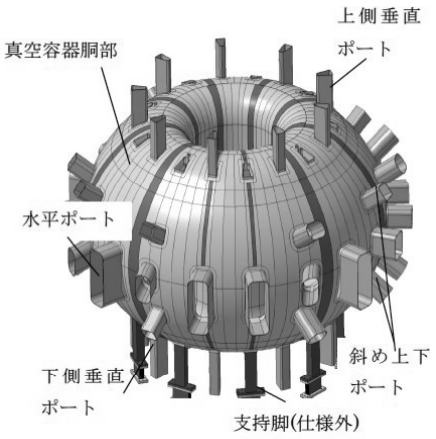


図 12：JT-60SA 真空容器

上記真空容器用の SUS316L 板材については、10 月末までに全ての板材（168 枚、約 200 トン）の納入が終了した。今後、真空容器製作の受注メーカーの要請に応じて板材を支給する。図 13 に那珂研究所の JT-60 機器収納棟における板材の保管状態を示す。



図 13：納入が完了した真空容器板材

下側ダイバータに用いる炭素繊維強化炭素複合材（CFC）材については、モノブロックターゲット用 CFC 素材、及びボルト固定タイル用 CFC 素材を製造中である。モノブロックターゲット用 CFC 素材については、12 月に 500 個が納入され、平成 21 年 3 月末までに残りの 600 個とボルト固定タイル用 CFC 素材 148 個が納入される予定である。

【年度計画】燃焼模擬実験等を実施し、燃焼プラズマ制御手法の指針を得る。国際トカマク物理活動や国際装置間比較実験に積極的に貢献し、燃焼プラズマの性能予測精度の向上に貢献する。

燃焼プラズマ制御手法指針獲得のため、自己加熱模擬（燃焼度を温度の自乗 x 密度の自乗に比例させ、核融合利得 5ー30 の状態を模擬）と外部加熱模擬の２つの加熱装置グループを用いた燃焼模擬ロジックを開発し、粒子制御装置及び外部加熱模擬装置による燃焼模擬プラズマの実時間制御を行った。図 1 に、燃焼模擬ロジックと外部加熱模擬装置によるプラズマ蓄積エネルギーの実時間帰還制御を組み合わせた時のプラズマ波形を示す。自己加熱模擬パワーの増減に対して外部加熱模擬パワーが変化し、プラズマ蓄積エネルギーはほぼ参照値通りに制御されている。4.5 秒からガスジェットによる粒子制御が実施されているが、その期間でもプラズマ蓄積エネルギーは実時間制御されている。さらに、ガスパフを用いた粒子制御による自己加熱模擬パワーの実時間制御に成功した。この様に、ガスジェット等の粒子制御装置及び中性粒子ビーム加熱装置を用いて燃焼模擬プラズマの実時間制御を実証した。

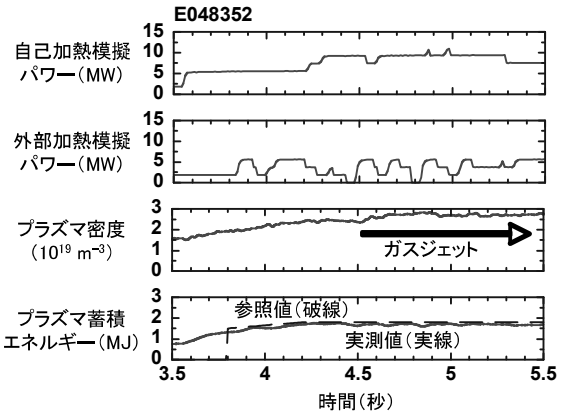


図 1：燃焼模擬プラズマの実時間制御例

燃焼制御に必要な中性子分布計測技術等を高度化すべく、高空間分解能（７視線：図 2)を有するスチルベン検出器の出力波形を高時間分解能(50ns)で計測する中性子分布計測器を開発し、γ線、DD 中性子、DT 中性子の発生量を弁別する同時計測を世界で初めて実現した。東北大学との共同研究により、約 50ns の時定数の検出器の信号波形を高速のデジタイザで取得してソフトウェア的に n-γ弁別を行う手法を採用し、必要なハードウェア、ソフトウェア、解析ロジック(荷電積分法)の開発を行った。さらに弁別した中性子信号を波高分析することで D+D -> ^{3}He + n (2.5MeV)の DD 中性子と D+T-> α + n (14MeV)の DT 中性子の発生量の同時計測を実現した。測定例を図 3 に示す。

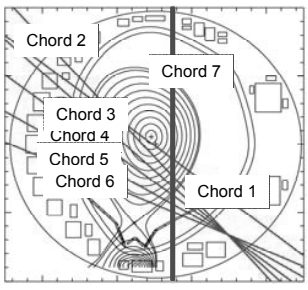


図 2：中性子計測の視線

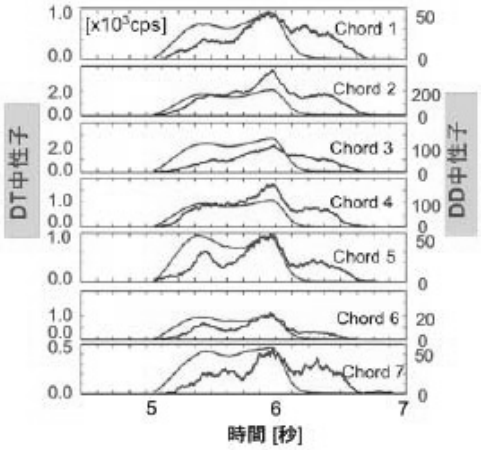


図 3：各空間視線における DD 及び DT 反応中性子発生量の計測例

JT-60 において実験を実施し、国際装置間比較実験 29 件に貢献するとともに、国際トカマク物理活動の ITER のための主要データベース 2 件(ペデスタルパラメータ、及びプラズマ回転) に関するデータを提供した。図 4 に、ペデスタル圧力(規格化ベータ値) に関して、国際トカマク物理活動で共同構築したモデルと実験値の比較を示す。実験データと良く整合するモデルが得られ、ITER におけるペデスタル圧力の信頼性の高い予測が可能となった。本例も含め、国際共同論文５編を執筆した。

また、磁場リップル、高エネルギーイオン損失、H モード特性等に関する ITER 物理タスク作業を完了した。図 5 に、磁場リップルによる高エネルギーイオン損失の評価を示す。JT-60 および JFT-2M で実証した、閉じ込め磁場の不均一性をフェライト鋼設置により低減することで高エネルギーイオンの閉じ込めを改善する手法は ITER でも採用されている。ITER 機構からの要請で、原子力機構で開発した３次元モンテカルロコードで ITER における高エネルギーイオンの損失量を評価した。その結果、標準磁場(5.3T)でフェライト鋼の量 (厚み等) を最適化すると、物理実験を予定している低磁場(2.65T)ではフェライト鋼の効果が大きく低下することがわかり、今後の設計最適化に必要な情報を提供した。一方、構造材としてフェライト鋼を用いる、テストブランケットモジュールによる局所的な閉じ込め磁場の不均一性については、高エネルギーイオンの閉じ込めへの影響は小さいことがわかった。

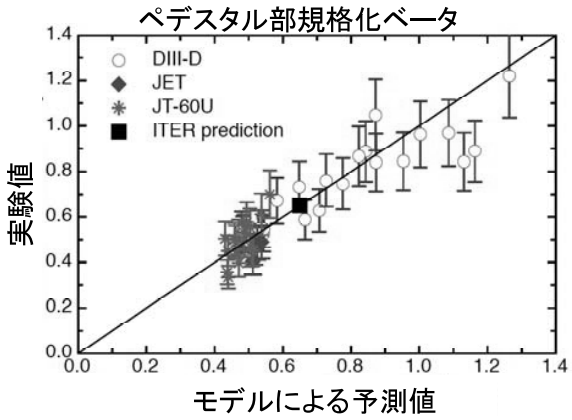


図 4：ペデスタル規格化ベータ値に関する、国際トカマク物理活動で共同構築したモデル予測値と実験値の比較

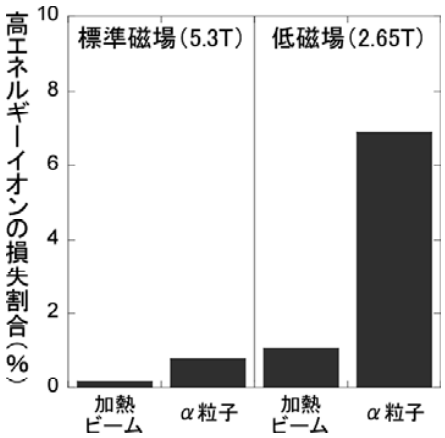


図 5：5.3T で最適化したフェライト鋼の量における高エネルギーイオンの損失割合の比較。

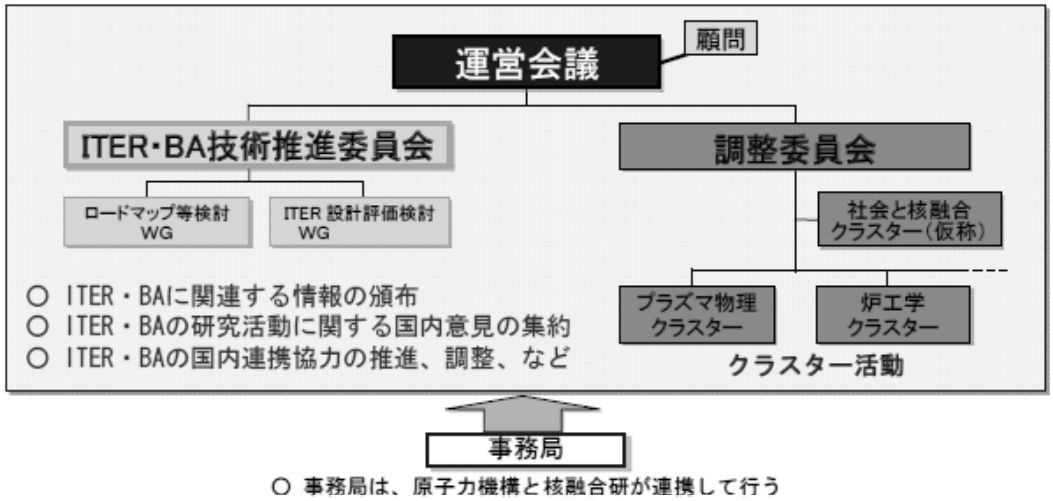
核融合研究開発部門

【年度計画】核融合エネルギーフォーラム活動等を通して、大学・研究機関・産業界の連携強化のあり方等の検討、関連情報提供、意見集約、連携協力調整等を促進することにより、ITER 計画と BA 活動等における開発研究・技術開発と学術研究の相互補完的推進に貢献する。

○開催実績

核融合エネルギーフォーラムを構成する運営会議を１回（３月までにあと１回開催予定)、調整委員会を３回（同１回予定)、ITER・BA 技術推進委員会を６回（同１回予定）それぞれ開催した。

核融合エネルギーフォーラムの構成



ITER・BA 技術推進委員会下のロードマップ等検討ワーキンググループ会合を５回、ITER 設計評価検討ワーキンググループは会合を７回開催した。また、調整委員会下にある専門クラスター活動では、クラスター幹事会４回（３月までにあと２回予定)、サブクラスター幹事会２回開催し、インフォーマルミーティング１回、座談会１回、サブクラスター会合を２４回開催した（同１回予定)。

○運営支援、及び成果の相互還流・連携協力の促進、情報の頒布・理解の増進

各種会合を円滑に開催するための必要な支援を行うとともに、クラスター関連活動については発表資料を含む会合報告をフォーラムのホームページに掲載し、核融合エネルギー研究開発の現状についての情報発信やその理解増進にも寄与した。

ITER・BA 技術推進委員会の開催や運営の支援にあたっては、核融合研の事務局幹事と連携しつつ、国際スケジュールに合致した開催日程や議題内容などについて、文部科学省、産業界、大学や研究機関、及び原子力機構と適宜事前調整を行うとともに、特に ITER 理事会や同科学技術諮問委員会（STAC)、及び BA 運営委員会や同３事業委員会などに係わる案件については、ITER・BA 技術推進委員会に必要な周知と確認を行って、研究者の意見などが全日本的に反映されるプロセスを徐々に確立し、同委員会が本来期待される機能を高めるように努めた。その一環として、自主的に取り組んでいるモデリング・シミュレーション、ブランケット、中性子源の各専門サブクラスターの活動内容を紹介しそれらの意義や集約意見などについて確認を得るとともに、BA 実施機関が実施する共同研究の枠組みについて確認を得て IFERC 事業や IFMIF-EVEDA 事業に係わる共同研究の公募を支援し、ITER 計画や BA 活動の国内での連携協力の促進や枠組みの具体的構築に寄与した。

文部科学省の依頼事項に対応するために前年度設置した、ITER・BA 技術推進委員会下のロードマップ等検討ワーキンググループについては６月内の報告書２件（「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」及び「トカマク型原型炉に向けた開発実施のための人材計画に関する検討報告書」）の完成を支援し、同 ITER 設計評価検討ワーキンググループについては ITER ベースライン設計の評価に関する検討状況報告書の１１月内取り纏めの支援と ITER 科学技術諮問委員会（STAC）に対する同日本委員を通じた国内専門家の集約意見の反映に寄与した。

一方、調整委員会下にある専門クラスター活動では、ITER・BA 技術推進委員会及び同 ITER 設計評価検討ワーキンググループにおける ITER 設計に関する評価検討の議論の本格化に伴い、スクレープオフ層及びダイバータ物理や炉工学クラスターITER 工学設計意見交換会など関連するサブクラスター活動でも ITER 設計に係わる議論の活性化を促し、国内核融合研究との交流促進を支援するとともに、成果の相互還流や連携協力の醸成に寄与した。Web 広報サブクラスターが取り組んできた「核融合用語集」は、必要な手続きを経てオンライン用語専門サイト「ウェブリオ」でも掲載され（６月）、核融合エネルギーの幅広い理解のための裾野拡充に寄与した。

○平成２０年度「核融合エネルギー奨励賞」

前年度創設し、若手研究者・技術者による優れた成果もしくは優れた成果が見込まれる研究開発活動を顕彰する「核融合エネルギー奨励賞」において、選考委員会による募集要領や申請書の改訂作業などを支援し、募集案内を幅広く発した（４月）。選考委員会での審査結果を踏まえた調整委員会での選考（７月）にもとづいて、受賞者に対しその旨通知し、原子力機構による研究助成の早期配賦を実現した（８月）。優秀賞１名、奨励賞４名の授賞式は第３回全体会合（平成２１年３月）で執り行う予定である。なお、調整委員会の提案にもとづき賞英名を「Masaji Yoshikawa Prize for Fusion Energy」とすることについて、研究助成資金寄附者と運営会議の了解を得たことにより、平成 21 年度から海外の研究機関や組織などへ受賞者が就職ないし転職する際に、本賞を受賞歴に記載することを可能にした。

＜特記事項＞

○ITER・BA 技術推進委員会報告書の文部科学省への提出

ITER・BA 技術推進委員会が取り纏めた２件の報告書（「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」及び「トカマク型原型炉に向けた開発実施のための人材計画に関する検討報告書」）は、文部科学省からの依頼に基づき前年度より、同委員会ロードマップ等検討ワーキンググループにおいて産業界も参加して全日本的な協力体制のもとで検討されてきたものであるが、運営会議や産業界などからのコメントを反映させるため、５月下旬以降ワーキンググループ会合の開催頻度を高めて、特に「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」における 1-1 節「人類の持続可能な発展から見た核融合開発ロードマップの目標についての考え方」の追加や３章の構成の見直しを支援した。その結果、両報告書を ITER・BA 技術推進委員会の了解のもと、核融合エネルギーフォーラム議長名による文部科学省への６月内提出に貢献した。また、両報告書の取り扱いについて文部科学省と協議し、著作権は核融合エネルギーフォーラムにあることを確認した（７月）。その了解のもと、速やかにフォーラムのホームページに掲載し多くのアクセスを得て、核融合エネルギー実現に向けた取り組みに係る情報発信と理解増進にも寄与した。

核融合研究開発部門

平成２０年度研究開発実績

１．研究開発課題：炉心プラズマ研究開発

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】JT-60 を用いて、定常高ベータ化研究を推進し、自由境界理想ベータ限界を超えたプラズマの制御指針を得る。また、高規格化ベータ・高自発電流割合のプラズマ維持のための複合実時間分布制御手法の有効性を確認する。国際装置間比較実験等の国際研究協力を積極的に展開し、高ベータ安定性、輸送特性、ダイバータ熱・粒子制御特性等の評価を進め、JT-60SA 及び ITER における先進プラズマの定常化に必要な制御手法の開発を進める。

JT-60 では、JT-60SA や原型炉へ向けて、抵抗性壁モード（RWM）を安定化することにより、自由境界安定性限界を超える高圧力プラズマを長時間維持する研究を進めてきた。その過程で、（１）トロイダル方向のプラズマ回転速度の減少が RWM の成長を誘起してディスラプションの要因となること、（２）垂直の中性粒子ビーム入射（NBI）加熱装置により供給される高速イオンに起因する不安定性（EWM:後述）が RWM を引き起こすこと（図 2)、が分かった。そこで垂直 NBI パワーを必要最小限としつつ、中性粒子ビームによる回転力を利用してプラズマ電流と同方向にプラズマを回転させるシナリオで実験を行ってきた。その結果、図 1 に示すように、自由境界理想安定限界を超える高規格化圧力（β_Nー3.0）のプラズマを約５秒間維持することに成功した（世界記録)。赤丸が示すように、平成 20 年度の実験では、上記の工夫により到達領域を大きく広げることが可能となった。また、上述の、高速イオンに起因し自由境界限界以上で発生する新たな不安定性を発見（EWM: Energetic particle driven Wall Mode と命名）し、その安定化手法を開発した。

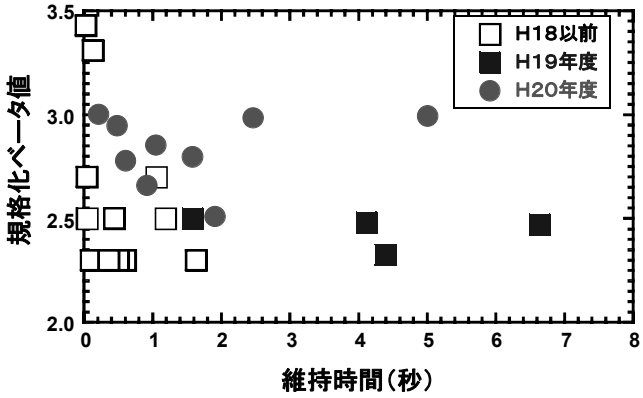


図 1: 自由境界理想安定限界を超えた高ベータプラズマの維持時間の伸長

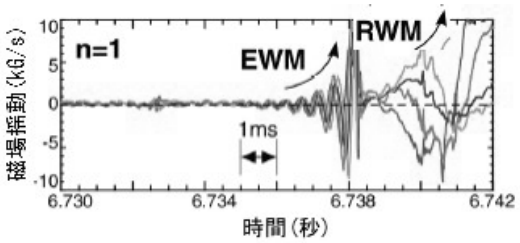


図 2：EWM の発生と、それが誘起する RWM

JT-60 で開発を進めてきた負磁気シアプラズマは、閉じ込め性能と自発電流割合が高い特長を持ち、将来の核融合炉の運転シナリオの候補のひとつである。負磁気シアプラズマの課題のひとつはＭＨＤ安定性限界が低いことであったため、導体壁による安定化効果が有効になるよう真空容器に近い配位(壁半径/プラズマ半径ー１.3)を用いて放電の最適化を進めてきた。その結果、自由境界安定限界（規格化ベータ値ー２）を超える高い規格化β値(ー2.7)を得ることに成功した。これにより、負磁気シアプラズマの運転領域を大きく拡大し、核融合炉で想定される安全係数の領域において高い自発電流割合（７０−９０％）を得た（図 3)。また、同時に、電子温度～イオン温度や低運動量入力といった核融合炉で想定される条件も同時に満たしている。さらに、図 4 に示すように ITER の定常運転シナリオで想定されるプラズマパラメータを概ね満足しており、総合性能の高いプラズマを得ることに成功した。

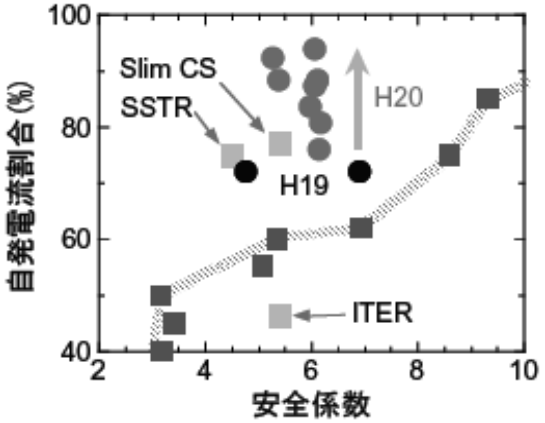


図 3：壁安定化が有効な配位を利用することにより拡張された負磁気シア運転領域。

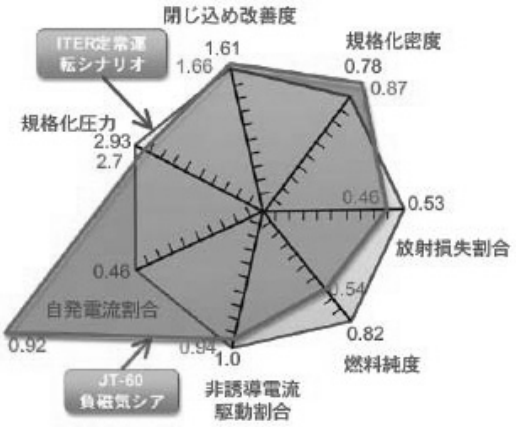


図 4：ITER の定常運転シナリオに対する JT-60 負磁気シア放電の比較。

実時間制御の開発に関しては、プラズマ圧力分布と電流分布の複合実時間分布制御を実証した。図 5 の例では、中性粒子ビームによるイオン温度勾配制御と低域混成波電流駆動による安全係数極小値の実時間制御を複合している。さらに、プラズマ温度と密度を用いた非線形制御にも成功した。図 6 の例では、イオン温度勾配制御の比例ゲインをイオン温度自体の関数として変化させることで、内部輸送障壁の頂部と脚部の温度差（温度勾配）の実時間制御を実証した。以上により、先進プラズマの制御を行い、その安定維持への有効性を確認した。

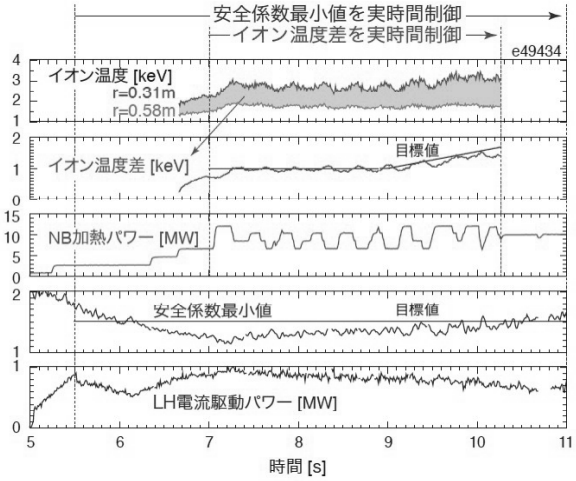


図 5：中性粒子ビームによるイオン温度勾配制御と低域混成波電流駆動による安全係数極小値の実時間制御の複合制御例

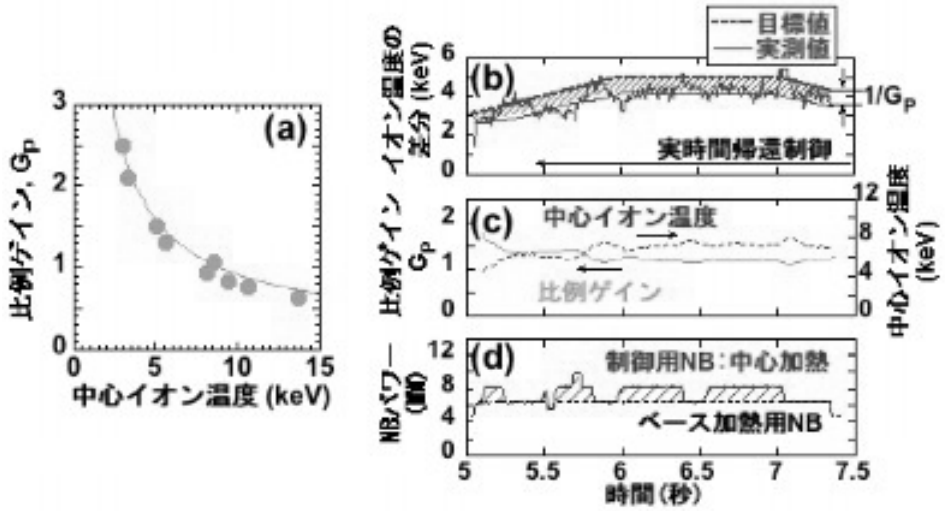


図 6：非線形制御の例。比例ゲインをイオン温度自体の関数とし、内部輸送障壁の頂部と脚部の温度の差分（温度勾配）を実時間で制御した。

核融合研究開発部門

JT-60 において、欧州の JET 装置や米国の DIII-D 装置等と協力した比較実験を実施し、国際装置間比較実験 29 件に貢献した。図 7 に、JET 装置との比較実験の成果を示す。プラズマサイズ、断面形状、ベータ値や規格化ラーマ半径等の無次元量を合わせた比較実験である。閉じ込め性能の改善に有効な内部輸送障壁の形成条件や分布構造を比較し、どちらの装置も安全係数が２になる位置から内側で閉じ込めが改善しはじめ、同程度の時間で、ほぼ同一の急峻な勾配を持つ温度分布になることを明らかにした。

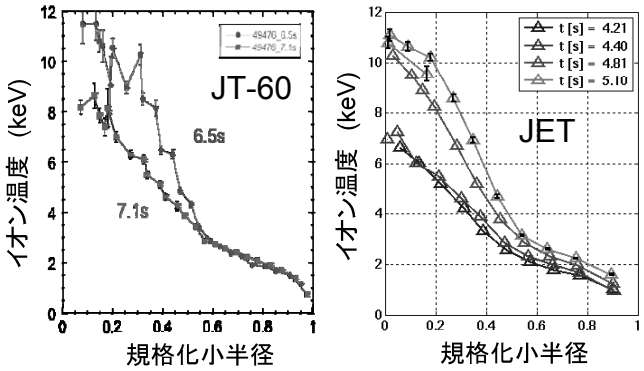


図 7：JT-60 と JET における内部輸送障壁を持つプラズマのの温度分布の比較

＜特記事項＞

○平成 20 年 8 月 29 日、23 年４ヶ月間にわたる JT-60 の実験を完遂した。JT-60 は、昭和 60 年 4 月に実験を開始して以来、平成 8 年の世界最高温度 5.2 億度達成及び臨界プラズマ条件達成、平成 10 年のエネルギー増倍率 1.25（世界記録）達成を経て、経済的核融合炉に必要とされる高い圧力のプラズマの長時間維持に必要な研究開発を展開し、前述の通り、平成 20 年にも自由境界理想安定限界を超える高規格化圧力（β_N ー3.0）のプラズマを約５秒間維持することに成功するなどの世界記録を樹立するとともに、ITER の燃焼プラズマ実現のための主要タスクへデータを提供し、当初目標通り現状の装置で最大限の実験データを取得して運転を終了した。とくに実験完遂までの最後の２ヶ月間では、19 名の外国人研究者、50 名を越える国内の研究者の協力を得て、全ての実験データを取得した。10 月にジュネーブで開催された第 22 回 IAEA 主催核融合エネルギー会議の初日の JT-60 全体講演発表後には、会議参加者全員が起立し拍手をもって実験完遂に対する敬意が示された。



図 8：実験完遂を祝う JT60 チーム

○平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰　若手科学者賞を受賞
大山直幸研究副主幹：研究業績「プラズマ回転制御によるトカマクプラズマの高性能化の研究」

○プラズマ・核融合学会第１３回学術奨励賞を受賞
吉田麻衣子研究員：「トカマクにおけるプラズマ回転速度分布と運動量輸送に関する研究」

【年度計画】JT-60 の装置技術開発を継続し、負イオン源ビーム入射装置の連続入射時間を伸長する。炉心プラズマ制御技術の向上に資するため、プラズマ圧力、電流、高エネルギー粒子等による磁気流体不安定性モデル群とプラズマ輸送モデルを統合する。

JT-60 負イオン源中性粒子入射加熱(N-NBI)装置において、世界で初めて、2MW を超える中性粒子ビームを 30 秒間連続して炉心プラズマに入射することに成功し、世界最高入射エネルギー80MJ を達成した（図 1)。これは、従来、長パルス入射時に課題となっていた負イオン源の電極の熱負荷を、電極形状を工夫することによって電極周辺部のビームの拡がりを抑え、許容値(500kW)以下に低減することによって達成したものである。これにより、定常高ベータプラズマ研究を推進した。ここで得られたパルス幅は N-NBI 装置の当初定格の３倍に相当し、JT-60 設備の保護から決められている加熱許可時間によって制限された。また、この時の電極の冷却水の温度は約 25 秒で飽和しており、これにより 100 秒入射が要求される JT-60SA 用負イオン源の水冷却設計の見通しが得られた。

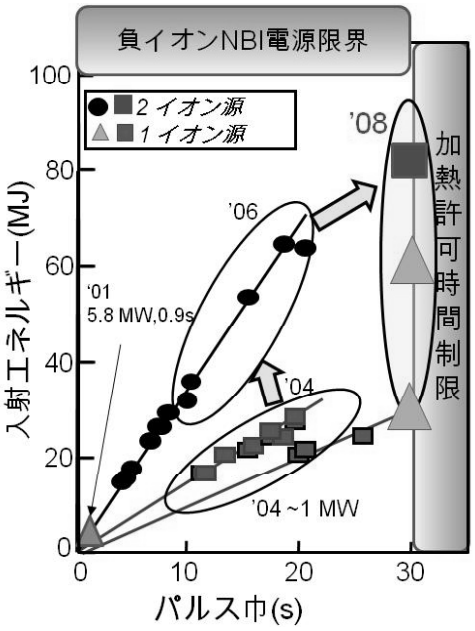


図１：負イオン源中性粒子入射加熱(N-NBI)装置のパルス巾と入射エネルギーの進展

電子サイクロトロン波加熱装置の開発においては、ITER で想定される新古典テアリングモード（NTM）の安定化に必要とされるジャイロトロンのパワー変調技術開発を進め、10ｋHz の変調周波数（１MW 出力では世界初）を実現した（図 2)。この成果は、電子ビーム加速用主電源の改造を行うことなく、ピッチ角制御電極（アノード）に与える電圧を高速でスイッチングして発振を制御する方式を採用したものである。加えて、新古典テアリングモードを抑制するため、精密な同期と位相制御により電子サイクロトロン波を磁気島に入射する実時間帰還制御の開発を行った。この技術を用いて JT-60 プラズマに５～７ｋHz の変調入射を行ったところ、高い安定化効果を明確に示すことに成功し、変調入射の有効性を確証した。

また、高い高周波電圧が発生するアンテナ部の小口径（約３ｃｍ）ダイヤモンド真空窓における放電の問題を放電光検知回路の改良によって解決し、高パワー伝送性能を高めた。さらに、ジャイロトロン各部の熱負荷分布評価技術に関するこれまでの開発成果を結集して高パワーでのパルス幅伸張を目指した。その結果、各ジャイロトロンの定格出力（１MW、5 秒間)を 4 系統同時に行う運転に成功し、JT-60 への入射パワー約 3MW を達成した（図 3)。

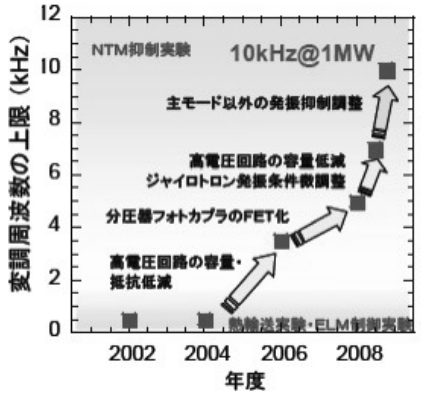


図 2：ジャイロトロンパワー変調開発の進展

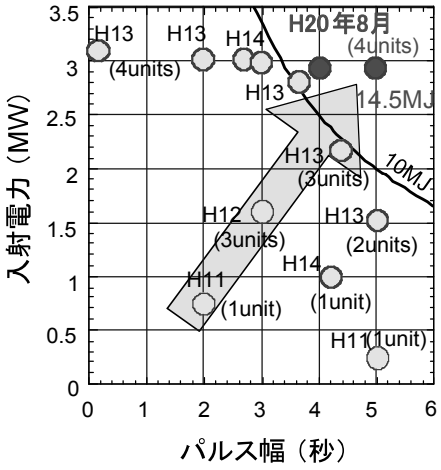


図 3：　電子サイクロトロン波加熱装置の入射性能向上

プラズマ計測装置の高度化に関しては、まず、前年度に開発した世界最高性能（大電流 10mA・低発散 0.2 度・長パルス 50 秒）の周辺電流分布測定装置（Li ビーム装置）を JT-60 に装着し、密度分布時間発展計測（世界初）及び電流分布計測を実現した。これにより、H モードプラズマの周辺部で境界輸送障壁が生成して周辺密度が上昇し、周辺局在モード(ELM)によって周辺密度が崩壊する現象を 0.5msec の高時間分解能で計測した（図 4)。また、小規模 ELMs が発生している H モードプラズマ周辺部において、周辺電流分布を計測した（図 5)。これらの周辺ペデスタル部の詳細計測は、ITER に向けたの最大の課題の一つである周辺ペデスタル部構造のダイナミクスの理解を大きく進展させた。

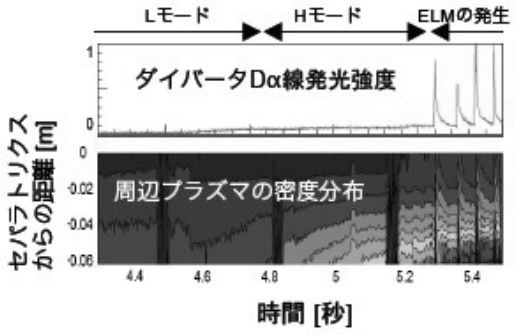


図 4：周辺ペデスタル部の密度分布時間発展

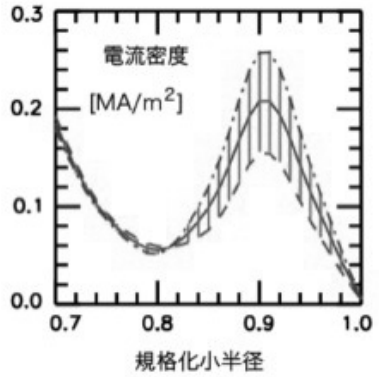


図 5：計測に成功した周辺電流密度分布
（２秒間の平均：上下の点線はエラーバー）

また、中性ヘリウム（He I）の 3 本のスペクトル線を同時に同一視野で観測する分光器により、時間分解能 100 マイクロ秒で電子温度・密度の空間分布計測を初めて実現した。図 6 に計測例を示す。ELM によるダイバータプラズマの電子温度・密度の変化を多チャンネル・高時間分解能で計測した。ELM 直後に、外側ダイバータでは電子温度は上がり、電子密度は上がるが、内側ダイバータでは大きなパラメータの変化がみられない。

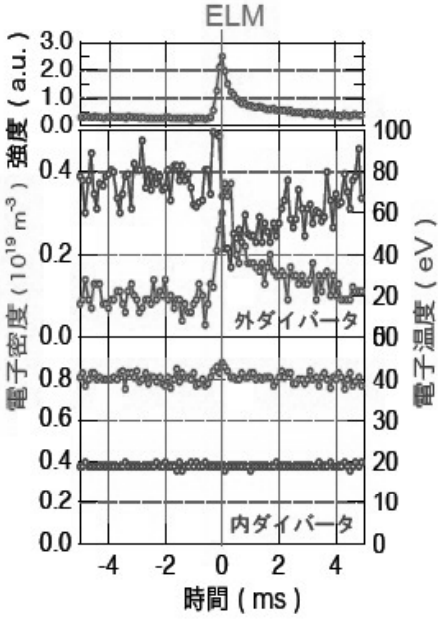


図 6：ダイバータプラズマの電子温度、電子密度の高時間分解計測

炉心プラズマの総合シミュレーションを目指して、輸送コードをベースとして、磁気流体安定性モデル、核燃焼モデル、輸送改善モデル、SOL・ダイバータモデル、等の統合化を進めている。平成 20 年度は、圧力、電流に起因する磁気流体安定性モデルに、中性粒子輸送、壁リサイクル、モデル等を統合し、プラズマ周辺での間欠的 MHD 不安定性(ELM)によるエネルギー損失の衝突周波数依存性、ペデスタルより内側の圧力分布勾配に対する依存性(図 7)等を明らかにした。加えて、高エネルギー粒子によるアルフェン固有モードを想定した不安定性によるα粒子の異常輸送を、二次元フォッカープランクコードを用いて、α粒子生成、α加熱、He 灰生成過程を含めてモデル化した。このモデルを、輸送コードへの統合化し、核燃焼模擬シミュレーションを可能とした。

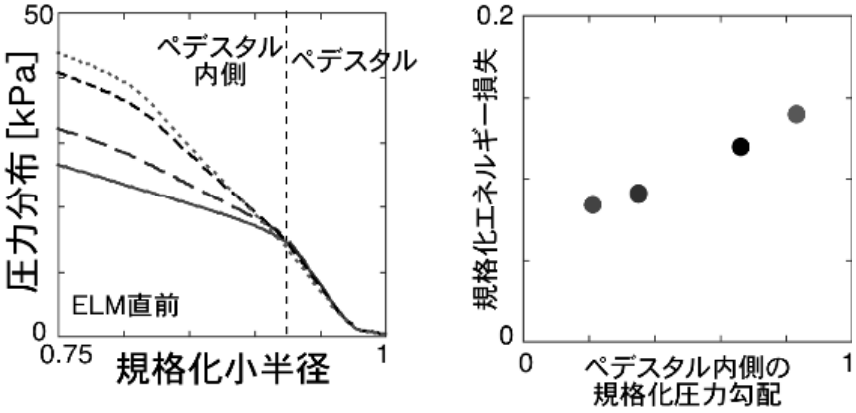


図 7：ELM エネルギー損失の圧力分布依存性:ペデスタルより内側の圧力分布勾配の増加によって、ELM 不安定モードが大きくなり、損失エネルギーが増加

【年度計画】大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献するため、炉心プラズマ研究に関する共同研究を実施する。

大学等との相互の連携協力では、炉心プラズマ共同企画委員会、JT-60 専門部会及び、JT-60SA 専門部会、理論シミュレーション専門部会を組織・開催した。JT-60 に関する共同研究は、炉心プラズマ共同企画委員会でテーマの選定及び採択を行い、公募型共同研究 26 件を実施(研究協力者数 149 名)した(図 1)。また、JT-60 共同研究の平成 19 年度終了課題 10 件について成果報告会を開催した。これらの共同研究の成果として、大学等の研究者との共著論文５３編を投稿した。また、第２２回 IAEA 核融合エネルギー会議の JT-60 からの発表 21 件の内、7 件の主著者が大学等の研究者である。また、JT-60 研究協力者の半数以上が助教と大学院生であり、人材育成の観点からも大きな貢献をすることができた（図 2)。

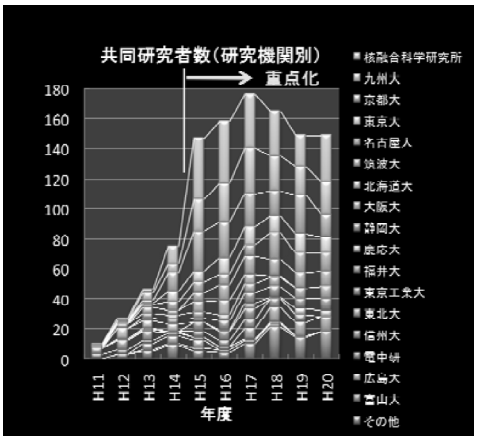


図 1：JT-60 に関する国内共同研究者数

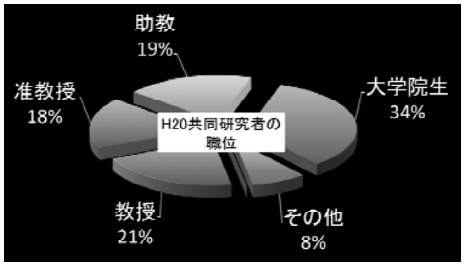


図 2：共同研究者の内訳

核融合研究開発部門

【年度計画】理論・シミュレーション研究では、抵抗性壁モード解析を行うための磁気流体力学理論の拡張及びコードの開発を行う。また、ジャイロ運動論モデルを位相空間の連続媒質として解き、かつ、保存性の高い乱流輸送コードのトーラス配位への拡張を行う。

理論･シミュレーション研究に関する中期計画では､炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に係わる理論・計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的な指針を取得することを目標としている。この中で、平成２０年度は以下の成果を得た。

○ 磁気流体力学的(MHD)な擾乱に対して、有理面近傍でのみプラズマ慣性や電気抵抗が働き、有理面から離れた領域では慣性効果のない理想 MHD 方程式（Newcomb 方程式）に従うとする近似が成立していることが知られている。この近似を数値的に実現した解析モデルを考案するとともに、抵抗性壁モードに対するプラズマ回転効果を解析できるコード開発し､成果を公表した(第22回IAEA核融合エネルギー会議)。

○ ジャイロ運動論的ブラゾフ方程式に基づく乱流輸送コードのトーラス配位への拡張を完了し、従来の粒子コードとの比較によりコードの妥当性を検証し、論文として公表した（図 1)。また、熱・粒子源等の実装を進め核燃焼や外部加熱を伴う開放系プラズマの長時間乱流シミュレーションに向けた基盤を確立した。これらの成果を公表した（第 22 回 IAEA 核融合エネルギー会議)。

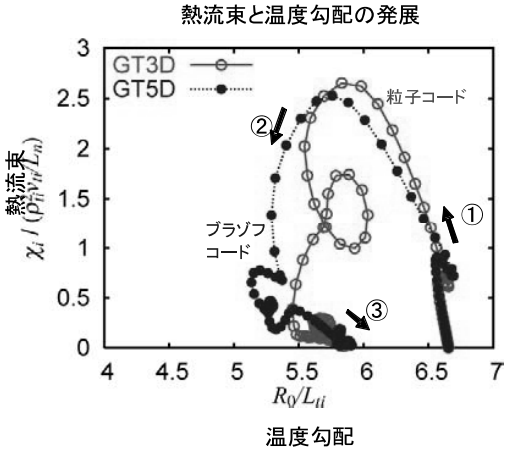


図１：従来の粒子コードと新しいブラゾフコードによるトーラス配位イオン系乱流の計算結果比較。熱流束の飽和レベルと非線形の臨界温度勾配は定量的に一致する。

核融合研究開発部門

平成２０年度研究開発実績

１．研究開発課題：核融合工学研究開発

２．研究開発進捗状況、成果の発現状況

【年度計画】核融合工学研究開発としては、増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する工学規模の性能試験を継続する。充填層構造体に関しては、高温流動試験、側壁等の実規模大モックアップの試作及び機械試験を実施して、設計・製作手法の妥当性を評価する。核特性研究では、核特性測定手法及びその評価手法の開発を進め、ITER テスト・ブランケット・モジュールの設計に反映する。トリチウム回収技術開発では、大量低濃度と少量高濃度のトリチウム水処理システムの開発試験を進め、発生するトリチウム水の濃度等の条件を明確化する。照射技術開発としては、JMTR で照射したトリチウム透過低減皮膜の照射後水素同位体透過試験装置の整備に着手するとともに、トリチウム増殖材料照射後試験のためのキャプセル解体装置に組み込むトリチウム焼き出し装置の設計検討を行う。

増殖ブランケットの熱・流動・機械・核特性やトリチウム回収等に関する性能試験に関する計画に基づき、工学規模の性能試験を実施した。その中で以下の成果を得た。

○充填層構造体に関しては、高温流動試験、側壁等の実規模大モックアップの試作及び機械試験を実施して、設計・製作手法の妥当性を評価した。まず、高温試験については、図 1 に示す H19 年度に製作した充填層構造体の実規模大モックアップを用いて、最高 760℃までの高温加熱試験を実施して異常な変形や溶接部に亀裂等が発生しないことを確認した。流動試験については、同モックアップに実機で使用するものと同じ増殖材微小球を充填し、X 線 CT スキャナー等を用いて微小球の充填状態の評価試験を実施した後、ヘリウムパージガスを用いた流動試験を実施した。図 2 に示す X 線 CT スキャナー等を用いた微小球充填状態評価試験では、冷却管の周囲にも隙間無く微小球が充填されていることを確認するとともに、微小球の設計充填率が 65%であるのに対し、実際の充填率は 65%±1%で設計値を満足していることを確認した。ヘリウムパージガスによる流動試験では、図 3 に示すように微小球充填層の圧力損失が設計ガス流量である 5L/min のとき 2kPa（約 0.02 気圧）と十分小さく設計許容範囲内であることを確認した。これらの高温加熱試験、充填状態評価試験、パージガス流動試験の結果、充填層構造体の設計・製作手法が妥当であることを確認した。また、実規模大の側壁モックアップに関しては、厚さ 32mm、長さ 1.5 m の長尺の壁体に対してガンドリルを用いて冷却チャンネルを施工し、金相観察と機械試験を実施して、実規模の側壁の製作手法が妥当であることを確認した。

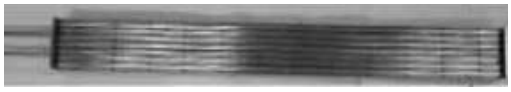


図 1. 実規模大充填層モックアップ
（長さ：約 1m、幅：約 11cm）

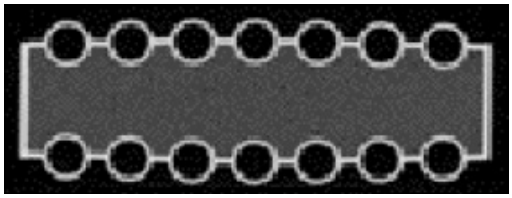


図 2. 実規模大充填層モックアップに増殖材微小球を充填後の断面 X 線 CT 写真

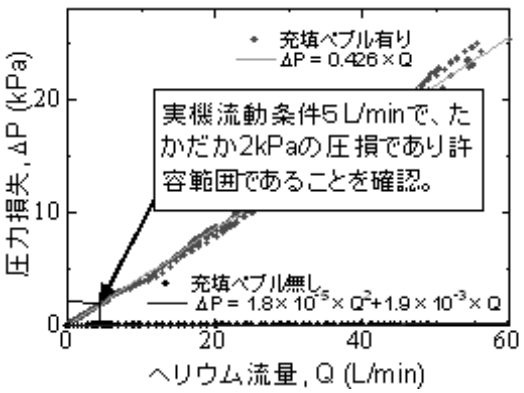


図 3. 実規模大充填層モックアップの流動試験

○核特性研究では、核特性測定手法及びその評価手法の開発を進め、ITER テスト・ブランケット・モジュールの設計に反映した。ITER テスト・ブランケット・モジュールの核特性測定手法として有望な多数放射化箔法を種々の ITER テストブランケット模擬体系に適用した結果、中性子スペクトルを導出するコードとして NEUPAC コードを使用することが妥当であることを明かにした。(図 4 参照) また、より精度の高い結果を得るためには低エネルギーの中性子に対する実験データの蓄積が必要であることが判明した。

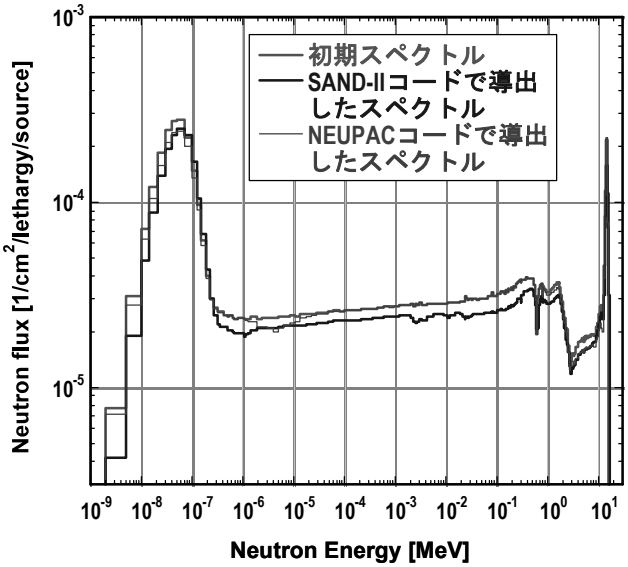


図 4.　多数放射化箔法で導出したベリリウム体系内 152㎜ の深さでの中性子スペクトル　：
NEUPAC コードの結果が最もよく一致することが判明。

○ブランケットからのトリチウム回収技術開発では、ブランケット内部に発生するトリチウム水の濃度などの条件を明らかにして、トリチウム水処理システムに関する研究開発を進めた。トリチウム水処理システムの開発試験では、トリチウムが冷却水に漏洩して発生するトリチウム濃度を明らかにするとともに、トリチウム水蒸気吸着剤としてゼオライトに着目して水蒸気吸蔵量に関する基礎データを取得した結果、ゼオライト中のシリカとアルミナの比を 10:1 と大きくすることにより、雰囲気圧力で吸蔵量を制御できる可能性を見出し、高性能吸着材開発の見通しを得た。(図 5 参照) ブランケットでの冷却水へのトリチウム透過防止機能開発では、金属に金メッキを施すことによりトリチウム透過率が約 1/1000 になることを見いだした。

また、増殖ブランケット用トリチウムモニターとして、トリチウムメモリー効果を抑制する高温対応制動 X 線測定手法および水素同位体分析マイクロガスクロマトグラフ充填剤に関する基礎データを取得した。

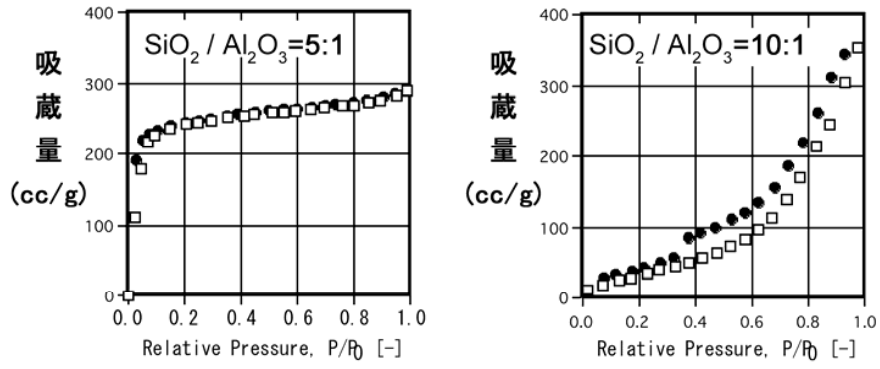


図 5.　ゼオライトのシリカ・アルミナ比による水蒸気吸着挙動の変化

○照射技術開発としては、JMTR で照射したトリチウム透過低減皮膜の照射後水素同位体透過試験装置の整備に着手するとともに、トリチウム増殖材料照射後試験のためのキャプセル解体装置に組み込むトリチウム焼き出し装置の設計検討を行った。トリチウム焼き出し装置の設計検討では、ガス供給系（乾燥空気、加湿空気）、トリチウム焼き出し系、トリチウム計測系及びトリチウム除去系の設計検討を実施した。キャプセルの構造を基に設計したトリチウム焼き出し系の構造図を図 2-6 に示す。また、使用済のトリチウム増殖材料から希少資源であるリチウムを回収・再利用する技術として、その溶解方法と不純物除去方法を検討した。その結果、硝酸又は過酸化水素水を用いて溶解することにより高い Li 溶解率を、キレート剤を用いて放射化不純物(60Co)の高除染係数(DF)を達成した（表 1 参照）。なお、本成果については第７回核融合エネルギー連合講演会にて「優秀発表賞」を受賞した。

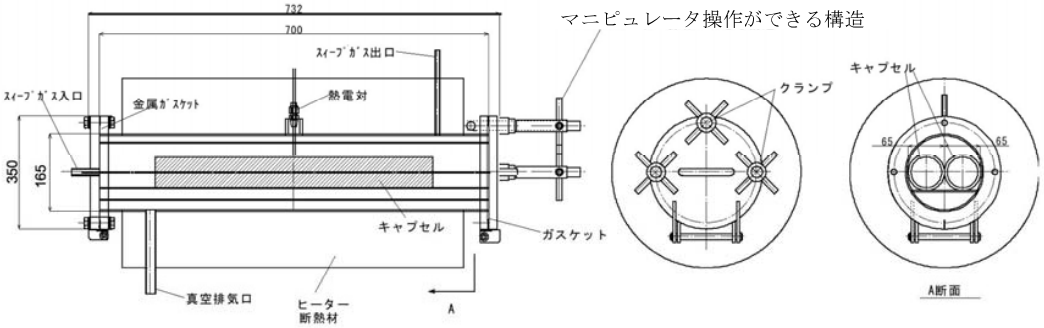


図 6.　トリチウム焼き出し系の構成図
マニピュレータ操作を考慮した構造とし、太径(φ65mm)のキャプセルを２体同時に装荷。スイープガスを導入しトリチウムの測定系、除去系へと接続する。

表 1.　各種トリチウム増殖材料の溶解・不純物除去試験結果

試料	溶解条件	Li 回収率	^{60}Co 除去効率（DF：除染係数）
Li_2O	希硝酸	96～100%	99.5%（DF=199）
Li_2TiO_3	H_2O_2 ＋ 硝酸	91±3%	99.9%（DF=1535）
Li_4SiO_4	希硝酸	93±4%	97.6%（DF=41）

＜特記事項＞
○トリチウム増殖材料のリサイクル技術の開発の成果により第７回核融合エネルギー連合講演会にて「優秀発表賞」を受賞。（受賞者：星野毅）

○「核融合炉用発電ブランケット第一壁の実規模モデルの製作及び性能試験」をプレス発表（平成 20 年 8 月）

【年度計画】構造材料の研究開発では、低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、F82H 標準材に関し 20dpa レベルまで破壊靭性データを拡充する。また、テストブランケット用の HIP 接合後に行う母材特性回復熱処理条件の確認を行うとともに、BA に係る、低放射化構造材料開発の予備的活動を進める。

○HFIR 炉を用いた低放射化フェライト鋼の中性子照射試験を継続し、F82H 標準材に関し 20 dpa レベルまで破壊靭性データを取得した。その結果、照射後の延性脆性遷移温度指標が 100℃近くまで上昇することが明かになった。（図 1 参照）

○HIP 接合後に行う母材特性回復熱処理条件として、従来採用している 1040℃以上の高温での熱処理に加えて、960℃30 分の追加熱処理を加えることにより、結晶粒がより細かくなり標準材並の衝撃特性および引張特性を持つことを確認した。

○「幅広いアプローチ」活動（BA）における予備的活動として、低放射化フェライト鋼の第一回調査溶解材より各種厚さの板材を作成し、標準熱処理により F82H 標準材（IEA ヒート）と同等の特性を有することを確認した。

○第一壁と側壁の溶接技術開発として、基礎的検討により電子ビーム（EB）溶接を選択し、且つ、EB による接合条件を決定し、治具の設計および開先形状の設計を終了した。

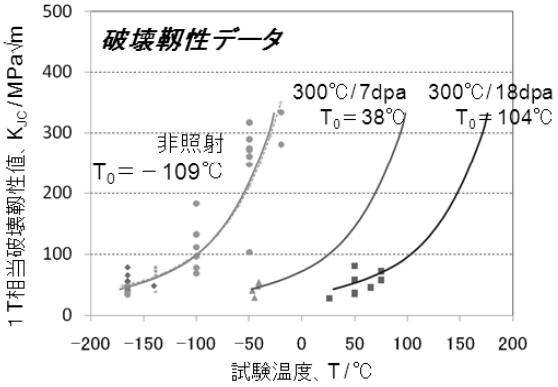


図 1.　300℃、20dpa レベルの靭性データ

＜特記事項＞

○第７回核融合エネルギー連合講演会にて「優秀発表賞」を受賞。（受賞者：荻原寛之）

【年度計画】核融合エネルギー利用のため、真空技術、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進める。先進超伝導技術では、高温超伝導線材を使用した導体で、熱処理によりジャケット材が超伝導性能に与える影響を評価する。

○先進超伝導技術では、熱処理によりジャケット材が超伝導性能を低下させるという課題について、ビスマス系高温超伝導線材の導体構造を工夫したサンプルで臨界電流値を測定し、性能低下を防ぐ方策を見出した。

○トリチウム安全工学では、トリチウムの安全閉じ込めにおいて重要なトリチウム水と材料の相互作用やトリチウム貯蔵ベッドの長期安定性等に関する基礎データベースを構築した。建屋の壁や床によく使用されるエポキシ樹脂とトリチウム水の相互作用については実際の使用条件に近い状態でトリチウム除染特性に関するデータを取得した。（図 1 参照）

　また大学等との共同研究により、トリチウムのコンクリート（建家構造材）に対する浸透、トリチウム取り扱い施設におけるトリチウム化学種の弁別モニタリング手法開発に関する基礎データを取得した。

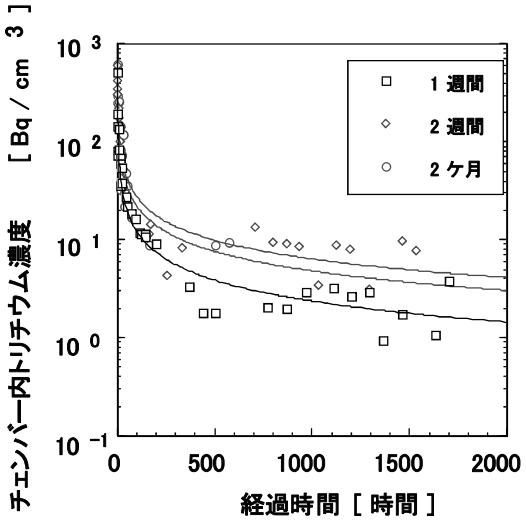


図 1.　エポキシ樹脂の除染特性　：エポキシ樹脂塗布チャンバーをトリチウム水蒸気曝露後（740 Bq/cm3、1 週間～2 ヶ月）乾燥空気で除染した際の時間経過

○中性子工学では、ブランケット核特性評価に大きな影響のあるベリリウムについて、一部の実験データと解析結果が異なる問題を解決するために DT 中性子による積分実験の追加実験を実施するとともに、新たに DD 中性子による積分実験を実施した。この結果、熱中性子に対するベリリウムの弾性散乱や中性子捕獲反応に関する核データを改善する必要があることを明らかにした。

○ビーム工学では、JT-60 負イオン NBI で問題となっているビームレット相互の空間電荷による反発と偏向に関して、3 次元ビーム軌道解析コードを用いて評価した。多数の負イオンビームレット（50 本）の相互作用を一斉同時解析する手法を開発した結果、引出し電極出口で意図的に電極孔中心軸を変位させ、その静電レンズの収束効果によってビームレット偏向を補正する方法が有効であることを見出した。（図 2 参照）

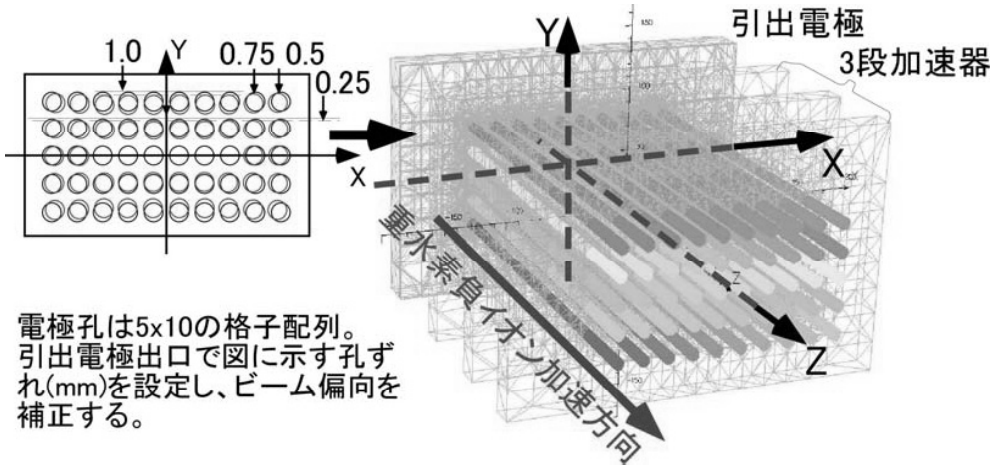


図 2.　　3 次元軌道計算体系　：50 本のビームの同時解析が可能となった。

核融合研究開発部門

○高周波工学では、高周波加熱装置の高性能化の一環として、一台で複数周波数の発振が可能なジャイロトロンの開発をすすめ、複数の周波数に対応可能なモード変換器の詳細設計を行うことにより、170GHz と 136GHz の２つの周波数で、出力１MW、効率５０％のジャイロトロンが設計上、実現可能である事を明らかにした。

＜特記事項＞

○「長年にわたる核融合中性子工学用中性子源（FNS）における運転保守管理と技術開発」で原子力学会北関東支部技術功労賞を受賞。(受賞者：沓掛忠三、田中滋、阿部雄一)

○第７回大強度マイクロ波国際ワークショップにて「最優秀発表賞」を受賞。(受賞者：坂本慶司)

○第７回核融合エネルギー連合講演会にて「優秀発表賞」を受賞。(受賞者：柏木美恵子)

○熊谷組との共同研究の成果「放射性廃棄物を大幅に低減できるコンクリート壁の構造体開発」をプレス発表（平成 20 年７月）

【年度計画】炉システムの研究では、低アスペクト比原型炉の高ベータ運転、ダイバータ成立性に関連する物理設計を進める。

高ベータ運転については、MARG2D コードを用いた MHD 安定性解析を行い、安全係数分布、ペデスタル高さ、及び導体壁位置をパラメータとしてベータ限界を解析し、ベータ限界値が設計値を越える条件を明らかにした（図 1)。

また、ダイバータ成立性については、NEUT2D/SOLDOR コードを用いたダイバータシミュレーションを実施し、当初の設計目標（ダイバータ板ピーク熱負荷 < 10 MW/m^2）を満たすダイバータ形状、燃料パフ量、及び不純物注入量に関する設計指針を得た（図 2)。

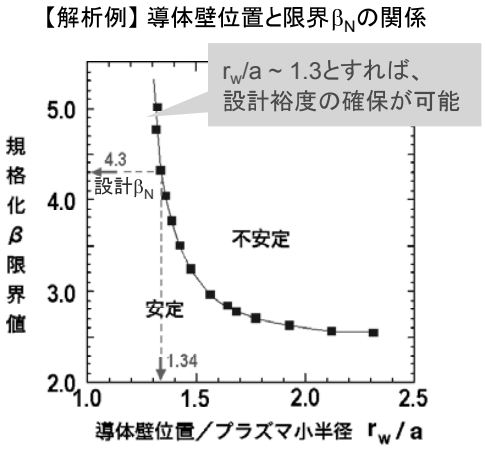


図 1:壁半径／プラズマ小半径に対する規格化ベータ値限界の依存性

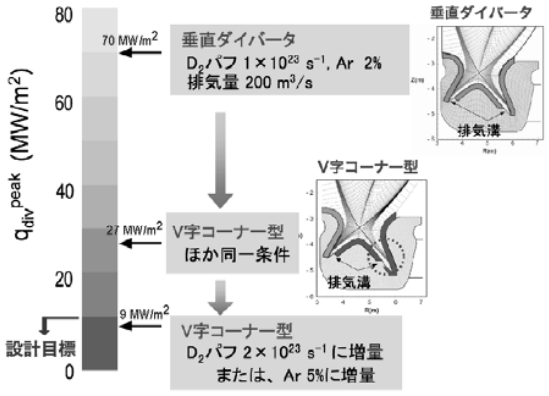


図 2：低いダイバータ板ピーク熱負荷の達成に向けた設計指針

資料6−8

第6回核融合研究開発・評価委員会
平成21年9月11日

核融合研究開発の成果及び現状と次期中期計画骨子について

核融合研究開発部門

現中期計画骨子：核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発

〇ITER計画及び幅広いアプローチ（BA）に取り組むとともに、炉心プラズマ及び核融合工学研究開発を進め、ITER 計画の技術目標の達成に貢献
〇炉心プラズマ研究開発と核融合工学研究開発を推進、経済性を見通せる原型炉の実現に必要な技術基盤の構築に貢献

①ITER計画
・ITER 協定発効までは、ITER 移行措置活動の実施機関としてITER 建設の共同実施を円滑に開始するための活動を実施
・ITER 協定発効後は、国内機関として、調達や人材提供の窓口としてITER 建設活動に取り組む
・BA協定発効前は、ITER 建設に係る支援と並行して、幅広いアプローチの推進を支援
・BA協定発効後は、実施機関としての業務を実施
・燃焼模擬実験等を実施することにより、燃焼プラズマ制御手法の指針を取得
・核融合エネルギーフォーラム活動を通して国内の意見や知識を集約しつつ、国内核融合研究との成果の相互還流を図る

②炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発
・定常高ベータ化研究を進め、高自発電流割合のプラズマや高い規格化ベータ値のプラズマの維持時間を伸長
・加熱装置の連続入射時間を伸長する等の装置技術開発を行うとともに、プラズマ輸送等のコードを改良
・大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献
・炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に関わる理論・数値計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的指針を取得
・増殖ブランケットや構造材料の研究、核融合エネルギー利用のための基礎的な研究開発や炉システムの研究を実施
・ITER での増殖ブランケット試験に向けた検討を進め、試験モジュールの基本要件を明らかにする。
・低放射化フェライト鋼の高中性子照射線量の照射条件での材料特性等のデータを蓄積し、原型炉への適用可能性を評価
・核融合材料照射試験に関し、現在国際協力で行われている検討活動に参加する。

1

中期計画の達成に向けて

中期計画に対応する具体的業務（達成すべきこと）

●ITER計画；国内機関としての業務を実施し技術目標の達成に貢献。また、BAの実施機関業務を実施。

●炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発；定常高ベータ化研究や増殖ブランケット、構造材料の研究開発を推進し、これらの成果をITER計画に反映させるとともに、経済性を見通せる原型炉の実現に必要な技術基盤の構築に貢献。

中期計画達成に向けた年度実績展開と残された課題の概要

表中A,S等の記号は独法評価部会の評価結果(S,A,B,C)を示す

	これまでの実績 H17（評価A）	H18（評価S）	H19（評価S）	H20（評価S）	残された課題 H21	備　考
ITER計画	・ニオブ・スズ超伝導素線の高性能化を実施 ・BAに関する国内意見集約を支援 ・BA事業に関する日欧合意に貢献	・超伝導導体用圧縮成型装置の試作に成功 ・政府間協議を支援し、ITER協定及びBA協定署名に貢献	・ITER建設を開始 ・超伝導コイル用導体の製作技術を確立し、調達取決めを締結 ・ジャイロトロンの開発でITER要求性能を達成 ・BA活動を開始	・超伝導コイル用導体の製作開始 ・NNBの加速方式に日本方式が採用 ・ダイバータ試験体の製作に成功	・調達取決めに基づく機器の開発、製作を継続 ・六ヶ所サイトの変電所、建屋整備を完了、試験機器・設備整備の継続	・ITERの国内機関、BAの実施機関としての責務の着実な実施 ・六ヶ所サイトでの研究開発活動の本格的実施に向けた準備
炉心プラズマ、核融合工学	・JT-60真空容器内にフェライト鋼を装着し、高性能プラズマの長時間維持に成功 ・テストブランケット第一壁の部分モデルを試作し、製作手法の妥当性を確認	・高圧力プラズマの安定維持に必要なプラズマ回転速度が従来予測の15%でよいことを発見 ・第一壁の実規模大モックアップを試作 （S評価理由）	・1万キロ離れた欧州からJT-60での核融合実験に成功 ・第一壁の製作技術の確立と性能実証に成功 （S評価理由）	・自由境界理想安定限界を超えた高圧力プラズマの維持に成功 ・23年余のJT-60実験を完遂 （S評価理由）	・JT-60改修に必要な制御・加熱機器の技術開発の継続とJT-60解体準備の完了 ・テストブランケットモジュール基本要件の明確化、低放射化フェライト鋼の原型炉への適用性評価	・JT-60の運転停止期間の炉心プラズマ研究の在り方 ・テストブランケット実機製作に向けた準備

2

ITER建設関連の主な成果

	H17	H18	H19	H20
		●ITER協定署名 BA協定署名●	●ITER協定発効 国内機関指定 ●BA協定発効 実施機関指定	
	ITER 移行措置活動			ITER 建設活動
調達準備等 支援窓口業務等	・ITAタスク35件を完了 ・252人月の人員派遣 ・機構長予定者を派遣 ・那珂サイトを支援	・ITAタスク75件中59件を完了 ・暫定ITER機構支援に15名を派遣 ・254人月の人員派遣 ・81回の技術会合に191人参加 ・那珂サイトを支援、12月閉鎖	・ITAタスク74件中73件を完了 ・技術仕様検討タスク13件中2件完了 ・直接雇用職員5名、リエゾン85人月 ・136回の技術会合に431人参加 ・日本人職員15名採用 ・ITER企業説明会5回	・技術仕様検討タスク37件中11件完了 ・直接雇用職員7名、リエゾン36人月 ・173回の技術会合に514人参加 ・日本人職員23名採用 ・ITER企業説明会5回、BA企業説明会1回 ・3件の研究委託、18件の業務委託の支援 ・人材登録制度の運用、108名の登録者 ・17回の国内ITER機構職員募集説明会 ・7回の仏、米ITER機構職員募集説明会
超伝導コイル 調達	・Nb3Sn素線高性能化に成功	・超伝導導体圧縮成型装置の開発	・サルタン導体試験に合格 ・導体調達取決めを締結、契約 ・自動巻き線技術を確立 ・欧州のPF導体試験の受託準備	・Nb3Sn素線製作着手、24kmの納入 ・撚り線試作、導体製作工場建設に着手 ・TFコイル調達取決め、TFコイル容器製作調達取決め締結 ・詳細設計及び実規模試作契約締結 ・欧州PF導体試験に成功、他極の調達に貢献
ダイバータ 調達				ダイバータ評価試験体の製作と熱負荷試験の合格
加熱装置 調達準備	・NNB 146A/m2で836kV ・Gyrotron0.2MW,1000s	・NNB735kVで0.3A大電流加速 ・Gyrotron1MWで800s、0.6MWで1時間	・NNB用大口径セラミックリング開発 ・Gyrotron1MWで発振効率55% Nature物理誌に掲載	・NNB多段加速方式の有効性確認 ITER技術仕様に採用 ・Gyrotron繰返し発振信頼性実証
遠隔保守装置 計測調達準備			・ドライ潤滑剤コート歯車寿命試験 ・計測器の設計検討	・遠隔機器制御用計装アンプの照射試験 ・計測器の設計検討

3

幅広いアプローチ活動関連の主な成果

	H17	H18	H19	H20
		●ITER協定署名 BA協定署名 ●	●ITER協定発効 ●BA協定発効 国内機関指定 実施機関指定	
	ITER移行措置活動		ITER建設活動	
BA全般、六ヶ所サイト	・19回の日欧関連会合技術支援	・六ヶ所のサイト及び施設の基本計画の策定	・仮オフィス整備・支援 ・六ヶ所サイト整備、建屋の実施設計完了	・管理研究棟、ユーティリティ施設の竣工 ・原型炉R＆D棟、計算機・遠隔実験棟、IFMIF/EVEDA開発試験棟建設を継続
IFERC		・IFERC活動の準備	・原型炉設計技術会合、緊急検討作業に係る調達取決め締結 ・IFERC関連研究施設の調達取決め締結 ・原型炉のための予備的R＆Dの実施、試験設備の検討 ・CSC建屋構造の日欧合意、SWG設置に合意	・原型炉設計指針確定用技術会合、検討作業 ・原型炉R＆D課題の調達取決め締結と予備的R＆Dの実施 ・原型炉R&D棟の許認可申請に向けた安全検討作業開始 ・CSC計算機種選定のためのSWG4名の委員派遣、ベンチマークコードの選定
IFMIF/EVEDA		・IFMIF/EVEDAの準備	・加速器棟及び付属設備の技術仕様決定 ・Liターゲットの開発を大洗研究開発センターと連携して実施する計画を策定	・専門家3名、支援要員4名の派遣 ・原型加速器の許認可申請に向けた安全検討作業開始 ・Li試験ループの基本設計の実施、調達取決めの締結、製作着手
JT-60SA		・概念設計報告書草案を作成	・概念設計報告書を完成、大綱をSCで承認 ・PF導体、真空容器の技術仕様確定、PA締結、契約	・統合設計を完了、SCで承認 ・PF導体、真空容器トーラス部、ダイバータタイルの調達を継続 ・ダイバータカセットの調達取決め、メーカーとの契約 ・超伝導導体製作棟、コイル巻き線棟竣工、CS、EFコイル製作に着手

4

ITER/BA関連のその他の主な成果

	H17	H18	H19	H20
		●ITER協定署名 BA協定署名 ●	●ITER協定発効 ●BA協定発効 国内機関指定 実施機関指定	
全体	・組織改編部門4ユニット 先進プラズマ トカマクシステム技術 核融合エネルギー工学 ITERプロジェクト ・韓国への技術協力・指導の実施	・3委員会設置 ITERプロジェクト委員会 炉心プラズマ共同企画委員会 核融合炉工学研究委員会 ・中国のASIPP, SWIPと、IPP Garchingの研究協力協定締結	・組織改編部門 六ヶ所BAプロジェクトユニットを設置 ・青森研究開発センター設置 ・米国DOEとの協力協定締結 ・カザフスタン国立原子力センターとの協力覚書締結	
	ITER移行措置活動		ITER建設活動	
燃焼プラズマ制御	・粒子制御装置の整備 ・ITPA、3件の国際共同論文投稿	・JT-60燃焼模擬プラズマの粒子連続入射に対する応答特性取得	・JT-60でガスジェット装置の運転に成功、制御実験に着手 ・ITPAとしてASDEXとの比較実験を実施	・燃焼模擬手法を開発、実時間制御を実証、制御手法指針を取得 ・ITPA29件の国際比較実験を実施
フォーラム	・全体会合1 ・運営会議2 ・調整委員会3 ・クラスター会合22回	・全体会合1、運営会議2、調整委員会3、クラスター会合27回 ・ITER・BA技術推進委員会の設置を支援 ・クラスター会合を通じてTBMアドホック委員会を支援 ・ネットワークと連携し、TBM作業部会、IFMIF/EVEDA作業部会を支援	・全体会合1、運営会議3、調整委員会3、ITER・BA技術推進委員会7、クラスター会合25回 ・ロードマップ等検討WG12回実施	・全体会合1、運営会議2、調整委員会3、ITER・BA技術推進委員会7、クラスター会合35回 ・ITER・BA技術推進委員会の2件の報告書を文科省に提出

5

炉心プラズマ研究関連の主な成果

	H17	H18	H19	H20
		●ITER協定署名 BA協定署名 ●	●ITER協定発効 ●BA協定発効 国内機関指定 実施機関指定	
JT-60実験	・容器内フェライト鋼設置 ・高速イオン損失低減、閉じ込め改善 ・規格化ベータ値2.3を28.6秒維持 ・壁安定化効果で規格化ベータ3.8を達成 ・電流分布帰還制御法を開発 ・壁飽和状態で密度一定制御に成功	・導体壁安定化効果で規格化ベータ4.2を達成 ・高ベータプラズマの安定維持に必要なプラズマ回転数を明示 ・高自発電流プラズマの外乱応答特性を取得 ・運動量輸送の系統的理解、内部輸送障壁の非局所性評価 ・第一壁への粒子吸蔵量の温度依存性の重要性を指摘	・規格化ベータ値2.6を28秒維持、自由境界限界を超える規格化ベータ7.7の達成 ・自発電流割合72%を原型炉と同等の安全係数で達成 ・圧力、プラズマ回転分布、安全係数最小値、放射パワーの実時間制御	・23年4ヶ月のJT-60の実験を完遂 ・高ベータ域の新たな不安定性を発見、安定化して規格化ベータ3を5秒維持 ・プラズマ圧力と電流分布の複合実時間制御を実証 ・国際装置比較実験29件に貢献
装置技術開発	・NNB、EC長パルス化課題の摘出	・NNB21秒入射に成功 ・EC21秒入射に成功 ・CXRSの改良、ビームエミッション分光の開発	・NNB27秒、EC30秒入射に成功 ・長時間入射の信頼性向上に成功 ・ジャイロトロン単管1.5MWの入射 ・CXRSの高時間分解能、高空間分解能に成功	・NNB 30s入射に成功
コード開発	・ダイバータコードと中性粒子コードの結合 ・電磁流体安定性解析コードの上下非対称化	・非定常輸送コードとMHDコードを結合、エネルギー吐出機構解明	・統合ダイバータコード原型版の開発に成功	・磁気流体不安定性モデル群と輸送モデルを統合
人材育成・連携協力	・241人日の共同研究者 ・IAEA会議、PSI会議共同研究論文10件	・22大学・機関と33件の共同研究 ・京都大学との遠隔実験に成功	・18大学・機関と27件の共同研究を ・ドイツからJT-60の遠隔実験成功	・18大学・機関と26件の共同研究 ・研究協力者149名 ・大学等との共著論文53編投稿 ・第22回IAEA会議JT-60論文21件の内7件 (6大学等が主著者)
理論シミュレーション	・電子系乱流の飽和機構モデルを考案 ・3.3-3.6TFlopsの並列化効率検証	・電子系乱流の飽和機構モデルを構築、論文発表 ・スラブ配位の高精度乱流輸送コードを開発、論文発表	・散逸性磁気流体力学系に適用できる変分原理・正準摂動論を考案 ・高精度乱流輸送コードの開発を完了、外部発表	・安定性の効率的な解析モデルを考案 ・抵抗性壁モードに対するプラズマ回転効果を解析 ・乱流輸送コードのトーラス配位への拡張

6

核融合工学研究関連の主な成果

	H17	H18	H19	H20
		●ITER協定署名 BA協定署名 ●	●ITER協定発効 ●BA協定発効 国内機関指定 実施機関指定	
テストブランケット開発	・TBM工学規模試験計画策定 ・第一壁部分モデル試作、妥当性確認 ・酸化物添加増殖材の不定性比評価試験完了 ・電気化学水素ポンプの原理検証 ・圧力スイング吸着塔の原理検証 ・F82Hの照射試験を継続、7dpaまでの照射 ・5dpaまでの照射下クリープデータを取得	・TBM実規模第一壁モックアップの試作と接合部健全性試験を完了 ・核特性評価試験体用平板体系、単一微小球充填層体系の評価を完了 ・微小球充填体、T透過皮膜の照射下データ解析、照射後試験開始 ・F82Hの照射試験を継続、9dpaまでの破壊靭性データを取得 ・TBM用溶接材の確証試験を実施、薄肉容器製作性に見通し	・TBM実規模第一壁モックアップの流動試験、高熱負荷試験に成功 ・充填層構造体のモックアップを製作、製作手法の妥当性を確認 ・TBMの核特性測定手法として多数放射化箔法の予備的試験を実施 ・トリチウム水蒸気吸着剤を開発、回収システムの安全解析を実施 ・F82Hの照射試験を継続、18dpaまでの引張データを取得 ・HIP前処理の最適化で母材特性並のHIP処理が可能であることが判明	・TBM充填層構造体、側壁の実規模大モックアップの製作と性能実証に成功 ・TBMの核特性測定手法として多数放射化箔法と評価手法の開発を実施 ・トリチウム水蒸気吸着剤のデータを取得し高性能吸着剤開発の見通しを得た ・照射後水素同位体透過試験装置の整備、増殖材照射試験の設計検討を実施 ・F82Hの20dpaレベルの破壊靭性データ取得 ・照射後水素同位体透過試験装置の整備、増殖材照射試験の設計検討を実施 ・HIP接合後の母材特性回復熱処理条件を明確化
工学基盤研究：先進超伝導、真空、トリチム安全、中性子工学、ビーム工学、高周波工学、炉システム	・高温超伝導線の20テスラでのと特性取得 ・タングステンのDブリスタリング特性を取得 ・中性子散乱による対抗壁の分析法の開発 ・低放射化コンクリート開発 ・低アスペクト比炉の概念検討	・高温超伝導線材6本束ねた撚り線導体試作、性能評価 ・バイオ技術を用いたトリチウム除去技術の開発 ・中性子弾性散乱によるプラズマ対抗壁の分析 ・高電子温度プラズマでの高密度負イオン生成の発見 ・低アスペクト比炉の基本構造を決定、妥当性等の検討	・高温超伝導線材を用いた長尺書規模撚線を試作、表面被覆の課題摘出 ・トリチウムと材料の相互作用基礎データの取得 ・荷電粒子生成断面積データ整備 ・低ガス圧でイオン源高周波プラズマ生成に成功 ・ジャイロトロン内磁場高速制御の成功 ・セクター保守概念を検討、技術課題を摘出	・高温超伝導線材の熱処理による性能劣化防止策の発見 ・アルミナ溶射コーティング絶縁皮膜の耐久性試験で健全性を確認 ・トリチウム水と材料の相互作用、貯蔵ベッドに長期安定性データベース構築 ・ベリリウムのDT中性子積分実験を行い、核データの改善点を明示 ・NNBビームレット偏向の補正法を開発 ・発振効率50%で2周波数発振可能な発振管設計を実施 ・低アスペクト比原型炉のベータ値が得られる条件を明確化、設計目標を満たすダイバータ形状を検討

7

現中期計画の進捗状況

①ITER計画
・ITER 協定発効までは、ITER 移行措置活動の実施機関としてITER 建設の共同実施を円滑に開始するための活動を実施⇒達成
・ITER 協定発効後は、国内機関として、調達や人材提供の窓口としてITER 建設活動に取り組む⇒達成
・BA協定発効前は、ITER 建設に係る支援と並行して、幅広いアプローチの推進を支援⇒達成
・BA協定発効後は、実施機関としての業務を実施⇒達成
・燃焼模擬実験等を実施することにより、燃焼プラズマ制御手法の指針を取得⇒達成
・核融合エネルギーフォーラム活動を通して国内の意見や知識を集約しつつ、国内核融合研究との成果の相互還流を図る
⇒達成見込み

②炉心プラズマ研究開発及び核融合工学研究開発
・定常高ベータ化研究を進め、高自発電流割合のプラズマや高い規格化ベータ値のプラズマの維持時間を伸長⇒達成
・加熱装置の連続入射時間を伸長する等の装置技術開発を行うとともに、プラズマ輸送等のコードを改良⇒達成見込み
・大学等との相互の連携・協力を推進し、人材の育成に貢献⇒達成見込み
・炉心プラズマの乱流構造の解明を進めるとともに、プラズマの磁気流体的な挙動に関わる理論・数値計算手法を開発し、閉じ込め・安定性制御のための理論的指針を取得⇒達成見込み
・増殖ブランケットや構造材料の研究、核融合エネルギー利用のための基礎的な研究開発や炉システムの研究を実施⇒達成
・ITER での増殖ブランケット試験に向けた検討を進め、試験モジュールの基本要件を明らかにする。
⇒達成見込み
・低放射化フェライト鋼の高中性子照射線量の照射条件での材料特性等のデータを蓄積し、原型炉への適用可能性を評価
⇒達成見込み
・核融合材料照射試験に関し、現在国際協力で行われている検討活動に参加する。⇒達成

8

5. 核融合研究開発

日本原子力研究開発機構の見直しについて
平成21年8月　文科省原子力研究開発課
独立行政法人評価委員会分科会（第38回）報告

○核融合研究開発（ITER計画）の概要

○ＩＴＥＲ計画は、実験炉の建設・運転を通じて、核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証する国際協力プロジェクト（ＩＴＥＲ機構長：池田要氏）
○ 核融合エネルギーの早期実現に向け、ＩＴＥＲと並行して補完的に取り組む幅広いアプローチを日・ＥＵの国際協力により実施

ITER

○参加極：日、EU、米、露、中、韓、印
○建設地：フランス・カダラッシュ
○核融合熱出力：50万KW（発電実証はしない）
○総経費：113億ユーロ（1ユーロ=151円として計算した場合、約1.7兆円）を参加極で分担
○日本の分担割合：建設期：9.1%（主に物納）
運転期：13%
○計画（予定）：2008年度　建設開始（10年間）
2018年度　運転開始（20年間）

幅広いアプローチ（BA活動）

○実施極：日本、EU
○実施地：青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
○総経費：920億円を日・EUで半分ずつ負担
○計画：ITER建設と概ね合致する期間、以下のプロジェクトを実施
①国際核融合エネルギー研究センター事業
・原型炉設計・研究開発調整センター
・核融合計算機シミュレーションセンター
・ITER遠隔実験センター
②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動事業
③サテライト・トカマク計画（予備実験等の実施によるITER支援）

○次期中期計画のポイント

- ITER機構への貢献を強化し、ITER計画を着実に推進
- BA活動については、着実・効率的に実施
- 国内における炉心プラズマ、核融合工学研究の中核的機関として研究開発を推進するとともに、連携を強化
- 研究施設を大学等の研究者との共同企画・共同研究に供するとともに、核融合研究者・技術者の人材育成を適切に実施

9

次期中期目標・計画に反映する主要ポイント:

Ⅰ.1.(3).3) 核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発

独立行政法人日本原子力研究開発機構の次期中期目標・中期計画について
平成21年7月　文科省原子力研究開発課
独立行政法人評価委員会原子力機構部会報告

第1期中期計画の概要

- ITER計画及び幅広いアプローチ(BA)活動に取り組み、ITER計画の技術目標の達成に貢献
- 炉心プラズマ研究開発と核融合工学研究開発を推進し、経済性を見通せる原型炉の実現に必要な技術基盤構築に貢献
- 国際協力を活用することにより、以上の研究開発を円滑に推進

次期中期目標・計画に反映すべき指摘事項

- **ITER関連設備の製作において世界を先導するとともに、人材の派遣に関して更なる努力を行う。**
- **BA活動については、原型炉建設まで含めたより明確なロードマップを作成した上で、着実・効率的に実施する。**
- **国内における炉心プラズマ、核融合工学研究の中核的機関としての役割を果たす。**
- **研究施設を大学等の研究者との共同企画・共同研究に供する役割及び、ITER計画/BA活動に直接的・間接的に関与する研究者・技術者の拡充を行う。**

【出典】
- 「原子力政策大綱等に示している核融合研究開発に関する取組の基本的考え方の評価について」(平成21年1月 原子力委員会 核融合専門部会)
- 「平成21年度概算要求における科学技術関係施策の重点化の推進について」(平成20年10月　総合科学技術会議)
- 「独立行政法人日本原子力研究開発機構の平成19年度に係る業務の実績に関する評価」平成20年8月 文部科学省)
- 「核融合研究の推進に必要な人材の育成・確保について」(平成20年7月 文部科学省　科学技術・学術審議会　核融合作業部会)
- 「今後の核融合研究開発の推進方策について」(平成17年10月 原子力委員会 核融合専門部会)

次期中期目標・計画に反映する主要ポイント

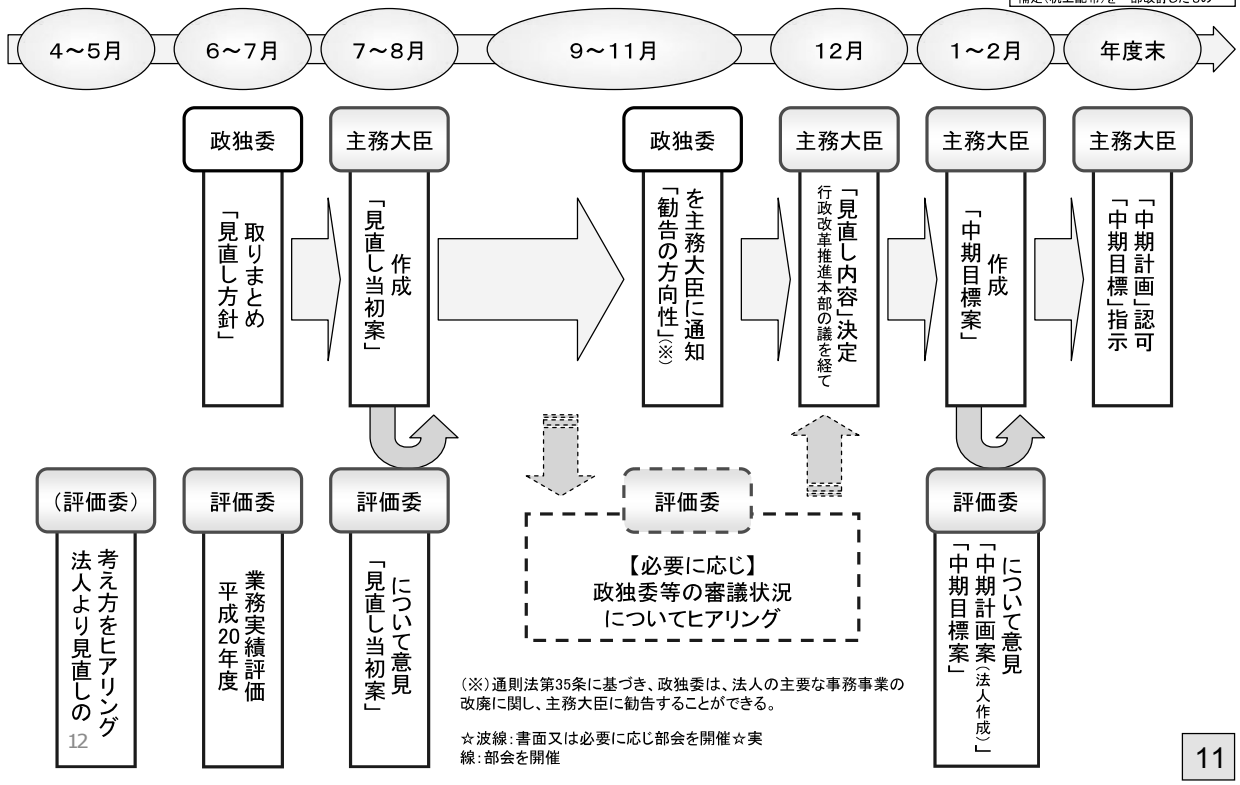
- **ITER機構への貢献を強化する。**
  - ITER機構への物納貢献を継続し世界をリードするとともに、ITER機構への人的貢献を強化
- **BA活動については、着実・効率的に実施する。**
  - 原型炉基盤構築へ向けたBA活動の各プロジェクトの位置付けを明確にし、国の方針に整合した事業の推進
- **国内における炉心プラズマ、核融合工学研究の中核的機関として研究開発を推進するとともに、連携を強化する。**
  - ITER計画・BA活動の基盤を構成する研究開発を、大学等や産業界と連携して推進
- **研究施設を大学等の研究者との共同企画・共同研究に供するとともに、核融合研究者・技術者の人材育成を適切に実施する。**
  - 大学等との共同企画・共同研究を拡充し、核融合研究施設の有効活用を図り、人材育成を強化

10

次期中期目標・中期計画の策定スケジュール案

(添付2)

H21年1月16日原子力機構部会資料4
補足(机上配布)を一部改訂したもの



(※)通則法第35条に基づき、政独委は、法人の主要な事務事業の改廃に関し、主務大臣に勧告することができる。

☆波線:書面又は必要に応じ部会を開催☆実線:部会を開催

12

11

核融合部門の活動状況

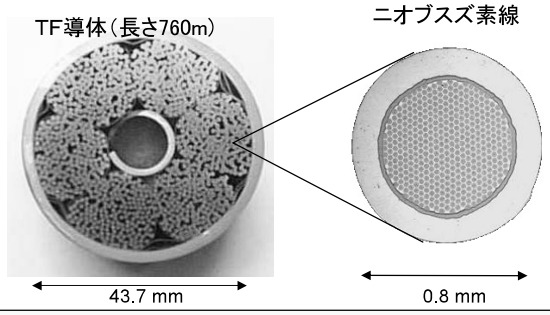
12

ITER建設活動H21進捗（1）

調達取決めに基づき、我が国が分担する超伝導コイルの製作が進む

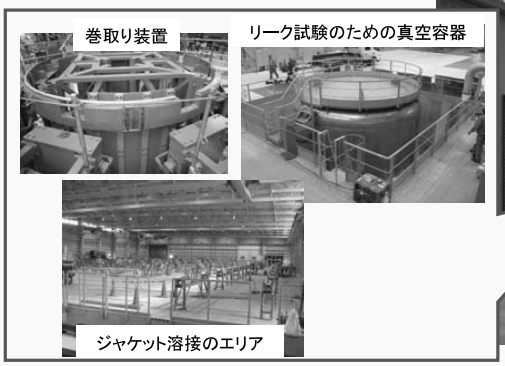
【TF導体】
- ニオブスズ素線の製作
- 導体製作工場の準備

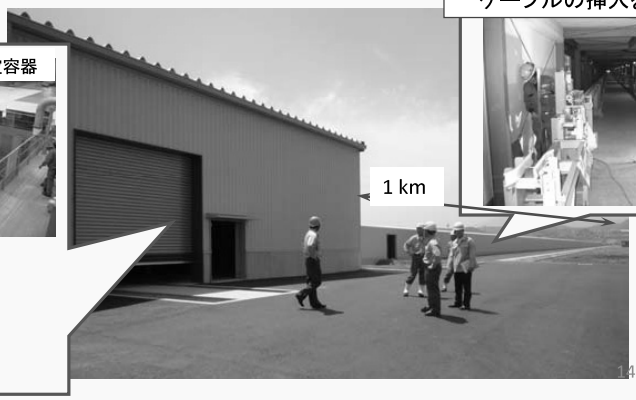
【TFコイル】
- コイルの実規模試作に着手



導体製作工場の現状

H21.11　模擬導体製作開始予定





溶接した長尺のジャケットを置き
ケーブルの挿入を行うエリア

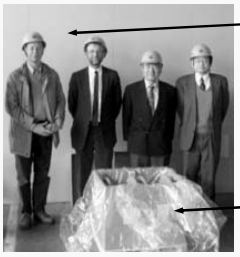


13

ITER建設活動H21進捗（2）

ニオブスズ素線の製作実績

- 3月の12kmの素線製作完了に続き、9月初旬時点で3,909kmの実機TFコイル用ニオブスズ素線の製作が完了。納入実績は以下のとおり。
  5月：559 km、6月：442 km、7月：884 km
  8月：791 km、9月：1,233 km
- 今年度末までに9,680kmの素線（TFコイル2個分）の製作が完了する予定。



納品に立ち会ったイーター機構職員
超伝導磁石部門責任者のN. Mitchell氏（左）と導体担当のD. Arnaud氏（右）

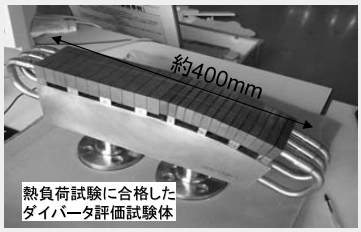
3月に納入された12kmのニオブスズ超伝導素線



5月に納入された559kmのニオブスズ超伝導素線

ダイバータ調達取決めの締結

•ITER機構とのタスク取決めにもとづき、ダイバータ評価試験体を製作し、ロシアで実施された評価試験（高熱負荷試験）に世界で最初に合格。
•これを受けて、ダイバータ（外側垂直ターゲット）の調達取決めを締結（H21.6）。
•調達取決めに規定された実規模プロトタイプの製作に着手。



熱負荷試験に合格したダイバータ評価試験体



池田ITER機構長と長岡国際部長がダイバータ調達取り決めに署名（6月17日、於水戸市第4回ITER理事会）

14

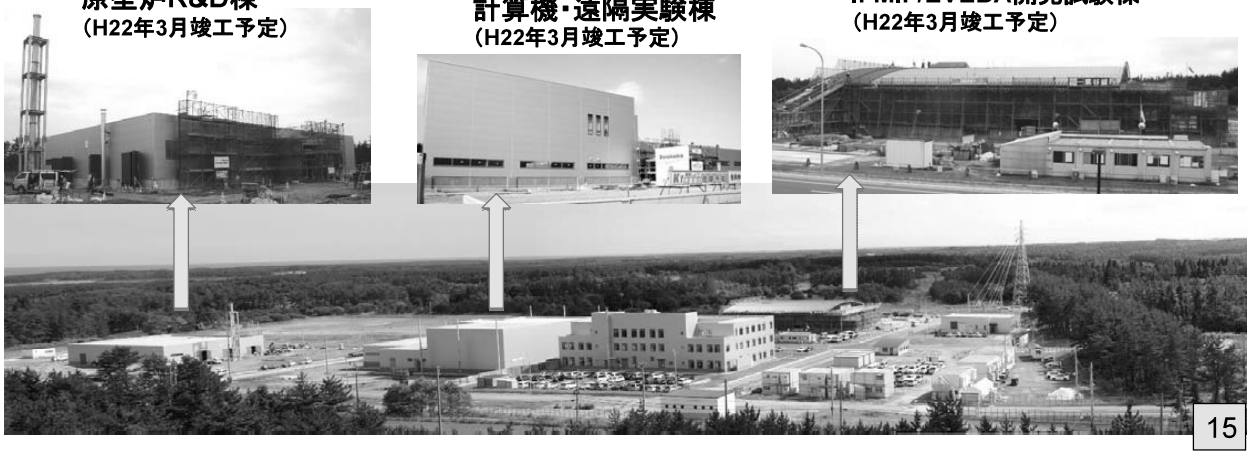
IFERC / IFMIFの進捗状況

〇六ヶ所で実施されている国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動（IFMIF/EVEDA）及び国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）は計画通り進捗。
〇現在日欧の実施機関が物納として貢献し、平成21年度末に完成する研究施設に設置する加速器機器、高性能計算機、材料試験装置等の調達取決めが準備、締結されている。
〇平成21年3月に新サイト（国際核融合エネルギー研究センター）竣工した管理研究棟では、事業チーム、実施機関が活動を開始。

原型炉R&D棟
（H22年3月竣工予定）

計算機・遠隔実験棟
（H22年3月竣工予定）

IFMIF/EVEDA開発試験棟
（H22年3月竣工予定）



15

サテライトトカマクの進捗状況

・日欧の設計調整が順調に進展。
・H21年3月までに那珂核融合研究所内に、超伝導コイル巻線棟と超伝導導体製作棟が竣工。
・わが国分担分の超伝導ポロイダル磁場コイルや真空容器トーラス部等の設計・製作・契約等、計画通り、順調に進展。
・JT-60SAリサーチプランの日本ホームチーム原案を策定し、国内及び欧州での議論を開始。



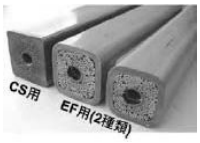
超伝導コイル巻線棟竣工



超伝導導体製作棟竣工



導体製作機器納入



ダミー導体試作に成功

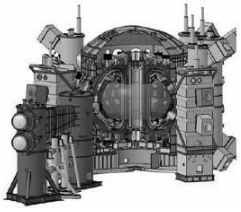


第5回日欧技術調整会合（H21年4月）

年	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
解体・組立											
試験・運転											

準備・環境整備　解体　組み立て　実験　試験　総合試験

サテライトトカマク事業



JT-60SA真空容器の実機製作に向けて、20度セクター上半分の試作を実施



インボード直線部



アウトボード上半分

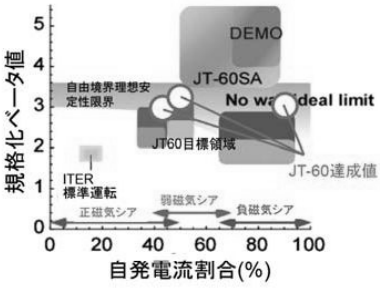


リサーチプラン日本ホームチーム原案完成

16

炉心プラズマ研究の進捗状況

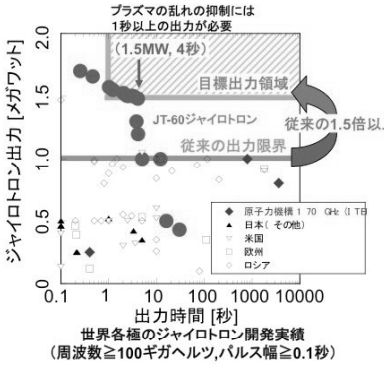
実験研究



・JT-60の高ベータ・高自発電流割合プラズマの実験解析と制御性等の評価を進め、JETやDIII-Dとの比較実験研究を遂行中

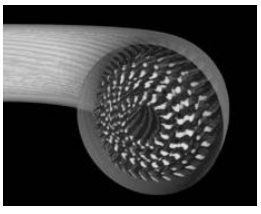
・磁場リップル効果やELM等のITER主要課題に関する実験解析／予測研究を遂行中

加熱装置開発研究

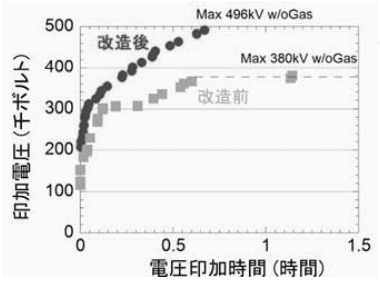


JT-60加熱用の電磁波源ジャイロトロン（110GHz）で、各部の耐熱性を高める改良等を行い、1.5MW出力の4秒間維持に成功。実用的な出力時間（1秒以上）で、世界最高出力を達成。

シミュレーション研究



ジャイロ運動論的ブラゾフ方程式に基づく乱流輸送コードに熱源や粒子衝突効果を実装し、イオン系乱流に関するコード開発を完了した。このコードを用いて開放系トカマクプラズマにおけるイオン系乱流の長時間乱流シミュレーションを実現



JT-60負イオン源NBIの加速部各所の絶縁距離を最適化し、耐電圧特性を380kVからJT-60SAの設計電圧である500kVまで大幅に改善した。

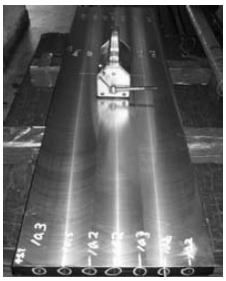
17

核融合工学研究の進捗状況

- ブランケット筐体製作の要件として、第一壁と側壁の組み合わせ接合試験に成功し、接合条件を明らかにした。また、最も板厚が大きく（90mm）、接合が困難な後壁の接合試験に成功し、接合可能であることを示した。
- ブランケット構造材料開発においては、日米協力照射試験において約20dpaまでの照射を実施し、F82Hの延性脆性遷移温度指標（T0）が100℃程度まで上昇したが、靱性改善材F82H-MOD3では室温程度にとどまることを明らかにし、照射靱性劣化抑制の可能性を見出した。
- 高効率の新たな6Li濃縮技術として、イオン液体含浸有機隔膜にイオン交換膜又はナフィオン膜を保護皮膜として用いる電気化学的な分離技術が、耐久性と分離効率を高める有望な技術であることを明らかにした。
- FNSにおいて、Be体系内にブランケット材を設置し、DT中性子照射後、ブランケット材からの生成トリチウム放出・回収試験の予備実験に成功した。

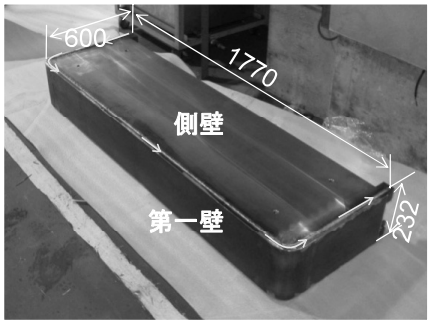


第一壁

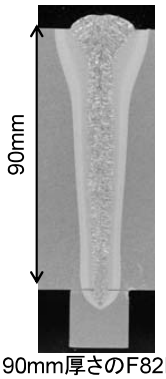


側壁

これまでに製作に成功したブランケットモジュール部分構造



1770mm×600mmの模擬板材モックアップにより、第一壁と側壁の組み立て施工のための、接合試験に成功し、組みあがったモックアップ



90mm厚さのF82H板材のEB接合部断面写真

18

核融合科学研究所と研究協力協定を締結

ITER/BAをはじめとする核融合研究開発を、より一層全日本的な体制で取り組むために、平成21年8月10日、核融合科学研究所と包括的な協力協定を締結した。両機関が有する研究開発能力及び人材を相補的、総合的に活用して、核融合エネルギー研究開発の更なる進展を目指す。



19

アウトリーチ活動の積極的推進

7.22：日食の観察と施設見学会



JST地域の科学舎推進事業

7.27：茨城中高校出前授業・実験



キャラクター「那珂博士」
H19,H20那珂研施設公開
エネルギー学フェスタ・埼玉新都心
4.19 サイエンスカフェ@神保町
7.25 サイエンスカフェ@リコッティ
等



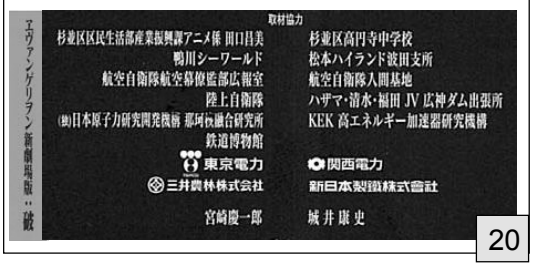
科学館等との協力

日本科学未来館
・企画展：「65億人のサバイバル展」06.10～07.2@日本科学未来館
⇒中国巡回：「67億人のサバイバル展」08.9～09.6（南京、蘇州、合肥、成都）
⇒九州巡回：「68億人のサバイバル展」09.10～09.12（北九州イノベーションギャラリ）
・常設展示「地球環境」に協力

つくばエクスポセンター
常設展示「夢への挑戦ー覗いてみよう科学の最前線と未来」への協力

原子力産業協会
・地域ネットワークとの協力

取材協力：タツノコプロ、（株）カラー、NHK司会者渡邊氏、
写真家西澤丞氏の取材（H22出版予定の写真集素材）
韓国テレビKBS



20

参考資料３

核融合研究開発・評価委員会（中間評価）
における委員会の指摘事項と原子力機構の措置

This is a blank page.

核融合研究開発・評価委員会　中間評価指摘事項への措置

Ⅱ. 総合的な提言

区分	委員会の答申における指摘事項	機構の措置
(1) ITER 計画	・ITER 計画については、建設期間も含めて 30 年の計画であり、今後も幾つかの選択の場面に立ち会うことが予想されるが、日本の主導的な立場を崩さぬよう努力いただきたい。その意味で 5 年間の中期計画を策定するに当たっては、その期間が ITER 全体計画のどの位置にあるのかを十分考慮してなされるべきであるが、臨機応変な対応が可能な自由度を併せ持つよう配慮することが望まれる。	・拝承。従来から、ITER 理事会等の国際協議の結果、それを受けた各極の動向等に基づき、文部科学省との連携の下にその対応を図ってきていますが、今後も引き続き情報の把握に努め、時期を逸することなく対応することにより、日本の主導的立場を崩さぬよう努力します。また、機器製作に当たっては、契約及び製作を段階的に進めることにより、臨機応変な対応が可能となるよう配慮しています。次期中期計画では、国際的に合意した事業計画に従って事業を進めていく予定ですが、一層臨機応変な対応が可能となるよう工夫したいと考えています。
	・ITER 計画に対しては開発研究のみならず人的貢献も重要であり、大学・産業界との連携も行いながら ITER 機構の中でリーダーシップをとれる人材を育てるとともにキャリアパスを構築する努力をお願いしたい。	・拝承。大学等での人材育成の契機となるよう核融合エネルギーフォーラムの活動等を通じて ITER 計画で必要とされている研究及び技術課題の提示に努めていきます。また、ITER 機構の各種会合への大学及び産業界からの参加者を増やし、日本の貢献度を高めるとともに人材育成につながるよう進めます。あわせて、会合等での作業貢献が ITER 機構に認知されて人的貢献につながるように進めます。また、ITER の次段階の核融合炉開発という長期的視点に立って、ITER 機構での活動実績がキャリアパスとなるような人材の流れの構築を図っていきます。
	・BA 活動についてはインフラ整備を進める中で、大学との連携協力も構築しながら具体的な研究計画を策定していくことが肝要である。二つのサイトにまたがるという地理的な問題もあるのでネットワークを活用するなど効率的な運営が望まれる。	・拝承。幅広いアプローチ(BA)活動(JT-60SA、IFMIF 及び IFERC)では以下のように大学等と連携して進めていますが、今後も連携強化に努めます。 JT-60SA 計画に係る大学との連携協力については、平成 21 年 5 月に JT-60SA 研究計画の原案を作成し、これを基に、大学等の研究者と共同で研究計画案の策定作業を、密接かつ効率的な協力関係を背景に進めているところです。また、核融合エネルギーフォーラム、核融合科学ネットワーク等の場を活用して、この研究計画案を特に若手研究者世代を中心としてより広い国内研究コミュニティで、検討し、発展させることを計画しています。 IFMIF の工学実証及び工学設計については、核融合エネルギーフォーラム中性子源サブクラスターと核融合ネットワーク IFMIF/EVEDA 作業会との合同会合を開催し、大学研究者との情報及び意見交換を行い、連携協力を進めています。 IFERC の原型炉設計活動においては、国内研究機関及び産業界との連携強化のため、核融合エネルギーフォーラム原型炉概念共同検討会において、月 1 回程度の定期的な情報開示及び意見交換に努めるとともに、BA 原型炉設計活動に関する情報を周知するため、「原型炉設計ニュース」の配信を開始しました。また、平成 22 年度内に整備される BA 原型炉 R&D 棟の各種試験施設を利用することを想定して、大学等との共同研究を予定しており、平成 22 年 1 月に公募を開始しています。

(2)炉心プラズマ研究開発	・次期中期計画期間は JT-60U を BA の枠組みの中で JT-60SA へ改修する期間に当たる。この間国内で大型トカマクを用いたプラズマ実験研究が出来なくなることから、研究者のレベル維持と次世代を担う若手研究者の育成に特段の配慮が必要である。国際協力の枠組み等を活かしながら最新の研究現場に触れ、JT-60SA 実験が開始された暁には、後に続く ITER における実験を先導する成果を出していただきたい。	・拝承。これまでにも、JT-60 の実験データ解析を進めるとともに、国際トカマク物理活動の国際データベース活動、国際装置間比較実験等の国際研究協力を積極的に展開しています。今後、これらの実施においては、若手研究者をこれまで以上にできる限り長期又は高頻度に、欧米のトカマク装置や中韓の超伝導トカマク装置での実験に参加させて研究者の育成に努めていきたいと考えています。このほか、JT-60SA 改修期間においても、JT-60SA での実験研究の準備として、既存のジャイロトロン、中性粒子ビーム用イオン源、計測装置等の性能を向上させるための技術開発に努めます。これらの研究活動により、高い研究開発レベルを維持するとともに、JT-60SA 実験で ITER を先導する成果を出せるよう図っていきます。
	・次期中期計画においてさらに先進的な成果があがることを期待しているが、トリチウム・不純物を取り込んだダイバータ解析コードの開発については加速することが望まれる。	・拝承。ダイバータ解析コードの開発については、既に単一粒子種の不純物についての取扱いを可能にしています。今後、膨大になる数値計算の工夫及び原子分子過程の追加によって、多種の不純物及びトリチウムについての取扱いを可能にする予定です。また、当該コードは、これまでコアプラズマ輸送コードとの統合を行ってきましたが、今後、プラズマ壁相互作用モデルコード等との統合化を進め、原型炉に向けさらに発展させる予定です。これらのプロセスを可能な限り迅速に実施し、コード開発を加速することに努めます。
(3)核融合工学研究開発	・テストブランケットモジュールの開発は、核融合炉ブランケット技術の重要なマイルストーンであり、予算の獲得も含めて、今後一層の関係者の努力を期待したい。そのために、核融合エネルギーフォーラム等を通じた大学や研究機関、民間企業との連携を強め、わが国の核融合研究を効率的に進める必要がある。	・拝承。ITER 理事会の下に設立されたテストブランケットモジュール(TBM)計画委員会において、我が国がポートマスター極及び TBM リーダー極に選任されています。これに基づき、TBM の開発に当たっては、核融合エネルギーフォーラムと核融合ネットワークとにより設立された TBM 合同作業会を通じて大学、研究機関及び民間企業との連携を強化し、計画どおりの TBM 開発に努めます。
	・次世代を担う若手研究者・技術者の育成やキャリアパスの構築等にも、引き続きご努力いただきたい。	・拝承。博士研究員、任期付研究員制度等も利用して鋭意若手の人材確保に努めます。また、適切な課題の設定及び指導、国際経験の蓄積、学協会賞の受賞奨励等を通して人材育成、キャリアパスの構築等に努めていきます。
	・限られた予算と人員の中ではあるが、原型炉に向けた開発ロードマップにおいて指摘された開発研究項目に対しても、大学等との連携も視野に入れた取り組みを今後進めていただきたい。	・御指摘のとおり予算及び人員が限られているため、プライオリティを付けつつ、共同研究、連携大学院等の制度を利用した大学等との連携の下に開発研究項目への取組を進めていきます。
	・次期中期計画においてさらに先進的な成果があがることを期待しているが、とくに現状以上に開発を加速すべきと思われる項目には、原型炉に向けた超伝導材(Nb3Al 系) 及びその実用化や強磁場化に必要な構造材・絶縁材の開発（原型炉への採用可否の見通しをつけるための開発)、原型炉に向けたタングステン系のプラズマ対向材料開発、冷却系のトリチウム回収・制御技術（一部は BA で取り組むが、それを超えた原型炉に向けた研究）などがあげられる。	・予算及び人員が限られているため、プライオリティを付けつつ、超伝導材、プラズマ対向材料等原型炉に向けた研究についても着実に研究を進めるとともに、トリチウム関連技術については、科研費等も利用して開発研究に積極的に取り組んでいきます。

(4)全体	・核融合研究の社会的意義について、より積極的な社会への発信が必要である。特に優秀な人材を核融合分野に引き寄せるためには、関連専門分野や産業界など社会の様々な場において「核融合が実現を見通せる段階まで成長している」ことをアピールする必要があり、今後より一層の努力が望まれる。	・拝承。施設見学者、マスコミ関係者、自治体、有識者等へのより積極的なアピールに努めるとともに、科学館、大学等との連携を更に強化し、情報発信に努めます。また、アウトリーチ活動にも力を入れていますが、今後、対象を小学校等に広げてより活性化していきたいと考えています。
	・核融合研究においては、物理研究活動、工学・技術の分野で国際的に活躍できる人材等の人的資源の育成に最適な場を提供できると思われるため、定員の大幅な増員が望まれる。	・拝承。次期中期計画期間においては、現中期計画期間中に比べ、調達活動等の業務量が大幅に増えることが想定されるため、人員増の必要性を強調しているところです。人材育成の観点からも、あらゆる場で理解が得られるよう定員の増員に取り組んでいきたいと考えています。
	・大学や関連研究機関との役割分担を明確化すると同時に、その役割をどのように有機的に連結させるか、そのためにいかに共同研究を発展させるかの検討が望まれる。その上で、我が国として総合的に見て最も効率的に開発研究を進められるかの検討が重要である。	・拝承。ITER 計画及び BA 活動における開発研究及び技術開発と国内の大学及び関連研究機関での学術研究との有効な連携強化の重要性を認識し、核融合研究開発部門の該当研究委員会だけでなく、核融合エネルギーフォーラムでも専門クラスター活動、ITER・BA 技術推進委員会等を通じて、役割分担等について意見交換するために必要な場を広く活用しています。特に、BA 活動に係る共同研究については、専門クラスターが核融合ネットワークと連携して合同協議の場を設けるとともに、調整委員会及び ITER・BA 技術推進委員会で必要な周知及び調整を実施し、開発研究及び技術開発並びに学術研究の合理的かつ効果的で相互補完的な推進を目指します。
	・大学等向け共同研究の進め方については、契約時期などに関し、改善の余地があるので検討していただきたい。	・拝承。これまでは共同研究の根拠となる日欧実施機関間の調達取決めの締結及びBAという新しい枠組みでの共同研究のための共同研究契約条件の検討に時間を要したため、契約時期に遅れが生じていました。現在は、機構内の手続の見直しを行い、共同研究の契約手続を年度期首から開始できる条件を整え、できる限り早期に共同研究活動を開始できるようにしました。

Ⅲ. 個別評価

区分	委員会の答申における指摘事項	機構の措置
1. 科学的・技術的意義について	（1）ITER 計画 なし	
	（2）炉心プラズマ研究開発 ・シミュレーション分野の成果がやや小ぶりであり、ダイバータコードの不純物・トリチウムへの対応は加速することが望まれる。	・拝承。シミュレーション分野については、今後、核燃焼プラズマのマルチスケール／マルチフィジックスシミュレーション研究へ展開する予定です。また、ダイバータコードの開発については、既に単一粒子種の不純物についての取扱いを可能にしています。今後、膨大になる数値計算の工夫及び原子分子過程の追加によって、多種の不純物及びトリチウムについての取扱いを可能にする予定です。また、当該コードは、これまで、コアプラズマ輸送コードとの統合を行ってきましたが、今後、プラズマ壁相互作用モデルコード等との統合化を進め、原型炉に向けさらに発展させる予定です。これらのプロセスを可能な限り迅速に実施するよう努めます。

	（３）核融合工学研究開発 なし	
2. 社会的・経済的意義について	（１）ITER 計画 なし	
	（２）炉心プラズマ研究開発 ・経済性を実現するための定常・高ベータ化研究が適切に行われているものの、その成果が一般国民に見える形にはなっておらず、大きな成果が上がっていても意外と知られていない。社会への成果のアピールをもっとすることが望まれる。	・拝承。定常高ベータ化研究の成果についてマスコミ取材対応、見学者説明等を行い、Web においても宣伝していますが、今後、更に平易で理解しやすい説明の仕方及びより効果的にアピールできる手法を検討し、社会へのアピールに努めます。
	（３）核融合工学研究開発 なし	
3.国費を用いた研究開発としての妥当性について	（１）ITER 計画 ・人的な貢献には物足りなさが残る。	・拝承。人的貢献は、平成２２年１月現在で専門職員は内定込みで２４名、支援職員は内定込みで７名です。従来の公募情報の発信活動を継続及び拡大するとともに、ITER 機構サイトにリエゾンオフィスを設置してリクルート関係情報の入手強化を図り、専門職員が約４０名のレベルに達するように努めます。
	（２）炉心プラズマ研究開発 なし	
	（３）核融合工学研究開発 なし	
4.成果の有効性について	（１）ITER 計画 なし	
	（２）炉心プラズマ研究開発 なし	
	（３）核融合工学研究開発 なし	
5.今後の研究開発計画の妥当性について	（１）ITER 計画 ・計画は妥当であるが、国際共同研究であり、各国協調して計画通り進むことを望む。	・拝承。調達での参加極との連携協力を進めることにより、製作コストの合理化及び製作リスクの低減化の努力を図り、計画どおりに建設が進むように努めます。
	・国際事業として、物理研究活動、工学・技術活動などで人的資源の貢献が重要であり、ITER 計画については、ITER 機構への派遣人員を増やすというだけでなく、そのポジションと質を重視し、機構長をサポートして ITER 機構を動かせるような日本からの人材を少しでも増やしたい。	・拝承。ITER 機構職員公募情報を通知するための登録制度を進めており、現在、登録者が 176 名に達しています。ITER 機構を主導する立場の人材がこの登録制度に加入するように促進を図るとともに、重要なポジションの公募に対してはそれに相応しい人を見つけ出し、応募するよう働きかけます。さらに、ITER 機構サイトに設置するリエゾンオフィスからのリクルート関係情報から ITER 機構のニーズを分析し、リクルート活動に反映します。
	・ITER の研究計画にはまだ流動的な部分があり、BA 活動も一部の研究計画が議論されている段階である。今後の計画確定に向け、我が国としての意見を十分反映させる努力をすべきである。	・拝承。ITER 計画及び BA 活動についてのオールジャパンの議論を行う場として核融合エネルギーフォーラムがあります。ITER 計画については、同フォーラム活動を活用し、研究活動についての国内意見の集約を行うとともに、今後の計画確定に向けた議論をしていきたいと考えています。 BA 活動については、この 1、2 年で IFMIF/EVEDA、IFERC 原型炉 R&D に係る研究施設の本格的な稼働が始まる予定です。核融合エネルギーフォーラムと核融合ネットワークとにより設立された合同作業会及び機構の委員会の議論を通じ、我が国としての意

		見をこれらの研究活動の確定に反映するよう努力します。
	・BA 活動については、EU との交渉の内容、および折衝結果の妥当性が関係者に十分に見えていない。コミュニティに納得されるためにも、これらの内容を適宜説明して、理解を得ていくようにする必要がある。	・拝承。BA 活動の各プロジェクトについては、EU との交渉の内容及び結果を核融合エネルギーフォーラム等の場において適宜報告していますが、不十分な点については、今後改善に努めます。
	（２）炉心プラズマ研究開発	
	・JT-60U は JT-60SA に改修されることになり、平成 28 年まで具体的成果は出ないが、その間を利用して、原型炉に向けた実験の優先順位などを議論しておく必要がある。	・拝承。現在、ITER 及び原型炉への研究ニーズ並びにこれらの必要時期の分析を基に、JT-60SA 研究計画を国内研究者と共同で策定中です。さらに、欧州とも協議を重ねて行くこととしています。その中で、実験の優先順位を含め、原型炉に向けた研究計画を ITER の研究計画と整合した形で策定していく予定です。
	・原型炉に向けた研究目標として、高ベータ定常についてさらに踏みこんで、核融合エネルギー増倍率（Q＞30）と１年間定常を実現すべく具体的目標と計画を示すようにできれば、より社会的に評価されるだろう。	・核融合エネルギー増倍率（Q＞30）と１年間定常を実現すべく具体的目標と計画を現段階で示すことは難しい面があるため、JT-60SA での研究成果を魅力ある原型炉の運転シナリオにつなげ、社会にインパクトを与えられるように研究を進めていきたいと考えています。
	・原型炉に必要なコード類の整備も次期計画では加速したい。	・拝承。統合予測コード、材料評価コード、プラントシステムコード、安全評価コード等、原型炉の実現に必要なコード群の整備を積極的に進めていきたいと考えています。
	・JT-60U 実験終了後の炉心プラズマ研究開発の戦略が今ひとつ明確ではない。サテライトトカマクは、さらに目標と意義に関し検討を重ねることでより大きい成果が期待できる可能性がある。	・拝承。ITER 計画に必要な燃焼プラズマ制御研究及び原型炉に向けた運転方法の確立に必要な定常高ベータ化研究を進めるとともに、統合予測コードを開発し、両装置の総合性能の予測を行う予定です。並行して理論・シミュレーションコードを用いた燃焼プラズマの最適化及び制御のための理論的指針を得るべく、研究開発を進めていく予定です。さらに、国際協力並びに大学等との相互の連携及び協力体制を活用し、効率的かつ効果的な研究開発と人材の育成に貢献したいと考えています。サテライトトカマク JT-60SA がより魅力的になるよう、コミュニティと連携して JT-60SA を用いた研究計画を深化させる検討を重ねたいと考えています。
	・今後 JT-60SA 完成まで、研究の遅延がないことを望む。	・統合予測コードの開発、理論・シミュレーションコードを用いた燃焼プラズマの最適化、制御のための理論的指針の獲得等を着実に進める予定です。さらに、国際協力並びに大学等との相互の連携及び協力体制を活用して研究開発を行うとともに、コミュニティと連携して JT-60SA を用いた研究計画を深化させたいと考えています。

	（３）核融合工学研究開発	
	・今後は、大学や核融合科学研究所との連携の中で、他のブランケット概念についてもその研究開発方策について検討されることを期待したい。	・拝承。核融合エネルギーフォーラムと核融合ネットワークとにより設立された TBM 合同作業会を通じて、大学、核融合科学研究所等との連携を図っており、今後、TBM において大学側が他のブランケット概念に参画するときは、積極的に支援する予定です。
	・大学、企業との連携を進め、技術の高度化とともに研究者育成をさらに進めることを期待する。	・拝承。ITER/BA の調達、BA の共同研究、施設利用型共同研究等を通して、機構単独では困難な技術の高度化を進めるとともに、研究者及び技術者の育成を進めていきます。
	・ITER/BA に関連した核融合工学開発研究は引き続き継続されるのが妥当であるが、基礎的工学研究をどの分野に重点を置いて行うのか明確ではない。	・拝承。核融合工学の基礎的工学研究分野は、広い裾野を持っておりますが、その中でもダイバータ等炉内機器技術、加熱技術等は重要研究課題と認識し、これらに関する基盤研究を着実に進めていく予定です。
	・炉システム研究は加速される必要があるだろう。	・拝承。国内研究機関との連携及び BA 活動での欧州との共同作業を有効に活用するとともに、原型炉に向けてシステム研究の基盤となる設計コード群の開発整備を進めるなど、炉システム研究の加速に努めます。

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度(a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(b)	（数字の） 1	1
比透磁率(b)	（数字の） 1	1

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

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s^{-2}
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	m^{-1} kg s^{-2}
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	m^2 kg s^{-2}
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	m^2 kg s^{-3}
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	m^2 kg s^{-3} A^{-1}
静電容量	ファラド	F	C/V	m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m^2 kg s^{-3} A^{-2}
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m^2 kg s^{-2} A^{-1}
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
酸素活性	カタール	kat		s^{-1} mol

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

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m^2 kg s^{-2}
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s^{-2}
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m^{-1} s^{-1}=s^{-1}
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2}=s^{-2}
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s^{-3}
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m^2 s^{-2}
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s^{-3} K^{-1}
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	m^{-3} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	kg^{-1} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m^2 s^{-3}
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-3}=m^2 kg s^{-3}
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2$ sr)	m^2 m^{-2} kg s^{-3}=kg s^{-3}
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

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

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}$ J
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}$N
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G=1Mx\ cm^{-2}=10^{-4}T$
エルステッド(c)	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

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

表10．SIに属さないその他の単位の例

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

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています