

自然科学研究機構 核融合科学研究所
平成 2 2 年度外部評価報告書
NIFS Peer Review Reports in FY2010

2011 年 3 月

March 2011



核融合科学研究所 運営会議外部評価委員会
NIFS Administrative Council External Peer Review Committee

目 次

| | | |
|-------|--|----|
| 第1章 | これまでの経緯 | 1 |
| 第2章 | 項目別の評価 | 4 |
| | (1) 国内共同利用・共同研究 | 4 |
| | (2) 国際共同研究 | 27 |
| | (3) 連携研究 | 37 |
| 第3章 | 評価のまとめと提言 | 42 |
| | (1) 評価のまとめ | 42 |
| | (2) 提言 | 45 |
| 第4章 | おわりに | 46 |
| 参考資料 | 用語解説 | 48 |
| 添付資料1 | 平成22年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会委員及び 専門部会構成名簿 | |
| 添付資料2 | 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則 | |
| 添付資料3 | 平成22年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程 | |

資料編

平成22年度共同研究活動報告書

第1章 これまでの経緯

核融合科学研究所は平成16年度より大学共同利用機関法人自然科学研究機構の一機関として全国共同利用・共同研究を推進している。大学共同利用機関は「全国の国公私立大学の研究者が、大学の枠を越えて共同で研究し、また最先端の施設や設備、資料を共同で利用できる他、当該大学共同利用機関に所属する研究者が、大学には設置することが困難な実験又は観測装置等を使用し、最先端の研究を推進する機関」と定義されているが、プラズマ・核融合研究は半世紀にわたり、この“個々の大学では持ち得ない大型設備を保有し、これを用いて共同利用・共同研究を進める”という他国に類を見ない独創的なシステムを最も有効に活用し成果を上げてきた分野のひとつである。

法人化にあたり、大学共同利用機関は6年間の中期計画を持ちその進捗状況を毎年評価するという制度が構築された。この評価は主として管理運営面のものであるが、核融合科学研究所においては研究成果についても外部の有識者による評価が重要と判断し、運営会議の下に外部評価委員会を組織して研究面の評価を実施することとした。評価項目は毎年運営会議で決定し、運営会議所外委員を中心に評価項目に対応した専門家を委員として委嘱し、外部評価委員会を構成している。評価委員会は評価結果を運営会議に報告し、核融合科学研究所はその結果を尊重して次年度以降の共同利用・共同研究活動の改善に役立てている。こうして研究活動においてもPDCA（計画→実行→評価→改善の4段階）サイクルが機能するようになった。大学評価機構による研究面における核融合科学研究所の第一期中期計画期間の総合評価が高いものであったことは、運営会議が積極的に研究の外部評価を導入し実施してきたことの現れといえよう。

第2期中期計画期間の開始にあたり、核融合科学研究所では第一期の成果も踏まえ、共同利用・共同研究機能の一層の向上を目指すこととなった。そこでプラズマ・核融合研究分野でのCOE（卓越した研究拠点）としての求心力を一層強化するため、LHD（大型ヘリカル装置）、シミュレーション、核融合工学の3分野で研究プロジェクトを構成し、核融合炉実現に向けこれらの成果を統合していく研究計画をスタートさせた。核融合科学研究所ではこのために研究組織の改編を行い体制も整えた。

この改編の特徴の1つは連携研究プロジェクトの発足である。大学共同利用機関の使命は前掲のとおり共同研究の活性化であるが、その形態は様々であり、その範囲は国内外に及ぶ。基盤となる国内大学研究者が参加する共同研究に加え、国内では大学・研究機関との協定に基づく連携研究や、官学、産学連携も範疇に入る。一方、核融合科学研究所は国際的なCOEでもあることから、国家間の協定に基づく連携研究の実施機関を務め、外国の著名研究所との機関間協定に基づく連携研究も行っている。また、ITPA（国際熱核融合実験炉（ITER）に関する国際トカマク物理活動）等、ボランティアな研究活動も盛んである。これらの幅広い活動は、従来個々の研究

活動の主軸となっている研究所員がコーディネーターとなって推進していたが、研究所全体として統一的にこれらの活動を把握する組織が無かった。また、予算的な措置も無いものがほとんどであった。今回新たに作られた連携研究プロジェクトは、これらの連携研究活動の全体を把握し、研究所として統括的に推進していこうというものである。

運営会議では、連携研究プロジェクトがスタートするにあたり、研究所の行っている広範な共同研究、連携研究活動をレビューし、ミッションを持つ核融合科学研究所が健全な形で共同研究・連携研究を推進するあり方を考える必要があるため、外部評価を実施することとした。そこで運営会議の所外委員9名と外国人委員4名により外部評価委員会を、更に4名の専門委員を加えて外部評価委員会専門部会を構成し、評価作業を行った。

平成22年10月21日に開催した第1回外部評価委員会において、本年度の外部評価の進め方について協議し、評価の観点及び具体的な評価項目を決定した。その内容を章末に示す。第2回の外部評価委員会及び専門部会（平成22年12月11日）では、研究所の担当者からこの評価の観点及び評価項目を踏まえたビューグラフや活動報告書などの資料（資料編参照）を用いての詳しい説明を受け、質疑応答が行われた。その後第2回専門部会（平成23年1月27日）を開催し、研究所との更なる質疑応答も含め外部評価委員会で定めた評価の観点と項目に沿った評価作業とその取りまとめを行った。専門部会での評価案が出揃った段階で第3回外部評価委員会（平成23年2月23日）を開催し、最終報告書を取りまとめた。外部評価委員会及び各専門部会の日程を添付資料3に示した。

本報告書は、第1章 これまでの経緯、第2章 項目別の評価、第3章 評価のまとめと提言、第4章 おわりに の4章で構成されている。

核融合科学研究所運営会議に提出され承認された後、核融合科学研究所長から自然科学研究機構長に提出されることになる。その後、機構の教育研究評議会及び経営協議会に提出され、承認を受けた後、文部科学省に提出する平成22事業年度に係る業務の実績に関する報告書の参考資料となる予定である。

なお、報告書は印刷物やWebホームページを通じて公開される。

今回の評価の観点は、以下のとおりである。

【国内共同利用・共同研究】

(1) 法人化後の実績について（前回外部評価指摘事項の反映を踏まえて）

- ・公募内容は、研究環境や学術の進歩を反映した適切なものであったか [*]
- ・共同利用・共同研究は核融合コミュニティと連携し共同研究者の意見を反映しながら実施されてきたか [*]
- ・共同研究成果の公表は適切になされてきたか [*]
- ・共同研究は成果に対する評価を踏まえながら実施されてきたか [*]

- ・研究成果は蓄積されてきたか [＊]
- ・研究支援環境や研究環境は改善されてきたか（外国人に対するものも含む） [＊]
- ・若手人材育成に貢献してきたか

[＊] は前回外部評価指摘事項

(2) 今後の進め方について

- ・核融合研究のCOEとして、各共同研究カテゴリーは長期的なビジョンも踏まえた共同研究の進め方が示されているか、またそれは適切なものであるか
- ・共同研究を、それを基盤として新しい展開が出来るように位置づけているか

【国際共同研究】

(1) 政府間レベルの協定に基づく国際共同研究

- ・実施機関として役割を果たしてきているか
- ・今後の進め方（方針・計画）は適切か

(2) 研究所間学術交流協定などによる国際共同研究

- ・それぞれの機関の特長を活かした共同研究が行われているか
- ・ITER・BA（幅広い活動）も視野に入れた今後の進め方（方針・計画）は適切か

(3) 自然科学研究機構の国際連携活動

- ・機構による国際連携活動は成果を上げているか

(4) ボランタリーな国際貢献（ITPAなど）

- ・核融合科学研究所として十分な貢献をしているか

【連携研究】

(1) 自然科学研究機構内連携研究

- ・連携研究は成果を上げているか

(2) 大学・研究機関との協定に基づく連携研究

- ・両機関の特長を活かし、成果を上げているか

(3) 産学連携研究

- ・核融合研究の有効なスピンオフとなっているか
- ・地元産業等への貢献がなされているか

第2章 項目別の評価

第1章で掲げられた国内共同利用・共同研究、国際共同研究、連携研究に対する評価の観点に従って、外部評価委員及び専門部会委員からの評価について、その要点を以下に記載する。なお、括弧内の数字は意見の内容が同じであった件数である。外国人からの意見については、ほぼそのまま記載している。

(1) 国内共同利用・共同研究

1) 法人化後の実績について（前回外部評価指摘事項の反映を踏まえて）

Performances and products after NIFS were reorganized as inter-university research institute in FY2004.

① 公募内容は、研究環境や学術の進歩を反映した適切なものであったか **Are the application categories properly up to date ?**

- 前回の外部評価指摘事項などを反映し、共同研究の公募内容は学外委員が多数占める委員会で決められ透明性が高い。双方向型共同研究では、原型炉に貢献するため、大学の炉工学関連センターを含めたこと、及び大学のセンター間連携研究テーマを議論している。LHD計画共同研究においては、核融合ネットワークの意見を尊重して、LHDの重水素実験に対応したカテゴリーを新たに設けるなど研究状況に対応させている。一般共同研究は、更にコミュニティの意見を反映させて見直している。このように研究情勢と学術進歩に柔軟に対応しており、適切であると判断され、高く評価する。（6名）
- ITER建設を迎え、我が国の大学等の核融合研究における戦略的な方針は大学間連携により、学術基盤形成を図り、ITER、原型炉などの開発研究を支え、そこで活躍する人材を育成することである。核融合科学研究所は、核燃焼プラズマ制御を見通す広範な基礎学術研究を一層推進すべきで、核融合科学研究所の公募内容も、このような国内外の研究環境の進展に良く歩調を合わせて、共同研究の3つのカテゴリー（一般共同研究、LHD計画共同研究、双方向型共同研究）に発展したのは適切である。1）一般共同研究が比較的小規模の機器を用いた実験と情報交換を含めた研究集会、2）LHD計画共同研究が炉工学や核融合プラズマを対象としたLHD装置に貢献する実験等、3）双方向型共同研究が装置の特徴を活かした中規模装置での高温プラズマ実験等と棲み分けられ適切であり、異なった視点から相補的・重層的にカバーするものとなっている。大型装置をベースにした科学研究の進め方の模範となるシステムであり、高く評価できる。特に、宇宙・天体あるいは

加速器などを含む他分野の双方向型システムに関する関心は高い。(4名)

- 双方向型共同研究において、単なるハブ型の世話機関としての役割ばかりでなく、全体を誘導する役割をも認識して、それぞれ特徴を持つ各参画機関との連携協力の基に新たな共同研究の設計に取り組んでいると判断され、かなり高く評価できる。(1名)
- 双方向型共同研究に関して、筑波大学の電位／電場構造と輸送改善の物理やジャイロトロン開発の進展、京都大学のヘリカルの特徴と磁場制御性を活かした研究の進展、九州大学の日本で初の本格的な定常球状トカマクの進展、大阪大学の高速点火方式での大きな進展など、優れた成果を上げている。LHD計画共同研究、一般共同研究では、LHDやITERなどに貢献する成果を上げている。これらの成果は2010年のIAEA核融合エネルギー会議(FEC2010)でも高く評価されていることから、公募内容は適切であると判断でき、高く評価できる。(1名)
- 核融合科学研究所の所内体制の変更を反映した公募となった。これが適切かは今後の成果を見なければわからないが、よりプロジェクトを指向したものと思われる。学術の進歩を反映しているかは明確ではないが、低炭素化社会への要求がより高まり、ITER建設も本格化してきたという状況から、炉工学や炉設計の共同研究を強化する方向に向かっているのは、評価できる。(1名)
- 公募内容は、学術の進歩を適切に反映していると同え、概ね高く評価できる。第2期中期計画において、ヘリカル原型炉を見据えて、核融合炉工学関係の研究や共同研究に力を入れることから、これら工学関係の活動をより一層効果的・効率的なものにするために、以下のコメントを付記する。
 - ① 概ね解決済み工学課題、トカマクとの共通課題、今後独自に解決すべき課題を整理し、共同研究では、相補的なテーマや残された課題解決に重点を置く。
 - ② ブランケットや材料開発では、JAEA(日本原子力研究開発機構)が固体増殖ブランケット開発を進め、核融合科学研究所や大学が先進ブランケットの開発との棲み分けが明確であるが、核融合科学研究所が大学を牽引して学術的研究を展開するとともに、ITERのTBM(テスト・ブランケット・モジュール)計画へ参加することを期待する。(1名)
- 双方向型共同研究については、6センターに共通した研究課題も多い。双方向型共同研究の有用性や意義をより高める観点から、同種の研究の装置間で比較・検討など、相互に連携を図った新しい研究課題を創出したり、複数装置にまたがった提案など、新しいスタイルの公募を提案したりするアイデアも望まれる。一般共同研究は、裾野を支えるとともに、幅広い関連分野の研究者が核融合科学研究所を通して相互に交流を図る機会を与える重要な役割を果たしており、引き続き幅広い学術研究を対象に、広範囲の基礎的な課題に対応して、核融合研究の裾野を一層広げて頂きたい。(1名)
- 公募内容は概ね高く評価できる。一方、一般共同研究については、現状の予算状況を考えると、もう少し絞ってもよからう。公募内容を広げることは望ましいが、

予算の制約からどこに重点を置いていくかについて検討が必要かもしれない。(1名)

- **Bilateral Collaboration:** In FY2010, two more large-scale research centers are added to the initial four research center. This expansion made more possibilities of collaboration area, so it resulted in 20 more accepted programs with respected to FY2009. However, the budget limitation in FY2010 collaboration overall, made funding limitation issues that to be resolved.

LHD Project Collaboration: In this category, two major fields of research, such as “Fusion Engineering Research” and “Fusion Science Research” are maintained.

General Collaboration: In FY2009, categories of proposal had been increased to 31 from initial FY2004 of 24, including sub-categories. This change is deemed to be reflecting progress of many fields of research interests.

Therefore, the Domestic Collaboration Program of NIFS is rated very highly by its well-balanced mix of research areas by properly managed and updated categories.

- There is no doubt that application categories are properly chosen. Because they are up to date with current trends of fusion development.

Moreover, NIFS activities are at the cutting edge of the international fusion research.

Hence, all of the involved partners ranging from world famous scientific centers and universities to small groups in less renown universities from all over Japan benefit greatly from the collaborations managed by NIFS.

Indeed, the partners focused on narrow specialized areas of research are provided with the guidance and the coherence needed to achieve the important goal of thermonuclear fusion.

At the same time, they maintain their excellence in their field of expertise.

Therefore, the system outlined long back in 2004 has proven to be a powerful mechanism to streamline and coordinate fusion research in Japan.

The model is now widely recognized and used in different parts of the world.

It seems that this is the only way to organize a broad interdisciplinary program which requires the synergy of many fields of science focused on a very important goal.

Therefore, the goal of achieving nuclear fusion vital for the future energy supply has been transformed into the “real target” due to the progress made by the international effort during the period of 2004 – 2010.

- The Domestic Collaborations are divided into three types: Bilateral Collaborations, LHD Project Collaborations, and General Collaborations. The

total number of Domestic Collaborations has increased steadily since 2004, reaching ~450 in 2009, with much of the increase occurring in the category of Large Scale Computer Simulations.

Some changes have occurred in the application categories for the three types of Domestic Collaborations:

- ① Bilateral Collaborations - During the first mid-term period 2004-2009, NIFS carried out Bilateral Collaborations with four institutions (Kyushu, Osaka, Kyoto, and Tsukuba), with the number of collaboration activities roughly doubling during this period. In 2010, two new Bilateral Collaboration partners (Tohoku and Toyama) were added, to extend the Bilateral Collaboration program into the area of fusion engineering. This extension is appropriate in view of the emphasis on fusion engineering as a crosscutting Research Project of NIFS in the revised organizational structure of the Institute.
- ② LHD Project Collaborations - Apparently there were no changes in the application categories for this type of Domestic Collaborations. Also, the total number of activities remained unchanged.
- ③ General Collaborations - The biggest changes in application categories occurred here.

Two new categories were added: DD Experiments Planning (with four collaboration activities) and Fusion Archives (with eight activities). The change is appropriate because NIFS will soon receive final approval for its planned DD experimental campaign and because there is a need to accumulate historical records while the older generation of pioneering scientists in the fusion field are still available.

The subcategories within the category of LHD Project General Collaborations were significantly re-organized. The total number of activities in the LHD Project General Collaboration category was unchanged from 2004 to 2009, but these activities are now spread over the twice the number of subcategories (five in 2004, nine in 2009). This change is appropriate in order to facilitate correspondence to the revised organizational structure of the Department of Helical Research in NIFS.

Several application categories, although unchanged as categories per se, experienced noticeable changes in their respective numbers of activities: e.g., Large Scale Computer Simulations (15 → 59) and Workshops (16 → 24) increased, while CHS/CHS Data Analysis (12 → 4) and Basic Plasma (23 → 13) decreased.

Here are a few other comments:

The list of categories for General Collaborations has major categories called “LHD Project” and “Fusion Engineering,” which correspond to two of the three crosscutting Research Projects of NIFS. It might be helpful to organize the several theory-related categories in the list as subcategories of one major category that would correspond to the third Research Project, namely, Numerical Experiments.

In the list of categories for General Collaborations, it is not clear how the “LHD Theory” subcategory differs from the “LHD Numerical Analysis System” category.

It might be helpful to change the name of the “Coordinate Research” category, in order to distinguish this from the Coordinated Research Collaborations. A similar comment applies to the “LHD Project” category of General Collaborations, in order to distinguish this from the LHD Project Collaborations.

Since Bilateral Collaborations are defined on the basis of the use of large facilities at university research centers (such as Osaka, Kyoto, etc.), it is not clear why Bilateral Collaboration with NIFS itself has existed since 2007 [cf. page 26 of the second presentation].

- In domestic collaboration, NIFS distinguishes between three so-called “frameworks”:
 - ① Bilateral collaboration
 - ② Collaboration with LHD
 - ③ General collaboration

Such a distinction makes sense. There is some overlap between framework 2 and 3, but the work under framework 2 is meant to be more long-term and seems to contribute directly to scientific methods used on LHD. Framework 1 is exclusively devoted to support larger facilities in four universities (Kyushu, Osaka, Kyoto, Tsukuba) and to connect their activities to the research done on LHD.

After 2004, the number of collaboration proposals has increased. This is mainly due to increase in “bilateral collaboration” and “large-scale computer simulation”. The vast majority of proposals is made in the framework 3 “general collaboration”. Here one has a very large variety of collaboration categories with a quite disperse number of proposals. It is remarkable that almost all proposals are accepted. It is reasoned that this is due to the beneficial role of a “caretaker”, who accompanies the proposal process, and due to a conscious promotion of innovative ideas.

My recommendation is to make sure that the quality of the general collaboration proposals is similar for all categories. It is usually a good sign if

there is a certain rejection rate. NIFS may consider to adjust the schemes to have more competition and thereby to foster collaboration with the best and most innovative ideas proposed. This is especially important if the budget for collaboration further decreases.

② 共同利用・共同研究は核融合コミュニティと連携し共同研究者の意見を反映しながら実施されてきたか

Has the collaboration research progressed Based on the opinions of collaborators ?

- 双方向型共同研究では、九州大学が球状トカマク装置、QUESTのプロジェクトに関して、第1期中期計画の当初より外部委員が申請課題の審議や研究運営に関与する仕組みの基に進めてきた。こうした仕組みは第1期期間内にすべてのセンターで取り込まれた。各センターともプラズマ核融合学会のシンポジウム等、各センターのシンポジウムや研究会等で、コミュニティとの意見交換を適切に行っている。LHD計画共同研究では、核融合ネットワーク委員会が審査をし、一般共同研究についても、常に、世話人と共同研究者の連絡が密にとられ、また、共同研究委員会についても、核融合科学研究所以外の研究機関からの委員が多数を占めている。以上のことから、核融合コミュニティと連携し共同研究者の意見の反映が適切に行われていると判断でき、高く評価できる。(9名)
- 平成22年度にスタートした計測機器共同利用は、コミュニティのニーズを積極的に取り上げたものであり、コミュニティ内での資産の有効活用という視点からも合理的かつ有益な制度であり、高く評価できる。(3名)
- 一般共同研究を発展させ、LHD計画共同研究や双方向型共同研究、さらには相互交流型及びネットワーク型共同研究など、核融合コミュニティの意見を積極的に取り入れて、共同利用・共同研究を活性化させている点は、極めて高く評価できる。今後の共同利用・共同研究のさらなる活性化に向けて、核融合ネットワーク等を通じて大学コミュニティ等の現場の意見を収集することが必要である。(1名)
- コミュニティの要望に基づき、核融合工学分野の共同研究を立ち上げ、研究所内で新たな研究者組織を作り、予算を確保するとともに、新たに参画機関を増やすなど、共同利用機関としての役割を果たしており、極めて高く評価できる。(1名)
- 幅広い分野や研究者の参加を促すことと成果を最大化することとは両立しないこともあるが、中長期的に研究者層を増やしてコミュニティを大きくする方向で今後も検討して頂きたい。(1名)
- 双方向型共同研究の良いところは、参加している大学の各センターにその特定のテーマを研究できる人材がいなくても、他機関との連携により、それを可能にすることであり、この枠組みを高く評価する。一方、双方向型共同研究の内容をもっとコミュニティに伝えるべきである。数年前の外部評価で高く評価されたインフォー

マルミーティングを今後も続けることを希望する。(1名)

- 双方向型共同研究について、大学の各センターの目指す研究の目標に関して、京都大学では公開性と公平性を目指して運営されていることを高く評価するが、目標設定にコミュニティの意見をさらに積極的に取り込むことを期待する。筑波大学に関しては、ミラーでHモードを研究することだけでなく、そのエンドロスを生かしてダイバータ研究にシフトしているのは高く評価できる。九州大学のQUESTについては前人未踏の球状トカマクにおける電子バーンスタイン波による定常化への挑戦ということで高く評価できるが、もっと幅広くテーマ設定を行い、トカマクの発展にも貢献すべきであろう。(1名)
- 共同利用・共同研究の多くについては、核融合コミュニティと連携して実施されており、高く評価できるが、一般共同研究、連携研究において、核融合科学研究所、あるいは、核融合コミュニティにどれだけのメリットがもたらされているかをチェックすることも必要と思われる。(1名)
- 双方向型共同研究の共通テーマに原型炉への中心課題が設定されたこと自体は評価できるが、LHD計画共同研究との違いを示すことが求められる。方式が異なる磁場核融合と慣性核融合を学術として同一に扱う事ができるよう検討が必要である。(1名)
- 核融合科学研究所で開催される中小規模の研究会や講演会などをもっとアナウンスしたほうがよいと思われる。ある課題の共同研究に出席すると、中小規模の研究会や講演会などにも参加したくなることもある。(1名)
- The selection and management of NIFS Domestic Collaboration is conducted by “Collaboration Committee” consisted by 44 Members, 25 from outside and 19 from NIFS.

Also, the “Collaboration Committee” is organized by three sub-committees for three areas of Collaboration. The planning, selection and review processes has been developed to fit each categories of collaboration purpose and needs, with access to the “Fusion Research Community” through “Fusion Network (F-net)” for their feed-back.

Therefore, the management system of collaboration process is very well organized and balanced, so that fair representation of collaborators’ opinion is founded in the system.

- The progress is visible in all aspects of these activities.

NIFS is adjusting and improving its governing role all the time.

It shows a great flexibility by introducing new forms of collaborations such as “Fusion Network” bilateral collaborations and etc.

NIFS also reorganizes itself in order to provide the up to date leadership and guidance to smaller teams participating in the program.

Thereby it facilitates a broad and profound approach to the most topical and

timely issues of fusion research.

As a result even small groups can make the difference addressing difficult questions.

Therefore, they become highly competitive and well known.

- The three types of Domestic Collaborations are overseen by the Collaboration Committee, which is set up under the NIFS Administrative Council. Of the 44 members of the Collaboration Committee, 28 members are from outside NIFS.

The Collaboration Committee appears to be functioning properly.

NIFS used a questionnaire to solicit comments from collaborators about Domestic Collaborations; this was a useful exercise. Most of the comments were positive. NIFS and the Collaboration Committee will incorporate into future planning the suggestions and requests that were received.

- Of pivotal importance is the collaborative committee that supervises the collaboration program. There is a balanced number of members from both sides, NIFS and universities. As an external reviewer I cannot say more on this point.

③ 共同研究成果の公表は適切になされてきたか

Have the results of collaboration research been published properly ?

- 共同研究の成果は毎年 200-400 件掲載されている。約半数の論文の第一著者は核融合科学研究所以外である。I A E A核融合エネルギー会議の論文も毎回 30-40 件出されている。約 10 編の第一著者は核融合科学研究所以外である。共同研究の件数は毎年 400-500 件であり、かなりの共同研究では学術論文にまとめられる成果を上げているといえる。共同研究は本格的であり、質が高いとみなせる。2010 年に行われた I A E A核融合エネルギー会議でも、多くの成果が発表されており、それらの多くが最終日のサマリーでも引用されていたことが印象的であった。これらより、公表に対する姿勢やその成果は、極めて高く評価する。(9名)
- 共同研究成果の公表は、成果報告会等の開催を含めて、適切になされてきたと概ね高く評価する。特に、双方向型共同研究については、プラズマ核融合学会等において、関連するシンポジウムを開催し、成果報告を行うとともに、広くコミュニティから意見を求める努力がなされていることは、高く評価できる。(3名)
- 核融合科学研究所が投稿料の半分負担に取り組むなど、その活動は高く評価できる。(2名)
- W e b 上で成果を閲覧できるが、到達しにくいのもっと上の階層に上げた方がよい。冊子は現在の形態でよい。(1名)
- 学会などで、可能なら各共同研究のセッションを設ける等して、共同研究での成果をよりアピールする工夫が望まれる。(1名)
- 論文実績として適切な成果を上げている。外部研究者による成果の割合がより高

くなることを期待する。LHD実験研究では、今後も大学等の外部研究者をテーマリーダーになってもらうのがよい。(1名)

- LHD計画共同研究は、高いレベルの学術雑誌や国際会議等での発表が要請されていることもあり、核融合研究の主要な成果を牽引しており、高く評価できる。双方向型共同研究は、中型規模の実験研究を通して、学生教育を含む大学における核融合研究を広い視野に立って支える役割を持つ一方、中・長期的に高い国際競争力を確保する観点から、高いレベルの学術雑誌への論文掲載が定期的になされているか等、研究成果に対する要請レベルを高くすることも必要である。また、幅広い分野に対して、広報する努力が今後一層要請される。(1名)
- 共同研究の例年の報告書とアニュアルレポートと重複する内容となってしまう場合が多い。前者を英語での執筆とした場合、後者を省略できるとよい。また、報告書等は費用節約の観点から、目次だけを印刷して、CD化も一案、また、重要な成果をまわりもちで、ニュースとしてホームページ上で開示するようにしたら、よりインパクトがあるのではないか。(1名)
- 双方向型共同研究に関して、謝辞に双方向型共同研究の支援を受けたことの明記を義務づけることが望ましい。今後は該当分野での学術的に評価の高い雑誌への投稿が増えることが望まれる。(1名)
- 共同研究者に対する核融合科学研究所からの外国への旅費の援助システムがないので、IAEA国際エネルギー会議には参加しにくい側面がある。もし外国への旅費の援助システムができれば発表件数は増えるものと考えられる。(1名)
- 共同研究成果の公表は適切にされており、高く評価できる。ただし、様々な角度からの評価、あるいは、一般社会から見た時の評価ができるような成果の公表方法の工夫が必要であろう。(1名)
- Within collaboration framework, the gradual increase of outside collaborators' contribution to the overall publications is promising trend. It is, however, important to investigate reasons of decreasing number of published papers after 2006 peak.
- Although the number of publications constitutes a very crude criterion of the scientific activity it is impressive and remains within the range of 100 to 200 over the years starting from 2004.

Some variations are natural and inherent within the scope of an interdisciplinary program.

Furthermore, the number of presentations from the program constituting highlights of fusion activities is reported at the biannual IAEA Fusion Energy Conference triggering a lot of interest and admiration to the results obtained by the program managed by NIFS.

The number is a significant part of the total ranging from 30 to 40 on each occasion.

- Many papers based on results from collaboration research have been published each year during the period 2004-2009. The total number of such papers has ranged from a high of ~400 (in 2006) to a low of ~200 (in 2009). I expect that the larger numbers of papers published in the years 2004, 2006, and 2008 are explained by the biennial occurrence of the IAEA Fusion Energy Conference in those years. There appears to be a slight tail-off in the total number of publications, if one compares 2009 to 2007 and 2005; presumably this trend is a temporary anomaly.

The number of collaboration research papers with NIFS scientists as first authors and the number with non-NIFS scientists as first authors are about equal each year (except in 2008). The number of presentations at the IAEA Fusion Energy Conference with non-NIFS scientists as first authors is actually increasing, which would indicate that the Domestic Collaborations are being successful in strengthening the research activities at universities.

- There is a growing percentage of papers published by non-NIFS scientists based on results that were obtained within the collaboration with NIFS. This is a very good development that should be further encouraged. Also the percentage of presentations on the IAEA fusion energy conference is increasing. The slight tendency of decrease of the total number of papers is not worrying but should be reversed in the future.

④ 共同研究は成果に対する評価を踏まえながら実施されてきたか

Has the collaboration research progressed Based on evaluations over the previous results ?

- 各共同研究とも成果報告書や成果報告を義務づけており、継続申請や関連した申請については、その成果の内容を定量的に評価し、それを踏まえた審査をし、適切に採択や資源配分がなされている。非常に労力のかかる作業を適切に実施されており、高く評価できる。(7名)
- 双方向型共同研究では平成 17 年度には「国内共同利用・共同研究」に対する外部評価、及び平成 19 年度から 20 年度の双方向型共同研究委員会独自の外部評価に基づき、双方向型共同研究委員会の構成及び選出法の再検討を行い、さらに全センターに外部委員を含む運営会議の体制を作り透明性を確保する等々、制度をより良くするために適切な処置を行っており、高く評価できる。(5名)
- 共同研究の成果を踏まえた実施は、概ね適切である。ただし LHD を含む核融合科学研究所の将来計画に対する議論が分り難い。今までの核融合科学研究所の成果と実績を踏まえ、特に若手研究者も積極的にとり入れ、外部の研究者も巻き込んで議論することも必要であろう。(1名)

- LHD計画共同研究は、核融合科学研究所の主要研究課題であり、また予算規模が大きいこともあり、学術雑誌投稿や国際会議報告などの要請レベルも高く研究計画が適切に設定及び実施されている。一般共同研究は、件数が膨大であり、成果を評価することは容易ではない。高いレベルの研究成果を出すためには計測性能の向上などが不可欠であるが、進展の見られない実験が長期的に継続されるなどの状況は避ける必要がある。双方向型共同研究の各センターの発展には、研究の方向性や限られた予算の中で成果を極大化する中長期的視野に立ったビジョンを一層活発に議論することが今後重要になる。研究の方向性を変更するといった思い切った決断も場合によっては重要である。(1名)
- 大学共同利用機関で通常実施されている標準的な共同利用申請の審査プロセスを採用しており、適切である。ただし、目的が当初から定まっているプロジェクト的共同研究と萌芽的研究とは評価プロセスを変える必要がある。萌芽的研究に対しては出来る限り、支援を絶やさないようにしないとイケないが、その一方、プロジェクト的共同研究については標準的な共同利用申請の審査プロセスとは別の評価制度(例えば、達成度の中間評価等による選択と集中)が必要であろう。(1名)
- 共同研究を評価するのは難しいし、その評価を踏まえながら実施することも難しい。このような状況を考えると、割合良く実施しているといえる。(1名)
- LHD計画共同研究成果報告会での審査は課題の遂行に大いに役立っており評価できる。ただ、LHD計画共同研究での予算規模は3つのカテゴリーの中で最も高いが、学会等の発表に支援を受けていることの明示がないので、今後徹底させることが望ましい。学会誌への掲載に関しては謝辞等への明示が義務化されており成果の評価に大いに役立っていると評価できる。一般共同研究については、活動報告書の充実化が望まれる。(1名)
- 概ね高く評価できる。一方、ITERにおけるTBM計画への主導的な参画が期待される状況にあり、そのような視点からも評価を行い、必要に応じて体制作りを行うなどの対応を取れば、これら工学関係の活動がより一層効果的・効率的なものになることが期待される。(1名)
- As the case of selection process, the evaluation process also followed similar procedure with “committee” with many outside members for transparency and fairness. Therefore it is reasonable to accept that the collaboration has been guided by evaluation process, with effectiveness and fairness.
- The progress is indeed impressive.

Numerous Japanese fusion communities are strongly encouraged to contribute to the progress of Japanese nuclear fusion research by participating in NIFS activities. NIFS is undoubtedly the fore front leader of the world fusion research. LHD device is the masterpiece of fusion engineering.

The synergy of the advanced geometry of the magnetic field, the superconductive coils and the enhanced heating provides for the achievement of

record parameters highly relevant for fusion. It is obvious that most of results are impossible to achieve on a smaller scale university type facilities. Hence, university groups benefit greatly from their collaborations with NIFS. The system adopted to incorporate research carried out at universities is unique constituting the important Japanese invention. This is also born out by the results obtained on other important yet smaller devices such as GAMMA 10, Heliotron -J, QUEST and FIREX -I and other installations.

- Each university research center involved in a Bilateral Collaboration arrangement with NIFS has established its own local committee, with some of the members from outside that research center, for managing its Bilateral Collaboration activities. This was done in response to a previous recommendation from the External Peer Review Committee. The Bilateral Collaboration Subcommittee of the Collaboration Research Committee reviews the experimental plans from these local committees.

Safety conditions have been checked during visits to the Bilateral Collaboration university research centers. This, too, was done in response to a suggestion from the External Peer Review Committee.

It would be useful to construct a complete list of the recommendations concerning collaboration research that have been made at previous meetings of the External Peer Review Committee, along with the corresponding response by NIFS to each recommendation. This type of list is often presented at experimental facility program advisory committee meetings in the U.S.

I commend the presentations by Prof. Kaneko and Prof. Mito for presenting many statistics and quantitative data that serve as metrics to indicate how well the various collaborations are proceeding. This had been a previous Review Committee recommendation, and NIFS has responded very well to providing this type of information.

- Yes. Previous recommendations have obviously been carefully considered to improve the collaboration program. In fact, since LHD is operated as an inter-university facility, almost all previous reviews have extensively addressed this issue. Thus, a frequent monitoring is guaranteed and the collaboration is well embedded into the scientific context. Several measures were more recently implemented to improve the collaborative network of NIFS, e.g. collaboration committees, full access to the NIFS network, visitor center etc.

⑤ **研究成果は蓄積されてきたか**

Are the results of the collaboration research accumulated properly as an academic resource ?

- 核融合科学研究所の共同研究成果は、学術雑誌や I A E A 核融合エネルギー会議報告など、様々な形で、学術基盤となるべく蓄積できたと高く評価する。特に双方向型共同研究については、第 1 期中期計画期間において、将来の核融合炉の高性能化に必要な要素還元研究を実施するとの方針に則り、各センターの持つ装置の特長を活かして効果的に推進され、核融合研究の重要な成果として蓄積され、それが第 2 期中期計画遂行の基礎となっていることは高く評価できる。一般共同研究では所外研究者を筆頭とする共同研究の成果論文が約半数以上あること、核融合エネルギー会議での所外者による発表が順調に増えていることは極めて高く評価できる。(6名)
- 多数の論文や会議発表のみならず、Q U E S T のデータを核融合科学研究所のコンピュータに保存するなど、研究成果という単なる抽象的知識のみでなく実際にデータの蓄積が行われていることは高く評価できる。(1名)
- 共同研究においては、各大学等の得意分野での共同研究が進展により、学術的な体系化が進展すると共に、核融合科学研究所や大学を中心とした知的・人的な資源としても適切に蓄積されてきていると理解され、かなり高く評価できる。工学関係に関して、超伝導工学では核融合科学研究所、トリチウム理工学では富山大学、ジャイロトロン技術では筑波大学、先進構造材料では核融合科学研究所、P S I 関係では名古屋大学や大阪大学など、国際的にも高い評価を得ている。また、牽引する主導的研究者の評価や知名度も高く、総じて、我が国の知的・人的資源の蓄積に貢献してきていると理解される。(1名)
- 原著論文発表、国際会議発表は当然のこととして、その他、W e b 上での発表資料の公開や機関リポジトリの整備など、適切である。(1名)
- 成果は蓄積されてきていると思うが、形あるものにしたほうがよい。特に、①ヘリカル系の閉じ込めについて、②プラズマ壁相互作用について、③原型炉にむけて炉設計の課題抽出について、等の大きな枠組みでの研究成果の到達点を確認する活動が望まれる。(1名)
- 大学は法人化により講座レベルでの研究の維持・発展が極めて厳しくなっている。コミュニティの発展と活性化のためには、講座レベルの研究室への積極的な支援が強く望まれる。(1名)
- 個々の専門的な成果報告に留まることなく、高いレベルの学術雑誌や国際会議等での発表状況、論文の参照件数など、研究成果に対する国際的位置付や、分野に与えたインパクトなどを客観的に評価することが重要である。(1名)
- アニュアルレポートはW e b から誰でもダウンロード可能であり、登録すれば論文データベース、NIFS Article Information System も利用可能である。引き続き管理することにより、十分核融合分野の研究の推進に貢献できると思われる。(1名)
- 研究成果の蓄積については評価できるが、少し見えにくい面もあり、蓄積方法に、

別な側面からの工夫が必要であろう。(1名)

- In bilateral and LHD project collaborations, the collaboration results are well documented, and these results are indeed very high quality works in academic viewpoint.
- The collaboration research is accumulated properly due to the management structure invented at NIFS.

Indeed, the administrative council of NIFS promotes the collaboration research vigorously.

The strategy of the organization of the fusion research in Japan is constantly monitored and examined.

The decision making is carried out by committees summoned by NIFS.

This system facilitates the feedback and the effective control of the program as a whole activity focused on the specific goal.

It broadens the range of issues addressed within the framework of fusion research adjusting to the progress made continuously.

- NIFS is maintaining proper records of the collaboration research activities. Informational lists were provided to the External Peer Review Committee concerning:
 - Collaboration programs (354 in number)
 - Publications (very extensive)
 - Patents (28 during the 2004-2009 period)
 - Collaborations by NIFS scientists with companies (34)
 - Collaborations between NIFS and companies (105)

On an annual basis, university scientists and research centers report about their collaborative research activities and results at meetings scheduled for this purpose.

- Two flagships of the collaboration program of NIFS are (1) the joint research on LHD and (2) the bilateral collaboration with larger university facilities. The joint results obtained with GAMMA 10, Heliotron-J, QUEST, and FIREX-I are relevant for fusion research and of high quality. The respective four universities also serve as multipliers for the entire university network. The collaboration on LHD is mainly devoted to diagnostics, which is here clearly the best field for university research.

**⑥ 研究支援環境や研究環境は改善されてきたか (外国人に対するものも含む)
Have the circumstances for collaboration been improved ?**

- 宿泊設備、インターネット環境、安全管理体制など、研究を推進する環境は整備され、特に、双方向型共同研究については、各センターが外部委員を含む運営委員

会などの体制を整備し、実験計画の立案などについて公平性、透明性を向上させる努力を続けていること、共同研究者用の宿舎、ネットワーク環境など各センターの研究環境は着実に改善され、高く評価できる。(4名)

- 一般共同研究については、ビジターセンター(旧ユーザズオフィス)への共同研究者へのサービスの一元化は、共同研究者にとって有用である。これらのことから、研究環境の改善については、概ね高く評価できる。(4名)
- 平成22年11月より、計測器を共同利用に供する制度を開始した。これらに見られるように、研究支援は確実に向上しており、高く評価できる。(4名)
- 研究支援環境や研究環境は、かなり改善されてきており、高く評価できる。(2名)
- 本件については、多様な共同研究者に対応していくため、今後も、常に、実際に滞在した共同研究からの意見を吸い上げ、適切なレベルでの改善努力の継続を望みたい。(2名)
- 大学の研究室レベルの研究者への研究支援は必ずしも十分ではない。計測機器共同利用制度やネットワーク型共同研究などの新しい制度を立ち上げた点は評価できるが、これらの活性化も含め、より一層の研究支援を期待する。研究員宿泊施設(ヘリコンクラブ)は築10年くらい経過していると思われる。市中のホテルのように設備備品の改修を頻繁に行うのは資金的に厳しいと思うが、それでもやはり老朽化してきていると言わざるを得ない。特にバス・トイレ等や冷暖房設備の整備を期待したい。(1名)
- 研究環境は十分に改善されている。特に、理論・シミュレーション研究の基盤を支える超並列プラズマシミュレータの研究支援環境は優れており、関係者の努力を高く評価する。(1名)
- 研究環境についての難しい課題、例えば外国人も研究代表者とできるようにしたこと等の改善をしており高く評価する。(1名)
- LHD計画共同研究に関して、研究に直結する周辺機器の整備要求などを吸い上げる努力を継続しており、高く評価できる。今後具体的に改善することが望まれる。事務体制を変更するなどの努力がなされているが、共同研究者からは対応が役所的であるなどの意見を聞く。(1名)
- 研究支援環境や研究環境は改善されてきたと、評価できる。また、外国人に対する配慮も、英文標記の増強の努力が図られており、評価できる。(1名)
- 共同研究費で研究用のパソコンが購入できるようになるなど、また、それらの修理に要する費用も出せるなど、以前より遙かに弾力的運用ができるようになってきており、研究支援環境が改善されてきているので、高く評価する。今後の予算の減少が研究環境の悪化を招かないか懸念される。(1名)
- The NIFS's effort to make user-friendly environment for collaboration is progressing, such as "Visitor Center", NIFS Repository, etc. It is also noted that the convenience features such as "network access" and "inside

accommodation” has been provided. The safety management for collaborators is also improved by utilizing documents with “lessons learned”. It is, however, the circumstance for foreign collaborators has room for further improvement.

- The circumstances for collaborations have been revised and improved significantly.

User center has been established employing a user friendly interface.

NIFS Repository has commenced collecting the records, papers, external and internal reports thereby keeping the history of research available and transparent.

Diagnostics equipment is properly stored and available for rent by collaborations teams and individual researches from the outside of NIFS.

The collaboration teams are rearranged along the lines of the reorganization of research divisions.

3 new projects have been launched recently.

The exchange of personnel with universities has been facilitated by providing mobility both at the “ Personal exchange-type “ and “ Network exchange-type “ levels.

Proposals from foreign researchers may be adopted with exception of “Numerical Analysis System” although the financial support is limited.

- NIFS is commended for having instituted a number of useful improvements in the system for research collaborations.

The increased availability of information about safety procedures for Japanese and international researchers is consistent with recommendations from the 2009 External Peer Review Committee meeting.

Previously, foreign researchers could only work on LHD with Japanese scientists. Now, international scientists may submit proposals for collaboration research in all categories except that of Numerical Analysis System, which will allow them to carry out experiments on LHD directly. This, too, is a useful step forward.

While visiting NIFS before and after this year’s External Peer Review Committee meeting, I personally used the new internet network for external users (Extra-Net). It functioned well.

The Fusion Network that is administered by NIFS will now allow inter-university bilateral collaborations to be carried out. This is an excellent development.

The NSTX Program at Princeton issues a guidance letter every year to inform outside scientists about topical research priorities and collaboration opportunities. These program letters are posted on the NSTX web site

(http://nstx.pppl.gov/DragNDrop/Program_PAC/Program_Letters/). It might be useful for NIFS to do something like this, especially for the LHD Program.

- Yes. NIFS has developed an impressive program to collaborate with a large network of Japanese universities. The university groups very often have a particular strength or expertise in a certain subject/field of plasma physics and engineering. This large network of university research in plasma physics with a strong link to fusion research is probably unparalleled in the world. This huge asset of Japanese plasma science has gained strength and visibility after LHD was introduced as an inter-university facility and NIFS is acting as an agent to stimulate the collaboration with the universities. This is a very remarkable accomplishment.

⑦ 若手人材育成に貢献してきたか

Has the collaboration research helped educating students and young researchers ?

- 共同研究の枠組みは、若手研究者や博士研究員が取り組む課題を提供し、ある分野で専門性を高めた研究者を輩出するメカニズムとして機能していると窺える。特に、双方向型及び一般共同研究については、共同研究に多数の学生や若手の研究者が参加し、共同研究に関連した学位論文が過去5年間で約1,000件あり、またこれをベースにした修士、博士の学位の取得も多数なされていることから、若手人材育成に大きく貢献していると判断でき、高く評価できる。(11名)
- 大学研究室レベル若手研究者の育成のため、博士課程の学生が核融合科学研究所での研究により参加できるようにする奨励制度が必要であろう。(1名)
- 研究交流会が増えたが、若手の出席は少なく、今後改善が望まれる。(1名)
- LHD計画共同研究では、プロジェクト型研究だけでは幅広い若手人材育成は不可能との判断で、大学参加の共同研究として幅広いテーマを受け入れる体制を目指しているのは適切である。一方、一般共同研究の方は本来の役割が失われないように配慮願いたい。核融合科学研究所が若手人材育成に本気で取り組むのであれば、大学から院生を受託して育成するプログラム、大学の助教レベルの若手研究者との活発な人事流動などが必要である。(1名)
- 総合研究大学院大学や名古屋大学の大学院生への直接的育成の実績は限定的であるが、これまで共同研究に参加した大学院生数は膨大なものとなる。核融合研究をしている研究者のほとんどは大学院時代に共同研究に参加したことがある。一方、核融合科学研究所の助教や准教授が、他大学や他研究機関へステップアップした例は少ないのではないだろうか。(1名)

- 共同研究を通じて核融合科学研究所に採用された例があり、よい仕組みと思われる。一般型共同研究では、相互交流型が教育効果も上がっているとの報告がある。双方向型共同研究も人材育成に貢献しており高く評価できる。(1名)
- 学生を集めてLHD見学会を催すなどの取り組みは今後さらに強化することが望ましい。(1名)
- 若手人材育成には、よく貢献しており、高く評価できる。人材育成には、今後、財政的に困難になることが見込まれるが、これまでどおり、継続していくことを期待する。(1名)
- In bilateral collaboration, 25~35 Master Degree and 4~8 Doctoral Degree have been endowed yearly. It is noted that students and young researchers are benefited from collaboration with other university collaborators.
- This activity has made enormous progress lately.
 Many first class students have been brought up to the level of prominent scientists providing the influx of original ideas to both the LHD experimental and fusion theory programs.
 Their presentations have been remarkable and profound addressing a wide variety of timely and topical issues within the framework of NIFS program.
 Many famous universities in Japan contribute by educating excellent students at the Master and Doctoral levels.
 NIFS is completing their mission by giving access to the world largest facilities and teaching them to work successfully in a large team.
 In summary, this system sustains a classical scheme of bringing the “ Big Science “ to the university type school of education.
- During 2004-2009, a significant number of students at Kyushu, Kyoto, Osaka, and Tsukuba obtained Masters degrees and Ph.D. degrees based on research performed through Bilateral Collaborations.
 Tsukuba University provided specific information about how the Bilateral Collaborations have enhanced the education and research motivation of students and young researchers, citing an increase in published papers and conference presentations from 120 per annum to 180 per annum, a 50% increase.
 In the General Collaborations, students constitute 20% of the collaborators. The largest absolute number of student collaborators (about 190) work on LHD experiments. Not unexpectedly, students comprise the largest percentage of collaborators for collaborations having to do with Numerical Analysis.
- Yes. The access to all NIFS facilities (LHD, supercomputers, instruments etc.) is clearly an improvement for students and young researchers at Japanese universities. The collaboration research very much improves their mobility and helps to establish new contacts, both on national and international level. It is

recommended to advertise the NIFS collaboration to students, who are at the beginning of their career; the outstanding working conditions in connection with the NIFS collaboration should attract more students to choose plasma physics as their research field.

2) 今後の進め方について

Future direction

① 核融合研究のCOEとして、各共同研究カテゴリーは長期的なビジョンも踏まえた共同研究の進め方が示されているか、またそれは適切なものであるか

Does the plan in each category suggest a direction Based on a long-term vision. Are they satisfactory as a plan of COE of fusion research ?

- 第2期中期計画に対するビジョンを示し、ヘリカル型原型炉を見据えて工学関係の共同研究を拡張するとの計画が示された。この方向性は適切であると判断され、それに沿った共同研究の進め方も適切である。特に、双方向型共同研究に核融合工学課題を取り込むために、平成22年度より、富山大学水素同位体科学研究センターと東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターを加え、主要課題（LHD、数値実験炉、炉工学）との連携も視野にいった課題を設定し、また、双方向の利点を生かした複数のセンターの連携を含むネットワーク型の研究課題の推進も議論している。長期的ビジョンを踏まえた適切な処置を取っており、高く評価できる。（8名）
- 全体的に適切であるが、双方向型研究は、教育や人材育成を含む大学での幅広い研究活動を支援する一方、中型装置を用いて世界的に存在感のある高いレベルの研究成果を創出・維持することは容易ではない。世界的な状況分析も含め、選択・集中すべき研究課題、あるいは、統合的研究と要素的研究の資源配分など、長期的ビジョンを十分に議論できる環境を作ることが重要である。（2名）
- LHD計画共同研究については、長期的なビジョンも踏まえた進め方が示されており、高く評価できる。（2名）
- 全国共同研究制度は日本独自のものであり、比較的大型の実験装置を必要とする核融合分野では、大学を含めた研究の活性化という面で、大変大きな成果を上げてきており、核融合科学研究所の共同研究は高く評価できる。全国共同利用機関は、その将来計画もコミュニティと一緒に議論して決定してゆくものであり、核融合ネットワーク等を通じて、今後も核融合コミュニティとの議論を重ねて行く事を期待する。（2名）
- 今後はプラズマ閉じ込め研究に後戻りすることなく、さらに日本に核融合炉を実現するのだという強い決意を持って長期的に共同研究が継続できる方向に行くことを心から望む。（1名）

- 双方向型共同研究については、概ね高く評価できるが、長期的ビジョンが少し見えにくい面もあり、予算状況から考えた再検討が必要かもしれない。一般共同研究、連携研究については評価できるが、長期的ビジョンの観点から十分出ない面があり、検討が必要であると考えます。(1名)
- ITER計画が本格的に始まって以降、予算減も絡むかもしれないが、論文数や博士学位の数が核融合科学研究所と各センターの合計で減少傾向にある。ITERの成功に協力するのは当然としても、原型炉に向けては材料の実現性に重点を置いた研究の方向付けが必要であろう。材料の限界をいかにシステム設計でカバーできるか、核融合実現へのシナリオを最新のデータに基づき明確にすべきであろう。(1名)
- LHD計画共同研究について、プロジェクト的直結課題に加えて、基礎的課題にも採択しており、大学の活性化と人材育成を目的として実施しているのがよい。双方向型共同研究において、炉心プラズマと炉工学の統合は新しい視点であり、この方向で新たな展開を図ることを期待する。一般共同研究では、報告書からは長期的な戦略が見えにくいですが、この共同研究の性格によるものでしょう。(1名)
- 活動をより一層効果的・効率的なものにするために、ヘリカル原型炉を見据えて、核融合科学研究所が大学の牽引役となることを期待する。(1名)
- In the 2nd mid-term period, the promotion of fusion engineering research and the contribution to the demo concept, are targeted for two major goals. In this direction, the two newly joined institutes in the bilateral collaboration cover the study of tritium and irradiated materials. Therefore, the plan for collaboration in the 2nd mid-term period well matched two major goal of same period. Also, these 2nd mid-term collaboration plans shared the key issues of NIFS' major research projects such as LHD, Numerical Experiment, and Fusion Engineering, in line with COE function of NIFS.
- The plan is very specific and clearly outlined.
Two new universities join the bilateral collaboration programs.
This represents the important extension for issues required for DEMO such as tritium handling technology and irradiation caused by high energy neutrons.
Of course, key issues faced by LHD, Numerical simulations and Fusion Engineering will be addressed in depth.
Already approved projects include heating of the Super Dense Core plasma in LHD by Bernstein waves and control of recycling by a novel divertor scheme.
These improvements may result in the record performance in the near future.
- The numbers of different types of NIFS collaborations, as well as their diversity and breadth, are truly impressive. The management of these collaborations by NIFS as a Center of Excellence for fusion and plasma physics has been outstanding.

The plan to continue with the present three types of Domestic Collaborations is reasonable. New developments are planned for the Fusion Network (in particular, to enhance collaborations among participating institutions) and for the enhancement of fusion engineering-related collaborations. Both of these developments may require additional budgetary resources.

- The long-term vision of the plan is the joint-effort to solve the remaining issues in physics and technology on the way to fusion as a clean, abundant, safe energy for the next century. In this sense, fusion research is by nature goal-oriented and follows a well-defined plan. Nevertheless, it is scientifically sound to provide room for curiosity-driven research. Here, the bilateral and the general collaboration with the Japanese universities play a particularly important role. The young generation of researchers in the universities approach known problems with a fresh attitude. In this very best sense, the collaboration program acts as a COE for Japanese fusion science.

The NIFS plans to increase collaboration on engineering can only be applauded. There is an enormous engineering know-how available in Japanese universities, which is absolutely needed for the development of a fusion reactor prototype.

**② 共同研究を、それを基盤として新しい展開が出来るように位置づけているか
Does the collaboration research function as a pivot for advancing new studies, such as a program under the Grants-in-Aid for Scientific Research ?**

- 各カテゴリーの共同研究を基盤にした新しい展開は、各所に見られる。また、共同研究は萌芽的な基礎研究にも開かれている。共同研究に関するアンケート調査の回答によると、共同研究を基に外部資金を獲得した件数は188にのぼる。共同研究が研究の新しい展開の基盤として機能しており、高く評価できる。(3名)
- 双方向型共同研究では、新たなネットワーク連携研究の課題への取組みがされており、そこでの人材育成には大いに期待したい。連携項目に関しては概算要求課題でもあり、その努力を期待したい。LHD計画共同研究に関して、核融合・プラズマ科学という視点で基盤として新しい展開を国内機関で図っていく方針は高く評価できる。一般共同研究では、相互交流型に展開を図ることは要求に合致しており高く評価できる。(2名)
- 次期中期計画においては、ヘリカル型原型炉を見据えて工学関係の共同研究を展開するとの計画が示されており、概ね高く評価できる。(1名)

- 共同研究は、大学における核融合研究の牽引役として、核融合科学研究所と大学が相補的・相乗的に切磋琢磨する基盤である。その観点から、幅広い学術研究と目的を絞ったプロジェクト制の設置は適切な方策である。例えば、数値実験炉を目指した数値実験研究プロジェクトは、大学にとっても理論シミュレーション研究の動機付けにもなる等大きな意義がある。本プロジェクト制が発展し、競争力が一層向上するよう期待する。(1名)
- 大学の研究者が科研費等の自助努力をしながら、共同研究の成果を上げている例もあるようなので、共同研究の在り方としては適切な位置づけになっており、評価できる。核融合科学研究所に頼りすぎるのはかえって学問の発展を阻害する面もあるので、自助努力の流れが共同研究者の共通意識になることが望ましい。(1名)
- 共同研究を、それを基盤として新しい展開が出来るように位置づけていると、評価する。(1名)
- 成果の表し方、系統だった評価などを工夫すればより新しい展開が期待できる。原型炉に向けて、どのような共同研究を組織していくのか等、今回の改善の成果が数年後には見えてくると期待できる。(1名)
- あまり目立った成果は出ていないが、基本的には現在のような進め方で良いと思う。ただし、ここ1-2年の共同研究経費(特に双方向型共同研究やLHD計画共同研究)が減少しているのが気になる。(1名)
- 核融合炉の実現には、国内の研究者に広く協力を求めるという意識が定着してきているようで、それを基盤に新しい展開ができるように共同研究を位置づけていることは評価できる。誰でも参加しやすい一般共同研究の拡大が望まれる。共同研究の国際化を可能としたことは、概ね評価できるが、予算上の不公平感のない、目配りのきいた運用を希望する。(1名)
- 共同研究の中で、LHD計画共同研究などは、高く評価できるが、それ以外、例えば一般共同研究については、新しい展開もあまり見えてこないように思われ、概ね適切であると言わざるを得ない。(1名)
- 新しい取り組みとして、核融合科学研究所の一部の機器を共同研究者に貸し出す制度が整備されたが、これは、大学等にとって極めて有用であり、是非、可能な限り、この制度の拡充を期待したい。(1名)
- 双方向共同研究では新しい展開が図られるよう十分な配慮が望まれる。(1名)
- In the summary of questionnaires' response from 136 collaborators, 435 Bachelor degree, 519 Master degree, and 92 Doctor degree have been endowed through participating collaboration program with NIFS. It is also recorded that 188 Grant-in-Aid are received by NIFS collaborators with subjects related to the

collaboration program. Therefore, it is demonstrated that NIFS collaboration activities provided many opportunities for new research grants for advancing new studies.

- NIFS program constitutes a powerful vehicle driving the collaboration research forward.

It is pivotal in achieving the near term and long term goals of fusion research.

However, the progress is the subject of resources available for financing the program.

To this end, the budget cannot be cut any further if the results and the output are determined to remain at the current level.

- Responses from 136 of the collaborating institutions reported that 188 Grants-in-Aid for Scientific Research related to the NIFS collaboration program had been obtained during the first mid-term period and that a very large number of students had graduated with Bachelor, Master, and Doctoral degrees after participating in the collaboration program. These are very good indications that the Domestic Collaborations are successfully functioning to advance new studies.

A significant concern is the recent reduction of the 2010 budget for Bilateral Collaborations (the largest of the three collaboration categories, down by ¥100K = 13% from 2009), with this budget now being folded in with the budget for LHD Project Collaborations (down ~¥50K) and General Collaborations (constant). If this reduction continues, the Collaboration Committee and the NIFS Coordination Research Project will have to more strongly prioritize research proposals, which will lead to a reduction in the acceptance rate (currently at almost 99%). Establishing reasonable criteria for such prioritization will be important.

- The simple fact that NIFS pools the know-how, which is available in the Japanese university system, makes the collaboration research program pivotal for the field. The access to the NIFS facilities and the huge know-how of the NIFS staff opens up new horizons for university groups. This becomes evident by the large number (188) of grant-in-aid contracts and graduations (about 1000 in total), that are directly related to the collaboration.

It must be emphasized that further budget cuts would endanger the future of this highly successful collaboration model. Conversely, a due budget increase would have a stabilizing effect and would allow to start new and urgently required activities.

(2) 国際共同研究

1) 政府間レベルの協定に基づく国際共同研究

International collaboration research based on inter-governmental agreements

① 実施機関として役割を果たしてきているか

Has NIFS fulfilled its responsibility as an implementing agency?

- 日米協力、日韓協力、日中協力、I E A (International Energy Agency) 協力等、国際共同研究の実施機関としての役割を核融合科学研究所は十分に果たしており、極めて高く評価できる。(9名)
- 特に事務手続きでは、大学関係者は多大な恩恵を受けており、核融合科学研究所の事務部には深く感謝申し上げます。(1名)
- 日米エネルギー協力協定は形式的には失効中であるにも関わらず、核融合科学研究所を始めとする関係各位の努力により実質的には高レベルの研究協力が維持されてきており、日米の研究促進に重要な貢献をしている。高レベルの国際共同研究がこれからも継続できるよう強く希望する。(1名)
- 日米国際共同研究は双方の核融合研究の発展に大きく寄与してきた。毎年200名くらいの人的交流があり、論文数も毎年100件程度掲載されており、成果が蓄積されている。(1名)
- 日米協力では成果を報告会のみならず、学会などでもっと議論したほうが良い。それぞれ課題について成熟してきているので、新規のあり方を議論し始めた方が良い。日米安全巡視活動はその役割を果たしたので、終了すべきである。(1名)
- 米国の戦略において、韓国のK S T A R (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)、中国のE A S T (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) に対する共同研究・支援活動に比べて、我が国に対する熱意が感じにくい。L H D、J T - 6 0 S A (原子力研究開発機構の大型トカマク装置J T - 6 0 Uを超伝導化し、I T E Rでは実証できない高性能プラズマの定常維持研究等を行うBA事業の1つ) について共同研究を活性化する戦略を練るべきである。(1名)
- 特に、I E A協力については、「ステラレータ・ヘリオトロン概念の開発実施協定」において、議長国を務めるとともに、国際調整作業会活動ではドイツと共同調整役を務め、リーダーシップを発揮していることは、概ね高く評価できる。(1名)
- I E A協定に関しては、新たに定常運転を課題にした協定が議論されているが、L H DやQ U E S Tのようにそれを課題に掲げた装置が我が国には存在し、また炉工研究に重要な関心があることから、個々の装置を対象とするよりは広く国際共同

研究を展開することが望ましい。(1名)

- 日中の共同研究での派遣は毎年25件程度、受入は50件程度あり、人的交流が活発である。日韓及びIEAの共同研究も実施されている。(1名)
- 日韓協力・日中協力はより対等な関係で今後の計画を考える、あるいは、成果発表のルールをつくる必要がある。この事業が日本のトカマクやヘリカル、あるいは核融合工学にどのように貢献するのかという視点での議論も必要である。(1名)
- 日韓と日中の2つについては新たに日中韓の枠組みを作るという動きが中国、韓国にあり、それへの我が国としての対応を戦略的に決定する必要がある。(1名)
- NIFS does an excellent job of executing the three collaboration exchange programs based on inter-governmental agreements with the U.S., Korea, and China. On behalf of Japan, NIFS also is involved in managing activities related to IEA implementing agreements.
- The number of workshops and the number of exchange scientists for the overall US-Japan collaboration program have declined over the past decade by about 25%, due to budget limitations. However, the number of resulting publications has remained constant, which could be a sign of increased efficiency and which certainly indicates how these joint activities are considered to be valuable. Students have participated in these joint activities (e.g., eight Ph.D. theses resulted from TITAN collaborations during 2007-2008 and five Ph.D. theses from JIFT activities during 2007-2010). In 2010, the 30th anniversary of the US-Japan Fusion Cooperation program was celebrated, and a report will be published to commemorate this milestone. I would like to thank NIFS for its strong support of this bilateral cooperation program, which has led to numerous publications and invited presentations at conferences (e.g., the activities of the Japan-US Joint Institute for Fusion Theory resulted in 120 papers published in journals and 17 invited presentations at IAEA Fusion Energy Conference during the past decade).
- The international collaboration of NIFS has currently four pillars: (1) Japan-US, (2) Japan-South Korea, (3) Japan-China, (4) IEA implementing agreements. The latter are multi-lateral agreements on collaboration. The one on stellarators and heliotrons exists already for 20 years. All four areas of collaborative activity seem to be well implemented and (partially highly) active. Hence, NIFS is very well fulfilling its responsibility as an implementing agency for international collaboration. It will be interesting to see, to what extent the university partners of NIFS will benefit from this role in the future.
- The collaboration activities and its results proved that NIFS fulfilled its responsibility as an implementing agency well and appreciated by counter-part of international collaborations.

- NIFS has fulfilled the responsibility as an implementing agency for International collaboration research based on inter-governmental agreements thoroughly and in depth.
- All of the foreign institutes benefit greatly from the experience gained on the hardware and software development of the LHD which is the world leader in fusion science and engineering. NIFS is also instrumental in training young fusion scientists from all over the world, in particular from the Asian region.

② 今後の進め方（方針・計画）は適切か

Are the policy and plan for future collaboration satisfactory?

- 政府間レベルの協定に基づく幅広い国際共同研究に関し、相互の特長を生かした個々の提案が盛り込まれている方針は具体性があり、極めて高く評価できる。（4名）
- 「日米科学技術協力の重要性は日米双方ともに重く認識しており、失効中の政府間協定の再締結を行い、国レベルの協力活動として推進する。」との方針は適切であり、極めて高く評価できる。この努力が実を結ぶことを強く希望する。（2名）
- ITERでは超伝導コイルの新たな規格・基準が議論されたが、このような活動は、核融合の学術基盤構築と学術的体系化の一環として大変重要である。特に我が国が規格・基準の分野で世界をリードし、グローバルスタンダードを構築することが重要であるので、そのような視点からの国際共同研究を牽引する事も必要であろう。（1名）
- ITERに関する日米協力、日韓協力の継続、IEA協力、アジア研究拠点事業の計画について、高く評価できる。これら国際共同研究については、双方においてどのようなメリットがあるか及び目的は何かを明確にして、適宜、実施内容や実施規模について見直す必要がある。（1名）
- 日米協力は特長のある米国施設を使用しているが、双方の装置を用いる方がよいと思われる。（1名）
- 日米協力は高く評価できる。ただし、旅費等に関して、米国の研究所と日本の間の旅費が支払われるが、付加用務がある場合には自費でまかなわなければいけないような場合もある。以前のように柔軟な形に戻して頂きたい。（1名）
- ITERだけでは十分に行えない課題があることから、そのような課題を日米協力でカバーする方針は適切である。TITAN (Tritium, Irradiation and Thermofluid for America and Nippon) 計画、JIFT (Joint Institute of Fusion Theory) 活動については、わかりやすく興味を引く公募をおこなったほうがよい。（1名）
- 留意すべき点はあるが、日韓と日中協力については概ね適切と考える。（1名）

- 従来の進め方は高く評価できるが、日米、日中協力などは概算要求事項ではなくなったとのことなので、進め方について、予算面からの見直しが必要であろう。(1名)
- 核融合研究が欧米からアジアに移行しつつある現状をふまえると、日中韓協力をきちんと位置づける必要がある。定常運転という研究課題で協力体制を構築する必要がある。もう少し予算を伴う人材派遣が望まれる。(1名)
- 今後とも国際共同研究が、成果の相互還流、我が国への知的・人的資源の蓄積、若手人災の育成等を進め、我が国の核融合研究開発の進展に貢献することを期待する。(1名)
- The policies and plans appear to be satisfactory.
- It has been agreed that the US-Japan Joint Activity will be continued and even strengthened. However, the inter-governmental agreement still remains unsigned after five years, due to legal complications. Fortunately, the cooperation activities have been (and will be) able to continue on the basis of inter-institutional agreements. Some exchange activities have been revised (e.g., the close out of Joint Computational Projects in the JIFT program by mutual agreement). Others will be reviewed (e.g., how to continue after expiration of the TITAN project in 2013).
- In the plan for the future, it is foreseen to strengthen all four existing pillars. This is very much supported since all of them are well working. NIFS is recommended to start with the development of a detailed plan how to collaborate in future with the device Wendelstein 7-X, the large superconducting stellarator under construction by the Max-Planck Institute for Plasma Physics in Germany. After start of plasma operation in 2015, this device will deliver complementary information on the key issues of stellarator physics. Here NIFS should become one of the key players in the international collaboration. This requires an early start of the planning and exchange of personnel beyond the present level.
- The reduction of fund may limit its full potential to maximum utilization. So it is advisable to expand its program further to its full potential.
- The policy and the plan for future collaborations are definitely satisfactory due to the broad range of options offered by NIFS activities. However, it is important to keep in mind that the plan is strongly dependent on the financing of the program in the coming years. To this end, it should not be reduced. On the contrary, it calls for an increase in order to carry out the policy and to realize the plans.

2) 研究所間学術交流協定などによる国際共同研究

International collaboration research based on inter-institutional agreements

① それぞれの機関の特長を活かした共同研究が行われているか

Does each program take advantage of characteristics of the agreed institutes?

- 世界の特徴ある一流の研究所と活発な共同研究を行っており、高く評価できる。例えば、プリンストン・プラズマ物理研究所との間では双方の主力実験装置を用いた双方向的研究を行い、テキサス大学オースティン校・核融合理論研究所との間ではそれぞれの理論解析と計算機シミュレーションの強みを生かした共同研究を長期間にわたって続け、マックスプランク・プラズマ物理研究所との間では2つのヘリカル系実験装置を軸として、おのおの年間10名程度の研究者が滞在型共同研究を実施している。(9名)
- 今後はさらに幅広い分野(例えばスパコンを用いた超大型計算機分野、原子力を扱っている炉工学分野など)との連携を積極的に進めて行くべきだろう。(1名)
- 世界の研究所あるいは大学の核融合装置、照射施設、トリチウム施設などとの国際共同研究が実施されている。これらは世界の研究の動向を知るのに役立つ。中性子照射装置やトリチウム施設などは我が国に少なく、これらとの共同研究は重要であり、評価できる。(1名)
- 外国の核融合装置での共同研究は数多く行われているが、どのような特長を活かして学術研究に貢献しているかは、はっきり見えないものがある。予算状況も含めて考え直し、取捨選択も必要な時期に来ているのではないか。(2名)
- 個別の予算措置がない中でも、実質的に協定に基づいて多方面で共同研究が行われている。さらに、平成22年4月より、新たに研究所の国際連携研究の事業として全体を位置づけ、長期的視野での実施を可能とするなど、かなり高く評価できる。(1名)
- NIFS participates in inter-institutional agreements with 15 institutions in nine countries. Six of these agreements were established in the mid-1990s, and another nine a decade later during the period 2005-2009. The collaborative research programs for the respective agreements certainly take advantage of institutional strengths (e.g., fusion theory with the University of Texas, materials studies with ORNL, fusion technology with UCLA).
- The involved institutes usually contribute with their specific expertise to the program. This is a working system as the long list of specific activities proves.
- The diversity of collaborators is very wide, from universities, national laboratories, and international organization. It seems that NIFS focused its collaboration with each institution with its strength to take advantage of

diverse nature of collaborators. It is also mutually beneficial to focus on mutual interest and strength of collaboration partners.

- Each program benefits strongly from a field of expertise of every institute involved in International collaboration research based on inter-governmental agreements.
- LHD also gives boost to new large experiments in Asia by sharing the experience and expertise gained during many years of operation of LHD.

② ITER・BAも視野に入れた今後の進め方（方針・計画）は適切か

Is the strategy that includes ITER and BA appropriate?

- ITERへの貢献のためにITER機構との包括協定を締結し、設計・建設や実験計画に関する共同研究や人的交流を促進していくことを計画している。また、BAに関しては、六ヶ所村に六ヶ所研究センターを設置してJAEAとの連携の準備をしている等評価できる。(6名)
- 核融合科学研究所は今後とも、ヘリカル原型炉の実現を念頭に、大学共同利用機関の機能を国際的に展開していく必要があり、この観点から、現在検討されている核融合科学研究所の今後の取り組みは適切なものであると、評価できる。(2名)
- ITER計画やBA活動は、世界の中核的な活動であり、我が国の貢献が大いに期待されると共に、我が国のプレゼンスを発揮する絶好の機会でもあることから、共同研究を進める上でも、十分な配慮が払われるべきであろう。これまでも運営管理・科学諮問面で貢献し、物理・研究面でもITPAで顕著な貢献をしている。また、工学・技術面では、超伝導コイルを用いた大型装置における先導的経験による技術アドバイス、試験の実施等で実用的な貢献を行ってきており、これらを継続的に発展させていくとの提案は概ね高く評価できる。なお、今後の進め方に関し、ITERにおけるTBM計画への主導的な参画が期待される。(1名)
- 核融合科学研究所も含めて大学コミュニティはITERへの積極的な関与を期待している。ITER・BAへの協力や共同研究を具体的にどのように進めるか、またそのための制度設計を大いに期待したい。(1名)
- 最終的に核融合の成否を決めるものは炉材料であり、後は材料の限界を設計でカバーできるかどうかにかかっている。原型炉実現に向けて炉材料開発に力を注ぐことは重要である。(1名)
- ヘリカルとトカマクと炉型は異なっても、炉内構造物など共通点は多い。ITER Rでの研究をヘリカル炉設計にも活かすことが望ましい。(1名)
- 進め方は概ね適切と思うが、よりITER・BAに積極的に関わり、鍵となる課題の抽出を行い、内容を精査する必要がある。(1名)
- ITPAに対するLHDの貢献は極めて重要であり、高温高密度プラズマを400

秒維持できる装置は世界にLHDのみであり、世界への発信を意識して一層進めて頂きたい。(1名)

- ITER受託として3つの個別課題をあげているが、いずれも核融合科学研究所で培ってきた技術や経験の上に新しい開発を期待されており、目に見える形で明示されることを望む。(1名)
- NIFS has a service contract with the ITER Organization to resolve engineering issues related to construction. NIFS scientists are involved in ITER physics issues through the International Tokamak Physics Activity (ITPA). A NIFS scientist is a member of the ITER Science and Technology Advisory Committee; the NIFS Director General is a member of the ITER Council.
- NIFS plans to carry out joint development with JAEA of central solenoid and error field superconducting magnets (and performance tests) for the JT-60SA facility under construction as part of the Broader Approach. NIFS also provided advice about assembly and quality assurance for JT-60SA. NIFS has an office at the Broader Approach site in Rokkasho-mura, and a NIFS scientist is currently serving as director of operations for the three projects at the International Fusion Energy Research Center at the Broader Approach site. Also, the NIFS Deputy Director General is a member of the Broader Approach Steering Committee, and a NIFS scientist is a member of the Satellite Tokamak Program Board.
- A new player arises with ITER. During the long construction phase, ITER is specifically interested in engineering support. It is not clear to what extent NIFS can handle such a support without hampering operation and upgrade of LHD. Maybe NIFS could act as an agent to establish suitable links to Japanese universities that are strong in engineering sciences.
- NIFS included international collaboration programs including ITER as well as BA, in very appropriated manners. However, it is recommended to expand its contribution and collaboration to ITER and BA, as far as the NIFS' resource could provide.
- NIFS has concluded 3 important tasks contributing to ITER design and performance. This activity should be given the highest priority. BA is a complimenting program vital to Japan. Therefore, it seems mandatory to highlight relevant issues to ITER and BA in making decisions on the priority of different scenario to be realized on the LHD.

3) 自然科学研究機構の国際連携活動

International collaboration research under the National Institutes of Natural Science

① 機構による国際連携活動は成果を上げているか

Is the program productive?

- 自然科学研究機構は平成 17 年より「分野間連携による学際的・国際的研究拠点形成」事業を開始し、その一環として核融合科学研究所の提案による「国際共同研究拠点ネットワークの形成」プロジェクトを実施し、平成 21 年度にその事業を終了した。この事業によって支援された交流人数は延べ 490 人を越える。さらに平成 22 年度から「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」プロジェクトを実施している。これによりカールスルーエ工科大学(独)、プロヴァンス大学(仏)等の 6 つの新たな学術交流協定締結に至った。このような努力は高く評価できる。(3名)
- 自然科学研究機構の「分野間連携による学際的・国際的研究拠点形成」事業の一環として実施された「国際共同研究拠点ネットワークの形成」の活動では、核融合科学研究所のみならず、京都大学(先進ヘリカルにおける改善閉じ込め研究)などの国内拠点の国際化が推進され、当該分野における国際連携活動において多くの成果を上げたことは、高く評価できる。(1名)
- 自然科学研究機構として、磁場核融合に関する国際連携の具体例がもっとあった方がよい。(2名)
- 自然科学研究機構による国際連携活動に関しては、正直なところ、まだあまり見えてきていない。(1名)
- 自然科学研究機構の連携では、「学術」が基盤となるので、核融合分野が得意とする、また他の分野をリードしている学術分野を中心として、積極的に連携を図ってゆくべきだろう。(1名)
- 自然科学研究機構分だけの国際連携を議論する意味はあまりないと考えられるが、研究所間学術交流協定などによる国際共同研究を実施するための予算の裏付けを機構が行えるようにしたことは大きい。これにより国際連携研究の枠組みを作れることになったことになり、極めて高く評価できる。(1名)
- 多くの研究機関と提携し、核融合研究を行う方向にあり、概ね評価できる。しかしながら、核融合科学研究所の研究者数には限りがあり、協定結びだけに終わらず実質的な連携活動ができるか、成果を上げることができるのか若干懸念される。(1名)
- 機構による国際連携活動と、核融合科学研究所としての国際連携活動との違いがよく見えてこない。メリハリを付ける必要があり、評価としては、妥当と言わざるを得ない。(1名)
- 予算の枠が限られているが、研究課題として魅力的なものを掲げており今後期待できる。(1名)
- The collaboration research under NINS is focused on internationalization and the top-level management of the collaborative actions. In that sense, the

program appears to be productive.

- In the 2nd mid-term period, NIFS focuses on the topics related to the advanced area of plasma, so that the productiveness of collaboration could be judged with outcome in later period.
- A great experience in networking and spreading of the scientific results gained by NIFS serves well the NINS ambition to form the “ Base for Interdisciplinary and International Research through Cooperation across Field of Study “.
- It appears that these NINS cooperative activities may strongly overlap with the Academic Agreement collaborative activities, since the cooperating international institutions are identical.

4) ボランティアな国際貢献 (ITPA など)

Voluntary contributions for other International collaboration programs (ITPA, etc.)

① 核融合科学研究所として十分な貢献をしているか

Are the contributions satisfactory in terms of NIFS' s duty?

- 国際トカマク物理活動 (ITPA) のトピカルグループメンバー、50 名中 13 名を出しており重要な貢献をしていること、また ITER・BA では核融合科学研究所の職員が ITER 理事会、ITER 科学技術諮問委員会、BA 運営委員会等多くの重要委員会の委員として活躍しているなど、ボランティアな国際貢献は高く評価できる。(9 名)
- LHD の特徴を生かして ITPA を主導できそうなヘリカル系の 3 次元の物理からの貢献が行われていることを高く評価する (2 名)。
- 大学等も含めボランティアな国際貢献のための経費 (特に旅費) が増えることが望ましい。(1 名)
- 概ね貢献していると思うが、成果発表のみで終止せず、より積極的に関わり、鍵となる課題の抽出を行い、その成果を LHD での研究内容に反映してほしい。(1 名)
- LHD の貢献としては磁場配位に依存しない研究課題、LHD しか実施できない研究課題を世界に発信し、関心をあつめ貢献することが重要である。揺動や高速イオン関連のものは前者であり、400 秒を超える定常運転は後者であろう。これらをアピールすべきである。(1 名)
- Of the official 49 participants from Japan for the seven ITPA Topical Groups, NIFS provides 12 participants (2 for Diagnostics, 3 for energetic particles, none for Integrated Operational Scenarios, 2 for MHD, 2 for Pedestal, 2 for

SOL/Divertor, and 2 for Transport). Of course, scientists other than the official Topical Group participants may also attend the twice-yearly Topical Group meetings. Also, a NIFS scientist is a member of the ITPA Coordinating Committee, which meets once a year.

- NIFS scientists participate regularly in five of the seven ITPA Topical Groups, with 1-3 participants per topical group meeting. During 2009 and 2010, approximately 10 NIFS scientists participated in the annual spring and fall series of ITPA Topical Group meetings—hence the total figure of 20 cited for NIFS attendance at the Topical Group meetings each year. An average of 10 NIFS participants per each series of workshops is respectable.
- Two NIFS scientists who were ITPA Topical Group participants were involved as co-editors of the document “Progress in ITER Physics Basis,” which was published by the ITPA in the journal Nuclear Fusion 2007.
- NIFS had contributed actively to the ITPA activities by participants about 20 persons per year. The 3D physics related issues had been contributed by utilizing LHD research, so it is well posed with respect to NIFS’ duty and strength. However, it is also recommended that NIFS could expand its participation further to the all major area of ITPA issues, as far as its resource could provide to enhance its role and presence in fusion research world-wide.
- NIFS is very well represented in the ITPA activity. About 20 LHD and other helical plasma researchers have attended the ITPA meetings each year thereby making a significant contribution to ITPA activities. Among the highlights, ELM control problems must be mentioned since it represents the most topical issue for ITER at present.

(3) 連携研究

1) 自然科学研究機構内連携研究

Research cooperation within the National Institutes of Natural Science

① 連携研究は成果を上げているか

Is the cooperation productive?

- 様々な形で連携研究を行っておりその成果は高く評価できる。機構を横断するテーマである「イメージサイエンス」及び「自然科学における階層と全体」については連携研究と数多くのシンポジウムを行い、2008年には機構主催の国際シンポジウムを核融合科学研究所が中心となって開催した。研究者間での学際的な共同研究では、例えば、LHDと太陽活動に関連した分光学的研究で20編の共同論文が発表されている。(7名)
- 機構を横断するテーマであるイメージングサイエンスは多くの分野にまたがる学際領域である。ブレインサイエンスや、宇宙プラズマのマイクロ波、X線、高速可視カメラによるイメージング計測は連携研究として期待が持てる。それに取り組むことのできる体制も整いつつあり、これからの成果がさらに期待できる。特に今までの成果では太陽観測衛星「ひので」との連携研究を高く評価する。(1名)
- 分子科学研究所との間ではナノ微粒子の近接場イメージングのシミュレーションに関する連携研究に成果が上がり、高く評価できる。(1名)
- イメージング手法などの計測機器を基盤として研究連携するのは適切な方法であり、今後も積極的に推進して行くべきであろう。(1名)
- 連携研究は、其々の分野に共通する基盤の上に立って、得意とする技術を持ち寄る事が肝要である。核融合分野が得意とする、また他の分野をリードしている技術を中心として、積極的に連携を図ってゆくべきだろう。(1名)
- 連携研究は、科学の新しい切り口を導き出したりしており、高く評価できる。(1名)
- これまで努力はしているものの、異分野との連携研究によって無から有を生み出すような成果を出すのは非常に困難である。しかも日頃、研究者同士が顔を合わせているわけではない。そういう中で、接点がある程度ある近い分野との連携で、なんとか成果を上げているので、評価できる。(1名)
- イメージングサイエンスなどに成果は出つつあると思われるが、核融合科学研究所ならではの具体的な成果が外部からあまり見えていない。国立天文台との交流を密にして、宇宙で観測されている諸々の現象に解釈を与えることができれば素人にも分かりやすい。(1名)
- 科学者レベルではまだ成果の情報交換にすぎず、連携から新しい視点をもった成果が出ることを期待する。特にこの分野では一般に向けた取り組みへと展開するこ

とが極めて大切であり、そうした継続的な努力を期待したい。(1名)

- NIFS organized the first NINS international symposium, which was held in 2008 on the interdisciplinary theme of “hierarchy and holism,” one of two thrusts (both computational) within NINS for which NIFS provides leadership. NIFS also organized six symposia on the interdisciplinary interaction of computer simulation science and signal transduction.
- It is a challenge to conduct really meaningful cross-disciplinary research. The NINS initiative to bring together scientists from neighboring or even far distant science areas is ambitious and deserves support. An outstanding productivity, however, should not be expected. In this light, the achievements made are already very good.
- It has a few potentially productive area of collaborations such as “Imaging science” and materials. However, it is too early to assess its full potential of productivity yet.
- NIFS also contributes to the major research carried out by NINS members NAOJ and Institute for Molecular Science. It is obvious that the expertise of NIFS in fields of “Imaging Science” and “Hierarchy and Holism in Natural Science” is of great value for these 2 institutes.

2) 大学・研究機関との協定に基づく連携研究

Domestic research cooperation based on inter-institutional agreements

① 両機関の特長を活かし、成果を上げているか

Does each program take advantage of characteristics of the agreed institutes?

- 全国の大学と協定に基づいて連携研究を進めている点は高く評価できる。
例えば、筑波大学プラズマ研究センター、富山大学水素同位体科学研究センター、名古屋大学エコトピア研究所、JAEA等々とそれぞれの機関の特徴を活かした連携研究をして成果を上げている。また、筑波大学プラズマ研究センターとの共同研究では世界最高性能のジャイロトロンを開発し20keVを超えるプラズマを生成した。
(9名)
- 静岡大学との被覆ボロン膜の理解につながる連携研究は不純物含有量の影響を明らかにするなど具体的な成果を上げており高く評価できる。(2名)
- 連携研究の中には、両機関の特長を活かして成果を上げているものがあり、高く評価できるものもあるが、協定を結ぶ意味があるか見直しが必要なものもある。(3名)
- 大学・研究機関との協定に基づく連携研究においても、特徴のある大学をパート

ナーとして、その得意分野での共同研究が進展してきた。我が国のアカデミア・コミュニティを中心として、学術的な体系化が進展すると共に、知的・人的な資源としても適切に成果が蓄積されてきており、総じてかなり高く評価できる。(1名)

- 連携研究の成果は評価できるが、一般共同研究、LHD、双方向型共同研究がある中で連携研究の枠がどうなのかが分り難い。(1名)
- Yes—for example, Tsukuba University on high-power gyrotrons, Eco Topia Institute on atomic physics, Nagoya Institute of Technology on materials research, Shizuoka University (and JAEA) on boronization, and Toyoma University on hydrogen isotopes.
- On the basis of the information provided, I got the impression that the collaboration subjects were carefully selected. A more thorough assessment should be made by the internal reviewers.
- Each program has its own purpose of collaboration for taking advantages of each collaborating institutions' strength and interest. Therefore, it should be focused to the goals of each collaboration program as it is initiated.
- Coordinated research based on agreement with domestic universities and institutes bring many advantages to all partners by providing the critical mass to every narrowly focused line of research.

3) 産学連携研究

Industry-university cooperation

① 核融合研究の有効なスピノフとなっているか

Is the cooperation a productive spin-off of fusion research?

- マイクロ波応用や超伝導・低温技術に関しては、産業応用として大きな成果を上げており高く評価できる。(8名)
- 核融合科学研究所と民間との間で年間 14-20 件の共同研究が行われ、2005 年度から 2009 年度の間 28 件の特許を取得している。産学連携研究が着実に実施されており、高く評価できる。(1名)
- マイクロ波加熱技術のスピノフがなされ高く評価できる。特にマイクロ波のコヒーレントな電場による結晶構造の変化という仮説は大変興味深く、単なる商品化開発だけでなく学術的にも価値のある産学連携研究になっていることを高く評価する。(1名)
- 瞬停対策 SME S (Superconducting Magnetic Energy Storage) 用の伝導冷却型パルスコイルの開発に成功したが商品化には至らなかった。しかし、そこで開発された伝導冷却技術は、間接冷却方式の研究へと発展し、将来の核融合炉の超伝導コイルになり得る可能性を有している。完全なスピノフではないが、跳ね返って

きた結果は大きく高く評価できる。(1名)

- 核融合研究開発は、まさに最先端技術を牽引しているので、核融合分野で開発された最先端技術をもっと積極的に産業応用することを期待したい。(1名)
- 核融合科学研究所ホームページにまとめられているように、核融合研究は多くの連携の可能性を持っていて、今後は経済性も含んだ付加価値の高いものに焦点を合わせ、具体的成果を見せることが望ましい。(1名)
- 共同研究の中には産学連携へと発展していったが、各大学で遂行しているものもあると思う。このようなものを取り挙げ、横を結ぶ役割を果たして行くことを期待する。(1名)
- 産学連携研究は非常に重要で、現時点で行っているものについては、高く評価できる。しかしながら、行われているのは、以前とあまり変わらず、分野的に発展が見られない。例えば、シミュレーション研究でも、産業に貢献できる分野があるのではないか。もっと間口を広げ、産業界や自治体などからの外部資金の導入に繋がるような連携も考える必要がある。(1名)
- Each year, about 14-20 such collaborations are carried out. Between 2005 and 2009, 28 patents were obtained, which is a good measure of spin-off productivity. There are three main efforts:
 - Microwave ceramic sintering is an excellent example of industry collaboration.
 - Low-temperature superconductivity applied for the development of protection against power failure and voltage drop has been productive in terms of publications, conference presentations, and one PhD thesis.
 - Real-time simulation of the LHD cryogenic system has received recognition.
- It is notoriously difficult to obtain spin-offs from fusion research, mainly since the needed technologies are highly specialized and tailored to the specific problem. Under these difficult conditions, NIFS is doing a very good job.
- The successful results of industrial cooperation has been provided in areas such as microwave sintering, applied superconductivity and tritium recovery, to name a few.
- The number of collaborations is impressive and grows constantly. The number of patents is also very solid.

② 地元産業等への貢献がなされているか

Does it contribute to the local community and industries?

- マイクロ波応用技術が地元産業とタイアップして特徴ある技術として発展させている点は高く評価できる。(8名)
- 次世代技術経営者の育成を目的として岐阜県工業会と岐阜県が主催する賢材塾

に核融合科学研究所の施設を提供し、合宿型セミナーの実施に協力している。また、地元民間企業との共同研究は 2004-2009 年に延べ 40 件と高い水準である。このような地元産業界への貢献は高く評価される。(2名)

- 評価事項として「地域住民に対する核融合科学の理解促進への取り組み」の方が適切だと思われる。このように評価した場合、マイクロ波焼成技術はかなり高く評価できる。(1名)
- マイクロ波によるセラミックの焼結など、地元へ貢献できる可能性を秘めた技術を持っている。今後、付加価値の高い材料の開発が望まれる。(1名)
- 限定的ではあるが、貢献されていると思う。(1名)
- 現在行っているものでは、十分に貢献しており、高く評価できる。しかしながら、地元産業をもっと広くとらえ、岐阜県だけでなく、もっと多くの、広範囲の様々な産業へ貢献できる可能性を検討する必要があると考える。(1名)
- In particular, microwave technology has proven to be useful in the ceramics industry, which is a major industry in the local community of NIFS. As noted above, a significant number of patents have been obtained. Jointly with local community organizations (such as Cera Techno Toki, the Oroshi Association, et al.), NIFS constructed six microwave hybrid kiln units. These efforts have contributed to local industry and the community.
- NIFS conducted cooperation with local industries, very actively. Especially, the ceramics industrial collaboration in Tokai region is well received and contributed to local industries.
- NIFS contributes to the industrial development of TOKAI region from the start of the Institute. This activity has been amplified lately by launching about 40 collaborations resulting in 38% increase in 5 years.
- Microwave calcinations project is of great importance because the pottery production is a major industrial base of the TOKAI region.

第3章 評価のまとめと提言

第2章で記載された意見及び外部評価委員会での議論を基に、評価の要点をまとめ、共同研究・連携研究の推進に重要ないくつかの提言をする。

(1) 評価のまとめ

1) 国内共同利用・共同研究

法人化後の実績について（前回外部評価指摘事項の反映を踏まえて）

① 公募内容は、研究環境や学術の進歩を反映した適切なものであったか

公募内容は、学外委員が多数を占める委員会で透明性高く決められ、一般共同研究、LHD計画共同研究、双方向型共同研究の3つのカテゴリによる柔軟かつ相補的重層的なシステムにより、研究環境・学術進歩を反映し、前回外部評価指摘事項も反映した適切なものとなっており、高く評価できる。双方向型共同研究における工学課題、センター間連携課題の追加はそれを端的に示すものである。

② 共同利用・共同研究は核融合コミュニティと連携し共同研究者の意見を反映しながら実施されてきたか

3つの共同研究カテゴリの全てで、外部委員が半数以上を占める審査・評価する委員会等を設置し、また、核融合ネットワークの意見も適切に取り入れ、双方向型共同研究では、上記に加えて、学会などで核融合コミュニティとの意見交換を適切に行っており、高く評価できる。昨年度開始した先進的シミュレーションシステムを用いた共同研究及び今年度開始した計測機器共同利用は、コミュニティの要望を強く反映したものであり、特筆すべきものである。

③ 共同研究成果の公表は適切になされてきたか

数百件／年の論文が掲載され、約半数の第一著者は核融合科学研究所以外である。IAEA核融合エネルギー会議でもサマリートークで引用されるものも多数あり、量だけでなく質の高さも窺える。また、成果報告会や学会での成果の発表も適切になされており、高く評価できる。

④ 共同研究は成果に対する評価を踏まえながら実施されてきたか

各共同研究とも、実績・成果報告書・成果報告などを義務づけ、成果の内容を評価し、それを踏まえた審査をし、適切に採択や資源配分がなされており、また、双方向型共同研究でも前回外部評価を反映し、学外委員が過半数の委員会などで評価されるようになり、高く評価できる。

⑤ 研究成果は蓄積されてきたか

核融合科学研究所の共同研究成果は、I A E A会議報告・学術論文など、様々な形で、学術基盤となるべく蓄積され、活用されてきた。I A E A核融合エネルギー会議での所外者による発表が順調に増え、また、サマリートークでの引用数が多いのもその表れと言える。双方向型共同研究での各センターの新しい展開も成果の蓄積が基盤であると判断でき、**高く評価**できる。

⑥ **研究支援環境や研究環境は改善されてきたか（外国人に対するものも含む）**

宿泊設備、インターネット環境、安全管理体制など、研究を推進する環境は整備され、ビジターセンター（旧ユーザズオフィス）への共同研究者へのサービスの一元化、計測器を共同利用に供する制度などの支援環境も改善し、**高く評価**できる。

⑦ **若手人材育成に貢献してきたか**

共同研究の枠組みは、若手研究者が取り組む課題を提供し、年間数百件の学位論文に寄与する等若手人材育成に大きく貢献している。これらの点において、**極めて高く評価**できる。

今後の進め方について

① **核融合研究のCOEとして、各共同研究カテゴリーは長期的なビジョンも踏まえた共同研究の進め方が示されているか、またそれは適切なものであるか**

環状プラズマの総合的理解の基に、ヘリカル型原型炉を見据えた計画（炉工学研究及び数値実験炉に関する研究）に沿った共同研究の進め方は適切であり、さらに、双方向型共同研究で工学研究課題を取り込む体制を整え、また、複数の大学のセンターによる連携研究も視野に入れた方向性は、**高く評価**できる。

② **共同研究を基盤として新しい展開が出来るように位置づけているか**

各カテゴリーの共同研究を基盤にした新しい展開は、各所に見られ、特に、共同研究を基に外部資金を獲得した件数は200件近くに達し、新しい展開の基盤として機能しており、**高く評価**できる。

2) 国際共同研究

政府間レベルの協定に基づく国際共同研究

① **実施機関として役割を果たしてきているか**

核融合科学研究所は日米協力、日韓協力、日中協力事業/日中拠点大学、I E A協力を適切に推進し、国際共同研究の実施機関として世界に類を見ないほど活発に活動して、その役割を十分に果たしている。これらの点から**極めて高く評価**できる。

② **今後の進め方（方針・計画）は適切か**

提案されている今後の進め方は適切である。相互の特長を生かした具体的な提案が盛り込まれており、**高く評価**できる。

研究所間学術交流協定などによる国際共同研究

① それぞれの機関の特長を活かした共同研究が行われているか

核融合科学研究所は海外の 15 の有力な研究機関と交流協定を締結し、それぞれの特長を活かした共同研究を活発に行っている。その活動は高く評価できる。

② ITER・BAも視野に入れた今後の進め方（方針・計画）は適切か

ITER機構との包括協定を締結するなどの方針は適切であり、高く評価できる。

自然科学研究機構の国際連携活動

① 機構による国際連携活動は成果を上げているか

機構の事業の一環として、「国際共同研究拠点ネットワークの形成」を行い、核融合科学研究所を含む国内研究機関の国際化をさらに推進した。このような国際連携活動は高く評価できる。

ボランティアな国際貢献（ITPAなど）

① 核融合科学研究所として十分な貢献をしているか

ITER理事会やBA運営委員会等多くの重要な委員会で活躍し、国際貢献をしている。また、ITPA活動への学術的貢献をするとともに共同研究を通じた大学研究者への活動支援を行っている。このようなボランティアな国際貢献は高く評価できる。

3) 連携研究

自然科学研究機構内連携研究

① 連携研究は成果を上げているか

機構を横断するテーマである「イメージングサイエンス」及び「自然科学における階層と全体」について核融合科学研究所は中心となる役割を果たしている。これらの連携研究活動は高く評価できる。

大学・研究機関との協定に基づく連携研究

① 両機関の特長を活かし、成果を上げているか

9つの研究機関と協定を結び、ジャイロトロン開発、トリチウム取り扱い、超伝導コイル等で核融合科学研究所と連携先の両方の特長を活かした研究がなされた。

その成果は高く評価できる。

産学連携研究

- ① 核融合研究の有効なスピンオフとなっているか
マイクロ波加熱技術の産業応用で大きな成果を上げており、高く評価できる。
- ② 地元産業等への貢献がなされているか
次世代技術経営者の育成を目的とした賢材塾への協力、地元の民間企業との多数の共同研究など、地元産業への貢献は高く評価できる。

(2) 提言

国内共同利用・共同研究、国際共同研究及び連携研究に関する全ての評価項目について、高い評価となった。今後、共同研究及び連携研究において、重要となる提言を以下に記す。

- ① 双方向型共同研究において、工学課題へ拡張したこと、連携研究を立ち上げようとしていることは、双方向型共同研究の有用性や意義をより高めるものであり、一層推進すべきである。
- ② 工学関連活動をより一層効果的なものにするために、主としてヘリカル原型炉を見据えて、より一層大学を牽引した学術的な共同研究を展開すること、及び将来的にはITERのTBM計画への参加を期待する。
- ③ 共同研究について、コミュニティの意見を反映するとともに、成果の公表と透明性の高い審査が求められる。今後、これらの活動を継続することが重要である。
- ④ 数値実験炉に関する研究プロジェクト及び計測器を共同利用に供する制度について、大学の研究の推進に役立つものであり、このような制度の拡充を期待する。
- ⑤ 日米科学技術協力に関して、政府間協定の再締結を行い、国レベルの協力活動として推進する、との方針を高く評価する。その実現を期待する。
- ⑥ ITER機構との包括協定を締結して、ITERへの直接貢献を強める方針は高く評価されており、その実現を期待する。
- ⑦ これまで、日韓協力、日中協力、IEA協力において、核融合プラズマ及び炉工学の研究が促進されてきた。今後、国内外の状況に応じて内容を見直すことも必要であろう。

第4章 おわりに

第1回外部評価委員会（平成22年10月21日）において、本年度の外部評価について協議し、評価項目を決定した。第2回外部評価委員会及び第1回専門部会（平成22年12月11日）では、研究所担当者から評価項目について詳しい説明があった。第2回専門部会（平成23年1月27日）では、各委員から提出された評価意見を取りまとめた報告書案を基にして議論が交わされた。第3回外部評価委員会（平成23年2月23日）では、最終報告書案について議論して報告書を取りまとめた。

国内共同利用・共同研究に関して、法人化後の実績について（公募内容は研究環境や学術の進歩を反映した適切なものであったか、共同利用・共同研究は核融合コミュニティと連携し共同研究者の意見を反映しながら実施されてきたか、共同研究成果の公表は適切になされてきたか、共同研究は成果に対する評価を踏まえながら実施されてきたか、研究成果は蓄積されてきたか、研究支援環境や研究環境は改善されてきたか、若手人材育成に貢献してきたか）の項目について、高く評価できるとの判断であった。今後の進め方について（核融合研究のCOEとして各共同研究カテゴリーは長期的なビジョンも踏まえた共同研究の進め方が示されているか、またそれは適切なものであるか、共同研究を基盤として新しい展開が出来るように位置づけているか）も高く評価できるとの判断となった。

国際共同研究に関して、政府間レベルの協定に基づく国際共同研究（実施機関として役割を果たしてきているか、今後の進め方（方針・計画）は適切か）、研究所間学術交流協定等による国際共同研究（それぞれの機関の特長を活かした共同研究が行われているか、ITER・BAも視野に入れた今後の進め方（方針・計画）は適切か）、自然科学研究機構の国際連携活動（機構による国際連携活動は成果を上げているか）、ボランティアな国際貢献（核融合科学研究所として十分な貢献をしているか）のどの項目についても、高く評価するとの判断となった。

連携研究に関して、自然科学研究機構内連携研究（連携研究は成果を上げているか）、大学・研究機関との協定に基づく連携研究（機関の特徴を生かし、成果を上げているか）、産学連携研究（核融合研究の有効なスピノフとなっているか、地元産業等への貢献がなされているか）の項目についても、高く評価できるとの判断であった。

核融合科学研究所では、これまで国内外の共同研究及び連携研究の推進と改善に真摯にたゆまず取り組んできており、このように何れの評価項目についても高い評価になったと考えられる。国内共同研究では、新たに、双方向型共同研究において工学分野までの拡充、原型炉を見据えた共同研究の展開、計測器の共同利用制度を設置、数値実験研究プロジェクトを進めている等が特に高く評価され、更なる進展が望まれている。国際共同研究に関しても、ITERへ貢献するための包括協定を結び、日米協力活動に関する協定についても、実現に向けて尽力している等、高く評価された。

このように核融合科学研究所の国内共同利用・共同研究、国際共同研究は、世界に

類を見ないほど整っているといえる。最後に、この報告書を基に、共同研究及び連携研究の一層の充実に向けて、更に取り組んで頂きたい。

参考資料 用語解説

| | |
|-----------------------|--|
| B A | <p>Broader Approach（幅広いアプローチ）。</p> <p>核融合原型炉の実現のために必要である炉工学研究や ITER だけでは実施できないプラズマ物理研究など、ITER 計画を補完・支援する先進的核融合研究開発を、ITER 計画と並行して行うもの。</p> <p>日本と EU の協力で行うものであり、青森県六ヶ所村と茨城県那珂市にある日本原子力研究開発機構で実施される。</p> |
| D E M O（炉） | <p>核融合炉実現に向けた段階的開発において、発電を原理実証するものを DEMO 炉（原型炉）と呼び、その結果を受けて発電炉として最初に作るものを PROTO 炉（実証炉）と呼ぶ。ちなみに ITER は核燃焼によるエネルギー発生を実証するが発電はしないので、DEMO 炉の前段階の装置という位置づけになる。</p> |
| F E C | <p>Fusion Energy Conference（核融合エネルギー会議）の略。</p> <p>IAEA が主催する核融合に関する研究成果を総合的に報告し、討議するため 2 年に 1 度開催される核融合分野で最大かつ最も権威のある国際会議。</p> |
| Hモード | <p>トカマク型装置において発見された、プラズマ閉じ込め性能の良い放電モード。プラズマ周辺の中性粒子量を少なく抑えて大電力加熱を行うことにより実現されるもので、通常の放電（Lモードと呼ばれる）の 2～4 倍のエネルギー閉じ込め性能を持つ。</p> |
| I A E A | <p>International Atomic Energy Agency（国際原子力機関）の略。</p> |
| I F E R C | <p>BA の事業の一つで International Fusion Energy Research Center（国際核融合エネルギー研究センター）の略。青森県六ヶ所村で展開。ITER 事業への貢献並びに原型炉の実現に向けた研究活動を行うもので、以下の組織を持つ。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①原型炉設計 R&D 調整センター ②ITER 遠隔実験センター ③核融合計算機シミュレーションセンター |
| I F M I F / E V E D A | <p>BA の事業の一つで International Fusion Material Irradiation Facility（国際核融合材料照射施設）の設計や建設・運転に必要な実証試験等を行う（Engineering Validation and Engineering Design Activities）もの。青森県六ヶ所村に施設を建設・実施。</p> |
| I T E R | <p>International Thermonuclear Experimental Reactor（国際熱核融合実験炉）国際協力によって核融合エネルギーの実現性を研究するためのトカマク型実験施設。参加国は、日本、欧州連合、ロシア、米国、中国、韓国、インドの 7ヶ国。建設地はカダラッシュ（フランス）であり、2019</p> |

| | |
|---------------|--|
| | 年の運転開始を目指して建設中である。 |
| I T P A | International Tokamak Physics Activity (国際トカマク物理活動) トカマクプラズマの物理を理解するために世界各地で行われている研究結果を持ち寄り国際的に討議する場。現在は ITER の参画極の間で行われており、環状型磁場閉じ込めに共通する物理としてヘリカルプラズマの結果も参照されている。 |
| J A E A | Japan Atomic Energy Agency (日本原子力研究開発機構) の略称。 |
| J T - 6 0 S A | BA の事業の一つ。原子力研究開発機構・那珂研究所にある大型トカマク装置 JT-60U を超伝導化し、ITER では実証できない高性能プラズマの定常維持研究等を行うもの。 |
| P D C A サイクル | 事業活動における生産管理や品質管理などの管理業務を円滑に進める手法の一つ。Plan (計画) → Do (実行) → Check (評価) → Act (改善) の4段階を繰り返すことによって、業務を継続的に改善する。 |
| Q U E S T | Q-shu Univ. Exp. with Steady-State Spherical Tokamak の略。 九州大学応用力学研究所高温プラズマ研究センターにある球状トカマク実験装置。平成 21 年より運転を開始した。 |
| T B M | Test Blanket Module (テスト・ブランケット・モジュール)。 ブランケットは核融合反応により発生する中性子を熱化し、熱として取り出すと共に、減速された中性子とリチウムを反応させ、燃料である三重水素を生成する核融合炉にとって非常に重要な機器である。ITER では発電の実証は行わないが、発生する中性子を用いてブランケットの試験を行うための窓が用意されている。ブランケットには幾つかの方式が考えられており、各極がそれぞれの方式で製作したテスト・ブランケット・モジュールを持ち寄って試験を行うことになっている。 |
| 核融合エネルギーフォーラム | ITER・BA の推進による核融合エネルギー実現に向けた研究・技術開発の促進を目的とし、日本の大学、研究機関、産業界からの有志により構成される組織。 |
| 核融合ネットワーク | 核融合が広範な学問分野にまたがる総合科学であることに鑑み、研究情報交換と共同研究に基づく研究企画の展開を目的として構築された大学研究者間の組織。プラズマ科学と炉工学の2分野に分かれ、いずれも核融合科学研究所を事務局としている。 |
| 機関リポジトリ | 研究機関がその知的生産物(学術雑誌掲載論文や電子化された学位論文、紀要など)を電子的形態で集積し保存・公開するために設置する電子アーカイブシステム。 |

| | |
|------------|---|
| ダイバータ | プラズマを閉じ込める閉じた磁力線群の外側に開いた磁場形状を設け、拡散してきたプラズマや周辺で発生した不純物イオンを装置内の一定の場所に導き捕集する装置をダイバータと呼ぶ。プラズマを受け止めるダイバータ板の除熱や発生する中性粒子の効率的な捕捉が求められる。 |
| 電子バーンスタイン波 | プラズマ中を磁場に垂直に伝わる静電波の一種。周波数はサイクロトロン周波数のほぼ整数倍。伝搬に密度上限がないので高密度プラズマ加熱への適用が研究されている。 |
| ミラー型核融合装置 | 直線磁場の両端の強度を強め、プラズマの両端からの損失を抑えてプラズマを閉じ込める方式の核融合装置。筑波大学プラズマ研究センターのガンマ 10 装置が代表的なものである。 |

添付資料

| | | |
|--------|--|---|
| 添付資料 1 | 平成 2 2 年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会委員及び 専門部会構成名簿 | 1 |
| 添付資料 2 | 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則 | 2 |
| 添付資料 3 | 平成 2 2 年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程 . . | 3 |

平成 22 年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会委員及び専門部会構成名簿

【共同研究・連携研究専門部会】

[外部評価委員会 委員]

- | | | |
|----|--------|-----------------------------------|
| | 疇地 宏 | 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長 |
| △ | 今井 剛 | 筑波大学プラズマ研究センター長 |
| △ | 大澤 幸治 | 名古屋大学大学院理学研究科教授 |
| | 小川 雄一 | 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授 |
| ○ | 笹尾 眞實子 | 東北大学大学院工学研究科教授 |
| | 佐野 史道 | 京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター長 |
| | 凶子 秀樹 | 九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センター長 |
| ◎□ | 日野 友明 | 北海道大学大学院工学研究科教授 |
| | 御手洗 修 | 東海大学熊本教養教育センター教授 |

[外部評価委員会 外国人委員]

- | | | |
|--|------------------|--|
| | Gyung-Su Lee | President, National Fusion Research Institute, Republic of Korea |
| | James W. Van Dam | Director, Institute for Fusion Studies, The University of Texas at Austin, USA |
| | Michael Tendler | Professor, Alfvén Laboratory, Royal Institute of Technology, Sweden |
| | Thomas Klinger | Directorate, Max-Planck-Institute for Plasma Physics, Germany |

[外部評価委員会 委員以外（専門委員）]

- | | | |
|--|-------|--------------------------|
| | 岸本 泰明 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科教授 |
| | 小杉 信博 | 自然科学研究機構分子科学研究所教授 |
| | 高津 英幸 | 日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門副部門長 |
| | 渡邊 國彦 | 海洋研究開発機構地球シミュレータセンター長 |

◎委員長、○副委員長、□ 専門部会長、△ 専門部会幹事

核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則

制 定 平成16年12月28日 規則第27号
最終改正 平成22年 7月30日

(設置)

第1条 核融合科学研究所の研究等の実績に関する評価を行うため、核融合科学研究所運営会議（以下「運営会議」という。）に核融合科学研究所運営会議外部評価委員会（以下「委員会」という。）を置く。

(組織)

第2条 委員会は、25名以内の委員をもって組織する。

2 委員は、核融合科学研究所の研究等に関し識見を有する者で構成し、運営会議の議を経て、所長が委嘱する。

(任期)

第3条 前条第2項の委員の任期は、2年とし、再任を妨げない。

2 前項の委員に欠員が生じたときは、その都度補充する。この場合における委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(委員長)

第4条 委員会に委員長及び副委員長を置く。

2 委員長及び副委員長は、第2条第1項の委員のうちから運営会議で選出する。

3 委員長は、委員会を招集し、その議長となる。ただし、委員長に事故があるときは、副委員長が議長となる。

(意見の聴取)

第5条 委員会は、必要に応じて、次に掲げるものから意見を聴くことができる。

- (1) 核融合科学研究所運営会議共同研究委員会
- (2) 核融合ネットワーク
- (3) その他必要と認める者

(専門部会)

第6条 委員会は、必要に応じて、専門部会を置くことができる。

2 前項の専門部会には、委員以外の者を加えることができる。

(庶務)

第7条 委員会の庶務は、管理部総務企画課において処理する。

(雑則)

第8条 この規則の実施に関し必要な事項は、別に委員会が定める。

附 則

1 この規則は、平成16年12月28日から施行する。

2 この規則の施行後最初の委嘱に係る委員の任期は、第3条第1項の規定にかかわらず、平成18年3月31日までとする。

附 則

1 この規則は、平成18年9月15日から施行する。

2 この規則の施行後最初の委嘱に係る委員の任期は、第3条第1項の規定にかかわらず、平成20年3月31日までとする。

附 則

この規則は、平成18年12月22日から施行し、平成18年10月1日から適用する。

附 則

この規則は、平成22年8月1日から施行する。

平成 22 年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程

○ 第 1 回委員会

日 時 平成 22 年 10 月 21 日 (火) 10 時 00 分～11 時 30 分
 場 所 核融合科学研究所管理・福利棟 4 階第 3 会議室
 出席者 日野委員長, 今井, 大澤, 小川, 函子の各委員



○ 第 2 回委員会及び第 1 回専門部会

日 時 平成 22 年 12 月 11 日 (土) 13 時 00 分～16 時 45 分
 場 所 名古屋ダイヤビルディング 2 号館 4 階 242 会議室
 出席者 日野委員長, 今井, 大澤, 小川, 佐野, 函子,
 御手洗, Lee, Van Dam, Klinger の各委員
 小杉, 高津の各専門委員



○ 第 2 回専門部会

日 時 平成 23 年 1 月 27 日 (木) 13 時 40 分～17 時 00 分
 場 所 核融合科学研究所管理・福利棟 4 階第 3 会議室
 出席者 日野部会長, 今井幹事, 大澤幹事, の各委員
 岸本, 小杉, 渡邊の各専門委員



○ 第 3 回委員会

日 時 平成 23 年 2 月 23 日 (水) 13 時 40 分～16 時 15 分
 場 所 核融合科学研究所管理・福利棟 4 階第 3 会議室
 出席者 日野委員長, 笹尾副委員長, 疇地, 今井, 大澤,
 佐野, 御手洗の各委員
 岸本, 渡邊の各専門委員



資料編

平成22年度
共同研究 活動報告書

自然科学研究機構 核融合科学研究所

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 1. はじめに | |
| 1. 1 大学共同利用機関としての役割 | 1 |
| 1. 2 第2中期目標・中期計画 | 2 |
| 2. 国内共同利用・共同研究 | 3 |
| 2. 1 法人化後の実績 | 3 |
| 2. 1. 1 双方向型共同研究 | 3 |
| 2. 1. 1. 1 公募と採択 | 3 |
| 2. 1. 1. 2 コミュニティの意見の反映 | 4 |
| 2. 1. 1. 3 成果の公表 | 6 |
| 2. 1. 1. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行 | 7 |
| 2. 1. 1. 5 研究成果の蓄積 | 8 |
| 2. 1. 1. 6 研究環境の改善 | 11 |
| 2. 1. 1. 7 若手人材育成への貢献 | 12 |
| 2. 1. 2 LHD計画共同研究 | 13 |
| 2. 1. 2. 1 公募と採択 | 13 |
| 2. 1. 2. 2 コミュニティの意見の反映 | 14 |
| 2. 1. 2. 3 成果の公表 | 15 |
| 2. 1. 2. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行 | 16 |
| 2. 1. 2. 5 研究成果の蓄積 | 17 |
| 2. 1. 2. 6 研究環境の改善 | 21 |
| 2. 1. 2. 7 若手人材育成への貢献 | 22 |
| 2. 1. 3 一般共同研究 | 23 |
| 2. 1. 3. 1 公募と採択 | 23 |
| 2. 1. 3. 2 コミュニティの意見の反映 | 28 |
| 2. 1. 3. 3 成果の公表 | 28 |
| 2. 1. 3. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行 | 29 |
| 2. 1. 3. 5 研究成果の蓄積 | 29 |
| 2. 1. 3. 6 研究環境の改善 | 32 |
| 2. 1. 3. 7 若手人材育成への貢献 | 33 |
| 2. 2 今後の進め方 | 35 |
| 2. 2. 1 双方向型共同研究のビジョンと新しい展開 | 35 |
| 2. 2. 2 LHD計画共同研究のビジョンと新しい展開 | 38 |
| 2. 2. 2. 1 プラズマ分野 | 38 |
| 2. 2. 2. 2 炉工学分野 | 40 |
| 2. 2. 3 一般共同研究のビジョンと新しい展開 | 41 |
| 2. 2. 3. 1 共同研究の国際化と連携化 | 41 |

| | | |
|------------|-------------------------|-----|
| 2. 2. 3. 2 | 大型ヘリカル装置計画プロジェクト | 42 |
| 2. 2. 3. 3 | 数値実験研究プロジェクト | 45 |
| 2. 2. 3. 4 | 核融合工学研究プロジェクト | 47 |
| 3. | 国際共同研究 | 49 |
| 3. 1 | 政府間レベルの協定に基づく国際共同研究 | 49 |
| 3. 1. 1 | 日米協力 | 49 |
| 3. 1. 2 | 日韓協力 | 55 |
| 3. 1. 3 | 日中協力/日中拠点大学交流 | 60 |
| 3. 1. 4 | IEA協力 | 64 |
| 3. 2 | 研究所間学術交流協定等による国際共同研究 | 68 |
| 3. 2. 1 | プリンストン・プラズマ物理研究所 | 69 |
| 3. 2. 2 | テキサス大学オースティン校 | 72 |
| 3. 2. 3 | オークリッジ国立研究所 | 73 |
| 3. 2. 4 | カリフォルニア大学ロサンゼルス校 | 74 |
| 3. 2. 5 | 中国科学院等離子体物理研究所 | 75 |
| 3. 2. 6 | マックスプランク・プラズマ物理研究所 | 76 |
| 3. 2. 7 | カールスルーエ工科大学 | 78 |
| 3. 2. 8 | ロシア科学センター・クルチャトフ研究所 | 80 |
| 3. 2. 9 | ロシア科学アカデミー・一般物理研究所 | 82 |
| 3. 2. 10 | ウクライナ科学センター・ハリコフ物理工学研究所 | 83 |
| 3. 2. 11 | オーストラリア国立大学 | 83 |
| 3. 2. 12 | 韓国基礎科学支援研究所 | 84 |
| 3. 2. 13 | プロヴァンス大学 | 84 |
| 3. 2. 14 | 磁場核融合研究に関する国際連携研究所設置協定 | 86 |
| 3. 2. 15 | スペイン国立エネルギー環境技術研究センター | 87 |
| 3. 2. 16 | ITER機構 | 88 |
| 3. 2. 17 | 交流協定に基づく国際協同研究の今後の進め方 | 90 |
| 3. 3 | 自然科学研究機構の国際連携活動 | 91 |
| 3. 4 | ボランティアな貢献 (ITPA等) | 93 |
| 4. | 連携研究 | 97 |
| 4. 1 | 自然科学研究機構内連携研究 | 97 |
| 4. 2 | 大学・研究機関との協定に基づく連携研究 | 100 |
| 4. 2. 1 | 筑波大学 | 101 |
| 4. 2. 2 | 富山大学 | 104 |
| 4. 2. 3 | 名古屋大学エコトピア研究所 | 107 |
| 4. 2. 4 | 大阪大学 | 110 |
| 4. 2. 5 | 岐阜大学 | 111 |
| 4. 2. 6 | 東北大学 | 112 |

| | | |
|---------|---------------------------|-----|
| 4. 2. 7 | 静岡大学 | 113 |
| 4. 2. 8 | 名古屋工業大学 | 116 |
| 4. 2. 9 | 日本原子力研究開発機構 | 117 |
| 4. 3 | 産学連携 | 120 |
| 4. 3. 1 | マイクロ波焼成技術 | 121 |
| 4. 3. 2 | 超伝導技術 | 124 |
| 4. 3. 3 | トリチウム除去技術 | 126 |
| 4. 4 | 連携研究プロジェクト | 127 |
| 5. | 評価の観点に基づくまとめ（国際共同研究、連携研究） | 128 |
| 6. | おわりに | 146 |

1. はじめに

1. 1 大学共同利用機関としての役割

平成 16 年度より核融合科学研究所は大学共同利用機関法人自然科学研究機構の一機関として全国共同利用・共同研究を推進している。大学共同利用機関は「全国の国公立大学の研究者が、大学の枠を越えて共同で研究し、また最先端の施設や設備、資料を共同で利用できる他、当該大学共同利用機関に所属する研究者が、大学には設置することが困難な実験又は観測装置等を使用し、最先端の研究を推進する機関」と定義されている。これらの機関は法人化以前から文部省直轄研究所として共同利用・共同研究推進してきた経験と成果を誇っており、プラズマ・核融合研究分野においても、核融合科学研究所の前身である名古屋大学プラズマ研究所時代から、個々の大学では持ち得ない大型設備を保有しこれを用いて共同利用・共同研究を進めるといふ他国に類を見ない独創的なシステムによって、質的に高い学術レベルを全国の大学研究者が共有してきた。核融合研究の発展とともに、当時名古屋大学プラズマ研究所が所有していた設備と同規模の装置を大学の附置研究所・センターが所有するようになり、一時期共同研究活動は分散したが、その後更に大型・高性能の設備を持つ核融合科学研究所が発足し、これら附置研究所・センターも包含して新たな求心力を持つこととなった。

核融合科学研究所の共同研究は、これらの歴史的経緯を踏まえて、3つの形態で構成されている。名古屋大学プラズマ研究所時代から行っている、研究所にある実験設備を利用して全国の大学・研究機関の研究者が行う共同利用・共同研究は「一般共同研究」として核融合科学研究所に受け継がれた。核融合研究所の主装置である大型ヘリカル装置（LHD）計画がスタートすると、その計測器や実験装置の開発研究を目的とした「LHD 計画共同研究」がその後新たな形態としてスタートした。その後大学における核融合研究のあり方が議論された後、法人化と同時にスタートしたのが、大学附置研究所・センターにある中型研究設備群で構成する「双方向型共同研究」である。

いずれの共同利用・共同研究も、公募によって研究課題を募集し、応募研究課題を審査、採択するという方式をとっており、これを掌握するのは運営会議の下に設置された共同研究委員会である。一般共同研究では、核融合科学研究所の全ての実験設備及び計算機が共同利用・共同研究の対象としていることに加え、研究情報交換の場として研究会の開催も支援しており、年1回研究課題を公募している。平成 16 年度から開始された双方向型共同研究は、各附置研究所・センターの持つ特定の設備を共同利用設備と見なして全国の大学・研究機関の研究者が共同利用・共同研究を行うことができるシステムを提供しているが、一般共同研究と同様の公募方式を取り入れている。平成 8 年度から開始された LHD 計画共同研究は、当初、核融合研究コミュニティの中の大学を中心とした核融合ネットワークを介して募集が行われていたが、平成 17 年度から、一般共同研究、双方向型共同研究と同時に一般公募する方式に変更された。これより、一般共同研究、LHD 計画共同研究、双方向型共同研究は、同時に公募され、採択、実施されることとなり、透明性がより一層増した。

国内共同研究拠点である大学共同利用機関は、当該分野における国際的・中核的研究拠点であることも要請されている。核融合科学研究所は LHD を中心とした核融合プラズマ実験研究、スーパーコンピュータを用いた大規模数値シミュレーション研究、最先端技術を駆使した核融合工学研究において自他ともに認める中核的拠点である。その研究活動を背景に、政府間協定に基づく国際研究協力の実施機関を請け負い、共同研究の当事者としてまた国内の研究者が参画する上での窓口としての業務を行っている。また世界の代表的な核融合関連分野の研究所との学術協力協定を結び、共同研究を遂行している。

核融合のような先端研究分野では発生した研究成果のスピノフも期待されている。地元産業への貢献も意図した産学連携や、分野は異なるもののメソッドの共通性が認識される研究領域での学学連携も随時実施している。

1. 2 第2期中期目標・中期計画

法人化により各法人は6年間の中期目標及び中期計画を定め、これを公にして実行することが義務づけられた。さらに、その業務内容について国立大学法人評価委員会並びに大学評価・学位授与機構による評価を受けることとされた。大学共同利用機関法人においては国立大学法人とは異なる特性を持っており、評価は大学法人とは異なった観点も持って行われることが示されている。具体的には共同利用・共同研究を以て以下の点に貢献すべき事を期待されている。

- ① 独創的・先端的な研究の推進
- ② 国際的・中核的研究拠点の形成
- ③ 人材活用による我が国の研究ポテンシャルの増加
- ④ 国際的・先端的な研究遂行の中での若手研究者育成
- ⑤ 我が国の学術発展のための大型プロジェクトを推進し、それを共同利用に提供

中期目標・中期計画は法人として自然科学研究機構が提案し認められるものであるが、核融合科学研究所の研究計画もその中に記述されている。特に双方向型共同研究は個々に法人化した大学との関係があるため明記された。第1期中期計画・中期目標期間は平成16-21年度であり、平成19年度の中間評価を経て最終評価が確定された。ここにおいて自然科学研究機構の評価は大変高く、機構がその分野におけるCOEであることを十二分に示した。ただし、共同利用・共同研究の評価は最高まではいかず、機構としては第2期中期計画期間において、共同利用・共同研究のより一層の充実を図ることとした。

核融合科学研究所においては、この間の核融合研究の大幅な進展と国際的な核燃焼プラズマ研究への流れを意識しながらも、学術研究の普遍性と独創性を維持すべく、第2期の目標として「我が国における核融合科学の中核機関として、大学や研究機関とともに核融合科学及び関連理工学の学術的体系化と発展を図る」ことを掲げ、LHD・数値シミュレーションの2つの柱に工学を加えて、核融合炉実現に向けた学術研究を推進することとした。これらは共同研究公募におけるカテゴリーに反映されている。

2. 国内共同利用・共同研究

2. 1 法人化後の実績

2. 1. 1 双方向型共同研究

平成 16 年度から開始された双方向型共同研究は、筑波大学プラズマ研究センター、京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター、九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センターの 4 センターが、核融合科学研究所との間で双方向性のある共同研究を進めることで、それぞれの持つ施設の特徴を生かし、核融合研究における重要課題を解決しようという目的で開始された。この目的を実現する上で

- それぞれの参画機関がばらばらに独自路線の研究を進めるのではなく、大学全体として核融合研究を進める上での課題を整理し、それぞれの設備の特長を生かせる重要課題を分担して進める要素還元研究を進めたこと
- 核融合研究を進める大学附置研究所・センターの主装置を、大学共同利用機関である核融合科学研究所の共同利用設備と同等に見なし、全国の大学研究者の共同研究を受け入れる制度を構築したこと

が、核融合分野に限らず、新しいネットワーク型共同研究の先駆けとして注目された。

双方向型共同研究は核融合科学研究所の持つ共同研究制度の一つとして核融合科学研究所運営会議の下で共同研究委員会の中に、双方向型共同研究委員会を設置して運営している。同委員会はコミュニティの意見を反映すべく委員の半数を研究所外の運営会議委員やネットワークの代表で構成した。委員会はほぼ毎月開催され具体的な推進策の議論と進捗状況の把握を行っており、現在も続いている。その結果、九州大学に新たに QUEST 装置を建設し、それを軸とした ST トカマクの全日本的な共同研究体制の確立や、核融合科学研究所の実験データ収集・管理システムを利用した各センターの実験データの集中管理と公開、等全国規模の共同研究の活性化が進んだ。

平成 20 年には、双方向型共同研究に特化した外部評価を双方向型共同研究委員会主催で実施した。この外部評価は委員の大部分を核融合コミュニティ外の研究者にお願いしたが、核融合コミュニティにおける議論を背景にセンターを拠点とした共同研究が開始され全国的な共同研究の活性化されたことに多数の委員から評価を頂いたことに加え、大学院教育においても双方向型共同研究は効果的であったと高く評価された。一方で共同研究の拡大に伴い、運用のより一層の公開性・透明性の確保が指摘された。

2. 1. 1. 1 公募と採択

双方向型共同研究課題の公募と採択は双方向型共同研究委員会によって行われている。既に述べたように委員長を含む委員の半数は所外からであり、審議の透明性を確保している。

双方向型共同研究は、LHD計画共同研究、一般共同研究とともに毎年12月に次年度の研究課題を同時に公募し、共同研究委員会の審査を経て採択される。審査に先立ち当該

年度の実施報告書の提出を求めるとともに成果報告会を開催し、次年度の審査の参考としている。

申請から採択までのプロセスは以下のようになっている。

- 1) 応募のあった研究課題について、継続の場合は前年度の研究成果報告書と申請書を、新規の場合は申請書を基に、双方向型共同研究委員会委員が学術的な観点から4段階評価を実施
- 2) 応募申請書に1)の各委員の評価を加算した合計点を付け、実施を希望している研究センターへ送付
- 3) 各研究センターは、双方向型共同研究委員会の合計点を基に、その実施可能性を含めて各課題の採択可否案と予算配分案を作成
- 4) 合計点、研究センターの案を参考に、双方向型共同研究委員会で、採択案、予算配分案を決定
- 5) 運営会議で最終的に決定

双方向型共同研究を実施するに当たって、共同研究者への研究費配分、マシンタイム配分、研究環境等は、センター、大学の事情により、異なっている。それでも、共同研究者に満足感を持って共同研究に参加してもらうためには、研究費配分、マシンタイム配分、共同研究者への周知等が、公平性と透明性を持って、また、迅速になされる必要がある。そのため、3)の段階では各センターにおいて、学外の委員を入れた審査委員会を組織し、応募課題の審査を行っている。

表 2.1.1-1 課題採択数の履歴

| | H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 筑波大学 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 18 | 15 |
| 京都大学 | 7 | 8 | 11 | 16 | 18 | 20 | 20 |
| 大阪大学 | 15 | 14 | 15 | 12 | 18 | 16 | 20 |
| 九州大学 | 7 | 16 | 12 | 16 | 19 | 19 | 22 |
| 富山大学 | - | - | - | - | - | - | 11 |
| 東北大学 | - | - | - | - | - | - | 9 |
| NIFS | - | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 合計 | 43 | 52 | 52 | 59 | 68 | 74 | 98 |

2. 1. 1. 2 コミュニティの意見の反映

双方向型共同研究の企画・運営を担う双方向型共同研究委員会は、以下の構成となっている。

所外運営委員 7名 所内運営委員 3名

所外委員 3名 所内委員 2名

双方向型共同研究委員会の役割を踏まえ、所外運営委員を含む所外委員には、下記センターのセンター長が含まれている。

- ・東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
- ・筑波大学プラズマ研究センター
- ・富山大学水素同位体科学研究センター
- ・京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター
- ・大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
- ・九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センター

また、核融合コミュニティの意見を双方向型共同研究委員会に反映させるため、日本の大学・研究機関の核融合関連研究者で構成される核融合ネットワークの核融合科学と核融合炉工学の各委員会の代表者にもそれぞれ委員として加わって頂いている。双方向型共同研究委員会の幹事長（委員長）には所外の運営会議委員にご就任頂き、審議の透明性を確保しながら、将来計画の議論や各々研究課題の採択等を行っている。なお委員の任期は2年で再任が認められている。

双方向型共同研究委員会の開催回数は以下となっている。本委員会は核融合科学研究所の多くの常設委員会の中でも開催頻度が非常に多く、常に課題意識を持ちながら議論を進めている現れである。

表2.1.1-2 双方向型共同研究委員会開催数

| H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 7 | 9 | 9 | 9 | 7 | 5+ |

第1期において双方向型共同研究委員会のリーダーシップを現した例としては、九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センターにおいて、球状トーラス型の定常実験装置である「プラズマ境界力学実験装置」(QUEST)を用いる研究計画の提案を審議・検討し、TRIAM-1M 計画の終了を承認するとともに、同計画を実現させたことが上げられる。また、その運転に関しても、研究センターの下にQUEST実験推進会議と高温センター実験会議の2つの組織を置き全国の研究者を取り込んで進める体制をとった。即ちQUEST実験推進会議の議長は九州大学以外の研究者が務め、実験をコーディネートする、また、高温センター実験会議の議長は九州大学の研究者が務めるが、九州大学以外からも委員が加わり、実験に係わる運用を行うという役割分担がなされた。双方向型共同研究委員会では、この実験体制を支援するとともに、日本のST研究の活性化を図るため、双方向型共同研究委員会のもとに双方向型共同研究推進専門部会 (ST) を設置した。双方向型共同研究推進専門部会 (ST) は、QUEST実験推進会議と連携して、QUEST実験を成功させる役割を担っている。また、現在はこの専門部会の部会長がQUEST実験推進会議の議長を兼ねている。これらのことから、QUESTは双方向型共同研究の下、全国の研究者に真に開かれた共同研究用装置となり、全国の英知を集めて研究の大幅な進展が望めることとなった。

さらに、共同研究環境の共通化を図るため、図 2.1.1-1 に示すように、研究センターで取得したデータを核融合科学研究所に転送し、データ閲覧・解析は、核融合科学研究所にアクセスし、核融合科学研究所のソフトを使って行うことを始めている。これにより、共同研究者がデータにアクセスする環境が飛躍的に整えられるとともに、共同研究者へのデータ公開が公平に行われ、透明性も確保される。

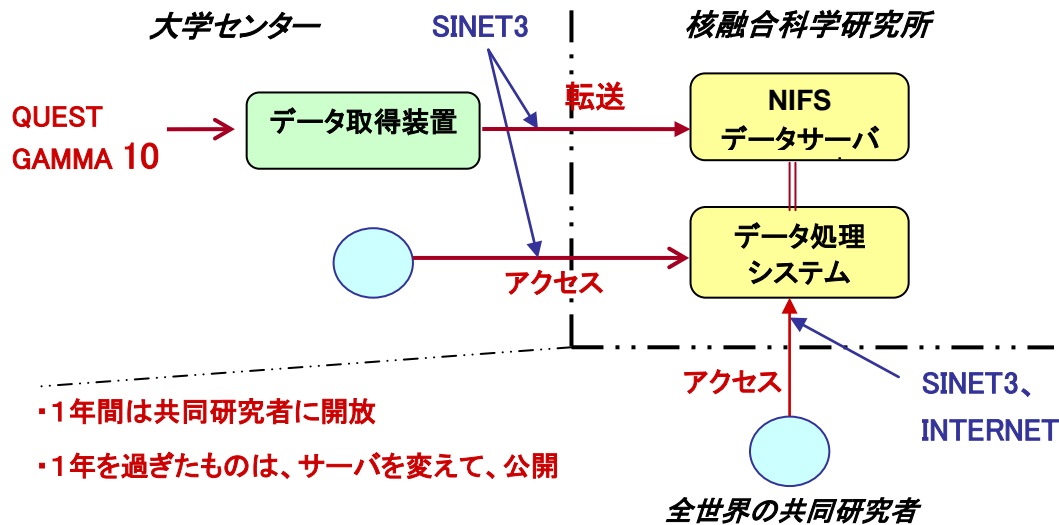


図 2.1.1-1 データ収集と保管

2. 1. 1. 3 成果の公表

双方向型共同研究で得られた成果の公表方法として、基本には共同研究成果報告書の提出を義務づけている、また課題採択当初に、共同研究委員会で特に重要と判断された課題についてあらかじめ年度終わりに開催される成果報告会での発表を依頼している。選択するに当たってのガイドラインは、各センターの中心となる共同研究課題に加え、採択時に評価が高く予算配分が大きかったもの等、分野が偏らないよう配慮している。これら成果報告会の資料は冊子としてまとめ、関係機関等に配布している。また、個別課題の成果報告は次年度に英文資料として核融合研究所のアンニュアルレポートにまとめられている。また、各センターにおいても双方向型共同研究の内容も含めた成果報告会や研究会を毎年継続的に行っている。

また、コミュニティに対してより広く成果を周知するために、学会の場を利用した成果報告も行っている。平成18年11月のプラズマ・核融合学会では、双方向型共同研究委員会が「双方向型共同研究の成果と今後の展望」と題した特別企画を開催し、核融合コミュニティの意見、要望等を直接取り込み、双方向型共同研究に反映させる試みを行った。また、平成22年12月のプラズマ・核融合学会においては「双方向型共同研究の意義と新たな展開」と題したシンポジウムを開催し、第2期中期計画期間に向けた双方向型

共同研究の進め方について報告するとともに広くコミュニティからの意見を頂く場とした。このほか、学会のインフォーマルミーティングでは、九州大学のQUEST装置等を中心に球状トカマクの全日本的な推進方策を議論している。

2. 1. 1. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行

核融合科学研究所においては運営会議の下に外部評価委員会を組織し、評価対象を変えながら外部評価を実施しており、平成 17 年度には「国内共同利用・共同研究」に対する外部評価を行った他、平成 19 年度から 20 年度にかけては、双方向型共同研究委員会独自の外部評価を実施した。この外部評価は委員の大部分を核融合コミュニティ外の研究者にお願いしたが、核融合コミュニティにおける議論を背景にセンターを拠点とした共同研究が開始され全国的な共同研究が活性化されたことに多数の委員から賞賛を頂いたことに加え、大学院教育においても双方向型共同研究は効果的であったと高く評価された。一方で各センターをサブコアとする共同研究の拡大に伴い、運用のより一層の公開性・透明性の確保が指摘された。これらの結果は報告書としてまとめられているが、双方向型共同研究委員会では、この評価の指摘事項を取り上げ、その後の改善の指針とした。具体的な項目と対処は以下のとおりである。

[双方向型共同研究委員会委員構成及び選出法の再検討]

それまでの大学センター長を中心とした委員構成に、核融合ネットワークからの推薦及び炉工学分野、若手委員を補充し、委員構成を見直した。

[全センターに外部委員を含む運営会議等の体制を作り透明性を確保する]

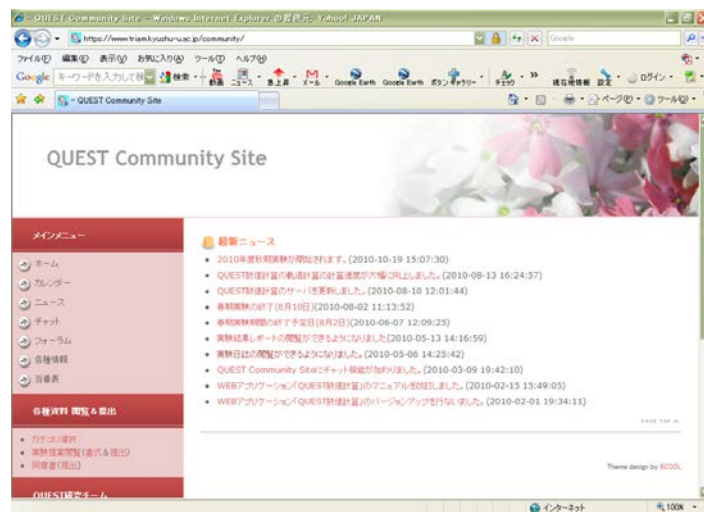
すべてのセンターにおいて体制が整備された。

[NIFS ホームページに各センターの実験情報をリンクさせる]

実験情報公開のガイドラインを設け、各センターで実験情報のページを作成。

九州大学の実施例としては QUEST Community Site がある。

(<https://www.triam.kyushu-u.ac.jp/community/>)



[成果報告会の宣伝をして参加者を増やす]

ホームページ上で案内しているが、旅費の財源上の問題がある。

[要望等を各種報告又はホームページを活用する等して収集し対応する]

年度末の成果リスト提出時に併せて共同研究に対する意見を収集。

[双方向型共同研究について議論し、意見を聴取できる場を学会レベルに設ける]

学会のシンポジウムを活用。

[“安全のレベルを揃える”ため、相互の安全査察の実施を検討する。]

相互査察を開始。京都大学と筑波大学を既に実施した。

[人材交流に匹敵するように双方向型共同研究の促進を図る。]

双方向型共同研究の中で学生教育が可能となる特別共同利用研究員制度を検討し、概算要求の努力をしたが実現せず。

[共同研究の遂行能力を評価したことと同等になるよう、成果報告等の評価を厳格に行い、より一層予算配分、採択等に反映させる。]

「2. 1. 1. 1 公募と採択」の項で説明したように、委員会とセンターの2段階審査を行うことにより、より厳格な審査が行われるようになった。

2. 1. 1. 5 研究成果の蓄積

第1期中期計画期間（2004-2009）における双方向型共同研究は核融合研究における重要課題を要素還元した形で各センターの持つ装置の特長を生かして進めるというものであった。その成果には以下のようなものがある。

[筑波大学プラズマ研究センター]

基幹装置ガンマ 10 の特長を生かした要素還元研究課題「端損失を活用した電位／電場の制御による閉じ込め向上の物理」を主なテーマとして双方向型共同研究を実施した。これによりガンマ 10 は共同利用装置として全国の大学研究者に開放され、共同研究課題として年間 12～14 件、延べ学外共同研究者数 50～70 名の規模の共同研究が開始された。

主たる成果としては、

- ① ECH による径方向電場制御によるドリフト型揺動と径方向輸送の抑制、
 - ② 閉じ込め改善に向けた ECH による高イオン閉じ込め電位の生成、
- 等が挙げられ、
- これらの研究を進める上で必須となった
- ③ 電位制御ツール 1 MW ジャイロトロン開発

においては 77GHz と 28GHz での出力とパルス幅において世界最高成果を達成し、本年

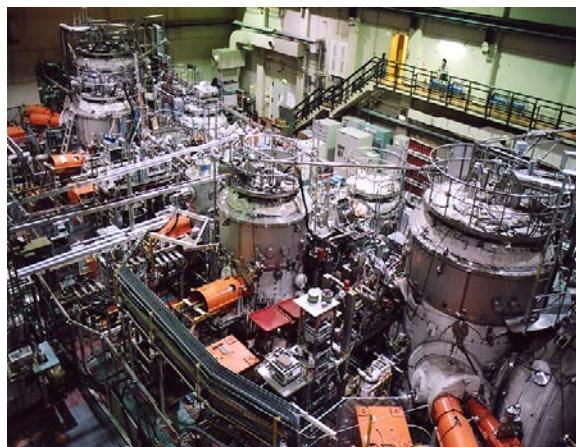


図 2.1.1-2 ガンマ 10 装置

10月に開催された IAEA 国際会議においても高い評価を得た。

さらに、開放端の特長を發揮した研究として、

- ④ ダイバータ模擬実験に向けた端損失による熱・粒子束計測、
 - ⑤ 直接エネルギー変換 (DEC)
- 等があり、これらは今後の双方向型共同研究に向けたデータとなった。



図 2.1.1-3

ジャイロトロン

電位制御ツール開発

- ・ 77GHz: 1.8 MWx1 s.
- 0.3MW で CW (40 分)
- ・ 3 本合計で 3 MW 以上
- LHD プラズマへ入射
- ・ 28 GHz:1 MW (4ms)
- 0.4MWx1s

[京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター]

基幹装置ヘリオトロンJの特長を生かした要素還元研究課題「磁場分布制御技術を用いたプラズマ流制御による輸送・安定性改善」を主なテーマとして双方向型共同研究を実施した。共同研究課題数は双方向型共同研究開始年の年間7件から、現在は20件まで増加し、マシンタイムの配分に苦慮するまでになった。

主な成果としては、

- ① バンピー磁場成分の増加による高エネルギー粒子の閉じ込め改善、
- ② バンピー磁場成分のブーツストラップ電流への影響、
- ③ 高速イオン流による MHD 揺動励起、等が挙げられる。

①については ICRF の少数イオン加熱時にイオンのエネルギー分布に明確な高エネルギー成分が観測され、ICRF 加熱の効率改善に役立つことが示された (右図参照)。

②ではバンピー磁場成分の大きさを制御することによりブーツストラップ電流の方向が変わることが示された。

また、共同研究の特長を生かして高速度カメラを広島大学から持込み

- ④ Hモード時の周辺プラズマ挙動や超音速ガスパフの解析

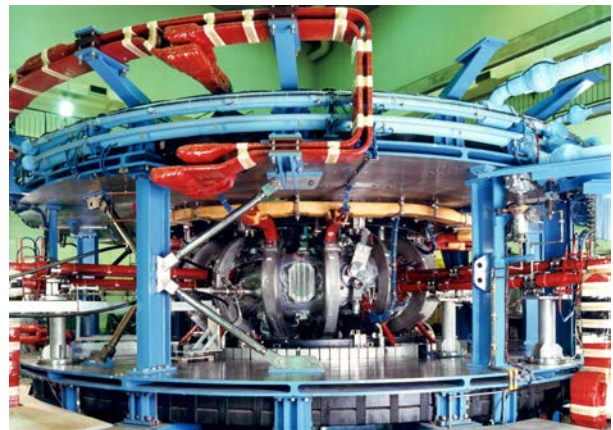


図 2.1.1-4 ヘリオトロンJ装置

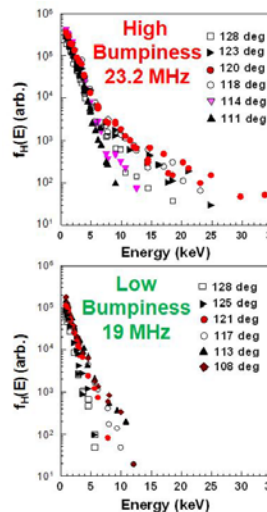


図 2.1.1-5

ICRF 少数イオン加熱時のイオンエネルギー分布。

上図はバンピー磁場成分が大きい場合。

下図はバンピー磁場成分が小さい場合。

を進めた。

[大阪大学レーザーエネルギー学研究中心]

基幹装置激光 XII 号の特長を生かした要素還元研究課題「レーザーによる高速点火 (FIREX-1)」を主なテーマとして双方向型共同研究を実施した。共同研究課題数は双方向型共同研究開始から、年間 12~20 件と毎年同程度の共同研究課題が実施された。主な成果としては

- ① 液体重水素ターゲットの高速点火の実験を進め、LFEX レーザーフル稼働時には点火温度 5 keV まで加熱できる見通しを得た
- ② 非対称な高速点火ターゲットにおいて中空状の固体燃料層製作に成功
- ③ 階層間のデータ授受を可能にする統合コードを開発
- ④ 統合コードを用いて高速点火の先進ターゲットを設計

等が挙げられる。

また、炉技術に関しては、双方向型共同研究による全国的なネットワークの形成を図った。核融合科学研究所、弘前大学、東京工業大学、新潟大学とは極低温ターゲットの開発、ターゲットの投入、追尾の研究

は広島大学、岐阜大学、茨城大学と共同研究が進んでいる。京都大学とはビームポート保護についての研究、東京工業大学とは固体壁のアブレーションの研究、立命館大学とは X 線画像計測技術の開発等の共同研究を進めている。



図 2. 1. 1-6 LFEX と激光 X II 号装置

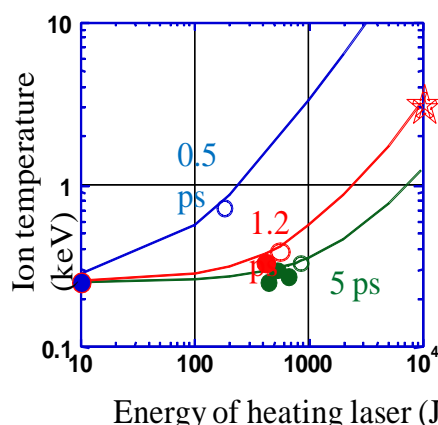


図 2. 1. 1-7 レーザーエネルギーと達成温度

[九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究中心]

九州大学は双方向型共同研究開始時の基幹装置 TRIAM の特長を生かした要素還元研究課題「電磁波を用いたプラズマ電流駆動による定常運転」を主なテーマとして双方向型共同研究をスタートさせたが、核融合研究の進展を見据え、より高ベータ領域での定常運転実証性を示す必要があると判断した。そこで双方向型共同研究委員会が中心となり、高ベータプラズマが生成可能な球状トカマク装置 QUEST の設計・建設を行った。同装置は 2 年間の建設期間を経て平成 21 年度から本格的な共同研究に供され、第一の目標である 10kA の非誘導電流駆動に成功した。

共同研究課題数は双方向型共同研究開始時の年間7件から、途中装置建設期間があったにもかかわらず、その活力を落とすことなく現在は22件まで伸びている。また、延べ共同研究者数も年間180名を超えるに至っている。

主な成果としては、電磁波を用いた電流駆動法の進展である。前装置 TRIAM-1M では低域混成波 (LHW) による長時間電流駆動を成功させたが、その後は電子サイクロトロン波による電流駆動に関する研究を進めた。特に球状トカマクでは電流駆動方式として電子バーンシュタイン波による加熱・電流駆動が求められており、入射サイクロトロン波から低次の電子バーンシュタイン波動へのモード変換、励起と伝播、プラズマ加熱と電流駆動に関する基礎研究が進められた。入射アンテナの開発や電流駆動最適化設計を進め、中程度のパワーであるが高効率の電流駆動に成功し、また、球状トカマクとしては世界で初めて10kAの駆動電流を40秒間維持することに成功した。

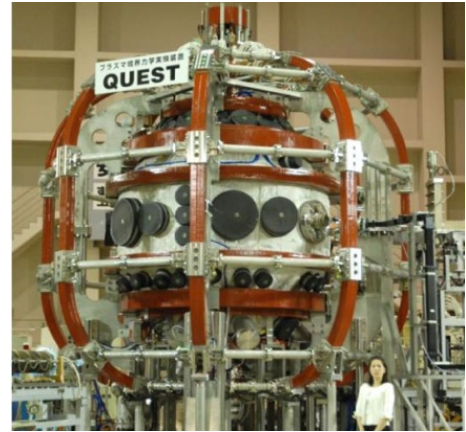


図 2.1.1-8 QUEST装置

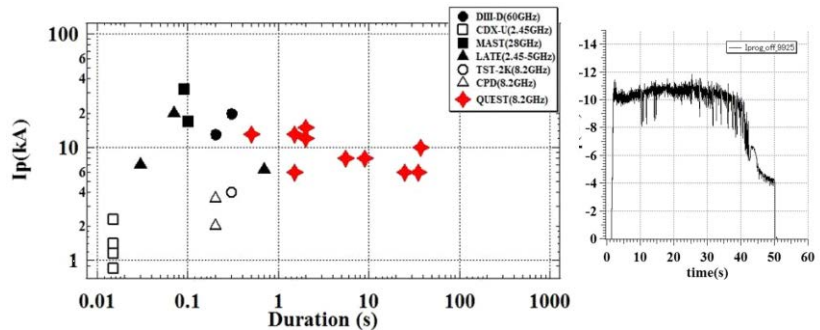


図 2.1.1-9 非誘導電流の長時間駆動

2. 1. 1. 6 研究環境の改善

研究環境については、参画センター固有の事情があり、その整備状況にも差があるが、たとえば安全対策における警報灯の色の意味等、共同研究者にとって共通であることが望ましい点多々ある。

そこで、平成21年度より、これまで核融合科学研究所で開催されていた双方向型共同研究委員会を、年1回は参画センターにおいて開催することとし、その際に安全視察を委員全員で行うことを始めた。この安全視察は外部評価でも指摘を受けた項目であるが、双方向型共同研究委員会と併せて実施することにより、安全意識の共通化はもとより、共同研究の受け入れ環境についても、現地での実情を委員が直接見ながら議論し、具体的な提言をすることが可能となった。この時の指摘事項に関しては当該センターで対応を取ることになるが、その後の双方向型共同研究委員会で対策についてのフォローアップがなされており、高い改善効果が得られている。

平成 21 年度には京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター、平成 22 年度には筑波大学プラズマ研究センターで実施した。

2. 1. 1. 7 若手人材育成への貢献

大学に期待されることの一つに人材教育があるが、核融合炉実現を目指した人材育成は早急に進める必要があると指摘されている。平成 16 年の双方向型共同研究開始以降、各参画センターの修士・博士の獲得数は増加しており、教育への効果が高いと評価された（平成 20 年双方向型共同研究外部評価報告書）。これは双方向型共同研究の持つ高い人的流動性の効果であると考えられている。

以下の表に双方向型共同研究開始後の修士号並びに博士号取得者数の推移を示した。学生数には定員もあることから、概ね一定の数の修了者を出していることがわかる。また、これらに加えて、双方向型共同研究に参加している各大学の大学院生の修士論文や博士論文の一部として本研究が活用されていることも見逃してはならない事実である。

表 2.1.1-3 双方向型共同研究下に於ける修士号取得者数

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 筑波大学 | 12 | 10 | 13 | 13 | 10 | 6 |
| 京都大学 | 12 | 11 | 8 | 9 | 10 | 9 |
| 大阪大学 | 4 | 6 | 7 | 3 | 4 | 5 |
| 九州大学 | 9 | 5 | 9 | 5 | 10 | 6 |

表 2.1.1-4 双方向型共同研究下における博士号取得者数

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 筑波大学 | 0 | 4 | 2 | 3 | 0 | 2 |
| 京都大学 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 大阪大学 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 九州大学 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 |

従って、関係大学も含めて、学生や若手研究者の流動性を更に高める制度設計と財政措置を執ることが出来れば教育効果も非常に大きく、まさにコミュニティを挙げての人材育成が実現できると期待できる。

2. 1. 2 LHD計画共同研究

2. 1. 2. 1 公募と採択

LHD 計画共同研究は課題毎につく予算規模が大きく、複数年の計画が想定されている。LHD の計画を全国の大学の研究者が核融合コミュニティとして支えることができるようにするのが目的である。そのため本カテゴリーの共同研究の審査は一般共同研究と異なり、LHD 計画共同研究委員会の審査に核融合ネットワークの意見が強く反映されている。核融合ネットワークは図 2.1.2-1 に示すように核融合科学と核融合炉工学から主に構成され、一部にプラズマ科学の分野が参加している。平成 8 年に活動が始まり、約 600 名が登録されている。核融合科学と炉工のネットワークは多くの分野を代表する委員と幹事からなる委員会と幹事会で運営されており、ともに代表と幹事が全体活動をまとめている。核融合科学ネットワーク委員会と核融合炉工学幹事会の活動の詳細は各ホームページにて公開されている。(http://f-net.nifs.ac.jp/)

研究課題の公募から成果の公表までのプロセスは図 2.1.2-2 に示されている。公募の情報は一般共同研究と同時に共同研究者へ公募案内として送られ、また核融合ネットワークの電子メールの一括発信により周知される。審査は前年度の成果発表と深く関係して行われるため、毎年 LHD 計画共同研究成果報告会と新規課題の提案報告会の後にネットワーク委員及び幹事の採点により評価される。その評価の基準は両ネットワークで統一しており、新規応募に関しては、(1) LHD への応用、(2) 学術的重要性、(3) 研究内容の新規性、(4) 計画の実現性、の 4 項目について採点評価する。継続申請に関しては、(1) 研究の進捗状況、(2) 期待される成果、の 2 項目について採点評価することになっている。

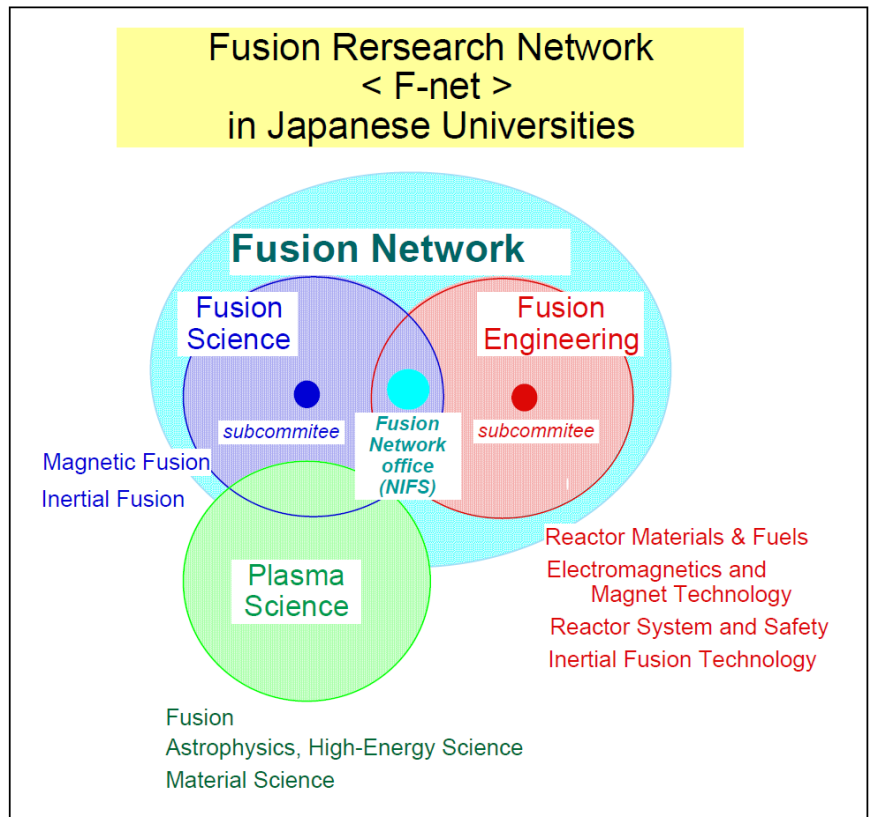


図 2.1.2-1 核融合科学と核融合炉工学ネットワークの構成

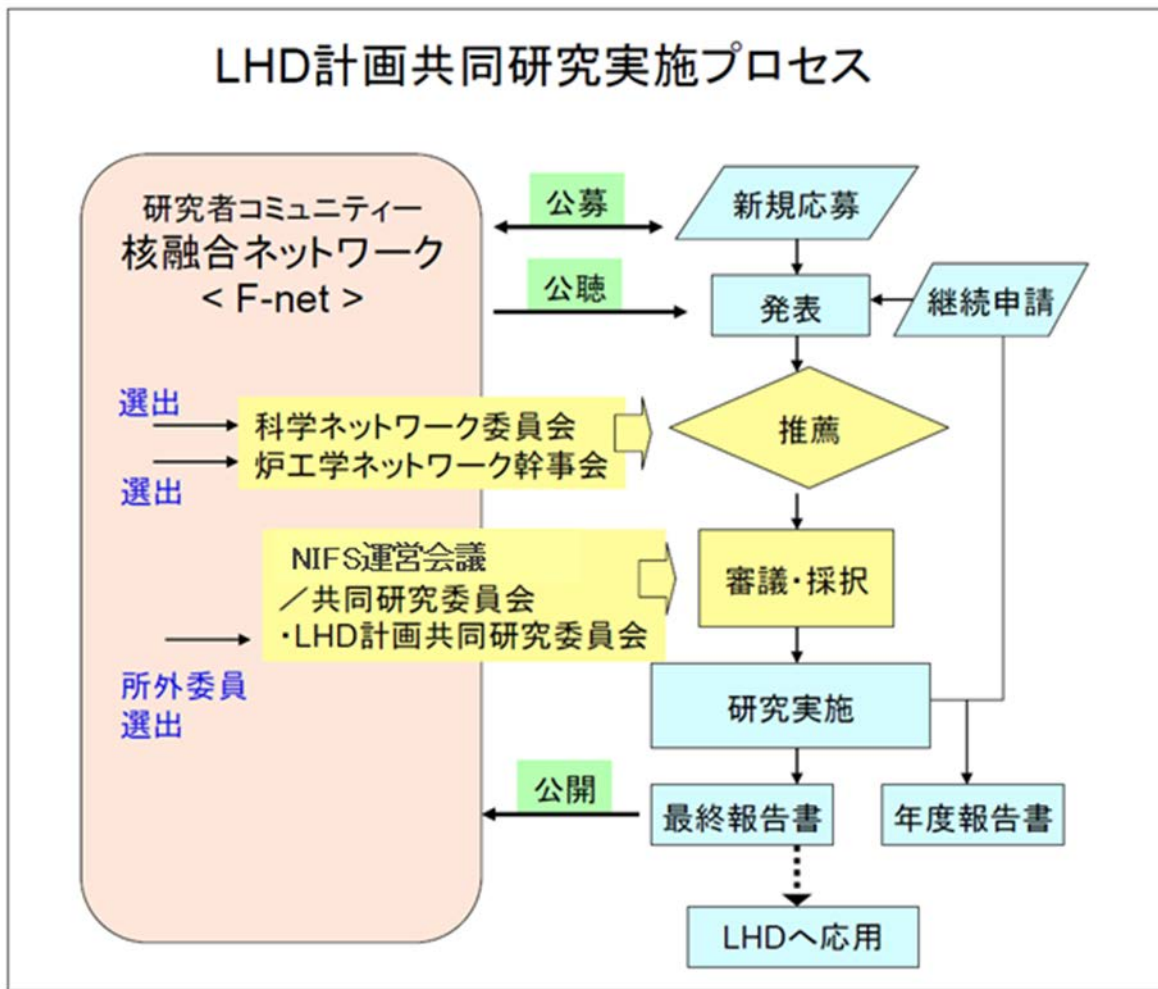


図2.1.2-2 LHD計画共同研究の公募、審査、採択、実施のプロセス

これらの採点評価を基に、核融合ネットワークコミュニティから採択すべき研究課題がLHD計画共同研究委員会に推薦され、同委員会の審査を経て、研究所の運営会議の議を経て採否が決定される。各年度の成果報告書と英文の年報、及び最終報告書は印刷物として公表され、また研究所のホームページにて公開されている。

2. 1. 2. 2 コミュニティの意見の反映

本研究課題の多くはコミュニティのグループと立案時から相談し、直接関係する研究者を共同研究者として、関係者の意見を踏まえて立案実施されている。また成果報告会、学会での発表、論文掲載を通じて関連コミュニティとの議論の場を持つことが必須であり、多くのコミュニティメンバーの意見が反映されている。特に核融合科学ネットワークや炉工ネットワークの中の議論を経て課題の採択が決まっていることもあり、多くの

研究者との連携や意見を取り込むことが容易になっている。課題によっては全日本 ST 研究グループ等の大きなグループとの連携も行われている。

計測の課題から幾つかの例を取り上げると、核融合プラズマ分光診断の課題ではコミュニティと立案時から相談するとともに、研究所原子分子過程研究部門のメンバーをはじめ、原子力研究開発機構の職員とも連携し、定期的に共同研究者で会合を開く等して議論をしながら実施した。また、打ち合わせを兼ねた研究会を年1～2回開催し、核融合コミュニティとの話し合いの場を設け情報交換と議論が行われている。

また、乱流の基礎物理課題では、大学及び核融合科学研究所、日本原子力研究開発機構、UCSD やマックスプランク・プラズマ物理学研究所、プロヴァンス大学をはじめ多数の海外の研究グループとも共同研究を展開し、共同研究者の意見を反映しながら実施した課題も見られる。

2. 1. 2. 3 成果の公表

毎年年度末に行われている成果報告会において、個々の研究成果の公表が義務付けられているが、予算規模が比較的大きいこともあり、国内外の学会で発表するとともに査読付き学術誌に掲載することが要請されている。国内外の学会等で進捗状況を報告するとともに、実施内容にフォーカスした論文も、LHD 計画共同研究からの支援であることを謝辞に明記し投稿されている。

多くの課題は採択課題をタイトルにして、共同研究者により各種の学会等で公表されている。国内学会では、プラズマ・核融合学会、日本物理学会、応用物理学会、電気学会等が挙げられる。また、国際学会では、IAEA Fusion Energy Conference、国際土岐会議、アジア太平洋核融合会議 (APFA)、米国物理学会、光子・電子・原子衝突に関する国際会議、開放磁気システムに関する国際会議、多価イオンの衝突物理に関する国際会議等で報告されている。

投稿論文では、Physical Review Letters, Nuclear Fusion, Plasma and Fusion Research, Review of Scientific Instruments, 電気学会誌, Phys. Rev. A, J. Phys. Conf. Ser., Nucl. Instr. and Meth. B, Surf. Sci., Chem. Phys., Jpn. J. Appl. Phys., Trans. Fus. Sci. Technol. 等に掲載されている。

また、電子温度計測法の開発では、John Sheffield の教科書 Plasma Scattering of Electromagnetic Radiation、(Elsevier) に新しいトムソン散乱法として掲載された。

平成 16 年の法人化後に LHD 計画共同研究の成果を掲載された雑誌の件数を表 2.1.2-1 に挙げる。

表 2. 1. 2-1 LHD 計画共同研究関係出版

| 学術雑誌名 | 件数 |
|--|----|
| Rev. Sci. Instrum | 7 |
| Nature Phys. | 1 |
| Nuclear Fusion | 6 |
| Nucl. Instrum. | 2 |
| Physics of Plasmas | 5 |
| Plasma Fusion Research | 27 |
| Plasma Physics and Controlled Fusion | 11 |
| Plasma Science and Technology | 1 |
| Plasma Scattering of Electromagnetic Radiation, (Elsevier) | 1 |
| J. of Plasma and Fusion Res | 4 |
| J. Phys. Soc. | 6 |
| J. Phys.:Conference Series | 2 |
| Journal of Physics B-Atomic Molecular and Optical Physics | 1 |
| Journal of Nuclear Materials | 1 |
| Journal of Fusion Energy | 1 |
| Physical Review Letters | 3 |
| Phys.Rev.A | 1 |
| Fusion Engineering Design | 1 |
| Surf. Sci | 1 |
| Chem. Phys. | 1 |
| Jpn. J. Appl. Phys. | 2 |
| Trans. Fus. Sci. Technol. | 1 |
| Transactions of Fusion Science and Technology | 1 |
| プラズマ・核融合学会誌 | 1 |
| 電気学会雑誌 | 1 |

2. 1. 2. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行

年度末毎に実施される LHD 計画共同研究成果報告会は、関連分野以外の研究者も含めた発表と質疑の場であり、尚かつ次年度への継続の採択の材料となる場でもある。研究代表者は緊張感をもった評価の場として準備と発表を行なっている。審査委員の理解を深めていただくために努力しており研究の遂行に反映する評価を行なっていると思われる。また学会や研究会での議論と意見を踏まえて実施されている。

成果報告会での評価は建設的なコメントも多く出され、京都大学の例では、ECCD 実験結果を理論計算と比較を進めるべきとのコメントを得て、次年度の共同研究では電流駆動効率に関する実験結果と理論計算と比較を重点的に進め、定量的一致を得る等捕捉粒子の役割を明確に示し、結果を IAEA 核融合エネルギー会議にて発表するとともに、論文投稿につながっている。また、九州大学の例では、成果報告会での評価と科学研究費での国際評価を実施して、総合的評価として成果を得るのに役立たせた。

評価の一面として、学会発表と並んで学術論文誌への投稿と掲載により評価を受けている面もあり、これは全ての共同研究に共通である。

計測関係では新しい性能の分光計測器やレーザー干渉計等、LHD に取り付けて有用な実験データを得ることにより、新しい研究への進展の可否が評価となる場合もある。LHD への有用性を評価基準にすることは、LHD 計画共同研究として最も適切な評価になる。

2. 1. 2. 5 研究成果の蓄積

以下にそれぞれの共同研究で得られた研究成果の蓄積について代表的なものを列挙する。

(中部大学)

現在、LHD の電子密度分布計測には $119\ \mu\text{m}$ CH_3OH レーザー干渉計を使用している。LHD の高密度実験ではプラズマの屈折効果が無視出来なくなる。波長が $1/10$ の CO_2 レーザーでは機械的振動の影響、計測フリンジが少ない等から高精度計測が困難である。そこで、干渉計の配置と構造を変えずに、レーザー波長を $119\ \mu\text{m}$ の半分の $57\ \mu\text{m}$ にすることによって電子密度の計測精度向上を目的とした。この LHD 計画共同研究によって、 $9\text{R}(8)\text{CO}_2$ レーザー励起の CH_3OD レーザーの $57\ \mu\text{m}$ 線と $48\ \mu\text{m}$ 線で高出力発振を実現している。1本のレーザー管で同時発振するこの2波長レーザー線を使った2波長干渉計を構成すれば高精度な振動補正も可能となる。この様な短遠赤外レーザー干渉計の開発が研究目的である。この種の干渉計の報告はこれまでになく、実現すれば波及効果も大きく、ITER 等の次期核融合実験装置の計測に対しても大きく寄与できると考えられる。

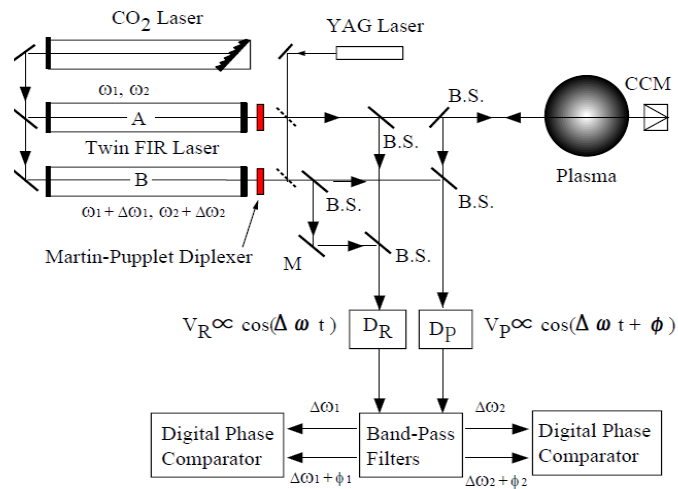


図 2. 1. 2-3 2波長同時発振型レーザーを用いた干渉システム

本共同研究の成果として、波長 $50\ \mu\text{m}$ 帯において同時発振する新しい発振線 ($54\ \mu\text{m}$, $85\ \mu\text{m}$ 線) を見つける等、これまで発振データの乏しかった短波長領域のレーザー発振データの整備に貢献した。そのなかで、 $57\ \mu\text{m}$ (5.2THz) レーザー、 $48\ \mu\text{m}$ (6.3THz) レーザー線の同時発振を利用した干渉計の開発を進めた (図 2.1.2-3)。この波長領域は、光と電波の境界に当たる領域であり、これまで最も開発研究の遅れた波長領域にあたる。この波長領域で使用可能な光学素子として、高抵抗 Si を選定し、その屈折率、吸収係数の高精度測定を行い、光学素子の設計 (希望する透過率・反射率を有するビームスプリッター等) を可能にした。検出器として、室温で動作する GaAs-SBD (ショットキー・バリア・ダイオード) を用いたパラボラ反射型検出器を開発して、 $57\ \mu\text{m}$ レーザー、 $48\ \mu\text{m}$ レーザーのビデオ検波及びヘテロダイン検波に成功した。液体 He 温度動作の GaGe 検知器により、両レーザーのヘテロダイン検波に成功し、図の干渉計の検出端として使用している。本計測システムでは、 CO_2 レーザーを含めて5本のレーザー発振線を利用しており、このシステムの安定動作が課題であった。新しく高精度の共振器制御システムを開発し、シュタルクセルを用いた CO_2 レーザーの制御と組み合わせることによって、1,000 秒以上にわたる安定動作を確立し、新しい計測用レーザー光源として確立したと言える。この成果は、ITPA 計測会合においても高く評価され、今後の開発の進展が期待されている。

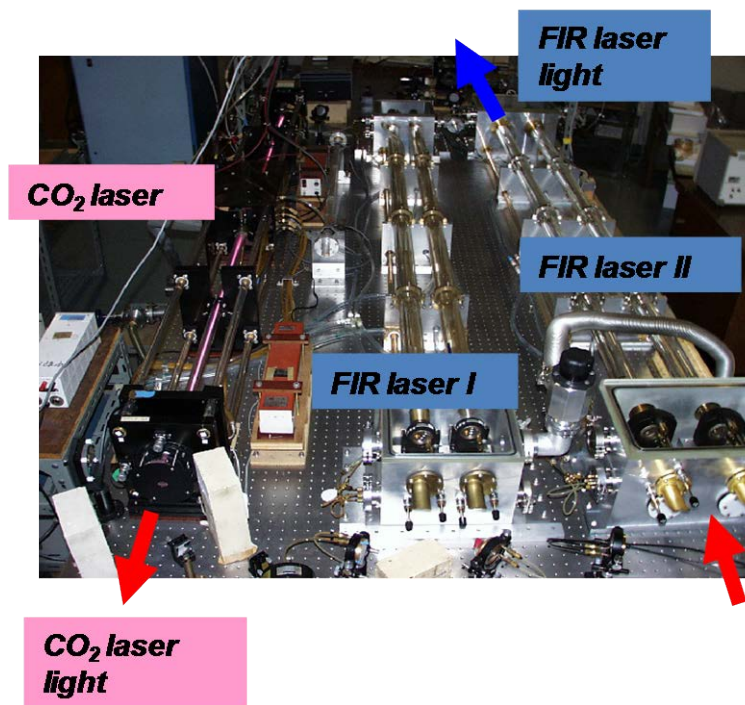


図 2.1.2-4 2 波長同時発振型レーザーを用いた干渉計

検出器として、室温で動作する GaAs-SBD (ショットキー・バリア・ダイオード) を用いたパラボラ反射型検出器を開発して、 $57\ \mu\text{m}$ レーザー、 $48\ \mu\text{m}$ レーザーのビデオ検波及びヘテロダイン検波に成功した。液体 He 温度動作の GaGe 検知器により、両レーザーのヘテロダイン検波に成功し、図の干渉計の検出端として使用している。本計測システムでは、 CO_2 レーザーを含めて5本のレーザー発振線を利用しており、このシステムの安定動作が課題であった。新しく高精度の共振器制御システムを開発し、シュタルクセルを用いた CO_2 レーザーの制御と組み合わせることによって、1,000 秒以上にわたる安定動作を確立し、新しい計測用レーザー光源として確立したと言える。この成果は、ITPA 計測会合においても高く評価され、今後の開発の進展が期待されている。

本計画共同研究では、上記の新しい計測システムの開発に加えて、LHD において現在使用中の $119\ \mu\text{m}$ CH_3OH レーザー干渉計のために、各種光学部品 (CO_2 レーザー用グレーティング、遠赤外レーザー出力窓等) の特性試験、新しい光学素子の導入をとおして、システムの安定な動作と信頼性の高い計測の確保に大きく貢献している。

(京都大学 分光計測)

この共同研究では離れた波長領域の複数の発光線に関して、同時に高波長分解計測を行うことのできる分光器を開発した。ドップラー広がりやゼーマン分裂を対象とした高波長分解計測では、必然的に一度に観測できる波長範囲が狭くなるため、基本的にはひとつの発光線に集中した計測となる。一方、発光線強度比による電子温度・電子密度計

測のような、広い波長範囲にわたる複数発光線の同時観測を行う場合には、個々の発光線プロファイルの詳細計測は不可能である。これまでは、上記の目的のうち一方に特化した計測を行う場合には他方の計測から得られる情報は犠牲にしてきたが、今回開発した分光器により、両目的の計測を同時に行うことが可能となった。LHDにおいて実際に水素原子のバルマー系列線 H_α , H_β , H_γ 及び水素分子の Furcher バンドに含まれるふたつの発光線について高波長分解計測を行った。同時に偏光分離計測を行うことによりゼーマン効果による発光線分裂を観測することが可能となり、水素原子及び水素分子それぞれの主な発光位置（電離位置）を特定することが可能になった。

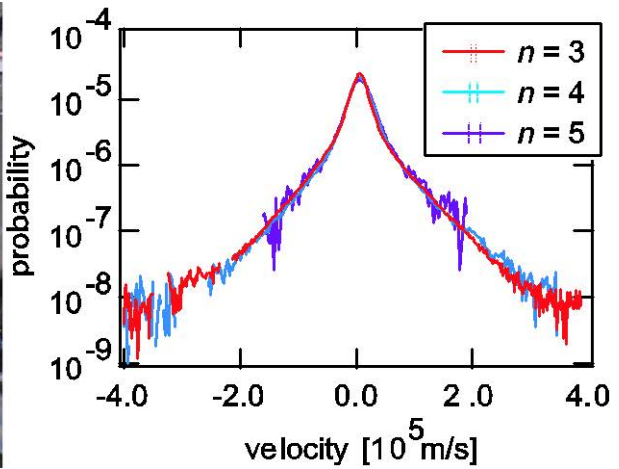
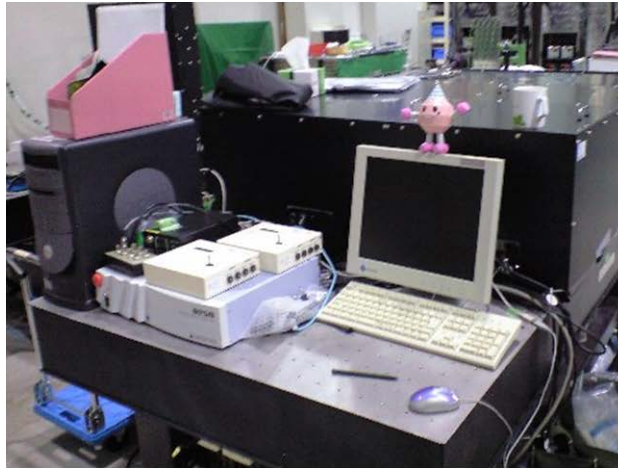


図 2. 1. 2-5 新型分光器と測定例

(原子力研究開発機構)

LHDの周辺プラズマからの H_α 発光線を多視線のポロイダル断面にて偏光分離分光計測し、 H_α 発光位置・流入速度等を計測できるようになった。偏光分離せずに分光したスペクトル分布では、ゼーマン分離とドップラー広がりと同じ程度あり、発光位置等の情報を得ることが出来なかった。LHD計画共同研究の予算で購入したグラントムソプリズム、グランテーラプリズムを用い互いに垂直な偏光方向に分離し同時にCCDにてスペクトルプロファイルを計測すると、

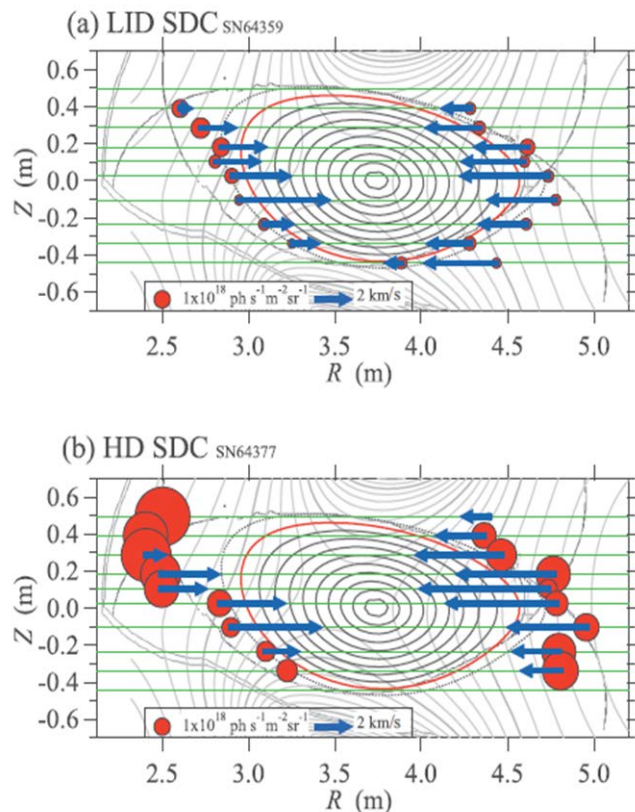


図 2. 1. 2-6 LHD周辺の H_α 分布

LHD トーラス内側と外側での磁場の大きさや傾きが異なっているため、 $H\alpha$ 線スペクトルの内側で外側のそれぞれで発光する π 光と σ 光成分を分離観測でき、ポロイダル断面に設置した10視線のスペクトル解析から各視線 2 箇所の上 2 箇所の上 2 箇所の $H\alpha$ 線発光強度位置が求まり $H\alpha$ 線発光強度分布が得られるようになった。

(九州大学応用力学研究所)

基礎実験データ・理論シミュレーション研究を理論家らと吟味する事で、直線プラズマ実験装置(LMD-U)に設置した多チャンネルプローブシステムにより高精度時空間構造計測を行い、ポロイダルモード分解した揺動に対する bicoherence 解析という新たな非線形解析を行う事に成功した。この手法により波の 3 波結合を観測し、揺動の modulatory coupling を検証した。

微視的揺動のエンベロープが GAM の情報を持つ事を実証し、パラメトリックスペクトロスコピーという方法を九州大学で提示した。例として GAM 振動の固有モードに着目し、イオンの密度分布や同位体の密度比を計測する方法を考案した。(GAM をパラメトリックスペクトロスコピーにより観測し、固有モードのピーク位置と振動数から、イオン音速が分かり、イオン温度計測から、イオンの質量が評価できる。) LHD での重水素実験計画を対象例として考える事でこの方法の重要性が広く理解され、LHD 計画共同研究によって研究成果のインパクトが明瞭になった。

LHD 実験への適用として、長距離相関輸送現象が観測されるプラズマにおける密度揺動計測にパラメトリックスペクトロスコピーを適用する事で低周波数のモジュレータの観測に成功した。ECE 信号との相関を観測する事で、モジュレータは長距離相関を持つ事が検証された。2010 年 IAEA 会議 (韓国) でも注目を集め、サマリーでも高く評価された。

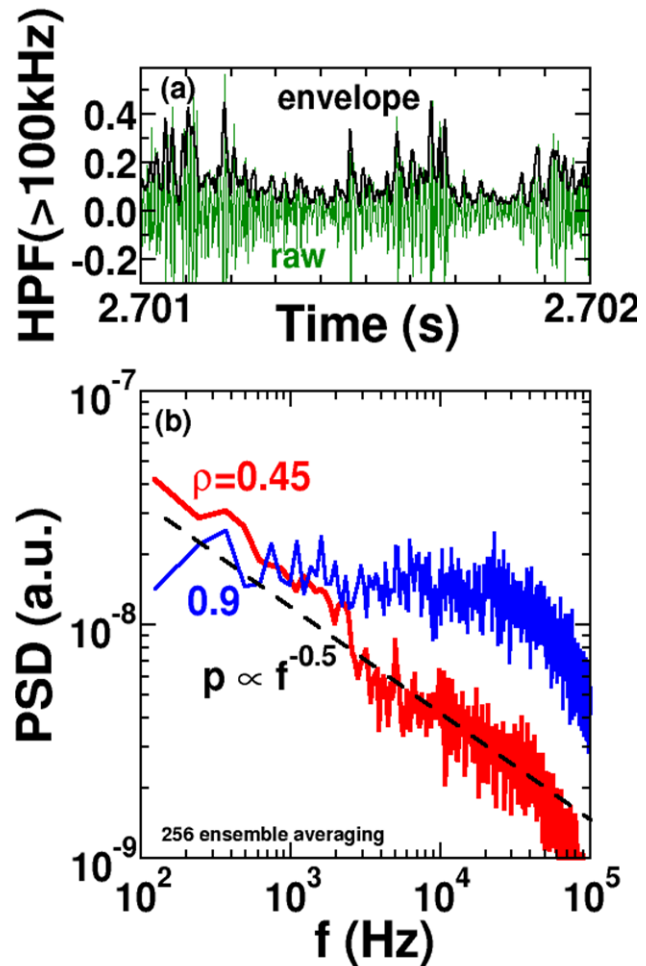


図 2.1.2-7 パラメトリックスペクトロスコピー法の適用

2. 1. 2. 6 研究環境の改善

多くの大学において、本 LHD 計画共同研究の支援により、研究環境の改善が得られている。従って、共同研究自身の研究内容そのものには進展・改善がされたが、その基盤となる大学の研究支援環境・研究環境は年々劣化しているとの声が多い。また、計測が高度化するにつれ、その周辺機器の更新の不十分さが目立ってきた。個々の環境改善に関する声を列挙すると以下のようなものがある。

- EUV 領域の分光器を製作し、また高分解能の CCD カメラも整備いただき、測定精度の向上を図ることができた。
- 高速インターネット通信網 Super SINET の導入により、京都大学プラズマ実験棟からの LHD 計測器室に設置した分光器の遠隔操作実験が可能となった。多視線偏光分離計測用のグランテーラープリズム・グラントムソンプリズム光ファイバー・光学素子、高感度 CCD 等研究に必要な機材を揃えることができた。
- 今回の共同研究で揺動磁場発生コイル及び磁束検出器の概ね半分を製作することができ、重要な実験設備を製作することができた。また、核融合科学研究所と京都大学のグループの密接な協力関係を構築できた。
- 計画共同研究経費による支援をもとに、実験に必要な電源系や計測装置類の整備を進めることができ、当該研究を進める環境を整備することができた。大学内での研究施設の移転に合わせて環境整備を実施できた。
- この共同研究によって軟 X 線カメラの増設、高速 CCD カメラの導入、硬 X 線波高分析システムの構築を行い、プラズマ診断装置を充実させることができた。
- 本計画共同研究や双方向型共同研究の支援により他大学・他機関との共同研究に大きな進展があった。しかしながら、運営費交付金、附属施設経費削減等の削減により研究環境は劣化する方向にある。
- 計測用真空容器モジュールや磁場制御に必要なコイル冷却システムの導入等により、実験可能パラメータ領域の拡充、揺動計測器の拡張性の増加等、実験環境は改善された。
- 研究組織は理論系と実験系教員からバランス良く構成されたが、研究費の主要部分は主に実験系教員が共同研究をすすめるため必要なそれぞれの手持ちの研究設備の改善や整備に当てられた。特に真空装置や計測機器の改善により、測定精度が向上した。新たな重要部品の導入により新たな研究展開が可能となった。
- 2次元トムソン散乱計測開発の過程で、フィルター分光器や検出器等設備が整い、この分野の研究環境は大いに改善された。
- LHD 計画共同研究において、研究支援環境や研究環境は大きく改善されている。特に、本学の特色であるプラズマ発生装置や計測系システムの性能が大幅に向上し、国際的な研究レベルにアプローチすることが可能になっている。
- 本共同研究で整備された、ミリ波低電力試験装置は、広帯域周波数で試験できるよう、配慮されており、電子温度分布測定のための電子バーンシュタイン波輻射

計測システムの開発を始めとする、他の研究に活用され、研究支援環境や研究環境は改善されている。

- 本共同研究により研究環境（研究設備の充実）は大きく改善されてきた。本共同研究で得られた成果の基盤として新たに国内及び国際的な共同研究が展開されており、この意味でも研究環境は大いに改善されてきた。

2. 1. 2. 7 若手人材育成への貢献

本共同研究は大学での研究活動・教育活動を活性化することを大いに期待しており、人材の育成もその目的のひとつである。平成 16 年度からの LHD 計画共同研究の課題に関連して教育を受け、研究を行った学生をアンケート調査した結果は以下のものである。

- ・学部学生 20名
- ・修士課程学生 90名
- ・博士課程（後期）学生 26名

また、研究課題により博士の学位を得た後、助教及び講師に採用されたものは4名である。

多くの研究室にて、測定装置等の実験装置を独自の工夫を入れながら作り上げるという経験を大学院学生や若手の研究者に経験させることができ、実験分野の人材育成に大きく貢献している。また、LHD 装置での研究に関わった学生には最先端の LHD 装置での研究を行う経験が出来、研究意欲を奮い立たせるものがあつた。

また、関連した課題で若手共同研究者が以下のような賞を受賞した。これは科学研究費特別推進研究の支援が主であるが、LHD 計画共同研究による活動も力となった。

平成 21 年度プラズマ核融合学会第 14 回学術奨励賞

“Experimental Study of Drift Wave Turbulence on Linear Plasmas” 山田琢磨

2. 1. 3 一般共同研究

一般共同研究は、核融合科学研究所設立時から始められた最も歴史のある共同研究である。核融合科学研究所の実験装置、計測機器、計算機等を使うことによって共同利用・共同研究を進め、成果を上げることが基本となっており、研究を行っている核融合科学研究所の全ての部門で実施されている。また、共同利用・共同研究を促進するため、核融合科学研究所で研究会を開催すること等も含まれている。この基本理念から、一般共同研究では、大学等の共同研究者に核融合科学研究所に来て頂き、核融合科学研究所で研究・活動していただくことが原則となっている。

一般共同研究では、上述のように核融合科学研究所の実験装置、計測機器、計算機等を使って行われることから、これらを稼働させるために必要な経費は、通常、核融合科学研究所から直接支出されている。従って、共同研究の経費としては、主に旅費が配分され、これに共同研究の研究課題に固有の機器製作等に必要な経費が配分されている。

2. 1. 3. 1 公募と採択

本研究所の研究設備は全て共同利用研究の対象である。これらは一般共同研究の枠内で共同利用・共同研究に供されている。一般共同研究は表2.1.3-1に示すように平成22年度募集分については、12のカテゴリーに分け公募されている。この分類は所内の研究体制に概ね沿っている。一部研究系をまたがったカテゴリーもあるが、所内的に研究設備の所属及び責任者は明確になっており、この維持・管理体制の下で広く所外の研究者に対して最適な研究環境の維持を図っている。大型ヘリカル装置プロジェクトは、(1)LHD実験共同研究、(2)装置技術・開発共同研究、(3)重水素実験計画検討、(4)LHD理論共同研究の4つに分けられ、さらにそのうちLHD実験共同研究については11個の、また、装置技術・開発共同研究については5個の小分類に分け、各々所内担当者を明確にすることにより自分の研究テーマにあったカテゴリーの選択に便宜を図っている。このカテゴリー及び分類は研究内容の進展や研究設備の整備等に伴って毎年見直されている。

公募から申請に至る手続きについては準備も含め以下のようにになっている(図2.1.3-1参照)。まず次年度の研究所の体制や設備の更新、予算事情等を考慮してカテゴリーの見直し、予算枠等を決定する。その後それぞれのカテゴリーの所内担当者が次年度に向けた公募文案を作成する。公募文案には現在進行している研究内容や研究設備の様子が記述され、応募者が研究課題を考える上で参考になるよう配慮している。これを研究委員会所内幹事が集めて全体をまとめ公募文案とする。公募文案は所外13名、所内10名からなる一般共同研究委員会で審議され、承認を受けて親委員会である運営会議に提出される。運営会議の審議を経て承認されると公募が開始となる。

表2.1.3-1 平成22年度一般共同研究の категория及び所内世話人

| 共同研究課題 | 共同研究 所内担当者 | TEL | FAX | e-mail アドレス |
|--------------------------|---------------|--------------|------|-----------------------------------|
| | | (0572) 58- | | |
| 1. 大型ヘリカル装置 (LHD) プロジェクト | 山田弘司 | 2200 | 2620 | hyamada@LHD.nifs.ac.jp |
| (1)大型ヘリカル装置 (LHD) 実験共同研究 | 山田弘司 | 2200 | 2620 | hyamada@LHD.nifs.ac.jp |
| ① 高密度プラズマとダイバータによる閉じ込め改善 | 山田弘司 | 2200 | 2620 | hyamada@LHD.nifs.ac.jp |
| ② 高ベータ領域の拡大 | 川端一男 | 2220 | 2624 | kawahata@LHD.nifs.ac.jp |
| ③ 高温定常プラズマ保持 | 武藤 敬 | 2205 | 2622 | mutoh@nifs.ac.jp |
| ④ 高温領域の拡大 | 竹入康彦 | 2180 | 2619 | takeiri@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑤ コアプラズマの熱・粒子輸送 | 居田克巳 | 2182 | 2619 | ida@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑥ 周辺プラズマ物理とプラズマ・壁相互作用 | 長山好夫 | 2153 | 2618 | nagayama@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑦ MHD 平衡と安定性 | 渡邊清政 | 2149 | 2618 | kiyowata@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑧ 高エネルギー粒子の物理 | 居田克巳 | 2182 | 2619 | ida@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑨ 波動加熱物理 | 下妻 隆 | 2198 | 2622 | shimozuma.takashi@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑩ LHD を用いた原子・分子過程研究 | 村上 泉 | 2262 | 2628 | murakami.izumi@nifs.ac.jp |
| ⑪ 装置工学実験 | 今川信作 | 2120 | 2616 | imagawa@LHD.nifs.ac.jp |
| (2)装置技術・開発共同研究 | | | | |
| ① 本体システム物理・技術 | 山田弘司 | 2200 | 2620 | hyamada@LHD.nifs.ac.jp |
| ② 超伝導技術 | 今川信作 | 2120 | 2616 | imagawa@LHD.nifs.ac.jp |
| ③ 高周波加熱技術 | 武藤 敬 | 2205 | 2622 | mutoh@nifs.ac.jp |
| ④ 高エネルギービーム技術 | 竹入康彦 | 2180 | 2619 | takeiri@LHD.nifs.ac.jp |
| ⑤ 計測技術 | 川端一男 | 2220 | 2624 | kawahata@LHD.nifs.ac.jp |
| (3)重水素実験計画検討 | 武藤 敬 | 2205 | 2622 | mutoh@NIFS.ac.jp |
| (4)大型ヘリカル装置 (LHD) 理論共同研究 | 洲鎌英雄 | 2353 | 2626 | sugama.hideo@LHD.nifs.ac.jp |
| 2. 炉工学分野共同研究 | | | | |
| (1)炉工学研究 | 相良明男 | 2124 | 2676 | sagara.akio@LHD.nifs.ac.jp |
| (2)炉設計 | 相良明男 | 2124 | 2676 | sagara.akio@LHD.nifs.ac.jp |
| (3)炉システム安全性 | 朝倉大和 | 2321 | 2610 | asakura@nifs.ac.jp |
| 3. 基礎開発共同研究 | 岡村昇一 | 2157 | 2619 | okamura@nifs.ac.jp |
| 4. 理論共同研究 | 洲鎌英雄 | 2353 | 2626 | sugama.hideo@LHD.nifs.ac.jp |
| | 石黒静児 | 2540 | 2626 | ishiguro.seiji@nifs.ac.jp |
| 5. シミュレーション科学共同研究 | 堀内利得 | 2370 | 2626 | horiuchi.ritoku@nifs.ac.jp |
| 6. LHD 数値解析システム利用共同研究 | 藤堂 泰 | 2245 | 2626 | todo@nifs.ac.jp |
| 7. 連携研究推進センター共同研究 | 佐藤元泰 | 2250 | 2628 | satomoto@LHD.nifs.ac.jp |
| 8. 安全管理に関する共同研究 | 西村清彦 | 2086 | 2610 | nishimura.kiyohiko@LHD.nifs.ac.jp |
| 9. 相互交流型共同研究 | 下妻 隆 | 2198 | 2622 | shimozuma.takashi@LHD.nifs.ac.jp |
| 10. 研究会 | 下妻 隆 | 2198 | 2622 | shimozuma.takashi@LHD.nifs.ac.jp |
| 11. SNET 共同研究 | 長山好夫 | 2153 | 2618 | nagayama@LHD.nifs.ac.jp |
| 12. 核融合アーカイブズに関する共同研究 | 松岡啓介 | 2248 | 2628 | matsuoka@LHD.nifs.ac.jp |

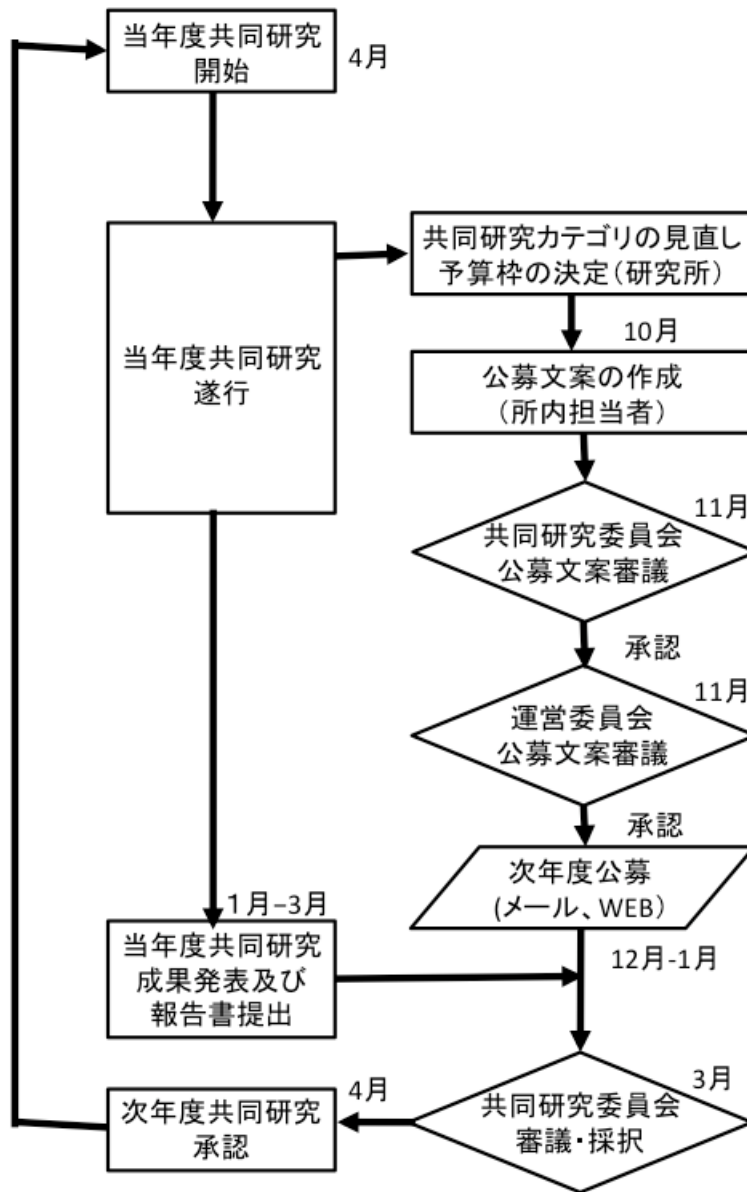


図 2. 1. 3-1 公募文案作成から申請、採択までの流れ

公募文は、核融合科学研究所のホームページに掲載され、登録された共同研究者へ公募開始を知らせるメールが研究所から送付される。応募は全て電子媒体で行っている。ホームページから書式をダウンロードし必要事項を記入の上、メールに添付する形で研究所担当課に送付してもらう。応募された課題はカテゴリー毎に整理され、一般共同研究委員会により審査される。委員会では5つの審査班が組織され、担当するカテゴリーに分かれて審査をしている。平成22年度申請書の審査時の分類は次のようであった。

| 審査班 | 審査カテゴリー |
|-----|------------------------------|
| A | LHD実験, 本体システム, 重水素実験計画, SNET |
| B | 超伝導技術, 炉工学, 安全管理 |
| C | 装置技術開発, 連携研究 |
| D | 理論, シミュレーション科学, 数値解析システム |
| E | 基礎開発, 相互交流, 研究会, 核融合アーカイブス |

評価はA, B, Cの3段階で行い、審査基準を表2.1.3-2のように決めて行った。審査に当たり共通する幾つかのガイドラインを委員会全体で確認した後、各班別の審査を行い、最後にその結果を委員会全体で確認、承認するという方式を採っている。また申請課題には新規と継続とがあるが、採択された課題には年度末に報告書の提出を義務づけており、継続課題の審査にはその報告書も参考とされる。表2.1.3-3に、平成22年度のカテゴリー別の採択結果を示す。

表 2.1.3-2 項目別審査基準

1. 評価を「A」「B」「C」の3段階とし、「C」を不採択とする。
2. 研究費の査定については以下の基準とする*)。
 - ・ 「B」は申請額の1/3または15万円のいずれか低い額を目安とする。
 - ・ 「A」は申請額の2/3または30万円のいずれか低い額を目安とする。
 - ・ 「A」評価のものの中から特に重要と思われる課題に対しては「S」評価として申請額の100%または100万円（最大でも150万円）を目安として認める。
3. 評価件数の配分は以下を目安にする。
 - 「A」は申請件数の20%程度。
 - 「S」は「A」評価の中の25%程度（申請件数の5%程度）。
4. 最終的にはカテゴリー毎の予算枠を参考にしながら調整をする

| 審査基準 | A | B | C |
|--|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| ① 公募内容との整合性 | 整合が取れている | 関連はあるが薄い | 関連がない |
| ② テーマの意義・内容 | 重要である | 意義がある | 意義がない |
| ③ 研究遂行能力 | 十分と認められる | 可能と認められる | 不安がある |
| ④ 予算規模の適切性 | 適切である | 検討を要するが、 修正しても共同研究として意義を残す | 不適切である |
| ⑤ 所内受け入れ体制 | NIFSで行う体制が できている | NIFSとの協力体制が できている | NIFSとの連携が できていない |
| ⑥ 研究の進展度 ・ 継続課題は原則3年まで (研究会は2年)とする | 進展が大である | 進展が認められる | 進展が 認められない |
| ⑦ 報告書の期限内提出 (継続課題) | 提出済 | — | 未提出 |
| ⑦ 成果発表上の問題点 | NIFSとの共同研究で あることを明記 | — | 記載がない |
| 総合評価 | 採択 | 採択 | 不採択 |

表 2.1.3-3 平成 22 年度カテゴリー別採択結果

| 共同研究課題 | 申請件数 | 採択件数 |
|--|------|------|
| 1. 大型ヘリカル装置 (LHD) プロジェクト | 101 | 100 |
| (1)大型ヘリカル装置 (LHD) 実験共同研究 | 48 | 47 |
| ミッション研究 | | |
| 1 高密度プラズマとダイバータによる閉じ込め | 1 | 1 |
| 2 高ベータ領域の拡大 | 1 | 1 |
| 3 高温定常プラズマ保持 | 1 | 1 |
| 4 高温度領域の拡大 | 2 | 2 |
| 物理テーマ研究 | | |
| 5 コアプラズマの熱・粒子輸送 | 6 | 6 |
| 6 周辺プラズマの物理とプラズマ・壁相互作用 | 14 | 14 |
| 7 MHD平衡と安定性 | 4 | 4 |
| 8 高エネルギー粒子の物理 | 4 | 4 |
| 9 波動加熱物理 | 2 | 2 |
| 10 LHDを用いた原子・分子過程研究 | 12 | 11 |
| 工学テーマ研究 | | |
| 11 装置工学実験 | 1 | 1 |
| (2)実験技術・開発共同研究 | 49 | 49 |
| 1 本体システム物理・技術 | 4 | 4 |
| 2 超伝導技術 | 11 | 11 |
| 3 高周波加熱技術 | 2 | 2 |
| 4 高エネルギービーム技術 | 8 | 8 |
| 5 計測技術 | 24 | 24 |
| (3)重水素実験計画検討 | 2 | 2 |
| (4)大型ヘリカル装置 (LHD) 理論共同研究 | 2 | 2 |
| 2. 炉工学分野研究 | 47 | 47 |
| (1)炉工学研究 | 30 | 30 |
| (2)炉設計 | 11 | 11 |
| (3)炉システム安全性 | 6 | 6 |
| 3. 基礎開発共同研究 | 13 | 13 |
| 4. 理論共同研究 | 19 | 19 |
| 共同研究A | 11 | 11 |
| 共同研究B | 8 | 8 |
| 5. シミュレーション科学共同研究 | 52 | 52 |
| 共同研究A | 32 | 32 |
| 共同研究B | 20 | 20 |
| 6. LHD数値解析システム利用共同研究 | 49 | 47 |
| 7. 連携研究推進センター共同研究 | 21 | 21 |
| 共同研究A | 9 | 9 |
| 共同研究B | 12 | 12 |
| 8. 安全管理に関する共同研究 | 5 | 5 |
| 共同研究A | 0 | 0 |
| 共同研究B | 5 | 5 |
| 9. 相互交流型共同研究 | 15 | 15 |
| 企画型 | 5 | 5 |
| 派遣型 | 10 | 10 |
| 10. 研究会 (プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム) | 30 | 30 |
| 11. SNET 共同研究 | 1 | 0 |
| 12. 核融合アーカイブズに関する共同研究 | 11 | 11 |
| 合計 | 364 | 360 |

2. 1. 3. 2 コミュニティの意見の反映

共同研究者からの意見は、共同研究委員をとおして、また成果報告会等の場で直接伺っている。これらの意見は共同研究委員会時に集約され、次回の共同研究公募に反映するようにしている。

これまで多かった意見としては、研究者の移動に関する制約（旅費支給基準）の緩和や外国籍研究者の受け入れ、計測機器の貸し出し、等である。2. 2. 3. 1で述べるが、これらに関しては共同研究委員会で議論をし、事務的な課題を解決しながら改善を行う予定である。

また、共同研究者には年度末に共同研究実施報告書の提出をお願いしているが、その時にも共同研究に関する改善依頼等のご意見を頂くことにしている。

2. 1. 3. 3 成果の公表

一般共同研究で得られた成果の公表方法として、基本には共同研究成果報告書の提出を義務づけている。また課題採択当初に、共同研究委員会で特に重要と判断された課題について成果報告会での発表をお願いしている。一般共同研究については課題数が多いので、審査時にあらかじめ発表していただく課題を指定している。選択するに当たってのガイドラインは、採択時に評価が高く予算配分が大きかったもの、継続3年目で研究のまとめが必要と思われるもの等、分野が偏らないよう配慮している。おおよそ各カテゴリーについて1件程度の発表を選び、研究内容の発表、議論を行っている。さらに、この機会を利用して、共同研究の遂行上の意見等も討論してもらっている。これら成果報告会の資料は冊子としてまとめ、関係機関等に配布している。さらに、核融合科学研究所のWEBにプログラムとともに、発表資料をアップロードしている。また、個別課題の成果報告は英文資料として核融合研究所のアンニュアルレポートにまとめられている。

他方、各種学会での発表、学術論文への投稿を推進している。特に、査読付き論文への投稿費用については、本研究所員、あるいは本研究所所属の学生（特別共同利用研究員を含む）等が共著者に含まれている場合、共同研究をより発展してもらうためのインセンティブ経費として、投稿料の1/2を次年度の共同研究費に加算する制度が、平成18年より実施されている。

成果の公表の一環として、研究所内外の研究者の便宜を図るため、また研究所の透明性・公開性を一層高めるために機関リポジトリを平成21年より開始した。

機関リポジトリとは、学術論文に代表される研究や教育活動の知的生産物を収集し、書誌情報を付与して、研究所のサーバに電子的に保存し、インターネット上で無償提供するシステムである。1990年代の後半から、米国、欧州を中心として政府機関や研究助成機関も交えて必要性が謳われるようになり、現在、世界では1,000機関以上、日本国内では100機関以上が「機関リポジトリ」を公開している。本研究所でも、中期計画に対応した平成20年度の年度計画として位置づけられ、平成21年3月にオープンした。

NIFS リポジトリへの登録、登録予定の刊行物は、NIFS レポート、学術雑誌掲載論文、英文年報、学術的会合等で公表されたもの、その他となっている。

2. 1. 3. 4 評価を踏まえた共同研究の遂行

平成 17 年度に行われた「共同利用・共同研究」に関する外部評価での指摘事項を踏まえて、本報告書で記述したような共同研究の見直し等を行ってきている。

2. 1. 3. 5 研究成果の蓄積

一般共同研究の категорияは、組織、研究体制、LHD実験体制等の変更や、共同研究者からの要望に応じて見直しが行われてきている。現在を含め過去6年間(H16-H22年度)においては、大きなcategoryの変更は無く、下表に示すように、12ないし13のcategoryに区分されている。表中に各年度の採択件数を示した。また図2.1.3-2に採択数をグラフで示した。採択件数は増加傾向であり、最近では全体でおよそ360件程度の一般共同研究が採択、実施されている。一般共同研究では、萌芽的な研究をサポートし、研究の内容とコミュニティが広がることを主眼とするために、できるだけ門戸を開こうとする方針から不採択件数は少なく、採択率は、おおよそ98%以上を推移している。

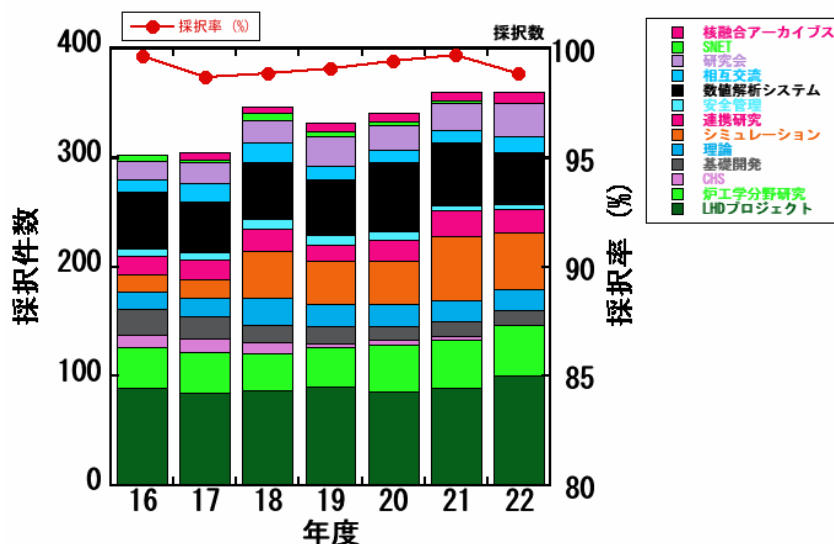


図 2.1.3-2 : 各カテゴリー毎の採択数および採択率を、現在を含め過去6年間にわたり累積棒グラフと折れ線で示した。

表 2. 1. 3-4 カテゴリー別一般共同研究採択数

| カテゴリー | H16 | H17 | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 大型ヘリカル装置プロジェクト | 89 | 85 | 87 | 90 | 86 | 89 | 100 |
| (1) 大型ヘリカル装置実験共同研究 | 33 | 35 | 32 | 34 | 31 | 33 | 47 |
| (2) 実験技術・開発共同研究 | 49 | 42 | 46 | 44 | 43 | 49 | 49 |
| (3) 重水素実験計画検討 | - | - | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 |
| (4) 大型ヘリカル装置理論共同研究 | 7 | 8 | 6 | 8 | 7 | 3 | 2 |
| 炉工学分野研究 | 37 | 37 | 34 | 36 | 43 | 44 | 47 |
| (1) 炉工学研究 | 26 | 25 | 23 | 22 | 28 | 27 | 30 |
| (2) 炉設計 | 7 | 8 | 7 | 9 | 10 | 9 | 11 |
| (3) 炉システム安全性 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 8 | 6 |
| CHS データ解析共同研究 (H21 まで) | 12 | 12 | 10 | 4 | 4 | 4 | - |
| 基礎開発共同研究 | 23 | 20 | 16 | 15 | 13 | 13 | 13 |
| 理論共同研究 | 16 | 17 | 24 | 21 | 20 | 19 | 19 |
| 大型シミュレーション共同研究(H18 まで), シミュレーション科学共同研究 (H19 以降) | 16 | 17 | 43 | 39 | 39 | 59 | 52 |
| 企画情報又は連携研究に関する研究(H16, 17) 連携研究推進センター共同研究 (H18 以降) | 17 | 18 | 21 | 15 | 19 | 23 | 21 |
| 安全管理に関する共同研究 | 6 | 7 | 9 | 9 | 8 | 5 | 5 |
| LHD 数値解析システム利用共同研究 | 52 | 46 | 51 | 51 | 63 | 57 | 47 |
| 相互交流型共同研究 | 12 | 17 | 18 | 12 | 12 | 12 | 15 |
| 研究会 | 16 | 19 | 21 | 27 | 22 | 24 | 30 |
| SNET | 6 | 3 | 6 | 5 | 4 | 3 | 0 |
| 核融合アーカイブスに関する共同研究 | - | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 11 |
| 合計 | 302 | 304 | 346 | 331 | 340 | 360 | 360 |

グラフ中で、特に大型ヘリカル装置(LHD)プロジェクトは、(1) LHD 実験共同研究、(2) 実験技術・開発共同研究、(3) 重水素実験計画検討、(4) 大型ヘリカル装置理論共同研究の4つのサブカテゴリーから構成されており、採択件数は、おもに LHD 実験共同研究と実験技術・開発共同研究がほぼ半数ずつを占めている。全体の約4分の1を占める共同研究で、年々増加傾向にある。また、平成 21 年のプラズマシミュレータの導入に伴いシミュレーション科学に関連した共同研究課題の増加が見られる。

共同研究の成果は、成果報告書として和文で提出していただくとともに、英文の形で核融合科学研究所のアニュアルレポートとして、冊子体及び近年では電子書類として毎年出版されている。その際に研究成果として学術誌に掲載された論文についてリストを提出していただいている。それらの論文件数を所内研究者と所外の研究者についてまとめたものを図 2. 1. 3-3 に示す。論文件数はおよそ年間 200 から 400 件の間を推移しているが、所外研究者による論文件数は所内研究者の論文件数とほぼ同程度となっている。所内研究者の発表は、すべてが必ずしも共同研究によるものではなく、他方所外研究者の論文は、すべて共同研究に関連した論文であることを考えると、核融合科学研究所と全国の大学等の機関との間で実施されている本共同研究が、日本のプラズマ・核融合研

究の学術的なアクティビティを高めることに極めて有効に機能しているものと考えられる。

また図 2.1.3-4 は、第 20 回（2006 年）から第 23 回（2010 年）の過去 4 回の IAEA 核融合エネルギー会議における核融合科学研究所及び共同研究者からの発表件数の推移を示したものである。LHD 実験、理論・シミュレーション研究、炉工学研究等各分野で発表件数が増加しており、更に所外研究者からの共同研究の成果の発表件数が増加している。これは、本共同研究による核融合に関連して世界的に重要と判断された研究成果が量・質ともに増加してきていることを如実に示すものである。

前述したように、共同研究委員会で特に重要と判断された課題については、年度末に開催される成果報告会での発表をお願いしている。これらの成果報告会での発表は、特に注目すべき課題として、特定のカテゴリーに偏らない成果の蓄積と見ることができる。平成 16 年度から平成 22 年（予定）発表の課題まで、その発表タイトルと発表者を各カテゴリー毎、各年度毎に分類してまとめると、発表カテゴリー別では、これまでの 7 年間で、LHD 実験共同研究に関するものが 19 件、実験技術・開発に関するものが 21 件、重水素計画検討に関するものが 1 件、LHD 理論共同研究に関するものが 1 件、炉工学分野研究に関するものが 12 件、CHS 共同研究に関するものが 5 件、基礎開発共同研究に関するものが 7 件、理論共同研究に関するものが 8 件、大型シミュレーション共同研究に関するものが 8 件、連携研究に関する共同研究が

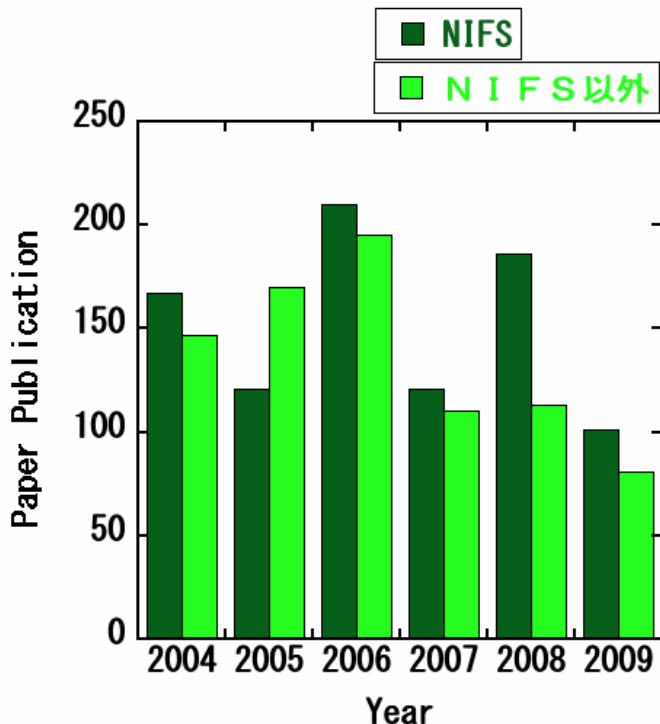


図 2.1.3-3 共同研究論文出版件数の推移

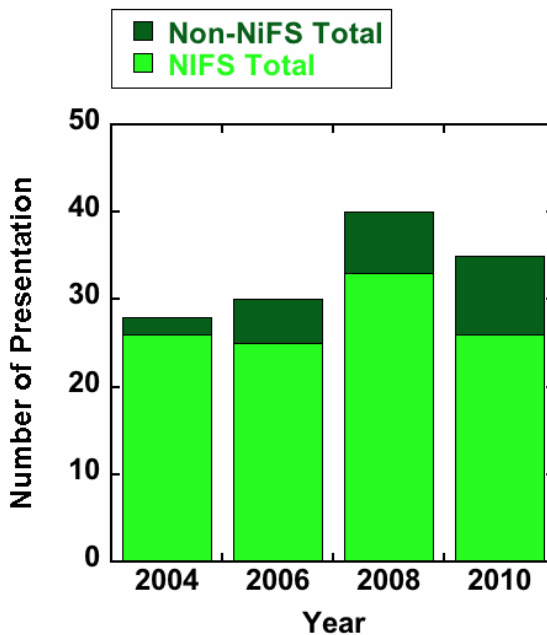


図 2.1.3-4 IAEA-FEC 会議での発表件数の推移

7件、安全管理に関する共同研究が2件、LHD 数値解析システム利用共同研究に関するものが6件、相互交流型共同研究に関するものが7件、研究会に関するものが7件、SNET に関するものが0件、核融合アーカイブスに関する共同研究が1件となっている。おおよそ採択件数に応じて全カテゴリーにわたり発表がされていることが分かる。

特徴として、LHD 実験に係わる共同研究に関しては、周辺・ダイバータ領域における粒子輸送やダストの振る舞い、分光計測等、LHD での実験と大学でのサンプルの分析、データ解析等といった役割分担が比較的行いやすい実験研究が多くを占めている。また実験技術・開発に関する共同研究では、超伝導機器、超伝導線材の開発や加熱、計測機器の開発がほとんどを占め、各大学の研究室で研究が可能な課題として、特に多くの共同研究が実施されていることが分かる。このうち核融合科学研究所から研究者の参加が必要な共同研究課題については、相互交流型共同研究に提案される傾向がある。大型シミュレーション共同研究では、複雑性の増した磁場プラズマ閉じ込めに関連して、プラズマ中の不安定な振る舞いや、乱流の大規模シミュレーションが行われ、更に磁場閉じ込めにとどまらずレーザープラズマのシミュレーションにまで多岐にわたって行われている。連携研究に関しては、歴史のある原子・分子データベースに関する共同研究を初め、産業応用関連の共同研究が行われている。研究会においては、「プラズマ科学のフロンティア」研究会が継続的に開催され、学生や若手研究者の参加も多く若手研究者の育成に大いに貢献している。

2. 1. 3. 6 研究環境の改善

この期間に行われた研究環境改善のうち、特色のある事項を以下に示す。

(ユーザーズオフィス、ビジターセンター)

核融合科学研究所を訪れる所外の共同利用・共同研究者の方々へ、必要とする支援業務の一層のサービスの向上を行えるよう、一カ所で申請手続等を集約して行い、短時間で業務が行える支援サービス（ワンストップサービス）を行うユーザーズオフィスを平成18年に設置した。主な業務は以下のとおりである。

- 共同研究、共同利用等に係る共同研究者所属機関への出張依頼及び旅費計算等。
- 研究員宿泊施設（ヘリコンクラブ）の宿泊予約及び宿泊料の徴収並びに維持・管理。
- 研究所入構証の発行及び交付に関すること。
- 外国人研究者のビザ申請及び国内生活に関する諸手続に関すること。
- 在留資格認定証明書発給申請・受領に関すること。
- 研究所が主催する国際会議の招聘に関すること。

更にユーザーズオフィスは、事務所を来所者に分かりやすい研究所玄関の正面に移すとともに、名称をビジターセンターと変更し平成22年8月より新たにスタートしている。

(計測器の貸し出し)

平成 19 年のプラズマ・核融合学会年会特別企画において、大学の講座レベル研究室での研究の活性化の一環として、核融合科学研究所から計測機器等を共同利用に供する制度ができないかとの提案があり、一般共同研究委員会の下で、計測機器等共同利用に関する検討グループを設置し準備を進めた。その結果、制度の管理・運営を審議する核融合科学研究所計測機器等共同利用小委員会を設置し、その取り扱いを「共同利用ルール」として定め、平成 22 年 11 月より、計測機器等の共同利用を開始した。共同利用可能な計測機器等のリストを作成し、利用及び予約状況とともに WEB で公開している。計測機器等を共同利用できる研究者は、共同研究者及び核融合研究共同研究委員会の認めた者であり、利用期間は原則 1 ヶ月単位とし、最長当該年度末までとなっている。

2. 1. 3. 7 若手人材育成への貢献

広範囲の分野にわたり、全国の大学、各種研究教育機関との間で実施されている一般共同研究は、プラズマ・核融合、関連技術、理論・シミュレーション等に関する本研究所との国際的・先端的共同研究を通じて、将来の研究を担う若手人材の育成に適したシステムである。

例として平成 22 年度の一般共同研究の申請について、共同研究者に占める学生（博士課程、修士課程、学部学生、COE 研究員等）人数と割合を図 2.1.3-5 に申請カテゴリー毎に示した。共同研究者の延べ総数が 3,560 名に対して、学生が占める人数は 539 名で約 5 分の 1 を占めている。共同研究者中多くは核融合科学研究所の研究者であることを考えると、若手研究者の占める割合は非常に高く、若手人材育成に大きく貢献していると言える。

また、カテゴリー別に見ると、人数の絶対数としては LHD 実験共同研究や実験技術・開発共同研究が多いことが分かり、LHD で実験を行う大型プロジェクト研究に参加したり、各種装置の開発研究に従事して、最先端の研究を経験することは、学生に対して多大な教育効果を持つものである。他方、学生の占める割合は、大型計算機を用いた数値解析システム利用共同研究や SNET 共同研究で多く、学生の所属する機関からネ

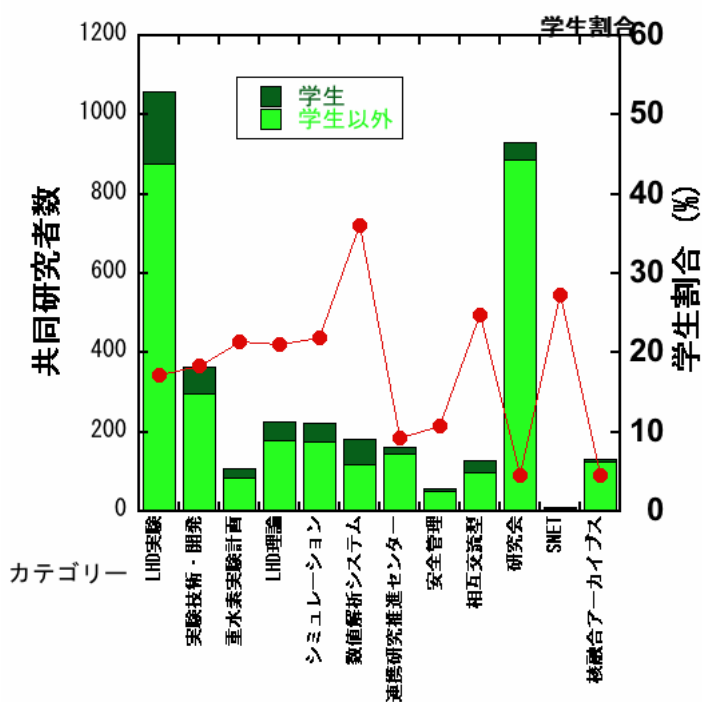


図 2.1.3-5 平成 22 年度一般共同研究の申請カテゴリー別延べ研究者数と学生の占める割合。

ットワークを通じて、数値計算やシミュレーションに関係する共同研究を実施している様子が分かる。また核融合科学研究所の研究者が、共同研究者の研究機関に出向くことのできる相互交流型共同研究においても比率が高く、核融合科学研究所からの研究者の大学等への出向は、教育効果が大きいことを示している。

2. 2 今後の進め方

2. 2. 1 双方向型共同研究のビジョンと新しい展開

第1期中期計画期間（2004-2009）における双方向型共同研究は制度設計としては先進的と評価され一定の成果を上げたが、近年核融合分野においては ITER の建設が始まり核融合炉実現に向けた研究の加速が叫ばれており、大学の果たすべき役割をしっかりと担う意味で双方向型共同研究の新たな展開が期待されている。第2期中期目標期間を迎えるに当たり、双方向型共同研究の今後取るべき方向が双方向型共同研究委員会の中で議論された。そして、核融合炉実現に向けた研究分野の拡大と、研究目標の明確化が必要と判断された。

核融合科学研究所では、核融合炉実現に向けた学術研究の加速を図るため、定常ヘリカル方式原型炉実現を目指すことをより明確に意識した第2期中期目標・中期計画を打ち出した。核融合科学研究所の持つ研究計画は全て共同研究を前提にしており、その中で重要とされる課題解決に向けて双方向型共同研究が寄与することは、大学が（学術の持つ多様性を背景に持ちながらも）一体的に核融合研究を推進していくメッセージとしても大きな意味がある。そのため、平成 22 年度より、双方向型共同研究に核融合工学研究課題を取り込むべく、富山大学水素同位体研究センターと東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターの2機関をその第一歩として新たに参画機関に加えた。核融合工学分野の研究は多彩であり、また小規模の研究センターや研究室単位で行われているので、中規模研究センターを持つ炉心プラズマ研究分野とは異なる研究組織化が必要になると思われるが、まずは従来双方向型共同研究で進めてきた炉

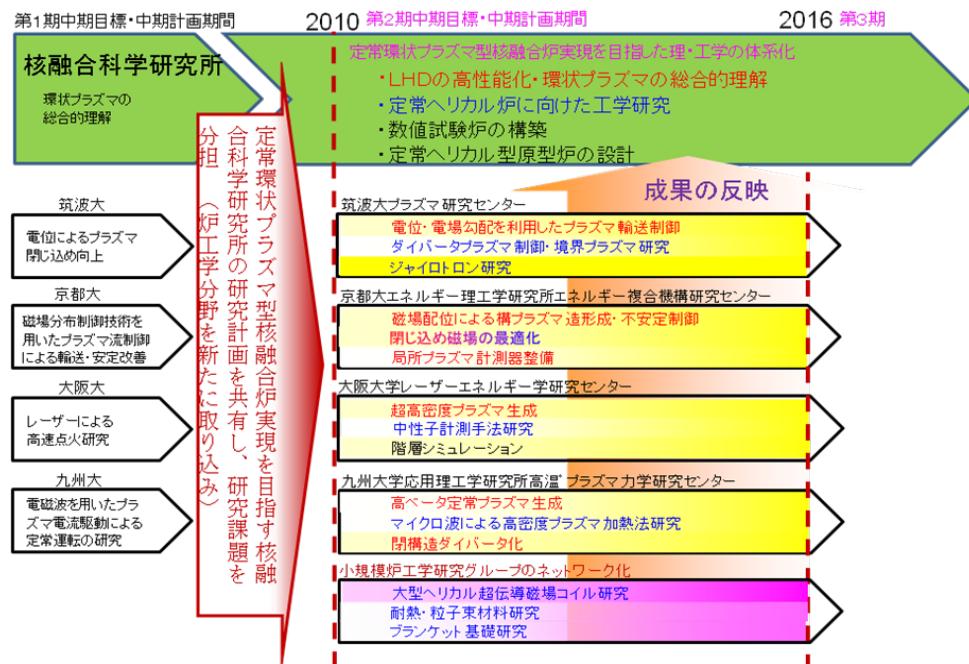


図 2. 2. 1-1 双方向型共同研究の新たな展開（ロードマップ）

心プラズマ研究との接点となる課題を取り上げスタートした。現時点での参画研究センターの持つ課題としては以下のものを挙げている。

核融合科学研究所においては第2期中期計画として、①LHDの高性能化・環状プラズマの総合的理解、②定常ヘリカル炉に向けた核融合工学研究、③数値実験炉構築に向けたシミュレーション研究、④定常ヘリカル炉設計、をプロジェクト制の下に推進する。

筑波大学プラズマ研究センターでは、ガンマ10装置を用いて従来の電位・電場勾配を利用したプラズマ輸送研究に加え、直線磁場配位を生かした境界プラズマ研究やツールとしてのジャイロトロン研究を進める。京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センターでは、Heliotron J装置を用い磁場配位制御による閉じ込め最適化や不安定制御に加え、局所プラズマ計測の研究も進める。大阪大学レーザーエネルギー学研究センターでは激光XII号レーザーによる超高密度プラズマ生成研究に加え、中性子計測研究や階層シミュレーション研究を進める。九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センターではQUEST装置を用いて高ベータ定常プラズマ生成に向けた研究を進めることに加え、電子バーンシュタイン波加熱・電流駆動やダイバータ研究を進める。

富山大学水素同位体科学研究センターではプラズマ対向材における水素及び水素同位体の挙動に関する研究を進める。東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターでは核融合炉材料の中性子照射効果に関する基礎研究を進める。

一方、本年度より多様な学術分野における「共同利用・共同研究拠点」形成が全国の

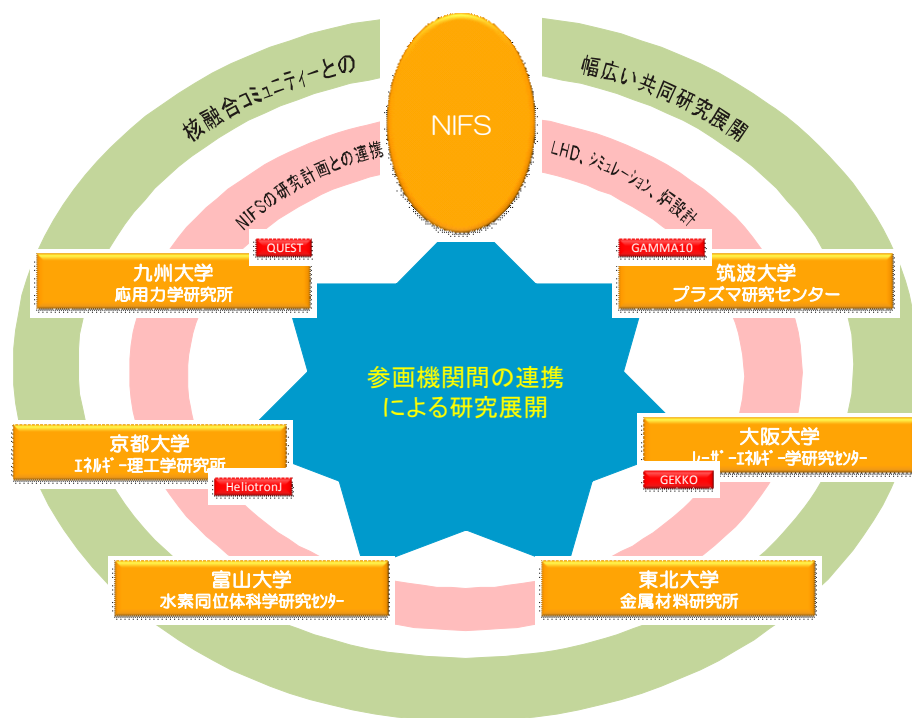


図 2.2.1-2 双方向型共同研究の新たな展開
(核融合研との連携、センター間の連携、センターをハブとした他大学との連携)

大学の附置研究所・センターを核として推進されることになったが、核融合研究分野においては双方向型共同研究が既にその先駆けとしてネットワーク型共同研究環境を整えているというのが文科省の認識である。従って、これまで双方向型共同研究では参画機関が全国共同利用のハブ的機能を果たすことを重視してきたが、今後はネットワーク型の長所、即ち参画センター間の連携協力によって共通の課題に取り組むことも必要である。双方向型共同研究委員会では、この点についても議論を進めており、「電子サイクロトロン・高密度プラズマ加熱」と「原型炉に向けた熱粒子制御」等を共通の課題とし、各センターの特長を生かした協力により研究を展開する予定である。もちろん、各センターは所属する大学において教育・研究上の重要な位置づけを持っており、それがセンター設置の意義にもなっている。センター固有の研究展開と共栄を図りながら進めることが肝要である。

大学に期待されることの一つに人材教育があるが、核融合炉実現を目指した人材育成は早急に進める必要があると指摘されている。双方向型共同研究の連携強化の中で学生の流動性を高めることが出来れば教育効果も非常に大きく、まさにコミュニティを挙げた人材育成が実現できると期待できる。

平成 22 年度から双方向型共同研究経費は核融合科学研究所の特別経費から基盤経費に変更された。即ち双方向型共同研究は、概算要求事項ではなく、核融合科学研究所の事業として推進していくことになった。コミュニティの意見を反映しつつ透明性の高い運営を行い、目に見える成果を上げることが大学と核融合科学研究所に求められている。

2. 2. 2 LHD計画共同研究のビジョンと新しい展開

2. 2. 2. 1 プラズマ分野

1) 長期的なビジョンを踏まえた共同研究の進め方について

核融合科学研究所の共同利用・共同研究活動は、双方向型共同研究、LHD 計画共同研究及び一般共同研究の3つのカテゴリによる幅広い展開を図り、大学・研究所間の共同研究の進展によりプラズマ・核融合研究に寄与してきた。これからの第2期中期目標・中期計画においては研究目標として、「核融合炉を実現させる学術基盤の体系化」を目指し進められている。核融合科学研究所が主体とする共同研究は、研究所が推進するヘリカル方式の核融合研究だけでなく他の磁気閉じ込め研究や核融合研究以外のプラズマの基礎及び応用分野の研究を含め広くテーマが提案、設定され実施されている。これは短期的な研究成果達成の視点だけでなく、長期的な人材育成、分野間連携、学際的な学問分野の広がり等も視野に入れた方式であることを示しており、プラズマ・核融合分野のCOEとして共同研究を大学と強く連携して進めていくことになる。長期的ビジョンを考慮して、成果報告会での研究提案や成果のレビューが効果的に行われることが重要であり、共同研究として効率的に機能する必要がある。例えば、基礎的なプラズマ分光の分野で測定法の改善や原子モデルとのベンチマーク作業を実施してきたことは、今後の核融合プラズマの診断や原子モデルの標準化に繋がる成果を評価できるので、広い意味で核融合研究のCOEとして、各共同研究カテゴリは長期的なビジョンも踏まえた共同研究の進め方が示されているといえる。

採択課題として、LHDに直接取り付ける等、現在のプロジェクトに直結したものだけでなく、幅とふくらみのある研究テーマも採択されている。長期的なビジョンも踏まえた進め方を考えるためには、核融合研究の長期的展望及び進め方をもう一度見直し、確認する必要があるかもしれないが、大学の研究室での人材育成を重視するならば、幅とふくらみは十分確保すべきである。大学におけるシーズをくみあげ、大型装置を用いた研究に役立てるとの観点から、核融合科学研究所では取り組めない基礎的研究に或る程度資源を充て、結果として大学の研究環境を向上させ、教育・人材育成に寄与する進め方が良いであろう。

LHD計画共同研究におけるプラズマ分野の研究カテゴリは、おおよそLHD実験に即したものになっているが、それに加えてNIFSが指定した研究課題というカテゴリもあり、長期的な戦略のもと共同研究を進めている。本共同研究は、長期的なビジョンに応える成果を上げたとき自己評価出来よう。今後検討すべき点としては、固定的に「炉工学」と「プラズマ物理」と二つのカテゴリに分けることが、現状の研究動向と整合しているかどうか。例えば炉心プラズマの挙動は、プラズマ対向壁との相互作用抜きでは表せないため、これら二つを統合して運営することが適切の場合もある。当然、核融合発電炉としての工学研究は必要なことは言うまでもない。

長期的な人材育成に関するビジョンに基づいた共同研究の枠組みとして、LHD計画共同研究は優れていると言える。今後もこのカテゴリでの共同研究を進めていくことは極めて妥当である。

2) 共同研究を基盤とした新しい展開の可能性について

核融合プラズマに関する事項をベースとしつつも、学術研究の基盤として発展させるべく、核融合研究のみに閉じない普遍的な手法・方法論を構築するものとして、共同研究を捉えている共同研究者は多い。核融合パラメータの達成値向上のようなプロジェクト指向の視点に重きをおかず、核融合・プラズマ科学としての共同研究として幅広い視点を置いておくことが「基盤として新しい展開ができる」ことに有効に繋がるであろう。共同研究テーマとして、研究としてホットなもの、プロジェクトとして重要なもののほかに新規性のあるもの、挑戦的な課題等が設定され、また特別な理由以外には継続年数として2から3年が限度であることが示される等、たとえ継続して実施されるものであっても、成果をもとに発展的な課題設定を促すような工夫することにより、各テーマ毎に常に研究展開が図られ、また共同研究者の組み替えも積極的になされると考えられる。

ITER に向けて核融合研究が進む中、LHD や各大学の役割、位置づけについての長期的なビジョンは常に議論を続けていく必要がある。少なくとも大学の役割の一つとして、若手人材育成があり、厳しい予算削減の中でも重要な項目である。プロジェクト型研究だけでは幅広い若手人材育成を行うことは不可能であり、一方、共同研究無しの大学の研究室予算だけというのでは限界もある。大学参加の共同研究として幅広いテーマを受け入れられる体制にあれば、各大学の個性を生かした新しい展開が期待できる。各大学研究室と共同研究を軸とする研究ネットワークを構築することが大切である。

本共同研究を科学研究費や他の共同研究事業とマッチングファンドで推進して研究成果を上げている例もあり、有効な展開の手法になっている。また本共同研究の成果に基づいて国際的な共同研究が進行している例もあり、本共同研究に基づく研究環境の整備が基盤になっている。今後の共同研究の展開の好例となろう。

2. 2. 2. 2 炉工学分野

LHD 計画共同研究における炉工学分野では、LHD 成果を次のヘリカル原型炉へ外挿するための長期的ビジョンに立った工学基盤の構築も重要な研究課題として進めてきている。今後は、特に平成 22 年度より開始した核融合工学研究プロジェクトとの整合性をとりながら、また一般共同研究の広範な基礎研究や双方向型共同研究での焦点を絞った研究との連携を図りながら、より効率的な研究推進を図る。特に、大学や研究機関にある特徴ある研究設備を用いた拠点研究の推進を中心とする。これらによって新たな大型の共同研究企画提案の策定も可能にする。

超伝導マグネット関連では、Nb₃Al CIC 導体における曲げひずみの臨界電流に対する影響、高磁場・高電流密度超伝導導体の開発研究、電流導入部の開発研究、低放射化あるいは高温超伝導導体の開発研究等では、大学と核融合科学研究所の双方の実験研究設備を活用しての共同研究が効率的である。また、14 MeV 中性子照射による超伝導マグネット材料の特性変化、原子炉照射による超伝導マグネット絶縁材料の特性変化、等の JAEA 等の照射施設を利用する共同研究も重要であり、研究ネットワークを構成して連携研究を推進することが効果的である。

材料・ブランケット関連では、大学のベリリウム取り扱いが可能な施設を用いた熔融塩 Flibe に関する研究、大学既存の液体ブランケット試験ループを用いた熱流動等に関する研究、大学の特長ある実験研究設備を用いたバナジウム合金の評価試験、14 MeV 中性子照射による中性子工学研究等、大学等と核融合科学研究所の双方の実験研究設備を活用しての共同研究が新しい展開を創出する。

高熱流機器や炉内計測機器関連では、LHD 改造ダイバータ実験に対応した新たな装置実験提案が重要になるとともに、双方向型共同研究での共通課題研究と連携を組み合わせながら、大学等の直線型プラズマ装置や高粒子束イオンビームあるいはパルスレーザビームや電子ビームを用いたダイバータ機器や第一壁工学基盤の構築、放射線利用施設での中性子計測工学の高度化、さらには機能性耐熱材料開発等の材料分野との連携等、多角的で先進的なアプローチが重要かつ必要である。

トリチウム関連では、LHD 重水素実験において発生する微量トリチウムを対象として、微量トリチウムの測定機器研究とともに、材料へのトリチウム吸着特性、材料からの放出特性、トリチウムの除染技術、等の研究を特徴として進めている。しかしながら、核融合科学研究所ではトリチウムを直接取り扱うことができないため、トリチウムを用いた実験研究は、トリチウムを取り扱える大学や研究機関と連携して行っている。また、トリチウムと同じく水素同位体である重水素を用いた実験も非常に有効であるため、トリチウムを取り扱えない大学や研究機関との連携も、一般共同研究や双方向型共同研究と連携して進める。また、生物影響研究や環境影響研究では広域のフィールドワークを長期間継続して実施することが重要であるため、共同研究により他大学や他研究機関等と積極的に連携を図る。

2. 2. 3 一般共同研究のビジョンと新しい展開

一般共同研究は規模が小さく萌芽的な研究が多いことから、常に研究の動向を知り、共同研究者のニーズを反映した研究環境を提供することが求められる。このため、共同研究委員会をはじめとして様々な場でコミュニティの意見を聞く機会を今後も持ち続ける必要がある。

一方、所外から見て核融合科学研究所が行っている研究がわかりやすいものであることが、共同研究者の掘り起こしにも繋がる。平成 22 年度より核融合科学研究所ではプロジェクト体制を研究推進の柱に据えた。プロジェクトでは研究の目的意識と実施計画が明確化されるので今まで以上に具体的な研究課題をコミュニティに対して提示できるものと考えている。

2. 2. 3. 1 共同研究の国際化と連携化

共同研究を活性化するためには、研究カテゴリーのみでなく、実施形態も時代とともに変化する必要がある。核融合科学研究所では共同研究者の声を聞きながら、その改善に努めている。以下は現在進めつつある例である。

これまで共同利用に供する設備は我が国の税金で作りに上げた設備であることから、研究代表者は日本国籍研究者に限定していた。しかしながら近年は、国際的に開かれた環境でより優れた研究成果を上げることが期待されている。そこで平成 23 年度より共同研究の代表者外国籍の研究者になることを可能とし、国際化を図ることとする。ただし、主として事務的な困難さから研究費は国内でのみ使用可能とし、旅費も国内の移動のみに限る。また、計算機利用については無償で利用させていることから一定の制限をつけるものとした。

また、最近のプラズマ・核融合研究では、共同利用よりも共同研究の面に力点が置かれている場合が多い。そこでは共同研究者間の行き来が必要とされる。従来の共同利用の考え方は、核融合科学研究所にある設備を利用するために共同研究者は外部から研究所に来るという前提であった。そのため核融合科学研究所員が共同研究に出かけるというケースは想定されておらず所員への旅費が支給出来なかった。この制限を無くしたカテゴリーが一般共同研究の「相互交流型」であったが、双方向の研究者移動への要求は近年ますます高くなってきたため、平成 23 年度からは、一般共同研究の全てのカテゴリーを相互交流型とする。

さらに、複数の大学が連携する形で共同研究を実施したいという要請も現れてきた。例えば A 大学で作成した試料を LHD でプラズマ照射した後、B 大学の持つ装置で解析する、等のケースである。この時、研究者が A 大学と B 大学の間を行き来したいという要求が出るが従来こうしたケースは認めていなかった。出張の事実確認手続きが面倒になるからである。しかしながら一部の研究分野では要求が高いため、平成 23 年度には一般共同研究の新たなカテゴリーとして「ネットワーク型共同研究」を設け、ここで認められた課題については上記の研究者移動を認めようというものである。

2. 2. 3. 2 大型ヘリカル装置計画プロジェクト

大型ヘリカル装置(LHD)では、LHD 実験会議が中心となり、長期的なビジョンのもとに、中期計画に照らして、年度単位での目的・目標を定めている。これによりその年度の実験サイクルにおける実験課題の優先度を明確にし、実験グループメンバーに周知している。今年度(第14サイクル)で言えば(1)高イオン温度領域の拡大と関連する輸送物理、(2)改造ダイバータによる中性ガス圧縮の実証と詳細なデータ集積、(3)改造ICRFアンテナの特性評価、である。同時に、研究課題を評価する際のイニシアチブとして(1)プラズマ性能の拡大、(2)新たな発見(発見は計画できないが、論理的に緻密な計画となっていること)、(3)現象の法則化(相関関係から因果関係への同定へ)、これらを支える(4)計測及び理論モデルの精度の向上、を掲げている。

これらの前提に立ち、各研究課題を共通するテーマで分類し、それにマシンタイムを配分すると言う、テーマグループ制によって実験を遂行している。分類された研究課題のまとまりをテーマ枠と呼び、2サイクル毎(2年毎)に見直しをしている。平成22年度のテーマ枠は、11からなっており、研究の進展及びハードウェアの整備の進捗に応じて合理的に対応し、かつ、融通性、機動性が発揮できるように考えられている。大きくは、パラメータの拡大や新しく整備した基幹装置の効果を確認するための課題を担うミッションテーマ枠、新たな知見を開く物理テーマ枠、そして装置工学上の研究を行う工学テーマ枠からなっている。

平成22年度からはより効率的な実行を促すため、テーマ枠の中でも実験運転条件等について親和性・相乗性が高いものを組み合わせ、実際の実験遂行時には8件のテーマ実施グループとして当たるよう構成した。研究面では11のテーマ枠が各々の目的・目標、戦略を持って進める。このテーマグループ体制は、多様な提案に対して、合理的に実験を推進するためのものである。同時に、所外の共同研究者にも研究課題をより明確に把握していただき、実験への参加がより円滑に行われることを念頭に置いている。一方、計測機器、マシンタイム、実験条件等によっては、提案された研究課題が実行できない場合もあるため、所外研究者が新規に申請される場合、応募前に所内世話人と十分相談にできる体制を整えている。また、LHD実験の実施に責任を持つ「LHD実験会議」では、共同研究委員会での採択の参考となるように、申請書を事前検討し、実験可能であるか否か等のコメントを追記するようにしている。

テーマリーダーには、所外と所内の2人の方に共同リーダーとして当たっていただいている。所内・所外の共同研究者を問わず、全てのテーマ枠への参加の垣根はなく、研究者の発想に基づいて組織横断的に参加できるようになっている。研究テーマ課題の申請総数は、平成22年度は、244件で、そのうち所外からの申請は42件であった。所内研究者の多くは複数の研究課題を申請しているため、実験参加者に占める実効的な所外からの寄与は全体の3分の1程度となっている。

LHDの実験の実施計画は提案された研究テーマをもとに、LHD実験会議において策定している。LHD実験会議はLHD実験計画研究総主幹が主催し、メンバーは10名程度の実験責任者[LHDの実験を担当する研究総主幹、実験統括主幹、研究主幹及び実験遂行を主導する職務上の代理(以下、主幹代理)]、技術部長と5課長、核融合理論シミュ

レーション研究系研究主幹、安全衛生推進部長、そして所外の共同研究者と核融合研究コミュニティを代表する8名の所外の研究者からなっている。また、共同研究委員会をはじめとした所内の各種委員会との連携し、所の方針や規定に則って運営を行っている。

表 2.2.3-1 第14 サイクル（平成22年度）テーマグループ体制

| | テーマG | 実施G略称 | 共同リーダー | | サブリーダー | 担当実験責任者 | |
|---|--------------------------------|---------|--------|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | 所内リーダー | 所外リーダー | | 正 | 副 |
| 1 | 高密度プラズマとダイバータによる閉じ込め改善 | 高密度改善 | 森崎友宏 | - | 増崎貴 | 山田弘司 | 長山好夫 渡邊清政 |
| 2 | 高ベータ領域の拡大／MHD平衡と安定性 | 高ベータ | 鈴木康浩 | 長崎百伸(京大) | 榊原悟 | 川端一男 | 渡邊清政 田中謙治 |
| 3 | 高温定常プラズマ保持／波動加熱物理 | 定常・波動 | 熊沢隆平 | 出射浩(九大) | 伊神弘恵 | 武藤敬 竹入康彦 | 下妻隆 |
| 4 | 高温領域の拡大 | 高温 | 長壁正樹 | 村上定義(京大) | 高橋裕己 山田一博 | 竹入康彦 川端一男 | 居田克巳 下妻隆 |
| 5 | コアプラズマの熱・粒子輸送／LHDを用いた原子・分子過程研究 | コア・原子分子 | 田村直樹 | 稲垣滋(九大) | 村上泉 清水昭博 | 川端一男 | 居田克巳 田中謙治 |
| 6 | 周辺プラズマの物理とプラズマ・壁相互作用 | 周辺PWI | 秋山毅 | 大野哲靖(名大) | 芦川直子 | 山田弘司 竹入康彦 | 長山好夫 |
| 7 | 高エネルギー粒子の物理／波動加熱物理 | 高エネ・波動 | 磯部光孝 | 山本聡(京大) 出射浩(九大) | 斎藤健二 西浦正樹 | 武藤敬 | 下妻隆 長壁正樹 |
| 8 | 装置工学実験 | 装置 | カ石浩孝 | - | 濱口真司 | 今川信作 | 三戸利行 |

LHD 実験会議では、共同研究として採択されたものに加えて、所員や海外からの研究課題を募集し、テーマ枠や実行体制の再検討、所内研究課題の採否と割り振り、リーダー、サブリーダーの決定等を行う。この際、人材育成として若手の登用や理論との交流促進に配慮している。テーマ枠のリーダーはサブリーダーと協力して、担当するテーマ枠の研究課題を遂行するために実験計画を立て、LHD 実験会議にマシンタイムを要求する。LHD 実験会議は、最初に述べた優先度とイニシアチブに沿って全体的な整合性と合理性等に配慮して調整作業を行い、年間実験スケジュールを決定する。実験は、実験責任者が実験当日の安全や緊急対応に責任を持ち、テーマ枠のリーダーとサブリーダーがプラズマ放電条件の決定等に裁量と責任を持つことによって実施される。装置や実験条件の状況によって、前もって決められた年間スケジュール通りに実験を進められない場合には、LHD 実験会議において、所期の目標に照らし最も成果が上げられるように変更調整を行う。

共同研究の準備に当たっては、所内所外、国内国外の研究者を問わず、同一の規定が設けられている。特に真空に関わる計測機器等の取り付けを希望する場合には、必要な確認と許可を得る必要がある。このため「大型ヘリカル装置実験資料集」が http://www.lhd.nifs.ac.jp/lhd/databook_2009/LHD_technical_guide2009/ から閲覧及びダウンロードができるようになっている。また、種々の手続きはWEBを介して行えるよう整備されている。これらの手続きは通常、所外の共同研究者に代わって所内世話人が共同研究の一環として責任を持って代行している。

LHD では、遠隔地からの実験参加を可能とする手立ても講じている。SNET を用いて、データへのアクセス環境が LHD の制御室と同等な拠点を、これまで九州大学、京都大学、名古屋大学、広島大学、東京工業大学、東京大学、東北大学、筑波大学等に設けられている。また、双方向の環境を整備するため、多地点中継が可能な TV 会議システムを導

入し、制御室の情報だけではなく、テーマ枠別の研究打合せ等にも利用している。制御室の音声と画像や実験放電条件・実験条件記録等の情報はインターネットを介しても配信しており、SNET 環境を持たない共同研究者にも一方向ではあるが、実時間の実験情報の提供等を行っている。データへのアクセスもトークンと VPN を利用して、ユーザ登録者にはセキュリティを確保しつつ、所内と同じ環境となるように配慮している。また、共同研究成果についての論文等への研究発表は、事前登録、LHD 合同会合等での事前発表、LHD 実験会議における投稿承認を経ることを義務付けており、一連の手続きが容易かつ迅速となるよう WEB による仕組みが整備されている。

LHD のこれまでの成果は、海外の研究者を含めた外部評価によって「環状プラズマの総合的な理解を図る広範な学術研究が、プラズマパラメータの正確な測定を用いて、トカマクとの対比を考慮しつつ進展していることは、高く評価できる」とされ、また、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によるチェック・アンド・レビューでは「重点化後、優れた成果を上げ、着実に研究が進展している。パラメータ数値の向上のみならず、今後の課題として、学術分野での重要ターゲットの解明に向けた一層の努力が望まれる」との評価と提言を頂いている。また、国立大学法人評価委員会による中間評価での「イオン温度、密度、放電時間等核融合炉実現のために重要な諸パラメータの顕著な改善が得られ、核融合エネルギー開発を先導する学術の発展に貢献する成果を上げている」との評価も受けて、平成 22 年度からの第 2 期中期計画では「LHD の性能を最大限に発揮させ、ヘリカル方式の物理及び工学の体系化と環状プラズマの総合的理解に向け共同研究を活用し、学術研究を行う。このため、プラズマ制御、加熱及び計測機器の整備を進め、核融合炉を見通すことができる高性能プラズマを実現する。」こととしている。さらに、新しい段階としての重水素実験計画の準備・検討も進めている。今後の展開については、重水素実験開始前までに NBI、ECH、ICH の整備を進め、加熱電力の向上と安定供給により、高温、高密度、高ベータ、定常のミッションにおいて進展を図るよう取り組む。また、排気ポンプを有した閉構造ダイバータの設置を見込み、その準備としての粒子制御による閉じ込め改善と関連する周辺プラズマ物理研究をミッションに順じて行っていく。これらのミッションテーマと並行あるいはこれを補完、先行するために、各種の分布計測を更に充実させ、物理テーマにおいて精密な実験研究を進める。これらによって 3 次元でのプラズマ物理において世界を先導する成果を上げることを目指す。これらのビジョンに沿って共同研究がそのエンジンとなるよう、また共同研究を通じた学生等人材育成にも十分配慮できる実験計画の策定・遂行体制の強化を継続して進める。

2. 2. 3. 3 数値実験研究プロジェクト

本共同研究は、本研究所に設置されたスーパーコンピュータを中核とする「プラズマシミュレータ」を用いて行うもので、その全性能を有効活用することにより初めて可能となる研究課題として、核融合プラズマで発生する様々な物理現象の解明とその理論体系化を行うとともに、大型ヘリカル装置計画プロジェクト及び核融合工学プロジェクトとの協調の下、予測性を有するシミュレーションコード体系、ヘリカル数値試験炉の構築を目指した研究を行うことを主目的としている。

この共同研究では、国内外の大学・研究機関等のプラズマ核融合研究者に加えて、自然科学の各分野で展開されている様々な数値実験研究に関係する幅広い多くの共同研究者の参加を募っている。また、大規模シミュレーション研究に必要とされる最先端のスーパーコンピュータへの更新、高効率計算手法・利用技術の導入やその開発研究等の共同研究のためのシミュレーション研究環境の整備、さらには様々な講習会や教育講座等を通じてプログラム開発支援やシミュレーション科学の教育・普及活動を展開している。

現在のプラズマシミュレータは、総演算性能 77 テラフロップス、主記憶 16 テラバイトを有するスーパーコンピュータ HITACHI SR16000 を中核とするシステムとなっており、2012 年 10 月には、総演算性能 315 テラフロップス、主記憶 32 テラバイトを持つシステムへの性能向上を計画し、最先端の大規模シミュレーション研究の要望に応えるべく環境整備を進めている。また、プログラム開発支援室を設け、共同研究者がシミュレーションコード開発を行う際の様々な技術支援を常時行うことのできる体制を整備している。

物理課題としては、以下に掲げる研究所が提案するミッション型研究課題と並んで全国の共同研究者がシミュレーション研究を幅広く展開するため、以下の応募者提案型の研究課題を設けている。

① プラズマ流体平衡・安定性シミュレーション

LHDプラズマを中心とするトロイダルプラズマで観測される、プラズマの安定性、自己組織化現象、崩壊現象、磁気島の影響、ペレット溶発現象等のMHD現象の物理的機構の解明。

② 高エネルギー粒子シミュレーション

環状プラズマにおける、アルフベン固有モード等の高エネルギー粒子駆動型不安定性、核燃焼プラズマにおける高エネルギーアルファ粒子挙動と新古典輸送・両極性径電場形成、LHDにおけるNBI/ICRF加熱に関するシミュレーション研究。

③ 統合輸送シミュレーション

環状磁場閉じ込めプラズマの物理機構解明と体系化、及び3次元磁場配位における炉心プラズマパラメータをシミュレートする数値試験炉の一つのアプローチとして、理論モデルと経験則に基づく、巨視的観測量の全時間挙動予測を目指した統合輸送シミュレーションモデルの構築。

④ 流体乱流輸送シミュレーション

流体的描像に基づく理論及び数値シミュレーションによる、トロイダルプラズマの乱流輸送モデルの改善・拡張、輸送現象の理論体系化。

⑤ 運動論的輸送シミュレーション

ジャイロ運動論及びドリフト運動論に基づく、LHDをはじめとした磁場閉じ込めプラズマにおける乱流異常輸送ならびに新古典輸送現象の理論・シミュレーション研究。

⑥ 周辺プラズマ輸送シミュレーション

SOL、境界層プラズマ、プラズマの接する壁中で発生する現象を取り扱うことのできる「周辺プラズマ統合コード」の開発、及び、コアプラズマ領域を扱う「統合輸送シミュレーションコード」への結合を目指した研究。

⑦ プラズマ壁相互作用シミュレーション

ナノスケールでの分子動力学法と高エネルギー散乱効果を取り入れた拡張モデルを用いて、ダイバータ板の損耗、プラズマ不純物分子発生、炉壁表面での再堆積、水素同位体蓄積のメカニズムの解明。

⑧ 多階層複合物理シミュレーション

ミクロからマクロまで多階層の時空間領域、様々な複合的な物理過程を含むプラズマ現象の統合的な理解を目指してシミュレーション研究とそのための連結階層モデルや適合細分化格子法(AMR)をはじめとする高度シミュレーション手法の開発。

⑨ シミュレーション科学基盤

シミュレーション研究を進める上で基盤となる並列化手法等のスーパーコンピュータ利用技術、新しい計算技法、シミュレーション研究支援用周辺機器等の利用技術、科学的可視化技術の開発研究。

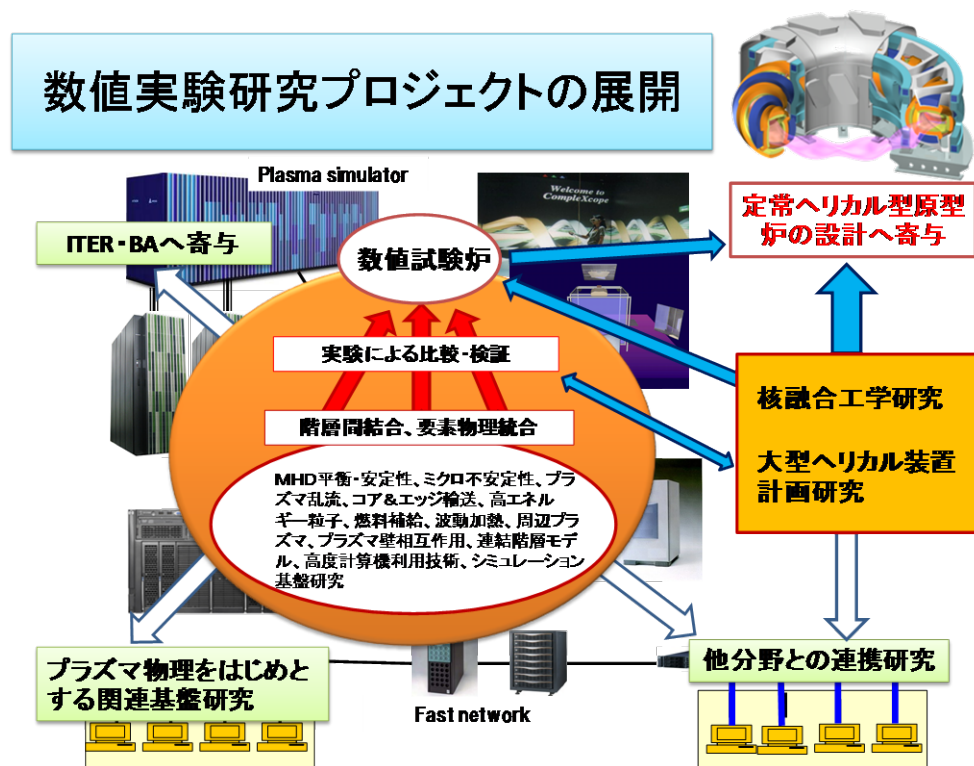


図 2.2.3-1 数値実験研究プロジェクトの展開

2. 2. 3. 4 核融合工学研究プロジェクト

(1) 長期目標と進め方

核融合工学研究プロジェクトでは、第1期中期目標・中期計画（2004～2009）を含むこれまでの工学関連研究成果を踏まえて、ヘリカル型核融合エネルギー原型炉に向けての概念設計、詳細設計と核融合エネルギー炉の製作に必要な工学研究を行う。また、国内外の共同研究と協力して研究の高度化を進めるとともに、基礎となる学際領域の研究拡充を図る。これらを第2期及び第3期中期目標・中期計画の長期ビジョンとして推進する。この場合、当該計画の目標と大筋での整合を図りつつ、大学等の広い分野との多様で自由な基礎研究を進めることによって、新しい展開の可能性や新しい企画の創出も併行して図る。従って、一般共同研究の進め方としては（1）炉設計研究、（2）超伝導システム研究、（3）炉内材料機器研究、及び（4）システム・環境安全研究、の4つのサブカテゴリーに区分して、研究の方向性と分担を明確にしつつ、各サブカテゴリーの中ではできるだけ広範で多様な共同研究が組めるようにする。以下に当該研究プロジェクトの概要を示す。

(2) サブカテゴリーの目標

ヘリカル方式はプラズマ電流を必要としないため、定常炉として成立するための優れた特性を持っており、このことを十分に生かした設計が重要となる。具体的な活動では、超伝導コイルシステムの最適な構造を探るための研究や、長寿命で効率の良いブランケットや第一壁とそのための冷却方式の検討等を、炉心設計との高度な整合性を図りながら、経済性も評価しつつ進める。

核融合エネルギー炉の大規模超伝導マグネットシステムには、100kA 級の大電流高性能超伝導導体が要求される。そこで、金属系低温超伝導材料や酸化物系高温超伝導材料等の線材を最適に組み合わせた大電流導体の研究を行う。また、極低温、強磁場や中性子照射等による超伝導マグネット材料の特性の研究を実環境試験によって進める。一方、核融合装置の大型超伝導コイルでは、巻線導体やコイル容器に巨大な電磁力が印加される。電磁力によって材料にかかる応力を正確に評価し、安全に支持する構造の研究を進める。併せて、超伝導マグネットシステムの巻線と製作方法についての工学研究を進める。

ブランケットに用いる構造材には、中性子照射によって生じる誘導放射能の減衰が早い材料（低放射化材料）を用いる必要がある。代表的な候補材である低放射化バナジウム合金共通材料やフェライト鋼の耐熱被覆材等を製作し、大学と協力してその特性評価とコンポーネント開発に向けた試作研究、高温下強度特性のさらなる改良に向けた基礎研究等を進める。

核融合エネルギー炉では、中性子遮蔽と発電のためのエネルギー取り出し及び燃料増殖の3つの主機能を担うブランケット研究が必要である。熔融塩や液体金属を用いる先進的な液体増殖ブランケットでは、長寿命化による炉の稼働率向上や保守交換を考慮した材料の高温強度や腐食の制御が最重要課題である。エネルギー輸送や増殖燃料回収等、伝熱流動下での物質輸送制御に関する要素研究、さらにはこれらの複合した循環ループ実験研究等が必要であり、そのための技術研究や設計研究を進める。

ヘリカル型核融合エネルギー炉のダイバータでは $10\text{MW}/\text{m}^2$ の定常熱負荷が想定されており、超高熱負荷仕様のヘリカルダイバータが必要である。重要な要素研究として特に、「材料の選定」、アーマータイルと冷却系間の「接合技術開発」、「3次元形状の設計検討」の3項目が挙げられる。ダイバータ試作材への熱負荷試験と、コンピュータによる熱解析を相補的に実施することで、これら3項目の最適化に向けた研究を進める。

核融合エネルギー炉では、重水素とトリチウムが燃料として使用される。トリチウムは放射性物質であり、安全に管理する必要がある。トリチウム管理技術として、トリチウム除染や、漏洩トリチウムの回収除去等の研究を進める。また、放射線管理の観点から、微量トリチウム検出器の研究も進める。

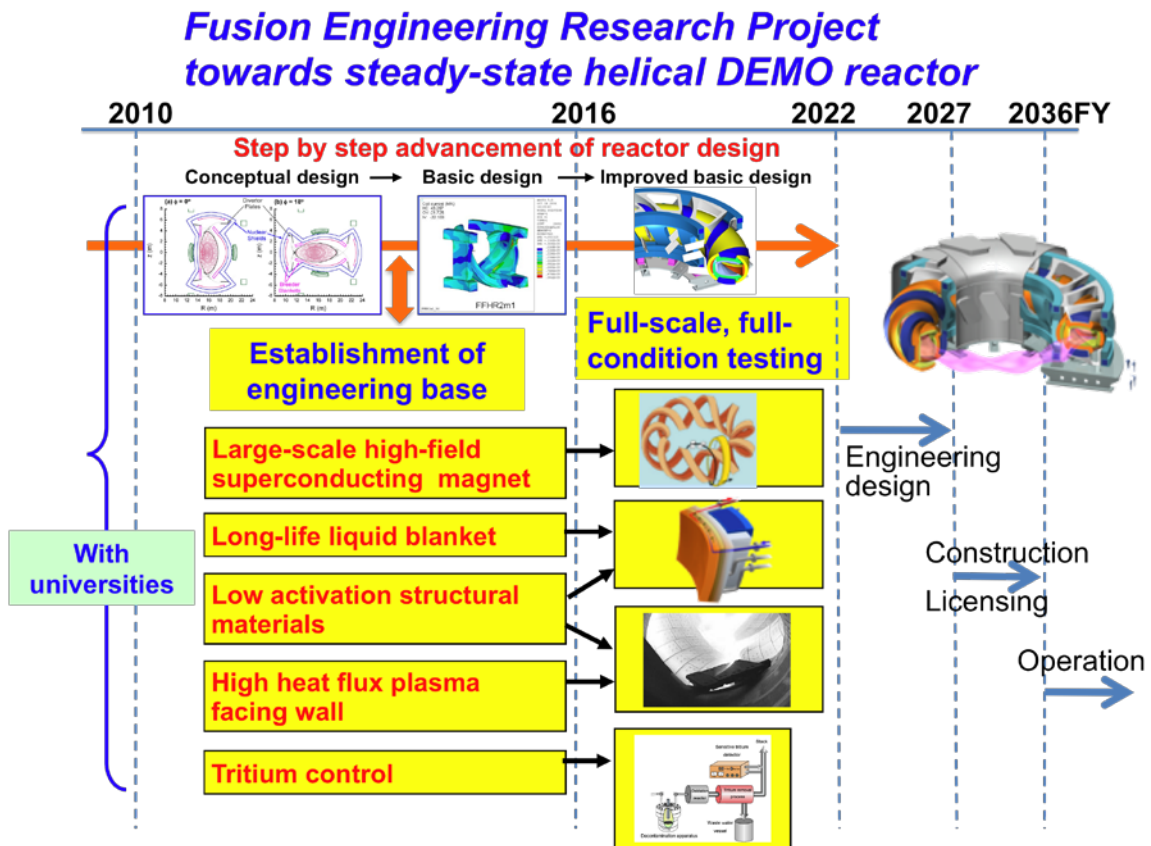


図 2.2.3-2 核融合工学研究のロードマップ

3. 国際共同研究

核融合科学研究所は、政府間の協定に基づく国際共同研究として、日米科学技術協力事業、日韓核融合協力事業、日中協力事業の実施を請け負うとともに、国際エネルギー機関（International Energy Agency: IEA）の多国間実施協定として、テキサトール協定、ステラレータ協定、球状トーラス協定の3協定を実施している。また、海外の15研究機関と学術交流協定等を締結することにより、国際的な学術交流活動の幅広い展開を実施するとともに、自然科学研究機構の連携活動を通じて、国際的研究拠点形成への取り組みを推進している。また、建設段階に入った ITER・BA 活動への国際的な貢献として、日本原子力研究機構と連携して JT60-SA 超伝導マグネットの共同開発、特性試験の実施や、ITER 建設の具体的な工学課題に対する受託研究契約を ITER 機構と締結してその解決に協力するとともに、専門的な知識を必用とする国際的な技術評価委員として貢献している。さらに、ITER の物理課題について議論する国際トカマク物理活動（ITPA）への積極的な参加を推進・支援している。

3. 1 政府間レベルの協定に基づく国際共同研究

3. 1. 1 日米協力

本事業は昭和 54 年（1979 年）5月に締結された政府間協定に基づく事業であり、核融合分野における我が国の大学、原子力研究開発機構（JAEA）や核融合科学研究所（NIFS）等の研究機関の研究者が分担する課題に関し研究者派遣、招聘を行っている。活動は核融合炉工学、核融合物理分野、核融合理論共同研究（JIFT）の研究者交流・ワークショップ、共同プロジェクトとしての「磁場及び慣性核融合炉システムにおけるトリチウム・熱流動制御:TITAN（Tritium, Irradiation and Thermofluid for America and Nippon）」計画（後述）や安全巡視等に分類される。現在、日米エネルギー協力協定は失効中であるが、米国側も日米科学技術協力の重要性を重く認識しており、核融合分野の研究協力は文部科学省、米国エネルギー省（DOE）を始めとして日米双方の努力により、高いレベルで維持されてきている。その努力の一環として、核融合科学研究所と米国の代表的な研究所との間の研究所間協定（NIFS-PPPL, -IFS, -ORNL, -UCLA）を新たに締結することにより研究協力活動を円滑に行っていること等が挙げられる。そのような努力もあり、本年 2010 年、日米科学技術協力事業は 30 周年を迎えた。韓国で開催された IAEA 核融合エネルギー会議の期間中の 2010 年 10 月 13 日に本事業の最高意思決定機関である日米核融合調整委員会（CCFE）が開かれ、日米双方の出席者により日米科学技術協力 30 周年を祝った。また、日米科学技術協力 30 周年記念報告書を 2010 年度内には出版することを確認した。核融合科学研究所所属のキーパーソンが中心となって、報告書編集作業に取り組んでいる。この記念報告書では活動概要とともに特筆すべき研究成果のハイライトを各分野で 10 件程度紹介し、また日米科学技術協力活動により挙げられた研究成果を公表した論文リストが添付される。

ITER 時代を迎え、ITER では十分に行えない課題があることから、日米協力によりそのような課題をカバーすべきであることを日米双方で認識しており、今後、一層協力事業を推進して行く計画である。

(1) 目的・意義

本事業は先に述べたように、エネルギー及びこれに関連する分野における研究開発のための協力に関する日本政府とアメリカ合衆国政府との間の協定に基づいて開始したものであり、日本と米国が相互利益のために核融合研究開発を行うものである。核融合研究の進展に貢献するとともに、日米双方の学術研究を促進し、同時に若手育成を行うことも重要な機能である。

(2) 実施体制

日本国内の実施体制の中核として日米科学技術協力事業核融合分野研究計画委員会（以下、「日米研究計画委員会」という。委員長は核融合科学研究所長、ほか委員は所内 5 名、所外 10 名から構成されている）が設置されている。本事業の研究計画は年度毎に公募される。応募された研究計画は日米研究計画委員会で審査、全体計画を立案し、日米の事務局会合（ESM）を経て上述の CCFE で最終決定される。

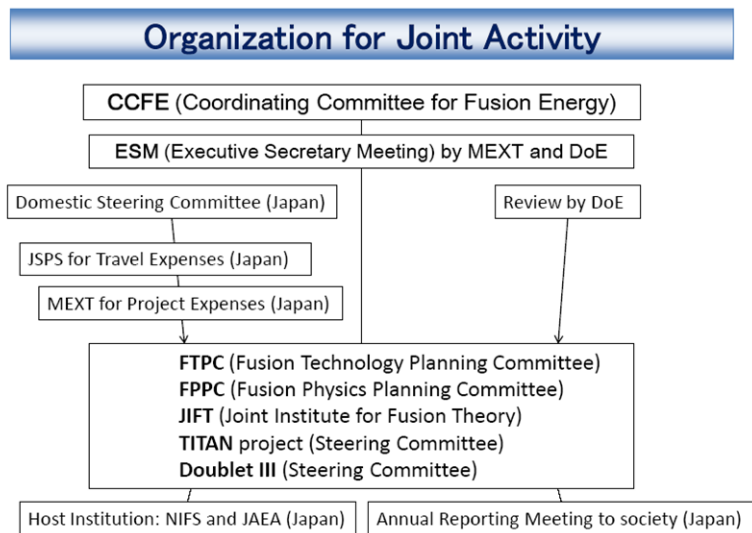


図 3. 1. 1-1 日米協力実施体制

(3) 組織の運営

核融合炉工学、核融合物理分野、核融合理論共同研究（JIFT）のそれぞれの分野毎に、大学等からの協力を得てキーパーソンを配置し、計画の立案段階から米国担当者との打ち合わせまで、共同研究や研究者交流に十分な実施効果が上がるように配慮している。研究旅費は日本学術振興会から手当てされ、共同プロジェクト遂行に必要な研究経費は運営費交付金基盤経費により手当てされている。

研究課題は日本側については、日米研究計画委員会により公募、採択審議がされており、透明性の高い運営が行われている。協力事業の公募案内、協力事業報告会、事業内容、安全情報、問合せ先（キーパーソン）等についての必要な情報は、NIFS ホームページの国際共同研究欄において公開している。各年度の日米協力事業の公募案内は、公募締め切りまでに十分な時間が取れるように配慮している。これによって各協力分野のキーパーソン及び日米間での調整が可能なように配慮している。日米研究計画委員会において採択された結果をもとにして、開始年度前の 3 月頃に ESM において調整・確認を行い、この結果を CCFE で確認し、最終決定を行っている。これら運営において NIFS が主導的な役割を果たしている。

JIFT では、JIFT 運営委員会を組織し、日本側共同議長及び幹事の活動を通じて、具体的な JIFT 活動の立案、調整、実施状況の確認、各種支援活動を行う等、JIFT 計画の全体の推進に貢献している。

共同プロジェクトの TITAN 計画は、「磁場及び慣性核融合炉システムにおけるトリチウム・熱流動制御」というテーマで、核融合炉の第一壁、ブランケット、熱交換・トリチウム回収系各要素に跨るトリチウム移行と熱流動のメカニズムを、核融合炉特有の条件下で明らかにすることを目的としている。また、統合モデルの構築を通じて、代表的な候補の液体ブランケットシステムのトリチウム増殖、漏洩、インベントリー、熱回収性能等の評価を行い、核融合炉の第一壁・ブランケット開発に向けての今後の重点的な取り組みに向けて必要なデータベースを得ることを目指している。本計画を円滑に進めるために、運営委員会を設置している。運営委員会のメンバーは、日米の代表者とコーディネーターであり、これにタスク毎の日米担当者及び参加研究者を加え、実施体制が構築されている。年1回運営委員会が開かれ、当該年度活動の報告と評価、次年度以降の計画、予算等を日米合同で審議する。国内における進め方は、代表者、コーディネーター、タスク担当者、及び参加研究者が一堂に会する「TITAN 計画国内会議」が年2回行われ、各タスクの研究成果と計画、各派遣・受け入れ、及びワークショップの成果と計画について審議を行っている。

(4) 評価と改善の仕組み

計画実施責任者は、事業の終了後に成果報告書を提出するとともに、年度末に公開で行われる成果報告会において口頭での報告を行っている。各々の分野のキーパーソンは報告会に出席し、NIFS 顧問とともに報告書及び口頭発表の内容をもとに各事業に対する評価を行っている。報告会には、更に名誉教授にも出席を依頼し、広い視点からのコメントを頂き、次年度以降の公募、審査に関しての改善のための指針としている。また、成果報告書を冊子体で印刷及び CD-ROM により、広く配布を行っている。

評価と改善のための取り組みとして日米研究計画委員会では、カテゴリーの内容、公募の方針等について審議し次年度の公募に反映している。

本事業では、日米双方の特色ある実験装置を利用した協力研究が行われているが、このような国際協力では、協力事業実施者の安全の確保が日米双方にとって特に重要である。そのため、NIFS は日米安全巡視活動の窓口機関として全国の大学及び研究機関と連携して安全巡視を主導している。2年おきに着実に実施し、毎回冊子体の報告書を出版し、安全巡視での指摘事項とその後の改善結果を関連研究者に広報している。直近では 2010 年に日本側が米国施設を巡視した。日米安全巡視活動では国情の違いに配慮しつつ、実質的な安全の確保を図るよう努力を行っている。

(5) 研究活動と研究成果

本事業活動による成果は毎年3月上旬に開かれる日米科学技術協力事業核融合分野報告会（参加者数：100名規模）で報告され、その内容は報告書として冊子体及び CD-ROM で毎年出版されている。TITAN 計画の成果は日本原子力学会、プラズマ・核融合学会、日本金属学会、核融合エネルギー連合講演会等の国内学会大会や、ICFRM（核融合炉材料国際会議）、ISFNT（核融合炉工学国際シンポジウム）、TOFE（核融合エネルギー技術に関するトピカル会議）等の国際会議において継続的に報告されている。直近の

TOFE（平成 22 年 11 月 8-11 日）では、TITAN に関連する研究が全体の発表の 18%を占め、ブランケット・炉内機器・炉設計のセッションにおいては 41%を占める等存在感を示している。また、ホームページ、学会誌その他への寄稿により、共同研究計画の目標、概要、実施状況の広報、周知をはかり、広く参加者が応募できる措置を取っている。TITAN においては、日米科学技術協力事業・核融合分野の成果発表会にて毎年報告するとともに、関連学会や国際学会にて、サブタスク毎の発表、及び全体レビュー報告を積極的に行っている。

本事業活動全体について、ワークショップ実施数は従来 100 件を超えるレベルである。2009 年度には 100 件を下回ったが、これは旅費予算の削減が主たる理由である。研究者派遣実施数の最近の漸減も同じ理由である。この状況でも共同研究のレベルを高く維持するよう、研究打ち合わせや委員会を一部テレビ会議により行うこと等工夫をしている。プロジェクト経費の予算減少もあり、これに対応するため、実施テーマ数を絞って計画を進めている。このような活動を通じて、表 1 に示すように年間 100 件程度の多くの成果が論文公表されており、これに加えて、招待講演等国際会議への貢献も大きい。本事業活動は若手研究者育成や博士課程の学生の教育にも貢献しており、特にプロジェクト研究である TITAN 計画に関連した研究において、2007 年 9 月から 2010 年 9 月までの 3 年程度の短期間に 8 名の博士号取得者を出し、2011 年 3 月にも 3 名を予定しており、JIFT でも 2007 年から 2010 年までに 5 名の大学院生・ポスドクの研究に寄与する等、教育への貢献度の大きさが明確に示されている。

（6）今後の進め方

日米科学技術協力の重要性は日米双方ともに重く認識しており、失効中の政府間協定の再締結を行い、国レベルの協力活動として推進する。また、ITER 時代を迎え、高ベータプラズマの定常運転や材料開発等、ITER だけでは十分に行えない課題があることから、日米協力によりそのような課題をカバーすべきであることを日米双方で認識しており、今後、一層協力事業を推進して行く。

2010 年、日米科学技術協力事業は 30 周年を迎えた。韓国で開催された IAEA 核融合エネルギー会議の期間中の 2010 年 10 月 13 日に本事業の最高意思決定機関である日米核融合調整委員会（CCFE）が開かれ、日米双方の出席者により日米科学技術協力 30 周年を祝うとともに、日米科学技術協力 30 周年記念報告書を 2010 年度内に出版することを確認した。さらに、30 年間のレビューを行い、次期計画の方針について議論した。

| | 2007 | 2008 | 2009 |
|--------------|------------|-----------|------------|
| FTPC | 5 | 4 | 11 |
| FPPC | 65 | 59 | 46 |
| JIFT | 11 | 11 | 14 |
| TITAN | 20 | 18 | 36 |
| TOTAL | 101 | 92 | 107 |

表 3.1.1-1 学術誌における論文発表数

FTPC: Fusion Technology Planning Committee

FPPC: Fusion Physics Planning Committee

JIFT: Joint Institute for Fusion Theory

TITAN: Tritium, Irradiation and Thermofluid
for America and Nippon

日米研究計画委員会では、毎年、事業分野の内容、公募の方針等について審議し、次年度以降の公募に反映している。この仕組みを今後も維持し、評価と改善を行って、事業を円滑に実施して行くものとする。

個々の分野では、以下のような方針・計画である。

- 2013年3月終了となる TITAN 計画の次期計画を審議する小委員会を研究計画委員会の中に立ち上げ、選定に向けた審議を開始する。
- 年1回、JIFT 運営会議を開催するほかに、必要に応じて臨時拡大運営会議や JIFT 検討会議を開き、今後の運営方針や長中期計画に関する議論を進めてきた。その結果、JIFT 活動の1カテゴリーである日米高速専用ネットワークを利用した「計算機共同研究プロジェクト」は、日米協定のデータリンクageに関する付属書の失効に伴い廃止とし、共同研究としては、他の2つのカテゴリー（ワークショップと研究者交流）の中で、継続するものとした。

(7) 研究成果例

日米協力で、実施された共同研究成果の例を、JIFT と TITAN について示す。

JIFT では、テキサス大学核融合理論研究所と核融合科学研究所との共同研究として「磁場閉じ込めプラズマ中のドリフト波乱流のジャイロ運動論的シミュレーション」を実施し、スラブ ETG 乱流シミュレーションで得られた静電ポテンシャルと電子温度揺動のカラー等値図 (図 3.1.1-2) 乱流状態 (左) から、渦列が整った構造が自発的に作られるとともに乱流輸送が大きく低減することが見いだされた。この共同研究は、現在、トカマク及び直線型磁場閉じ込め装置における ETG 乱流とゾーナルフローの研究へと発展している。

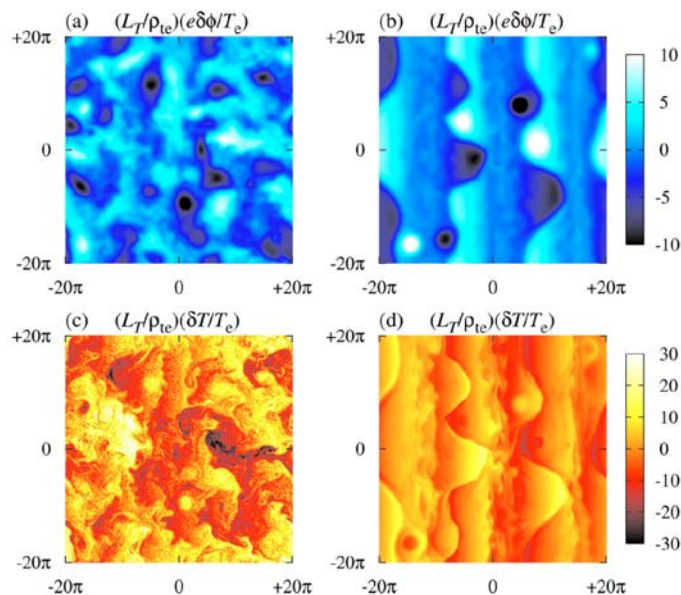


図 3.1.1-2 Potential [(a) and (b)] and temperature [(c) and (d)] fluctuations found in the slab ETG mode simulation during turbulent [(a) and (c)] and quiescent [(b) and (d)] phases. M. Nakata, T.-H. Watanabe, H. Sugama, and W. Horton, Phys. Plasmas 17, 042306 (2010).

TITAN では、大阪大学、九州大学、名古屋大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校の共同研究として、プラズマ表面相互作用研究装置 (PISCES) において、Be/He/D 混合プラズマをタングステンに照射し、表面混合層の形成機構と D 蓄積の関係を研究し、D プラズマに Be を混合することにより、表面損傷が抑制されることを発見した (図 3.1.1-3)。富山大学、静岡大学、オークリッジ国立研究所、アイダホ国立研究所の共同研究として、中性子照射 W からの重水素の昇温脱離スペクトルを世界で初めて観測し、中性子照射材からの脱離スペクトルは、非照射材及びイオン照射材と比べ、より高温まで脱離が継続している、という明らかな特徴が見られた (図 3.1.1-4)。京都大学、北海道大学、カリフォルニア大学サンタバーバラ校、オークリッジ国立研究所の共同研究として、先進構造材料の接合技術として摩擦攪拌接合法を採用し、酸化物分散強化 (ODS) 鋼において、使用温度で接合部の強度がほとんど劣化しないことが確認された (図 3.1.1-5)。

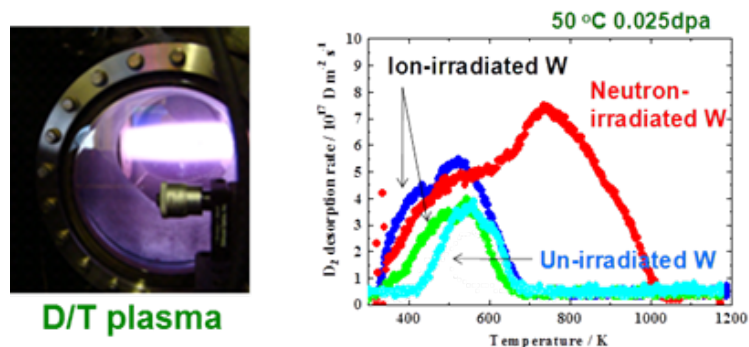


図 3.1.1-3 Surface damage by D/Be/He mixed plasma.

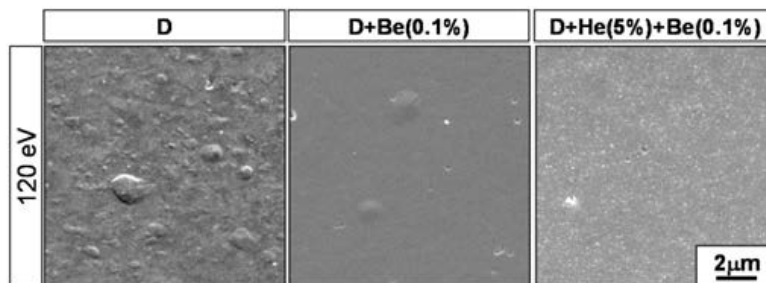


図 3.1.1-4 Deuterium plasma irradiation on neutron-irradiated W.

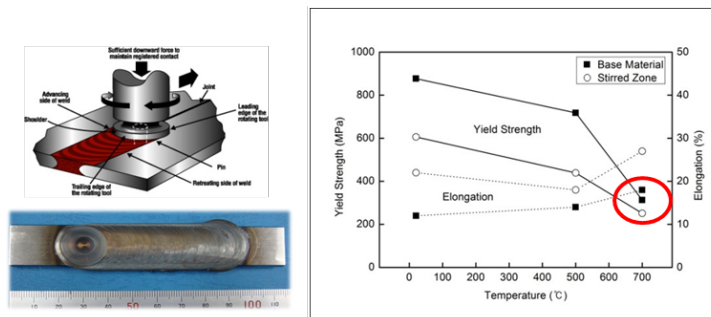


図 3.1.1-5 Friction-stir welding of advanced low activation materials (ODS) for Irradiation in HFIR.

3. 1. 2 日韓協力

日韓核融合協力事業は両国の政府間の核融合開発に関する協力協定に基づき始められている。その内容は ITER 協力、KSTAR 協力、人材育成協力、そしてワークショップや研究者派遣等の人的交流協力がある。

年に一度、両国の政府関係者と主な研究所代表者からなるコーディネーター会議が相互の会場で行なわれ、前年の活動の評価と次年度の計画の議論と承認が行なわれ、協力活動が実施されている。このような形態を取っているために、毎年効率的な評価と長期的計画が再考された後に協力事業が実施されている。

日韓核融合協力事業研究計画委員会（委員長：核融合科学研究所所長、所内委員 4 名、所外委員 5 名）を組織し、研究課題の公募、採択審議に主導的な役割を果たしている。年度末には成果報告会を開催し、採点方式の評価を行い、次年度の課題の採択の参考とし、事業の改善に当たっている。

【交流実績】

年間の人的派遣交流は相互に約 50 名から 70 名程度となっており、活発な研究協力と情報交換が行なわれている。特に韓国核融合科学研究所 (NFRI) の KSTAR 装置は、核融合科学研究所の LHD と同じく超伝導磁場コイルを持つ定常運転可能なトロイダル装置であり、計測装置、高周波加熱装置等の分野で本研究所や大学関係者との緊密な研究協力が行われている。

プラズマ計測に関する KSTAR 協力では、核融合科学研究所において高い研究実績を有するボロメータ計測、エッジトムソン散乱計測、電子サイクロトロン放射計測器の整備において研究協力を実施し、KSTAR 研究計画の速やかな実験立ち上げに貢献している。

また、若手研究者の教育と人的交流を図る目的で日韓両国の大学院生を主体とする「先進プラズマ計測に関する日韓セミナー」を、日韓双方で 2 年毎に大学、研究機関との協力により実施している。2008 年に第 4 回の日韓セミナーが韓国浦項工科大学において、2010 年の第 5 回は九州大学において開催され、約 80 名規模の参加者による活発な議論と研究交流が行われた。

高周波加熱に関する協力では、KSTAR の ICRF システムと ECH システムの開発と調整について研究協力を行い、KSTAR 立ち上げ時のトカマク運転成功に貢献した。また、NBI 加熱のための運転協力で核融合科学研究所からエキスパートを派遣した。

上記の他、核融合の広い分野でワークショップ開催や研究者交流を行っており、年間のワークショップ開催は約 10 件、人的交流は約 150 から 250 人/日に達している。

日韓協力の成果として、2005 年から、論文 24 編、国際会議 1 件、国内学会 1 件の研究が発表されている。

【今後の方針】

現在、日韓核融合協力事業研究計画委員会を組織し、研究課題の公募、採択審議、成果の公表を行っているが、これを更に充実させ、事業を進展させる。協力の方針、方向、大枠等は、同委員会で、評価や必要性を踏まえて議論し、決定している。本事業の 4 つ

の分野と各分野における事業内容は、特に議論がなければ、現状のままで進める予定である。

本事業の中心となる KSTAR・LHD・JT60 分野では、次のようなことを行う方針・計画である。

- KSTAR の計測関係の協力では、計測装置の建設時に共同研究を行った、ボロメータ、ECE 計測、エッジトムソン散乱計測の精度の高いデータ取得へ向けて協力を行ない、合わせてプラズマ実験の共同研究を行うのが適切である。KSTAR で得られる知見は、トロイダルプラズマの閉じ込めを総合的に理解する上で重要であり、我々核融合科学研究所の研究目的に合致する。この国際協力が核融合科学研究所にとっても実りあるものとなる。
- プラズマ実験の実施に当たっては、有用な人的協力をを行い、質の高い実験が実施できるよう協力するのが適切である。そのために今年度から設けられた客員実験コーディネーター制度を活用し、これに継続して核融合科学研究所の研究者を派遣するものとする。
- 今後協力できる課題として、高周波加熱実験への協力を進める。LHD の豊富な経験を生かして、イオンサイクロトロン共鳴加熱 (ICH) と電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECH) による KSTAR プラズマパラメータの向上と閉じ込め改善に貢献するものとする。同じ定常運転装置であり、長パルス運転は共通であるので、両装置での経験は LHD や将来のヘリカル装置での加熱物理の理解と加熱装置開発にも有益である。

【これまでの主な成果】

1. プラズマ計測に関する KSTAR 協力

1) 国際共同研究の目的

2004 年に日韓の政府間で締結された日韓協力にもとづいて、韓国、大田市の韓国国立核融合研究所 (NFRI) の超伝導トカマク装置 (KSTAR) の計測開発、整備に関する研究協力を行うものである。特に、核融合科学研究所において、これまでの高い研究実績を有する下記の 3 つの計測器を中心として研究協力を実施してきた。これによって KSTAR 研究計画の速やかな実験立ち上げに貢献するとともに、日韓の核融合分野における研究協力を一層発展させるものである。

- ① ボロメータ計測： 核融合科学研究所において開発を進めてきたイメージングボロメータの KSTAR 装置への適用を進める。その較正のために抵抗型ボロメータを併用する。
- ② KSTAR エッジトムソン散乱計測器： 核融合科学研究所の大型ヘリカル装置のトムソン散乱計測に使用しているポリクロメータと同種の仕様ものを KSTAR の周辺プラズマ計測用に最適化し、その整備に協力する。なお、計測用 YAG laser 発振装置は日本原子力研究開発機構が担当する。
- ③ 電子サイクロトロン放射計測器： KSTAR 装置の電子サイクロトロン放射計測装置の整備に協力する。
- ④ プラズマ計測に関する日韓セミナーを、日韓双方において定期的で開催することによって、両国の大学院生を主体とする若手研究者の教育と人的交流を図る。

2) これまでの成果

2009年度後半のKSTAR第2実験サイクルにおける計測開始を目標に、1) 抵抗性ボロメータ計測システム、2) YAGレーザートムソン散乱計測用ポリクロメータ(計測開始目標は2010年度)、3) 電子サイクロトロン放射計測器の整備に向けて、年度の初めにNFRIにおいてKSTAR計測協力会議を開催してきた。日韓双方合わせて10名以上の研究者が参加し、前年度の日韓双方における進捗状況及び当該年度の実施計画の打ち合わせを実施し、KSTARの実験計画に合わせる形で計測機器の製作、整備を進めてきた。抵抗性ボロメータ及び電子サイクロトロン放射計測器は、核融合科学研究所において調整後、2008年8月にNFRIに移送しKSTAR装置に予定通り取り付けを完了した(図3.1.2-1, -2)。2009年10月からのKSTAR第2実験サイクルにおいてプラズマ計測の開始に成功した。図3.1.2-3に典型的な放電波形と2つの計測システムによる測定信号を示す。KSTARの初期実験において重要な計測データを提供していることが判る。トムソン散乱計測用ポリクロメータは、予定通り2009年8月にNFRIへの移送完了し、2010年の第3サイクル実験前にガス散乱による較正実験データを取得した。



図 3.1.2-1 (a) 抵抗性ボロメータ導入部 (b) 抵抗性ボロメータの増幅器及び制御回路



図 3.1.2-2 KSTAR装置に取り付けたヘテロダインラジオメータ装置

2009 KSTAR Target Plasma Achievement (2009. 11. 18)

Achieved parameters (target value)

- Plasma current : 320 kA (> 300 kA)
- Flattop : 1.4 s (> 1 s)
- Pulse length : 3.6 s (> 2s)
- Shot # 2048
- Date : 2009. 11. 18
- ECH : 110 GHz, 250 kW, 2.5s

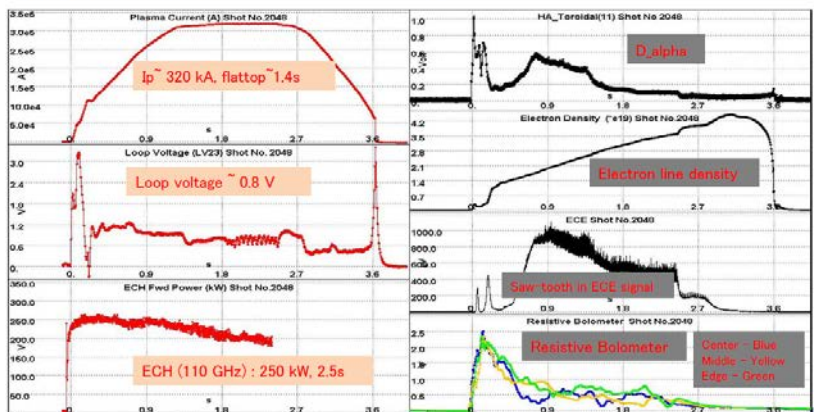
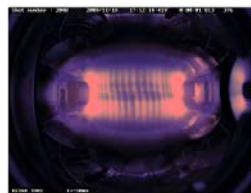


図 3.1.2-3 KSTAR 第2実験サイクルにおける典型的な放電波形と測定データ抵抗性ボロメータとECE計測のデータが主要な計測データとなっている。

2. プラズマ加熱に関する KSTAR 協力

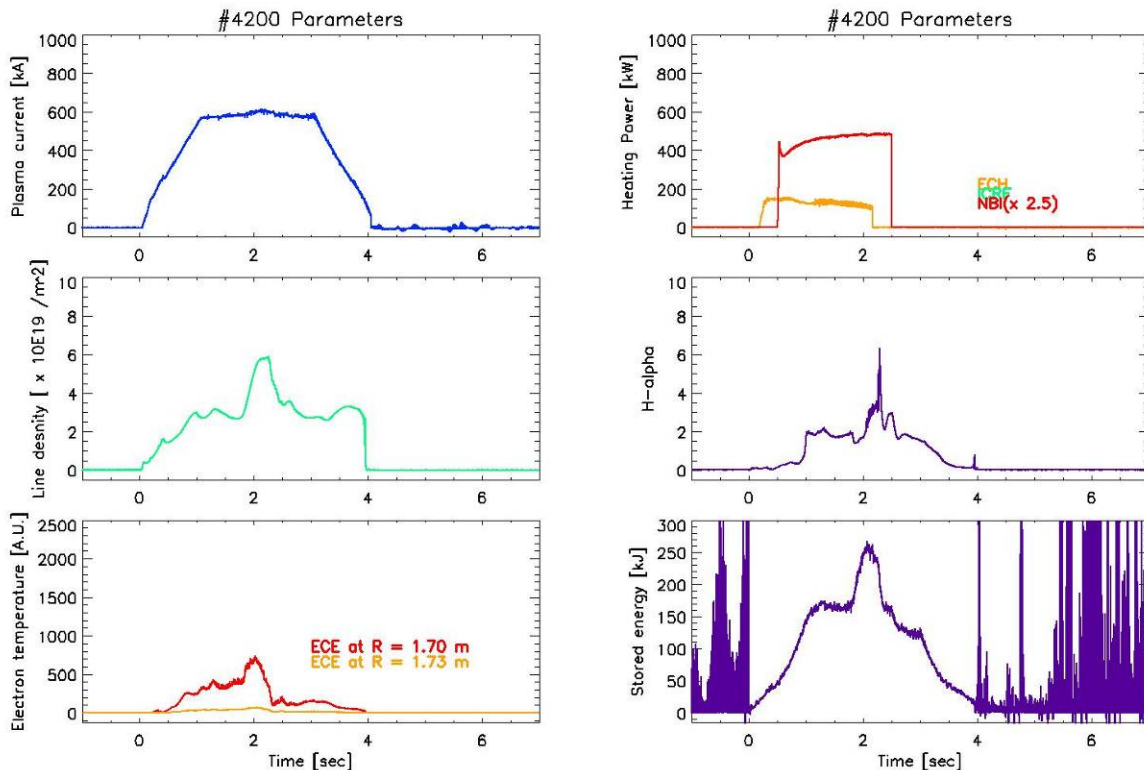
日韓協力事業において、KSTAR の ICRF システムと ECH システムの開発と調整について研究協力を行ってきた。また、最近では KSTAR の立上げ時の ECH 入射と初期の ICRF 加熱実験に参加し、KSTAR プラズマのスタートアップに協力するとともに ICRF 加熱システムの効率化に協力を行ってきた。

具体的には、ジャイロトロン運転の最適化、ジャイロトロンのコンディショニング、伝送系の性能評価、入射電力の評価、入射偏波の確認を共同研究として行ない、KSTAR の予備電離プラズマの生成と加熱によるトカマク運転の実現、単純トーラス磁場配位における第二高調波予備電離を行なった。これにより単純トーラス磁場配位からトカマク磁場配位への移行が可能になり、初期の KSTAR のトカマク運転の成功の鍵となった。

ICRF 加熱はバルクプラズマ加熱及び on-axis や off-axis 電流駆動が当初からの目的であり、300 秒までの長パルス運転を計画している。2009 年まではダイバータやプラズマ対向面の準備が不十分で、ICRF 加熱はプラズマ立上げ補助として放電洗浄に主に使われ、2010 年以降に磁場増強とダイバータ配位の D shape 化が可能になった後に本格的に加熱実験が始められる予定で、そのための準備活動に協力を行ってきた。また NBI 加熱のための運転協力にも NIFS からエキスパートを派遣している。

KSTAR プラズマ実験の 2010 年の成果を図 3.1.2-4 に示す。

11. 08. 2010



☒ 3.1.2-4 First Transition to H-mode in KSTAR, $B_0 = 2.0$ T, Heating = 1.5 MW (NBI : 1.3 MW, ECH : 0.2 MW) after Boronization on 2010. 11. 07.

3. 人的交流のまとめ

KSTAR と LHD との間の実験協力を軸に交流が実施されているが、他に広い分野でもワークショップや研究者派遣が行なわれており、年間のワークショップ開催は約 10 件、人的交流は約 150 から 250 人/日に達している。平成 21 年度の人的交流の実績を表 3.1.2-1 に示す。表中で括弧に入った数字は前年度に立てられた計画時の数字であり参考値である。

表 3.1.2-1 日韓協力事業での人的交流のまとめ（平成 21 年度）

| Categories | | Directions | Times | Number of People | Remarks (M×D) | |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------|------------------|---------------|----------|
| Overall Planning | | JA → KO | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | |
| | | KO → JA | 2 (2) | 12 (12) | 36 (36) | |
| KSTAR Collaboration | Dispatch | JA → KO | 10 (5) | 20 (6+) | 76 (40+) | |
| | | KO → JA | 6 (7) | 12 (8+) | 52 (75+) | |
| | Workshop | JA → KO | 3 (7) | 13 (24+) | 52 (64+) | |
| | | KO → JA | 1 (1) | 6 (6) | 30 (18) | |
| Other Human Resource Development | Workshop | Plasma-Fusion Physics | KO → JA | 1 (1) | 4 (6) | 12 (18) |
| | | Fusion Engineering | JA → KO | 1 (2) | 1 (7) | 7 (31) |
| | | | KO → JA | 6 (2) | 28 (12) | 107 (54) |
| | | Theory | KO → JA | 1 (1) | 7 (8) | 21 (24) |
| | | ITER Technology (SC Magnet) | JA → KO | 1 (1) | 1 (2) | 1 (8) |
| | | | KO → JA | 2 (1) | 4 (2) | 6 (8) |
| | | ITER Technology (FW/Blanket) | JA → KO | 0 (1) | 0 (3) | 0 (6) |
| | | | KO → JA | 0 (1) | 0 (3) | 0 (6) |
| | | ITER Technology (Tritium) | JA → KO | 0 (1) | 0 (3) | 0 (9) |
| | | | KO → JA | 0 (1) | 0 (5) | 0 (10) |
| | ITER Technology (Diagnostics) | JA → KO | 1 (1) | 3 (3) | 12 (12) | |
| | | KO → JA | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | |
| | Dispatch | Theory | JA → KO | 1 (1) | 4 (1) | 4 (7) |
| | | | KO → JA | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) |
| ITER Technology (FW/Blanket) | | KO → JA | 0 (1) | 0 (1) | 0 (26) | |
| ITER Technology (Tritium) | | KO → JA | 0 (1) | 0 (1) | 0 (0+) | |
| Total | | JA → KO | 17 (19) | 42 (49+) | 152 (177+) | |
| | | KO → JA | 19 (19) | 73 (64+) | 264 (272+) | |

3. 1. 3 日中協力／日中拠点大学交流

【日中協力事業】

2007年12月当時の福田総理訪中の折、「磁気核融合関連研究分野における日中協力事業」が政府間協定として、日本政府の文部科学省(MEXT)と中国政府の科学技術省(MOST)の間で締結された。

署名：日本側文部科学大臣、中国側科学技術部長

目的：相互利益、平和利用のための科学技術協力

この事業計画は、両国の核融合実験装置を活用した研究協力ならびに研究者交流を実施し、核融合研究交流の幅を広げ、ITER, DEMO 炉等の計画に貢献する事を狙いとしている。協力形態は、

I) 共同研究の実施、II) 技術的情報、データ、知見の交換、III) 教育、訓練、IV) 機器、器具、材料の交換、V) 合同会議、セミナー、ワークショップの実施等である。

2008年9月に中国四川省成都で行われた第1回JWG (Joint Working Group) に、協力体制の承認が行われ、千原戦略官(MEXT)がコーディネーター、NIFS 技術コーディネーター熊沢、サブコーディネーター山田(修)が選任された。ホスト研究所は、日本側は核融合科学研究所(NIFS)及び日本原子力研究開発機構(JAEA)、中国側は西南物理研究所(SWIP)と中国科学院プラズマ研究所(ASIPP)である。

研究者派遣による共同研究が主であり、研究カテゴリーは、1) プラズマ閉じ込め・プラズマ加熱、2) 先進核融合炉工学、3) プラズマ理論・シミュレーションである。上記1)において、現在稼働中の実験装置(LHD, HL-2A, EAST, HT-7)において、プラズマ加熱、閉じ込めの物理を研究する。2)において、ITER 関連あるいは長期的な視野でポスト ITER を念頭においた核融合炉技術開発を協力事業の軸とする。3)において、プラズマ理論を中心とした若手研究者の育成を目標とする。ASIPP では、最近理論部門の充実を図っている。まだ時期は設定されていないが、日中合同で、セミナーあるいはワークショップを開催し、協力事業の成果を報告することを予定している。

実験装置は、日本側のNIFSの超伝導大型ヘリカル装置(LHD)、中国側はSWIPのトカマク装置HT-2A, ASIPPの超伝導トカマク装置EAST及びHT-7装置である。プラズマ実験では、ヘリカル磁場配位とトカマク磁場配位におけるプラズマの加熱・閉じ込めの研究を相補的に共同研究することができる。また2機の超伝導実験装置において、ITERを視野に入れた高性能定常プラズマ維持の研究ができることは今後の核融合研究において重要である。また核融合工学関連の共同研究では、超伝導システムを基盤とした装置工学、核融合炉を目指した炉材料及び炉工学研究を中心として、中国側の研究者と共同研究を行っている。またプラズマ理論・シミュレーションの共同研究は、中国側の組織がまだ十分に確立していないので、これから日本側の研究紹介をしながら、どのような研究分野で研究協力ができるかを模索している。

中国のエネルギー事情は、今後の一人当たりのエネルギー消費量の増大、それに伴う石炭を主とする火力発電の環境悪化が深刻な問題となっている。そのため最近では核融合研究予算が増加しており、日本との国際協力研究に積極的である。中国における核融

合研究開始は遅いが、若い研究者の層が厚く、彼らの教育、研究指導をとおしての研究協力は日中双方にとって有益である。一方炉工学研究分野において、中国側はポスト ITER と DEMO を意識しており、この分野における研究協力は、将来日中二国間で DEMO 炉の設計、製作することを念頭においており、日中両国にとって有益である。

この国際協力においては、JAEA も日本側の主研究所として中国側との共同研究を並行に推進している。JAEA は中国側から ITER・BA への参加協力の打診を受けているが、欧州側の意向を考慮して、現在検討中である。

図 3.1.3-1 に、2008, 2009 年の研究者派遣実績と 2010 年の研究者派遣計画を示す。それぞれの年度に JWG (Joint Working Group) が開催され、その年度の研究計画を立案し、承認する。2009 年度は JAEA 主催で水戸において、2010 年度は SWIP 主催で雲南省の香格里拉(シャングリラ)で開催されている。同図に示すように、1 年目は日本側 NIFS からの研究者派遣は 2 名、そして 2009 年は 7 名の派遣を実施している。また 2010 年度は連携協力事業の推進枠での予算が承認され 12 名の研究者派遣を計画している。また中国側から NIFS への研究派遣者数は、それぞれ 6 名, 4 名, 16 名(予定)である。

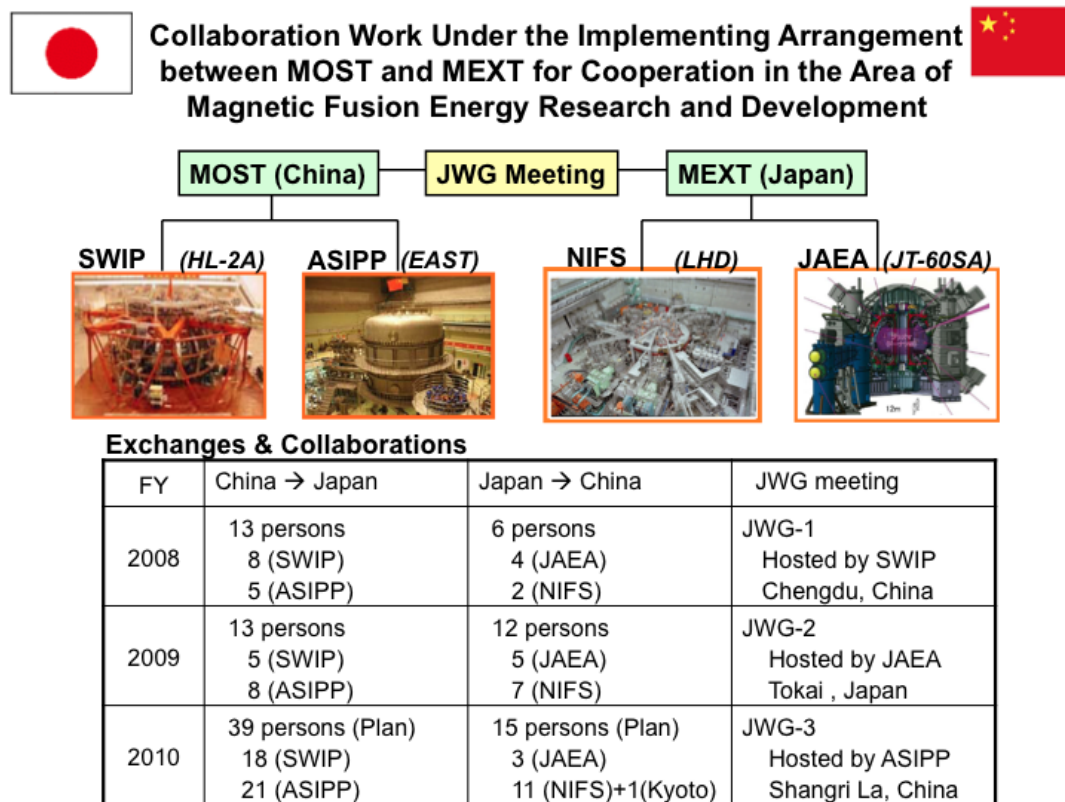


図 3.1.3-1 磁気核融合関連研究分野における日中協力事業の概要

【日中拠点大学交流事業】

核融合科学研究所は、日中協力事業のもう一つの柱である日中拠点大学交流事業においても、過去 10 年にわたり NIFS は日本側の拠点大学として、その円滑な実施に寄与してきている。

2009 年度の成果は、二つの事業を合わせて人物交流は 181 人、論文発表数 312 編に上っている。

日本学術振興会の拠点大学方式による学術交流事業は、2001 年度から 2005 年度に中間評価を経て 2010 年度までの 10 ヶ年計画として日中間のプラズマ核融合に関する学術交流による研究ネットワークの構築と拡大を第一の目的として開始された。中国科学院・等離子体物理研究所 (ASIPP; 中国、合肥市) と核融合科学研究所が、それぞれ中国側及び日本側の拠点大学の役割を務めている。

それぞれの拠点大学にはコーディネーター及びサブコーディネーターを配する形態をとっている。これらのコーディネーター及びサブコーディネーターは、同研究分野の専門家に委嘱した日中あわせて約 30 名のキーパーソンとともに交流の立案調整を行っている。この学術交流には両拠点大学を中心に、プラズマ・核融合研究に係わる日中のほとんどの研究機関ならびに大学が参加しており、全日本・全中国的な広がりをもってこれまで 9 年間順調に進めてきた。

本交流事業では、(1) 「炉心プラズマ性能の改善」、(2) 「核融合炉工学の基礎研究」及び (3) 「核融合プラズマの理論と計算機シミュレーション」の主要な 3 研究カテゴリーを設定し先進的な核融合炉の実現に不可欠な課題を取り込んでいる。第 (1) のカテゴリーでは、磁場閉じ込め核融合の実験研究、それに関連したプラズマと固体壁との相互作用や原子・分子過程に関連した研究が含まれる。高温・高密度プラズマの生成・加熱、安定性や閉じ込め特性改善の実験研究やそのためのプラズマ加熱技術、高度なプラズマ診断装置の開発等が研究の中心となっている。また、プラズマの工学的応用分野の一部もプラズマ・壁相互作用との関連で含まれている。さらに、磁場閉じ込め核融合ばかりでなく高強度のレーザー光による極超高密度プラズマ生成とそれを利用した慣性核融合プラズマ物理の研究も含まれている。第 (2) のカテゴリーでは、核融合炉工学関連の超伝導技術、炉材料開発、炉システム技術の統合研究等の基礎的な学術研究に関する課題が含まれている。第 (3) のカテゴリーでは、核融合炉心プラズマの体系的理解をめざした高度なプラズマ理論の確立とスーパーコンピュータを駆使したシミュレーション研究も重要な課題となっている。磁気閉じ込めプラズマの巨視的安定性、プラズマ乱流による粒子や熱輸送現象、レーザーによる極超高密度プラズマ生成過程、プラズマと固体壁との相互作用等、最近の重要な理論的課題を網羅している。

双方の研究所はヘリカル型プラズマとトカマク型プラズマ研究を進めているが将来の高性能な磁場閉じ込め核融合炉実現に向けての多くの共通する課題を異なる角度から相補的に研究を進めている。両研究所には世界有数の全超伝導トラス装置、すなわち EAST 装置 (ASIPP) と LHD 装置 (NIFS) が稼動しており、両者で共通するプラズマ加熱装置やプラズマ計測装置開発、さらに磁場閉じ込めプラズマの物理に関する共同研究を進めている。これらの共同研究に加え、超伝導技術や炉壁材料開発等炉工学的共同研究に

関しても多くの共同研究を進めている。この拠点大学方式の交流事業を通じて研究のネットワークが急速に成長拡大してきた。

交流実績としては、図 3.1.3-2 及び図 3.1.3-3 に示すように年平均として、約 120 名（日本からの派遣が約 60 名、中国からの受入が約 60 名）、延べ 1,200 人/日（日本からの派遣 400 人/日、中国からの受入が 800 人/日）に達している。この交流では、若手研究者や大学院学生育成も大きな目的となっており、9年間の平均として交流期間（人/日）の約 50%が 40 歳以下の若手研究者や大学院生の交流となっていることも本交流の大きな特徴である。このことは、長期的な研究を必要とするプラズマ核融合分野の協力を今後も積極的に進める上で特に重要である。さらに、この交流事業では、これまでに直接、及び間接的に 20 名を超える中国からの博士課程の大学院生を日本に受入れ、この分野の研究者として育ててきた。彼らの多くは、現在、中国の同分野の指導的立場にあるとともに世界各国との国際協力でも大いに活躍している。日中の今後の長期的な交流の基礎となっていくものと期待される。本交流を通じて多くの学術成果が上がっており、最近 4 年間は 200 編以上の学術論文やレポートが発表されている。その年度別推移を図 3.1.3-4 に示す。

【日中協力の今後の方針】

日中協力事業は、将来、日中拠点大学交流事業に代わって、日中協力の柱になると考えられている。また、ITER の設計・建設が進む今日、日中協力事業は両国間でますます重要視されてきている。このため、日米や日韓の協力事業と同様に、研究計画委員会（委員長：核融合科学研究所所長、所内委員数<所外委員数）を組織し、研究

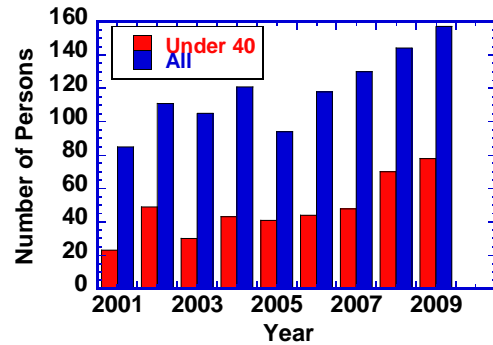


図 3.1.3-2 年度別人事交流人数及びその中で 40 歳以下の若手研究者数(Under 40)

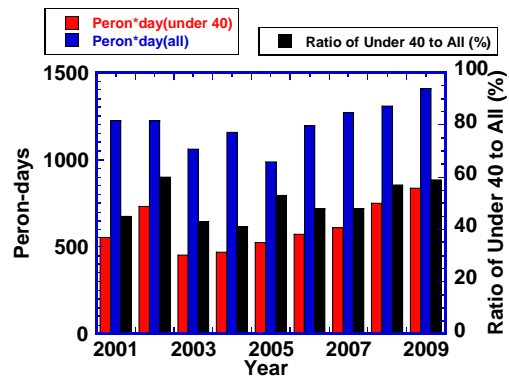


図 3.1.3-3 年度別交流延べ日数(青棒)、40 歳以下の若手研究者数(赤棒)及び全体に占める同比率

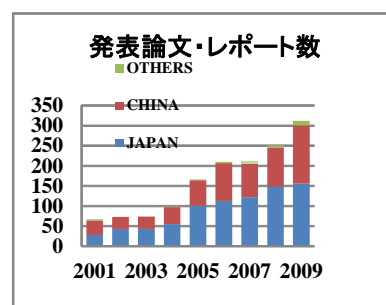


図 3.1.3-4 本交流を通じて発表された論文及び学術レポート数の年度別推移

課題の公募、採択審議、成果の公表、評価と改善等を行うものとする。また、各分野にはキーパーソンを置いて、研究計画委員会の構成員とし、研究協力活動を継続して円滑に進めるものとする。これまでは、発足間もないこともあり、また、日中拠点大学で人的交流が活発に行われていたこともあり、小規模な研究協力を行ってきたが、人的交流を含め、規模を拡大した共同研究に発展させるものとする。

日中拠点大学は、これまで実施されてきた日中拠点大学交流事業（JSPS）が 2010 年度で終了することから、2011 年度からは、アジア研究拠点協力事業として、韓国を含めた日中韓のより幅広い研究協力として発展させることを計画している。規模的には現在の約半分となり、年限も限られていることから、アジア研究拠点協力事業終了後は、この拠点事業で進めてきた活動を日中協力事業に統合する予定である。アジア研究拠点協力事業は、これまでのノウハウを生かすため、日中拠点を進めてきた運営システムをそのまま取り入れ、必要であれば改善するものとする。

3. 1. 4 IEA 協力

核融合科学研究所は日本国政府を代表して締結した多国間協定である国際エネルギー機関（IEA）の 3 件の実施協定、「テキサトールにおけるプラズマ壁相互作用実施協定」、「ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発実施協定」、「球状トーラスに関する協力のための実施協定」に関わる国内の活動をとりまとめるとともに、国際的な活動を促進している。また、核融合の関わる実施協定を横断して「定常運転」等の議論がなされている。これらについて、核融合科学研究所の役割、主だった最近の成果、今後の方針・計画を述べる。

核融合科学研究所は、IEA による核融合関連事業全体を統括する核融合調整委員会（FPCC）に日本代表として参画し、現行事業の評価及び将来計画の作成等に貢献している。

（1）テキサトールにおけるプラズマ壁相互作用実施協定

テキサトール（TEXTOR）はドイツ・ユーリッヒ市の Forschungszentrum Juelich GmbH のプラズマ研究所（IPP）にあるトカマク型核融合プラズマ実験装置で、本 IEA 協定に基づいて国際共同研究がプログラムとして進められている。TEXTOR はプラズマ・壁相互作用（Plasma Wall Interaction：PWI）を調べるために特に設計され、多様な用途に対応できる装置である。締結極はカナダ、EU、日本、米国である。主な研究課題はダイバータターゲット板の長寿命化、トリチウムインベントリーと取り込み率、プラズマ対向材料と概念の改善と最適化、プラズマの不安定性を抑制し PWI を制御する方法、等である。

核融合科学研究所は本実施協定に対応する国内技術委員会を主催しており、この委員会が公募された研究課題を基に、毎年 4 月に年度計画を定めている。委員会の主査は核融合科学研究所の研究者が務めるが、他の 10 名程度の委員はすべて所外の大学等の研究者である。核融合科学研究所の基盤経費である「連携協力事業の推進」により日中、日韓、日米とともに本実施協定のための経費を計上している。毎年、約 10 名の派遣を

行い、平均して2週間程度の滞在によって共同研究を進めている。平成18年度からの最近5年間で57編の国際共同論文を発表している。

PWIはITERに関連しているとともに、ヘリカル系による定常運転等横断的な研究分野を越えたものである。特に、今後は、損耗と堆積の定量的評価、燃料のリサイクルリングと堆積層への吸着とこれからの排除、外部磁場による集中的な熱負荷制限の制御、ITERにおけるPWI研究に必要な計測法の開発、磁気島やストキャスティック磁場を伴うスクレープオフ層における輸送の物理、3次元磁場構造を持った周辺プラズマのモデリングが重要なテーマである。核融合科学研究所は3次元磁場の扱いについての理論計算及び実験に長じており、TEXTORにおけるDynamic Ergodic Divertor(DED)を用いた実験の説明に最近は大きな貢献をしている。3次元磁場構造と周辺プラズマの輸送の理解はITERにおけるELMコイルの採否の判断に決定的な重要性を持っており、核融合科学研究所が実質的な寄与をしていくことが期待される。

本実施協定の情報や日本の対応については、核融合科学研究所のWEBページ<http://www.nifs.ac.jp/textor/index.htm> において公表している。

(2) ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発実施協定

我が国は本協定に平成4年に署名、参加し、その後、核融合科学研究所が日本側締結機関としての責任を持つ3つのIEAの実施協定の中でも、ヘリカル方式による核融合研究を主導する核融合科学研究所にとって最も重要なものとなっている。この協定には欧州連合(ドイツとスペインが主)、米国、ロシア、ウクライナ、オーストラリアと日本が参画している。平成18年より日本が議長国(議長は本島修ITER機構長)を務めており、核融合科学研究所が本協定の国内はもとより、国際的な事務局を務めている。

本協定は5年毎に評価の上、延長が認められることになっている。一方、協定のタイトルは発足以来「ステラレータ概念の開発実施協定」となっており、我が国には独自の創案である「ヘリオトロン」概念があり、その位置づけを明らかにすることが日本側の長年の希望であった。平成22年7月30日をもって協定期間が満了となることから、これまでの協定による実績を背景に延長手続きを協定国と協力して進め、この機会に協定名を「ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発」に変更する交渉を重ね、執行委員会での全会一致を得て、平成22年7月7日付にてIEAより正式に平成27年7月30日までの延長(その後、IEA内の評価手続きの改正により平成28年6月30日まで有効と変更)と、タイトルの変更の承認を受けることができた。数多くの国内・国外研究者との共同研究による大型ヘリカル装置実験を中心とした研究が認められた証左と言える。本協定に関わる活動の原資は固有にはないことから、自然科学研究機構事業の一環である「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」と個々の課題に沿った科学研究費補助金により派遣についての経費を賄っている。

本協定傘下の重要な活動として隔年実施される国際ステラレータ/ヘリオトロンワークショップがある。このワークショップは昭和52年に第1回が開かれ、核融合科学研究所は平成9年(第11回)と平成19年(第16回)を主催している。次回第18回は平成24年2月にオーストラリアで開催される予定である。ワークショップの名称を用いているが規模は拡大し、参加人数・発表論文が100件を大きく超える実質的には国際会

議と言えるようになってきており、核融合科学研究所の共同研究からの寄与は LHD 実験開始以来、その半数近くを占め、会議のレベルアップに大きな貢献をしている。

もう一つの本協定が支持する活動が国際調整作業会 (Coordinated Working Group) 活動である。発足以来、核融合科学研究所とマックスプランク・プラズマ物理研究所が共同調整役を務め、ヘリカル系コミュニティだけでなく、ITPA との関係強化を図っている。平成 14 年のエネルギー閉じ込め時間に関するスケーリング則導出を目的とした 0 次元閉じ込めデータベースの作成作業から、1 次元輸送データベース、3 次元 MHD 平衡、MHD 不安定性、周辺プラズマ乱流、H-モード特性等の実験データベースの整備や解析あるいはシミュレーションのための計算コードのベンチマーク試験と検証等大きく展開を見せており、いずれの課題においても核融合科学研究所が課題リーダー、データの提供、データベースのホスト等主導力を発揮している。作業会はほぼ 1 年に 2 回開かれ、IAEA 核融合エネルギー会議と国際ステラレータ/ヘリオトロンワークショップにおいて研究成果を共同論文として発表することをマイルストーンに設定して、着実に研究を進めている。数値計算ベンチマーク (新古典拡散、MHD 平衡、微視的乱流等) による数値計算の妥当性検証、物理データベースへの記述と公開、LHD をはじめとした共同実験を 3 つの歯車として、今後も 3 次元の物理の高度化と包括的な理解、これらに基づいた新しい実験計画の企画 (LHD, W7-X)、トカマク、特に ITER への貢献を目指した研究を戦略的に強力に推進していく。

本協定による活動を国際的に公表するための WEB ページを核融合科学研究所がホストし、近日中に公開する予定である。

本協定に基づく研究成果の一例として、国際ステラレータ/ヘリオトロン閉じ込めデータベース・分布データベース活動により、ヘリカル系におけるエネルギー閉じ込めスケーリング則が、図 3.1.4-1 に示す閉じ込めデータベース (<http://iscdb.nifs.ac.jp/>, 9 装置から約 4,000 のデータ収集) から得られており、ヘリカル型核融合炉の評価を行う上でも重要な情報を提供している。

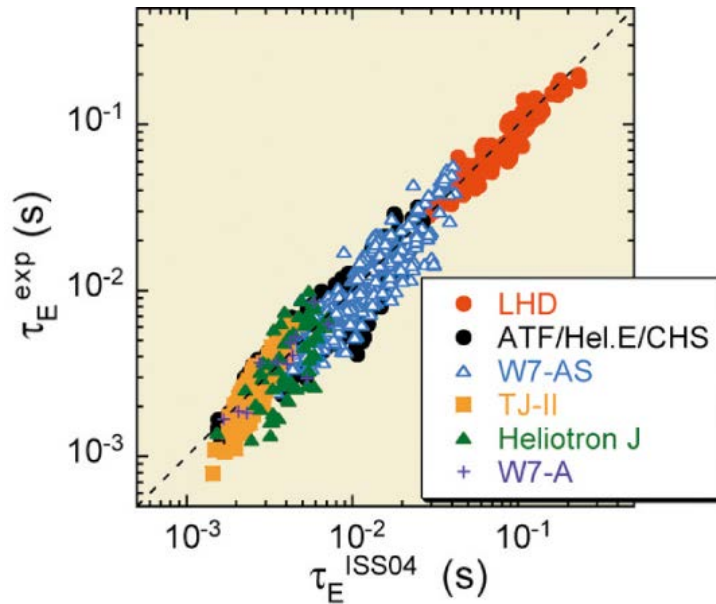


図 3.1.4-1 ヘリカル系におけるエネルギー閉じ込めスケーリング則

(3) 球状トラスに関する協力のための実施協定

国内では、球状トラス(ST)について九州大学の QUEST 装置を主要装置としつつ、大学での先駆的球状トカマク研究を更に発展させるための全日本的な連携による新しい ST 研究体制として全日本 ST 研究計画を核融合科学研究所がホストしている。また、スーパーSINET を利用した「全日本 ST バーチャルラボラトリー」のインフラ整備を進め、QUEST の実験データを LHD と同様に扱えるようになってきている。一方、日本にはない規模の大きな ST 装置（プラズマ電流にして 1 MA 以上の装置である米国の NSTX、イギリスの MAST）を国際協力で利用できる枠組みの整備が重要であった。このため平成 19 年 2 月 20 日に、国際エネルギー機関 (IEA) の「球状トラスに関する協力のための実施協定」を新たに発足し、核融合科学研究所が我が国の代表機関として署名を行った。現在の参加極は、日本、米国、EU (英国とイタリアが主) である。本協定の活動に固有原資がないことから、個々の課題に沿った科学研究費補助金に加えて、自然科学研究機構事業の一環である「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」による派遣が極めて重要な役割を果たしている。

本実施協定の情報や日本の対応については、核融合科学研究所の WEB ページ <http://www.nifs.ac.jp/kenkyo/icr/st.html> において公表している。

(4) その他、定常運転について等の議論

ITER 及びその後の原型炉に向けて「定常運転」が核融合に関わる IEA 実施協定を横断した共通の課題として認識されるようになってきている。平成 18 年より、各実施協定の代表者が IAEA 核融合エネルギー会議等の機会を利用して、議論を進めている。これまで、新たな実施協定を作るよりも、各実施協定において「定常運転」を位置づけて

横断的に貢献を図っていくこと、物理については ITPA があるので、物理と工学の統合、あるいは技術開発に主眼をおくこと等の合意形成が図られ、IAEA の技術者会合や FPCC において議論を重ねることとなっている。

また、平成 22 年 10 月のステラレータ-ヘリオトロン実施協定執行委員会の席で、IEA 担当官より、多岐にわたる IEA 協定の中で、核融合に関わる協定は実際のエネルギー生産まで長期間かかること等から他の分野の協定から孤立していることを懸念していることが示唆された。特に産業界を通じた技術の交流促進とエネルギー技術としての核融合の位置づけを社会にアピールしていくことに取り組むことが課題として指摘されている。

(5) 今後の方針

IEA が関わる核融合関連事業全体に対して、FPCC において我が国の存在感を高めるための対応を進め、国内活動へのフィードバックを図る。IEA からは協定間の連携が求められているところであり、特に「定常運転」に関する理工学統合と技術開発が重要課題となっている。この連携活動に対して中心機関として主導的に取り組んでいく。

- ・ テキサトル協定については、TEXTOR 装置稼働中は現行の活動を維持し、その上で後継装置計画を注視し、FOM 研究所との連携をも戦略的に取り込んで、新たな研究の展開に主導的に貢献する。
- ・ ステラレータ-ヘリオトロン協定によるヘリカル系における重要課題を共同して取り組む調整作業会 (Coordinated Working Group) 活動をマックスプランク・プラズマ物理研究所と協力して組織的に拡充・運営していく。この活動のコーディネーター及びデータベースのホスト等の中心的な役割を更に強化する。ステラレータ-ヘリオトロン協定執行委員会では、ITPA へのヘリカル系代表者を 7 名指名しており、CWG 活動の ITPA との連携を強化し、ITPA への貢献を研究者個々からヘリカル系コミュニティからの戦略的なものとしていく。具体的には、3次元の物理が切り口として考えられる。
- ・ ST 協定については、全日本体制をホストするとともに、NSTX 及び MAST の増強計画に注視し、既に締結済みの PPPL との研究所間学術交流協定に加えて、カラム研究所との協定締結も視野に入れて、関係の強化を図り、これらの将来計画における日本の貢献の在り方を検討していく。

3. 2 研究所間学術交流協定等による国際共同研究

核融合科学研究所では、海外の研究機関と表 3.2-1 に示す。9 カ国の研究機関と 15 件の学術交流協定等を締結することにより、長期的な視野に立った継続的な共同研究、学術交流を実施している。

表 3.2-1 研究所間の学術交流協定一覧

| 国 | 研究機関 | 協定締結年 |
|----|------------------|-------|
| 米国 | プリンストン・プラズマ物理研究所 | 2006 |

| | | |
|---------|---------------------------------------|------|
| | テキサス大学オースティン校 | 2006 |
| | オークリッジ国立研究所 | 2006 |
| | カリフォルニア大学ロサンゼルス校 エネルギー科学技術先進研究センター | 2006 |
| 中国 | 中国科学院等離子体物理研究所 | 1992 |
| ドイツ | マックスプランク・プラズマ物理研究所 | 1993 |
| | カールスルーエ工科大学 | 2005 |
| ロシア | ロシア科学センター・クルチャトフ研究所 | 1993 |
| | ロシア科学アカデミー 一般物理研究所 | 2007 |
| ウクライナ | ウクライナ国立科学センター ハリコフ物理工学研 究所 | 1994 |
| オーストラリア | オーストラリア国立大学 | 1995 |
| 韓国 | 韓国基礎科学支援研究所→韓国国立核融合研究所 | 1996 |
| フランス | プロヴァンス大学 | 2007 |
| | 磁場核融合研究に関する国際連携研究所 (LIA) | 2007 |
| スペイン | エネルギー環境科学技術研究センター (CIEMAT) | 2009 |

各協定には個別の予算措置がないことから、自然科学研究機構事業の一環である「国際協同研究拠点ネットワーク活動の推進」からの支援や、個々の共同研究課題に添った科学研究費補助金等から活動費用を捻出している。このため、活動状況の盛衰は、主に担当者の努力に依存する部分が多くなっていった。このような状況を改善するため、平成22年4月の研究所の改組に伴って立ち上げた連携研究プロジェクトにおいて連携研究体制の整備を行い、研究所の方針として長期的な視野に立った計画的な国際連携研究の推進を目的として、連携研究を実施する連携研究委員会のもとに国際連携部会を設置した。国際連携部会では、学術交流協定に基づく研究連携、国際協力事業及び国際会議の主催・共催等に係わる支援活動を開始している。

3. 2. 1 プリンストン・プラズマ物理研究所

プリンストン・プラズマ物理研究所 (Princeton Plasma Physics Laboratory、以後 PPPL と略称する) は米国エネルギー省 (DOE) 傘下の国立研究所の一つであるが、米国の核融合研究を初めから総合的にリードしてきたという歴史もあり、またその研究内容としても学術的な性格が比較的強く保たれていて、日本における核融合科学研究所の位置づけと非常に近いものがある。日本の大学及び国立研究所との国際的な学術交流は以前から活発であったが、平成18年3月に核融合科学研究所と正式に国際学術交流協定が結ばれて、本研究所との学術交流の基礎が固められた。

これまでの共同研究は、実験・理論の両方の研究領域において活発に進められてきているが、理論の共同研究の実績については、その殆どが日米協力事業の JIFT 枠内の共同研究であるため、JIFT に関する記述を参照して頂きたい。

実験面では、核融合科学研究所の LHD 装置に関わる研究、PPPL の NSTX 装置に関わる研究と、双方の主装置に関係した国際共同研究が進められており、典型的な双方向的共同研究となっている。

LHD 実験の国際共同研究では、大きく分けて三つのテーマが進行中である。まず最初の MHD 特性の研究については、現在 PPPL の副所長である Michael C. Zarnstorff 博士を中心としたチームが、以前より LHD 実験の高ベータプラズマに高い興味を持っていて、国際会議等の機会において共同研究提案の議論を進めてきた。平成 18 年からは具体的なプログラムとして、Zarnstorff 博士他 3 名が本研究所に長期滞在し、LHD 実験に直接参加して共同研究を行った。また、ネットワークを活用した遠隔実験参加も行っている。特に磁場計測データを用いた平衡配位の再構築を長期的な研究テーマとしながら、ビーム駆動電流による MHD 特性の安定化の研究、また周辺部のストカスティック領域でのプラズマ圧力分布の計測等にも興味を持って共同研究を進めた。平衡配位再構築の研究課題は、後に記述する米国における NCSX 計画にも強く関連した研究課題で、米国で開発された磁場計測データ解析用の計算コードを持ち込んで、LHD 実験のプラズマの平衡配位を解析しようとするものである。高ベータ平衡配位を実現している LHD プラズマの平衡解析には、PPPL の理論チームも大きな興味を持っており、本研究所に数週間の日程で滞在して議論を深めるケースも多い。

二番目の研究テーマは、イメージング X 線結晶分光器を用いた、分光法によるイオン温度分布の測定である。結晶分光のパイオニアの一人である、PPPL の M. Bitter 博士を中心とする研究チームが、自分達で製作した分光器を LHD 実験に持ち込む共同研究提案を出しており、実験計画の打合せと設置手段の検討のために、Bitter 博士他二名のチームが、これまで三回ほど核融合科学研究所に滞在している。LHD 装置における本計測器の取り付けポートは決定していて、平成 23 年の春からは、LHD 装置に取り付けた状態で計測器の立ち上げ手順を行う予定になっている。

三番目の研究テーマは、磁場閉じ込め核融合プラズマにおける高速イオンと高速イオン励起 MHD 不安定性の相互作用の研究である。PPPL の Douglass S. Darrow 博士との国際共同研究は平成 9 年度に博士を NIFS に招聘して以来継続している。Darrow 博士は、NSTX 装置の前の PPPL の主力装置であった TFTR 実験において、TAE に起因する高速イオンの排出現象の研究に威力を発揮していた損失高速イオンプローブの開発者であり、平成 21 年度には、Darrow 博士が LHD における高速イオン励起 TAE 実験に参加し、TAE による高速イオンの輸送現象に関する研究を行った。

PPPL の NSTX 装置は、中型球状トカマク装置で現在 PPPL の主実験装置となっている。核融合科学研究所からは、LHD 実験で実績の確立された計測手法を、ヘリカル装置とは磁場配位の異なるトーラス閉じ込め装置において活用することによって、トーラス閉じ込め研究としての一般性を持った研究成果を得る目的で、これまで多くの研究者が国際共同研究に参加している。

その例の一つとして、トレーサ内蔵ペレット (TESPEL) を用いた揺動と輸送の研究が行われた。TESPEL は、核融合科学研究所が独自に開発した多層構造不純物ペレットであり、磁場閉じ込めプラズマ中に不純物トレーサ粒子を3次元的に局所配置できるという画期的な特徴を有している。プラズマ中に局所配置された不純物トレーサ粒子のその後の振る舞いを局所的に観測することで、プラズマ中における不純物粒子の局所輸送を直接知ることができる。平成 20 年度に実施された国際共同研究では、揺動計測が可能な多層膜反射鏡を用いた高効率高分解真空紫外 (VUV) イメージング分光器を組み合わせる実験を行い、NSTX において代表的な L-、H-mode プラズマそれぞれに不純物トレーサ粒子を局所配置すること、また VUV イメージング分光器によって不純物トレーサイオンの振る舞いを観測することに成功した。

LHD 装置での国際共同研究の項に記述した PPPL の Darrow 博士とは、NCSX 実験での国際共同研究においても協力関係にあり、平成 20 年度には核融合科学研究所から派遣された研究者が NSTX 装置の重水素実験に参加し、原子核乾板を駆使した核融合中性子測定を通じて NB 入射高速イオンの空間分布測定を行った。

NSTX 装置は軸対称磁場配位を持った球状トカマク装置であるが、PPPL ではもう一つの主装置として、ヘリカル型磁場配位を持つ NCSX 装置の設計が 10 年ほど前からスタートした。米国ではトカマク型装置に比べて数の少ないヘリカル型装置を建設しようとする研究所として、核融合科学研究所はヘリカル閉じ込め研究としての強い協力関係を維持して来た。その一つの柱として、本研究所として実績のある重イオンビームプローブ (HIBP) 計測装置を NCSX 装置に取り付けて、プラズマ中の電位計測と揺動計測を行う国際共同研究の検討も進められてきた。残念ながら平成 20 年 5 月に、米国 DOE は NCSX 装置がほとんど完成した時点で計画中止の決定を下し、この国際共同研究の提案も実現できないこととなった。

JIFT による共同研究成果として、一例を示す。3次元摂動磁場により軸対称性が破れたトカマクにおけるトロイダル流に対する新古典粘性に関する理論・シミュレーション共同研究が行われ、その成果が国際研究集会 (Varenna, 2010) で招待講演として発表され、学術論文 (Plasma Phys. Control. Fusion) として投稿された。

3. 2. 2 テキサス大学オースティン校

テキサス大学オースティン校・核融合理論研究所 (Institute for Fusion Studies: IFS, The University of Texas at Austin) と NIFS は、本協定以前から 20 年以上にわたる日米科学技術協力事業 (核融合分野)、核融合理論共同研究 (Joint Institute for Fusion Theory) JIFT プログラムの両拠点であり、日米科学技術協力委員会において各年度の研究計画を決定し推進している。この意味で、単に両研究所間の交流に留まらず、日本と米国の理論・シミュレーション研究に関する交流を緻密に推進しているといえる。具体的には、人物交流 (研究者派遣) やワークショップ等の共同研究活動を行っている。

テキサス大学オースティン校・核融合理論研究所は、米国における核燃焼プラズマプログラムの推進を始めとする核融合プラズマに関する理論・シミュレーション研究の一大研究拠点として、また、NIFS とともに日米科学技術協力事業の核融合理論共同研究 (JIFT) の実施機関としての幅広い研究活動を展開している。

これまで、この特徴を生かした共同研究を実施し、トロイダルアルヴェン固有モード (TAE) をはじめとする高エネルギー粒子の物理、イオン温度勾配不安定性や電子温度勾配不安定性に伴う乱流と帯状流の発生・輸送に関する研究、衝撃波や磁気リコネクション等の基礎プラズマ過程に関する研究等、プラズマ・核融合研究における幅広い課題で多くの実績を上げてきている。

人物交流は、共同研究を効率的かつ継続的に発展させられるよう、企画されている。さらに、JIFT プログラムに基づく人物交流や WS は、次世代 (若手) 研究者間の人間関係が構築できるようにも配慮されている。このような姿勢は、IFS 以外に派遣される (IFS 以外から招聘される) 人物交流においても同様である。

人物交流

(派遣)

「ICRF 加熱によるトロイダル流生成に関するシミュレーション」

(2010/7/11-25: 村上定義 (京都大学)) 実施済み

(招聘)

「磁気圏型高ベータプラズマにおける流れと磁場の結合」

(2010/12/6-18: Swadesh Mahajan (IFS) , 招聘先: 東京大学) 実施予定

今年度の招聘の特徴

今年度招聘の Swadesh Mahajan (IFS) と受入れ責任者の吉田教授 (東京大学) とは、高ベータプラズマにおける流れと磁場に関する研究等で長年にわたり共同研究を継続している。

3. 2. 3 オークリッジ国立研究所

オークリッジ国立研究所(ORNL)とは、炉工学・プラズマ物理学にわたる広範な課題において、双方の機関の特長を生かした継続的な共同研究を展開している。

ORNLのHFIR(高中性子束炉)[高速中性子及び熱中性子束ともに世界最高レベルの高さ]を用いた共同研究は、日米科学技術協力事業共同プロジェクトTITAN計画(平成19-24年度)において、第一壁材・構造材におけるトリチウムの移行特性への照射効果、接合・被覆材料システムの照射下健全性、構造材料の照射下動的変形挙動とトリチウム・ヘリウム生成の効果等の研究の基盤となっている。(1)照射・トリチウム複合効果：重水素あるいはトリチウムプラズマによる中性子照射タングステン・モリブデンの照射を実施し、中性子照射により重水素の放出ピークが高温側に大きくシフトすること等を見出した(図3.2.3-1)。(2)接合・被覆システムの健全性：低放射化フェライト鋼、低放射化バナジウム合金等の接合材及びタングステン被覆試料の共同製作を経て、初めての照射データを得ることに成功し、接合部の強度劣化が小さいこと等を見出した。

(3)動的変形挙動：セラミックス材等における照射下クリープ挙動を明らかにするための照射キャプセルを設計製作し、中性子照射、照射後試験を行い、応力緩和挙動において、応力依存性が無いことを明らかにした、等の数々の研究成果を挙げつつある。

ex.)W-coated low-activation materials

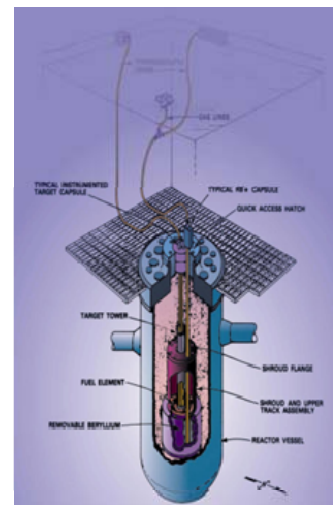
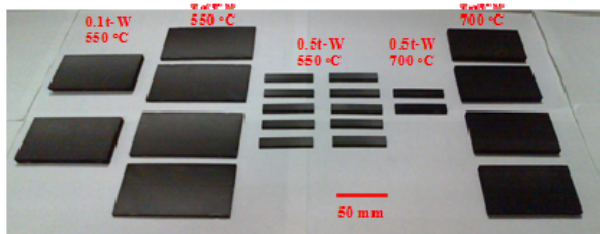


図 3. 2. 3-1 トリチウムプラズマによるタングステン・モリブデンの中性子照射実験

プラズマ物理学分野では、ORNLには現在、プラズマ閉じ込め実験装置がないために、LHD実験データを活用した共同研究形態が主となっている。LHDにおいて観測されている中性粒子ビーム入射時の回帰的磁気バーストの出現、並びに磁気バーストに起因した高速イオンの大半径方向外側への輸送・損失の原因となっているMHD不安定性種を同定すべく、ORNLのD. A. Spong博士との共同研究の形で、シアアルヴェンスペクトラム計算コードSTELLGAP、MHD固有関数計算コードAE3Dを使った解析を行い、観測された磁気揺動がトロイダルアルヴェン固有モード(TAE)であることを同定した(図3.2.3-2)。

また、核融合科学研究所では、高エネルギー粒子とアルヴェン固有モード(AE)の相互作用を計算する摂動論的シミュレーションコードを開発しているが、そこで使用する固有モードの空間分布と周波数は、上記の AE3D コードにて計算している。今後は、LHD における AE モードの成長率について、両研究所のシミュレーションコードのベンチマークを行うとともに、AE モードバーストのシミュレーション研究を更に進展させていく。

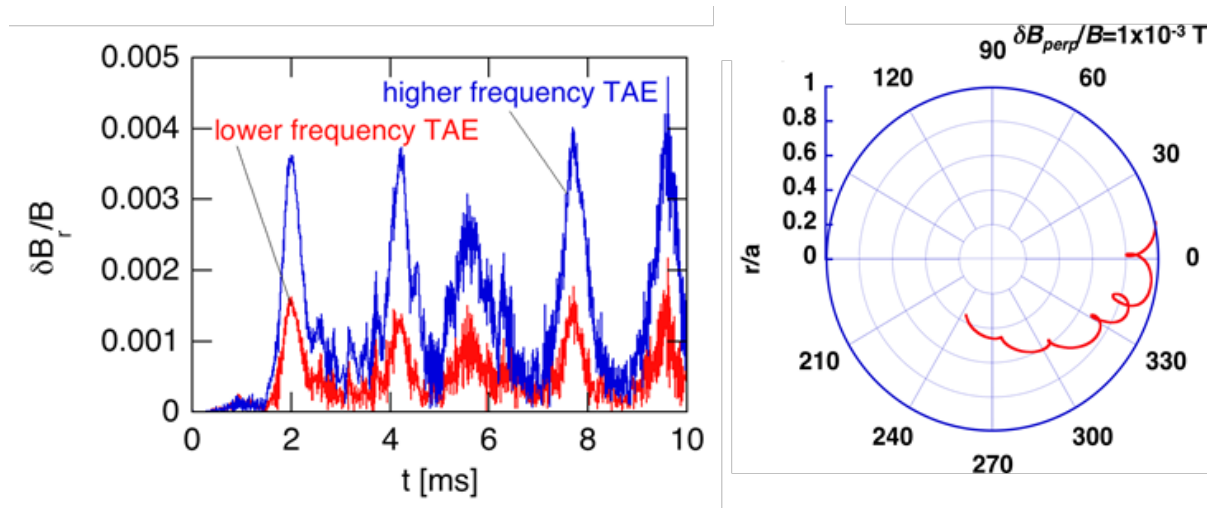


図 3.2.3-2 LHD 磁気揺動のシミュレーション例：トロイダルアルヴェン固有モード (TAE)であることを同定

3. 2. 4 カリフォルニア大学ロサンゼルス校

(1) 研究交流実績

1. 平成 19 年度実績

日米共同プロジェクト計画 TITAN プロジェクト (Tritium, Irradiation and Thermofluid for America and Nippon, 磁場及び慣性核融合炉システムにおけるトリチウム・熱流動制御) (2007-2012)の初年度の立ち上げとして、液体金属ブランケットの MHD 挙動の予備研究を UCLA の MTOR (磁場下熱流動試験装置) を整備立ち上げて実施し、九州大学、京都大学から計 3 名の派遣、UDV (Ultrasonic Doppler Velocimetry: 超音波ドップラー流速計測法) の立ち上げ、3 次元大規模流動数値計算 (DNS: Direct Numerical Simulation) の実施、関連ワークショップ (京都大学, 功刀/ Morley) にて N. Morley 準教授 UCLA を京都大学に招聘するとともに、共通タスク「MFE/IFE システム統合モデリング」ワークショップ (UCLA, 相良/Nygren) を実施した。

2. 平成 20 年度～22 年度実績

継続して、TITAN プロジェクトの一環として、液体金属ブランケットの MHD 挙動研究を推進し、京都大学から修士、博士の計 3 名、東京理科大学から計 3 名を派遣し、高温環境下での UDV 流動計測が電磁流量計として機能することを確認し、その性能特性を把握した。また、壁条件依存の MHD モデリングや、関連ワークショップ 3 回 (UCLA で 2 回：日本から 5 名) 及び (東京理科大学：米国から 5 名)、K. Messadek 博士 UCLA (平成 20 年度) 及び N. Morley 準教授 UCLA (平成 21 年度) を MHD 伝熱流動研究で京都大学招聘、共通タスクにて S. Sharafat 準教授 UCLA (平成 21 年度) を材料モデリングで NIFS へ招聘する等を実施することによって、特に液体リチウム鉛流と壁面材料との相互作用に関する実験及びモデリングに関する議論を行い、今後行うべき実験計画の明確化がなされ、熱流動－物質移行モデリングの境界域での分野横断的な複雑さと検討すべき課題が明らかとなったことは、新しい学術的展開の認識と提案としても意義深い。また PbLi 小型ループの建設と基礎実験に関する議論を深め、実施計画の具体化ができた。

(2) 今後の展望

継続して TITAN プロジェクトでの伝熱流動実験、直接数値シミュレーション (DNS) によるモデル化を推進するとともに、照射下材料損傷挙動の階層化モデリングの高度化、ブランケット統合モデリング、等のモデリングを段階的に順次展開する。これらを通じて、米国側の ITER/TBM 関連研究に資するとともに、日米双方のブランケット工学の学術基盤の強化・構築、及び国際交流による若手育成の推進を図る。

3. 2. 5 中国科学院等離子体物理研究所

中国科学院・等離子体物理研究所 (ASIPP) との 2001 年以降の交流の大部分は、日本学術振興会の拠点大学方式による学術交流事業として実施されてきた。2010 年までの 10 ヶ年計画で、ASIPP が中国側、NIFS が日本側の拠点大学の役割を果たしている。

双方の研究所はヘリカル型プラズマとトカマク型プラズマ研究を進めているが将来の高性能な磁場閉じ込め核融合炉実現に向けての多くの共通する課題を異なる角度から相補的に研究を進めている。

両研究所には世界有数の全超伝導トーラス装置、すなわち EAST 装置 (ASIPP) と LHD 装置 (NIFS) が稼動しており、両者で共通するプラズマ加熱装置やプラズマ計測装置開発、更に磁場閉じ込めプラズマの物理に関する共同研究を進めている。

これらの共同研究に加え、超伝導技術や炉壁材料開発等炉工学的共同研究に関しても多くの共同研究を進めている。

活発な共同研究成果については、日中協力事業／日中拠点大学交流事業に記載されている。

3. 2. 6 マックスプランク・プラズマ物理研究所

マックスプランク・プラズマ物理研究所(IPP)と核融合科学研究所は 1993 年 5 月 11 日に 2 研究所間の学術交流協定を締結して以来、継続して強力な協力を進めている。協定に期限は設けられていない。共同研究は、国際ステラレータ/ヘリオトロンデータベースと LHD と W7-X の 2 大ヘリカル系実験計画を軸とし、多様な拡がりを持ちつつ実施されている。

平成 17 年度から 21 年度までの 5 年間の実績として、IPP からの来所は述べ 50 名、核融合科学研究所から派遣は 60 名となっており、年間 10 名程度の研究者が継続的に互いの研究所を行き来している。研究者交流については、滞在型共同研究を主としており、更に IPP からは核融合科学研究所の外国人客員教授の招聘、大学院生の博士論文研究のための LHD への実験参加、核融合科学研究所の外部評価委員会への委員招聘等多岐にわたって組織的な協力が推進されている。派遣については、自然科学研究機構の分野間連携による国際的研究拠点形成事業が基盤的な支援をしつつ、研究者が持つ個々の科学研究費補助金によるところが大きい。また、招聘については、約半数を核融合科学研究所の客員経費あるいは国際的研究拠点形成事業によって計上しており、均等負担とは言えない状況であるが、EURATOM の mobility fund に加え、大学院生等若手についてはドイツ学術交流会 (DAAD) の基金によって来所する例が通例となりつつある。

IEA 実施協定「スタラレータ・ヘリオトロン概念の開発」による多国間協力として国際調整作業会 (Coordinated Working Group) 活動を進めており、この活動には核融合科学研究所と IPP がコーディネーターを務めるとともに、この活動を通じて集積されたデータベースを共同運営し、WEB 上に公開している(図 3.2.6-1 参照)。データベースは 0 次元の閉じ込めデータベースから発展を遂げ、1 次元分布データ、3 次元平衡データが整備されており、昨年度より、H-mode 特性、MHD 不安定性及び周辺揺動のデータベース化が開始されている。また数値計算コードのベンチマークや同一コードを用いた装置間比較も進められている。これらの共同研究の成果については、例えば、IAEA 核融合エネルギー会議を例にとると、核融合科学研究所と IPP の共同論文が 2010 年は 2 件、2008 年は 4 件報告されている。数値計算ベンチマーク (新古典拡散、MHD 平衡、微視的乱流等) による数値計算の妥当性検証、物理データベースへの記述と公開、LHD をはじめとした共同実験を 3 つの歯車として、国際調整作業会活動はヘリカル系コミュニティの国際共同研究活動を展開しており、核融合科学研究所と IPP が中心的役割を果たしている。



図 3.2.6-1 国際ステラレータ/ヘリオトロン閉じ込めデータベースの WEB 公開(<http://ishcdb.nifs.ac.jp>)。IPP と核融合研が共同運営

さらに、電子サイクロトロン共鳴加熱に関する共同研究の推進にはカールスルーエ研究所も交えて3者間の共同研究を進めている。マイクロ波応用技術の分野でのジャイロトロン開発、W7-AS や WEGA での電子バーンシュタイン波動加熱での経験を LHD の高密度実験に生かす検討がなされている。

W7-X 装置は 2015 年の実験開始に向け、装置本体の現地組み立てが 70%程度終了したところである(図 3.2.6-2 参照)。W7-X はトロイダルに5の周期性を持つが、現在、そのうち 3/5 のコイルと真空容器が据えつけられ、2/5 については断熱真空容器も据えつけられている。この W7-X の実験計画の準備についても協力を進めている。



図 3.2.6-2 W7-X の現地建設近況(平成 22 年 10 月)。S.Bosch 氏のご好意による

特に、W7-X ではダイバータは、初期は慣性冷却のみによることから、ダイバータ板上の熱負荷分布の精密な測定が極めて重要となる。このため、高速の赤外線カメラを LHD に持込み、可視カメラと合わせてミリ単位での温度分布計測法の確立に向けた実験を LHD において今年度より行っている。

また、ヘリカル系において真空での閉じ込め磁場の存在を確認する磁気面測定も極めて重要である。蛍光メッシュによる磁気面の視覚化は直接的ではあるが、大きな構造物を真空容器内に導入することが必要であり、プラズマ実験と並行して随時行うことは難しい。このため、電子銃からの電子によって磁力線を発光させ、その3次元位置を2方向以上からのカメラ測定により

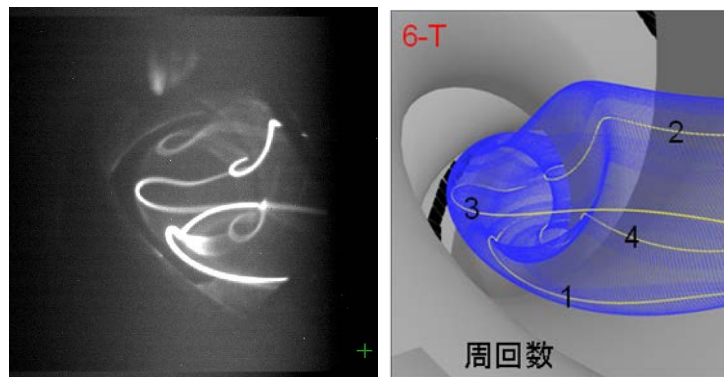


図 3.2.6-3 LHD における磁力線計測に関する共同研究。アルゴンガスを電子銃で光らせる。

より精度よく同定することによって磁場構造を把握する方法が提案されている。大型装置での検証が必要なため、LHD をプラットフォームとした共同研究が開始されている(図 3.2.6-3 参照)。

以上のように、IPP と核融合科学研究所の間では、国際調整作業会活動による幅広い研究の展開とともに、マイクロ波技術や W7-X の実験立ち上げのための共同研究が進められている。特に、IPP としては W7-X の実験開始前に大型のヘリカル系実験に若手が携わることが重要であり、また、核融合科学研究所からは 2015 年以降の W7-X 実験への参加貢献を戦略的かつ円滑に行えるよう共同研究を現在、推進している。

3. 2. 7 カールスルーエ工科大学

カールスルーエ工科大学 (KIT: Karlsruhe Institute of Technology) は、2009 年 10 月 1 日にヘルムホルツ協会所属の大型研究機関であるカールスルーエ研究センター (FZK: Forschungszentrum Karlsruhe) とバーデン・ヴェルデンベルグ州の州立大学であるカールスルーエ大学が統合し、最先端の研究と教育を同時に行う新たな研究教育組織として再スタートした。核融合科学研究所 (NIFS) は、KIT の前身となる FZK と 2005 年 10 月 6 日に、核融合関連技術に関する研究協力及び研究者交流の推進を目的として研究所間学術交流協定を締結した。FZK は 27 の研究所が所属する研究センターであり、その研究分野は、エネルギー、環境、バイオ、基礎科学からナノテクノロジーと多岐に及んでおり、3,800 人の研究スタッフが所属する欧州有数の研究拠点である。NIFS は、超伝導応用、マイクロ波応用、トリチウム技術、核融合炉設計等の研究テーマについて研究所間交流協定に基づいた共同研究及び研究者交流を実施している。上記の協定は、協定の形骸化を防ぐため、2 年毎に成果の評価及び見直しを行い、両者の合意に基づいて再延長の手続きを行うこととなっており、2007 年 12 月に、十分な実績が上がっているとの双方の合意の基で、協定の延長を決定した。2009 年 12 月には、新たな組織となった KIT と協定の再延長を行った。

超伝導応用では、核融合炉に必用とされる超伝導技術について物理技術研究所 (ITP: Institute for Technical Physics) と共同研究及び研究交流を行っている。具体例として、電源から超伝導マグネットへ大電流を供給する電流リード部に高温超伝導体を導入することにより、超伝導マグネットへの熱侵入量を低減すると同時に安定な通電を可能にする高温超伝導電流リードの開発研究を協力して進めてきた。これらの研究成果は、ITER、JT60-SA、W7-X 等の実際の電流リード設計に生かされるとともに、共同研究での議論を更に発展させ、国際的なワーキンググループを形成することにより、IEC (国際電気標準会議) の超伝導応用機器に関する国際規格制定の第一段階として、超伝導機器に使用される電流リードの特性試験方法に対する一般要求事項の取りまとめを NIFS 及び KIT が中心となってい、国際協議及び投票を経て、2010 年 6 月に国際規格 (IEC-61788-14) として発行されている (図 3.2.7-1)。

INTERNATIONAL STANDARD

Superconductivity –

Part 14: Superconducting power devices – General requirements for characteristic tests of current leads designed for powering superconducting devices

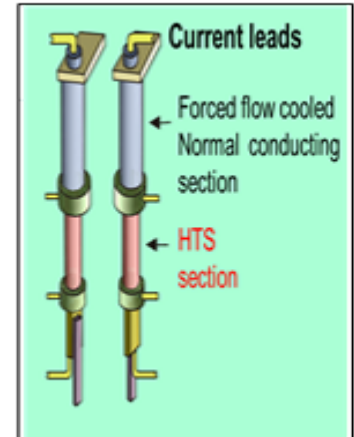


図 3.2.7-1 IEC 国際規格「超電導機器用電流リードの特性試験に対する一般要求事項」

マイクロ波応用では、パルスパワー・マイクロ波技術研究所(IHM: Institute for Pulsed Power and Microwave Technology)との共同研究として、W7-X 用に開発された140GHz ジャイロトロンの NIFS への導入可能性の検討、テラヘルツジャイロトロンの開発、周波数可変ジャイロトン管の出力窓用の窒化珪素 Brewster 窓の開発、ダイヤモンド窓の特性評価等に関する共同研究を実施している。また、マイクロ波の幅広い分野への応用研究として、電磁波と物質の相互作用に関するプラズマとナノサイエンスの国際連携の構築を目指した研究協力を実施している。

トリチウム技術では、トリチウム分離回収装置に用いる CECE (Combined Electrolysis Chemical Exchange)装置に関する開発研究をトリチウム研究所 (TLK: Tritium Laboratory Karlsruhe) との共同研究として行った。KIT の TLK は欧州におけるトリチウム実験の拠点研究施設であり、ITER 及び将来の核融合炉の重水素-トリチウム燃料サイクル研究等が行われている。NIFS で開発した CECE 装置を TLK に持込みトリチウムを含む水を化学的に分離濃縮する技術についての共同研究を実施した。

核融合炉設計では、長期的な視野に立った研究テーマとして、核融合炉への適用を目指した大電流容量の高温超伝導導体の開発研究及び炉設計研究について議論及び研究交流を継続して行っている。

カールスルーエ工科大学は、欧州における核融合工学研究の拠点であり、大学との統合によって若手研究者の育成にも力を入れる体制へと変化したことは、核融合科学研究所の方向性とも一致する。従って、今後も長期的な視野に立ったの共同研究、人材交流の活性化と発展を図っていきたい。

3. 2. 8 ロシア科学センター・クルチャトフ研究所

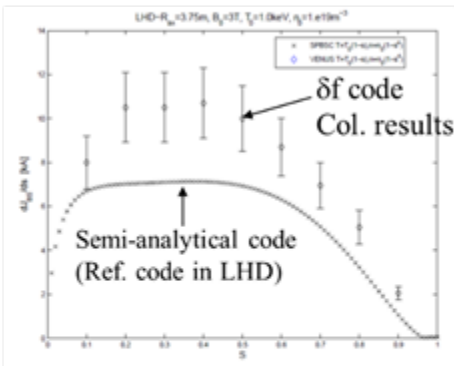
クルチャトフ研究所はシャフラノフ博士を筆頭とする「ヘリカル理論研究」に伝統があり、計測分野において特に、重イオンビームプローブは核融合科学研究所と並んで世界トップレベルにある。

核融合科学研究所は、LHD 実験成果とモデルや計測手法を検証するための実験環境を提供し、クルチャトフ研究所からは、伝統のある「ヘリカル理論研究」を軸に、得意分野である、「HIBP やマイクロ波計測による乱流揺動の計測・解析手法や周辺プラズマの揺動特性の統計的解析手法」に関する共同研究を行っている。

共同研究の結果として、ヘリカル磁場配位の最適化、MHD 平衡特性の解明及び LHD 実験における MHD 平衡配位の精度の高い同定手法の提案、精度の高い新古典熱伝導度、ブートストラップ電流評価モデルが提案され、現在、LHD 実験解析をとおしてモデルの検証を進めているところである。また、ヘリカルプラズマにおける帯状流の特性、周辺プラズマの揺動の統計的特性は担当者間の議論に基づき、LHD で観測される現象の理解が深まっている。これらの共同成果は 7 編の学術論文として発表されている。

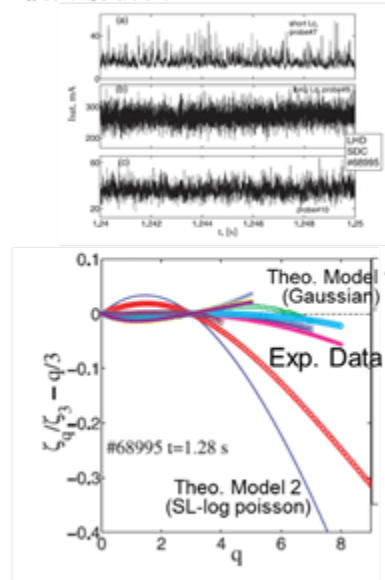
研究成果の一例を図 3. 2. 8-1 に示す。

LHDのブートストラップ電流の計算例



LHDの標準BS評価コードの結果の定性的妥当性を検証。定量的には差あり。

ダイバータ板へのイオン飽和電流の計測結果と統計解析例



ほとんどの計測データはガウス分布特性を示す。

図 3. 2. 8-1 クルチャトフ研究所との共同研究による LHD 実験のデータ解析例

平成 17 年度から 21 年度にかけて、延べ 14 人の研究者をクルチャトフ研究所から招聘し、2 名の研究者をクルチャトフ研究所に派遣した。招聘期間は、最大 6 ヶ月、最小 10 日で、1 ヶ月半が平均滞在期間である。一方、派遣者の滞在期間はいずれも 1 週間

程度の短期の滞在となっている。3ヶ月を超える長期の招聘には核融合科学研究所の外国人客員研究員招聘制度を利用し、2ヶ月以下の短期の招聘、派遣に当たっては、自然科学研究機構の「分野間連携による学際的/国際的研究拠点形成」事業の人的交流制度等を利用している。

成果論文を以下に示す。

- ① V.P.Budaev et al.;"Extended Self-Similarity in Edge Plasma Turbulence of Fusion Devices" Contrib. Plasma Phys. 48, No. 1-3, 42 – 47 (2008)
- ② V.P.Budaev et al.;"Extended self-similarity of intermittent turbulence in edge magnetized plasmas" 2008 Nucl. Fusion 48 024014
- ③ M. Isaev et al.;"LHD Bootstrap Current Coefficient Calculations with the VENUS+ δ f code" Plasma and Fusion Research, Volume 3, 036-1-7 (2008)
- ④ M. Isaev et al.;"Bootstrap current calculations with the SPBSC and the VENUS+ δ f codes for the Large Helical Device" 2009 Nucl. Fusion 49 075013
- ⑤ A. Matsuyama et al.;"Moment approach to the bootstrap current in nonaxisymmetric toroidal plasmas using deltaf Monte Carlo methods" Phys. Plasmas 16, 052501-1-9 (2009)
- ⑥ V.D. Pustovitov; "Anisotropic pressure effects on plasma equilibrium in toroidal systems" 2010 Plasma Phys. Control. Fusion 52 065001
- ⑦ V.D. Pustovitov; "Diamagnetic measurements and plasma energy in toroidal systems" 2010 Plasma Phys. Control. Fusion 52 085005

3. 2. 9 ロシア科学アカデミー・一般物理研究所

ロシア科学アカデミー・一般物理研究所(GPI)と核融合科学研究所は2007年10月15日に2研究所間の学術交流協定を締結した。協定に期限は設けられていない。

本協定締結前より、一般物理研究所とはマイクロ波散乱計測について過去約10年共同研究を行ってきた。また、ヘリカル系での新古典拡散理論のパイオニアであるL. Kovryzhnykh氏を中心とした輸送理論や乱流揺動の統計解析研究についても交流があった。GPIはレーザーの発明によるノーベル賞を受賞したプロコロフ博士の名前を冠した研究所であり、その設置経緯からレーザーやマイクロ波の物理やその応用技術に強みを持っている。

ロシアでは科学技術への投資も増加しつつあるものの、GPIでの主力実験装置であるL-2Mステラレータ(図3.2.9-1)のECH電力の大電力化や本体の改造提案については実現が図られておらず、研究活動は停滞している。この事情はGPIに限らず、ロシアの核融合研究全体の傾向と言える。本協定の締結により、大学院を修了した直後の若手研究者だけでなく、1990年代の混乱期に研究環境に恵まれなかった30-40代の中堅の研究者のサポートすることを図ってはいるが、実質的な共同研究として成果を上げることがなかなか難しい状況である。

昨年度まで年間1名ないし2名を自然科学研究機構の国際的研究拠点形成事業による「国際共同研究拠点ネットワークの形成」により招聘し、高出力マイクロ波光源を用いた散乱計測についての共同研究を行ってきた。図3.2.9-2に示す協同散乱受信システムを共同開発した。LHDに既設のECH用ジャイロトロンからのマイクロ波を用いて、その散乱波をこの受信システムで計測し、イオン温度の診断を行うことを目指している。この他、比較的若手の研究者を赤外線領域のレーザーを用いた微視的不安定性による乱流揺動計測の実験に参加するために招聘してきた。

今後も、協定による共同研究が形骸化しないよう、若手の支援を中心として一定規模の交流を継続していくことが望まれる。

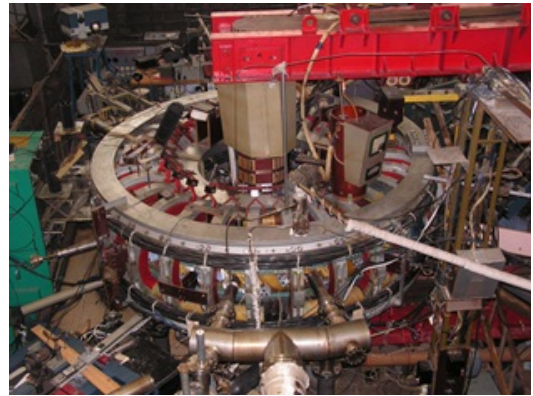


図3.2.9-1 L-2M ステラレータ
($R/a=1m/1.1m$)

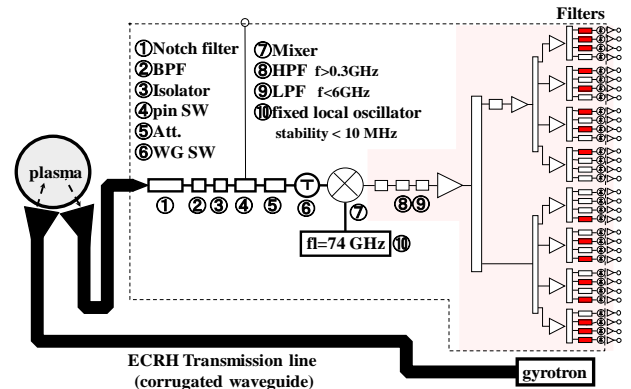


図3.2.9-2 GPIと核融合研が共同開発したマイクロ波協同散乱受信システム

3. 2. 1 0 ウクライナ科学センター・ハリコフ物理工学研究所

ハリコフ物理工学研究所では、NIFS と同じヘリオトロンタイプの装置 (URAGAN 2M、URAGAN 3M) を有している研究所であり、磁場閉じ込めの共通の物理を研究している。

高エネルギー粒子軌道解析で共通する研究が行われており、人的交流による継続的な共同研究を実施している。

2006 年に A. A. Shyshkin 教授を招聘し、滞在中の成果として、” Control of cold alpha-particle cross-field flux with the resonance magnetic perturbations in the helical fusion plasma” の題目の共著論文 (主たる共著者・相良教授) を Nuclear Fusion に発表した。

2008 年には、Mishchenko 博士を招聘し、ヘリカル系磁場配位におけるプラズマ微視的不安定性や乱流輸送に対して重要な影響を及ぼすと予想されるプラズマ帯状流、背景電場やリップル捕捉粒子の効果についての共同研究を実施した。

2010 年には O. A. Shyshkin 博士と非マクスウェル分布プラズマにおける核融合反応率の増大に関する研究を実施した。

3. 2. 1 1 オーストラリア国立大学

概 説：オーストラリア国立大学は中型のヘリアック装置 (H-1) を有し、ヘリカル系プラズマ実験研究を進めるとともに、計測や MHD 理論において高いレベルの活動を行っている。日豪学術交流は、政府間で締結された日豪科学技術協力協定に始まる。本協定を実質的ならしめるため、1995 年に豪国オーストラリア国立大学と当研究所の間で大学間学術交流協定を締結し、学術研究における緊密な連携を促すことを目的として、人物交流、研究交流及びワークショップ (WS) の開催を行ってきている。

共同研究の内容：「プラズマ理論及び計算機シミュレーションに関する日豪ワークショップ」及び「プラズマ計測に関する日豪ワークショップ」をそれぞれ 2 年又は 3 年に 1 度の頻度で開催している。平成 21 年 2 月 2 日から 2 月 6 日にかけては、オーストラリア国立大学において第 8 回プラズマ計測に関する日豪 WS を共同開催した。日本からは核融合科学研究所他、6 研究機関から 12 名の参加があった。オーストラリアからの出席者としては、オーストラリア国立大学、シドニー大学を中心として約 30 名の参加があった。ITER 計測が進展している状況下において、ITER 機構から、計測責任者の A. Costley 博士等の参加もあり、国際色豊かなワークショップとなった。次回は、JAEA がホストとなり第 9 回の WS を開催することに合意している。

平成 20 年の国際プラズマ物理会議 ICPP2008 で、R. L. Dewar 博士、M. G. Shats 博士と、核融合科学研究所をはじめとする日本の理論研究者との間で、プラズマ理論における数理解析手法、波と高速粒子の相互作用、乱流解析等幅広い分野での議論を行った。オーストラリア国立大学のプラズマ閉じ込め実験装置 H1-NF では、LHD と比して低温プラズマであることを活用して、プローブを用いた“その場”計測が精力的に展開されている。そこから得られる高時間分解能の豊富なデータに基づいた、乱流・帯状流間のエネルギーカスケードの先駆的解析は、LHD 高温プラズマにおける構造形成、乱流揺動計測等から得られるデータと併せて、トーラスプラズマ改善閉じ込め現象の理解にも大きく貢献している。

また、国際ヘリカル系調整作業会合 (Coordinated Working Group Meeting :CWGM) においても、日豪研究者間の議論を継続的に展開している。第 4 回[平成 20 年 10 月 Madrid]、第 5 回[平成 21 年 7 月 Stuttgart]、第 6 回[同 10 月 Princeton]の CWGM を活用して、D. Pretty 博士、B. Blackwell 博士と、核融合科学研究所をはじめとする日本の実験・解析研究者との間で、データマイニング法を用いた MHD 不安定性研究、そのデータベース化についての共同研究の進展を図った。LHD、H1-NF のみならず、核融合科学研究所の国内共同研究を活用して、ヘリオトロン J 等の参画も得て、多様なヘリカルプラズマでの共同作業を展開し、平成 21 年のステラレータ-ヘリオトロンワークショップ等の国際会議の場でも成果発表を行った。オーストラリア国立大学の C. Michael 博士が平成 20 年の 3 月まで、学振の外国人特別研究員、COE 研究員として核融合科学研究所に約 4 年間滞在した。同氏はオーストラリア H-1 ヘリアック装置での経験を生かして炭酸ガスレーザーを用いたプラズマ密度と密度の乱流的な揺らぎの計測手法の開発、及びこれらの計測結果にもとづいた LHD プラズマの閉じ込め物理解明の研究に大きく貢献した。

3. 2. 12 韓国基礎科学支援研究所／韓国国立核融合研究所

核融合科学研究所は、1996 年 3 月 6 日に韓国基礎科学支援研究所 (KBSI) と核融合科学に関する共同研究、人材交流を目的として学術交流協定を締結した。KBSI 内に 2005 年 10 月に韓国国立核融合研究所 (NFRI) が設置され、活動の実態は、もっぱら NFRI との交流となっている。活動内容の詳細は、3. 1. 2 日韓協力事業に記載されているため、ここでは省略する。

3. 2. 13 プロヴァンス大学

全体的概観

平成 19 年 7 月、本島修所長 (当時、協定締結責任者) ほか 4 名がプロヴァンス大学を訪問、協定を締結した。平成 19 年 10 月、仏プロヴァンス大学より Layet 副学長、Giraud 前副学長、Benkadda 教授、及び、仏 CNRS (国立科学センター) より Henequin 博士の 4 名が核融合科学研究所を来訪した。これらの機会に、学術研究における共同研

究やフランスにおける新設の核融合教育プログラムについて打ち合わせを行い、双方の特徴を生かした共同研究の方針を基礎づけた。交流責任者は伊藤公孝が務めている。

「国際共同研究拠点ネットワークの形成共同研究」事業の援助を受け、科学研究費や先方大学経費等とのマッチングファンドも生かし、国内の協同研究者との交流を図りつつ実績を上げた。（研究成果の謝辞に明記。）

「磁場核融合研究に関する国際連携研究所（LIA）」設置に伴い、同事業と協同的に推進する事とした。

特徴ある実績

- (1) 双方の特徴を生かした国際教育の実施（Mr. R. Champailler（フランス Fusion Science 全国コース大学院博士前期課程在学）を核融合科学研究所に招聘し、今川先生他が教育指導を行った。この滞在研究成果は、フランスの同コースに属する総ての学生の成果の中で最高の評価を得ている。*）
- (2) ITER International Summer School (IISS) の国際化（運営委員やプログラム委員を務め講師を派遣するとともに 2008 年には我が国に誘致した。）
- (3) 協同論文を出版した。

人物派遣等による協同研究成果を上げる成果に止まらず、若手研究者や高学年大学生を対象に IISS を組織したり、大学院学生を受け入れたりする等、国際教育プログラムの検討・打ち合わせも行っている。核融合科学研究所とともに九州大学、大阪大学等国内大学との連携も成果を上げた。さらに、IISS-2008 の日本開催により全国の大学院生・若手研究者に参加の場を提供する事が出来た。

今後の展開

この実績を生かし特徴を更に伸ばす形の国際協同研究を継続する予定である。

*) ローマン・シャンペイエ君への教育・研究成果
 ローマン・シャンペイエ（Romain Champailler）君は、2009年3月11日～8月31日の間、核融合科学研究所にインターンシップ学生として滞在し、以下の研究成果を上げた。

ヘリカル型核融合炉 **FFHR** の工学設計において、超伝導マグネットの設計オプションのひとつとして、酸化物系高温超伝導線材（HTS）を適用するための検討が行われているが、これに用いる大電流導体の巻線時にかかる機械的な歪みの効果について調べるために、図 3.2.13-1（上段）に示す縮小導体を用いて臨界電流の曲げ歪み依存性について実験的に調べた。2種類の導体を製作し、一方の導体ではテープ状の HTS 線材 4本を銅製の導体構造材の中に分散して配置、もう一方は中心に集中して配置した。液体窒素中で行った臨界

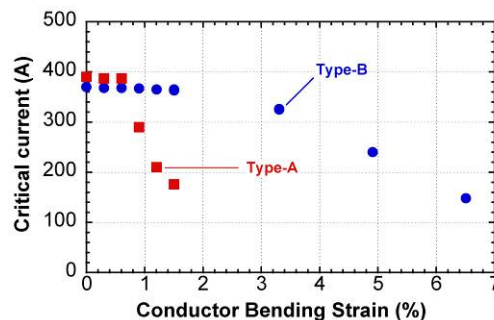
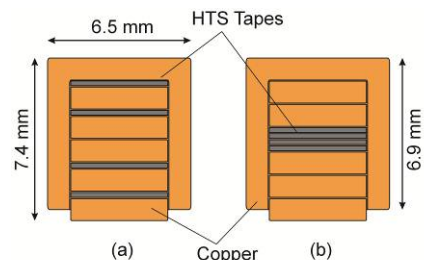


図 3.2.13-1 実験に用いた縮小 HTS 導体の断面構成と臨界電流の測定結果

電流測定によって、後者の方が HTS 線材に実効的に印加される曲げ歪みが小さいことを確認 (図 1 下段) するとともに、線材 1 本を用いた実験によって線材 4 本の結果を再現することができた。これらの結果によって、このタイプの導体が FFHR のコイル巻線に使用できる見通しを得た。また、一連の成果については、2009 年 10 月に中国で開催された第 21 回国際磁石会議 (MT-21) において発表を行い、以下の論文として発行された。

R. Champaviller, N. Yanagi, G. Bansal, H. Tamura, T. Mito, S. Imagawa and J.L. Duchateau, “Experiments of bending strain on reduced-scale HTS conductors for fusion energy reactors”, IEEE Trans. Appl. Supercond., **20**, 1565 (2010).

3. 2. 1 4 磁場核融合に関する国際連携研究所設置協定

全体的概観

「磁場核融合に関する国際連携研究所 LIA 336」は、磁場核融合研究に関する学術研究の振興を図るため、日本側は、核融合科学研究所、九州大学、大阪大学、フランス側は CNRS (国立科学研究センター) 及びプロヴァンス大学の 5 機関が合同で国際学術交流協定を結び開設したものである。設立記念式典にはフランスより CNRS 総裁 Brechignac 教授以下主立った研究者が来日し文部科学省林文部科学審議官の同席の下締結署名が行われる等、両国の強い熱意で 2007 年に設立された。交流責任者は伊藤公孝が務めている。

「国際共同研究拠点ネットワークの形成共同研究」事業の援助を受け、科学研究費や先方大学経費等とのマッチングファンドも生かし、国内の協同研究者との交流を図りつつ実績を上げた。(研究成果の謝辞に明記。)

特徴ある実績

○ 2009 年度の実績で、双方延べ 8 人/回の教授級研究者が交流し、共同研究を行うとともに運営について議論した。

○ 上記の他、LIA 国際ワークショップ (2009 年 5 月 17 日、京都) を開催し、11 名が参加、共同所長の状況分析の講演 2 件と研究発表、集中的な討議が行われた。

○ ITER International Summer School (IISS) を推進した。従来の 4 回の IISS に対し運営委員やプログラム委員を務め講師を派遣した。2008 年には我が国に誘致した。(参加学生及びオブザーバーは 136 人 (日本 98 名, 韓国 15 名, フランス 9 名, ドイツ 4 名, 中国 3 名, イギリス 2 名, インド 2 名, アメリカ・パキスタン・デンマークから 1 名ずつ参加)。講師は 15 名 (5 カ国及び 1 国際機関 (ITER) からの参加)。

○ 若手研究者の交流を実践した。(大阪大学 Thomas 博士, フランス・プロヴァンス大学 M. Muraglia, T. Voslion 等。) LIA での成果を積極的に国際会議で発表させた。

○ Twin doctor degree 取得を援助した。九州大学西村征也博士 (2009 年 4 月取得), 同杉田暁 (2011 年 4 月取得予定), 等の実績が上がった。

○ 協同成果論文を出版した。出版物の中で特筆すべきものとして

S.-I. Itoh, M. Shindo, S. Inagaki, M. yagi, ed., *Second ITER International Summer School - Confinement* (AIP, 2009) AIP Conference Proceedings 1095, 243pages を上げる。

今後の展開

来年度 LIA336 は規定により CNRS の評価を受け、達成した成果を更に発展させるため更新の準備を進める。今後とも国際協同研究を継続する予定である。

3. 2. 15 スペイン国立エネルギー環境技術研究センター

スペイン国立エネルギー環境技術研究センター(CIEMAT)は LHD につぐ規模のヘリカル装置である TJ-II ヘリアックを有し、この実験のみならずヘリカル系の研究を幅広く進めている。CIEMAT と核融合科学研究所は 2009 年 2 月 26 日に 2 研究所間の学術交流協定を締結して以来、継続して強力な協力を進めている。協定期間は 5 年であるが、どちらか一方からの書面による申し入れがない限り 1 年毎に自動延長することとしている。協定締結前より IEA 実施協定「スタラレータ・ヘリオトロン概念の開発」による多国間協力に基づいて、CIEMAT の主力装置である TJ-II と LHD のプラズマ実験に関するものを中心として多くの共同研究が進められてきた。協定締結後は協力関係が更に強化され、平成 20 年度と 21 年度の 2 年間の実績として、派遣 22 名、招聘 10 名となっている。IPP との関係と同様に核融合科学研究所側は自然科学研究機構の国際的研究拠点形成事業の枠組みに支援と個々の科学研究費補助金に、CIEMAT 側は EURATOM の mobility fund に拠っている。

共同研究の主な内容として、IEA 協定や IPP のところで述べた国際調整作業会活動については、核融合科学研究所、IPP に次ぐ第 3 番目の極として TJ-II 実験データをもとに貢献をし、共同作業を進めている。

LHD と TJ-II の比較実験や共同実験として、H-mode 遷移、高速イオン励起 MHD 不安定性、磁気島の発生と消滅、HIBP 計測からの電場に関わる物理について継続的に進めており、今年の IAEA 核融合エネルギー会議においても 2 件の共著論文を発表した。

LHD における共同実験では、特に、平成 21 年度より CIEMAT より高速カメラを LHD に持込み、周辺揺動に関する統計性やメゾスケールの輸送物理現象に注目した研究を進めている(図 3.2.15-1 参照)。スペインの大学院生がこの高速カメラ計測を用いて博士論文研究を LHD で行っている。

TJ-II においては LHD で用いられている高速イオン損失プローブと同じ設計のものを設置し、磁場配位の異なることによる高速イオン閉じ込めの異同を議論している。両研究所の若手研究者が相手機関での共同実験を企画立案・実施することによって、所属機関での実験の枠を超えたより包括的な研究展開が図れるよう、組織的に計らっている。

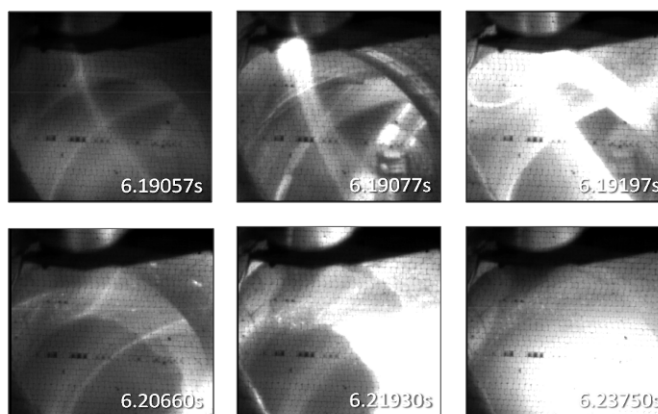


図 3.2.15-1 CIEMAT 所有の高速カメラによる LHD におけるコア密度崩壊時の周辺プラズマ像

現在、日本とスペインの間には科学技術に関する包括協定がなく、核融合に関する本協力がその柱の一つなるよう期待されている。このため、研究所間協定はスペイン側としては、科学・技術革新省の覚え書きとして位置づけられている。

3. 2. 16 ITER 機構

ITER は人類初の核燃焼プラズマの実証と制御を行う国際事業であり、2019 年の実験開始を目指して、本格的な建設に入った。

ITER 建設及び運転の工学的な課題を解決するため、ITER 機構と共同研究契約を結び、研究課題を実施している。これまでに契約した3件の共同研究は、(1) ICH 出力試験、(2) 低温システムのリアルタイムシミュレーション、(3) ITER データ収集の基本設計に向けた物理データ形式の調査研究である。

ITER 建設の本格化により、LHD での装置開発、建設、運転及び装置改良に豊富な実績を有する核融合科学研究所の協力はますます重要になってくると考えられる。ITER 機構と核融合科学研究所の包括的な連携を行う協定締結を予定しており、国際的な責任を果たす意味からも積極的に貢献していく計画である。

(1) ICH 出力試験

ITER のイオンサイクロトロン加熱は 20MW 定常である。内訳は $1.25 \times 2 \times 8$ システムであり、一本の真空4極管からの出力は 1.3MW 以上である。定常大電力4極真空管の候補は、欧州(タレス: TH525A)と米国(CPI:4CM2, 500KG)の2候補である。どちらを選択するかはこれらの試験結果で決定する。ITER 実験で予測される最大周波数 65MHz(少数 H 加熱/4.3T)であり、米国 CPI の 4CM2, 500KG の定常大電力試験を担当する(1995年にこの4極真空管を用いて得られた 1.6MW/5,000 秒/50MHz の試験結果が高く評価されている)。

2008 年第 22 回 FEC において、B. Beaumont(旧知の研究者、ITER 加熱部門の ICH 責任者)から、NIFS で4極管 4CM2, 500KG の定常出力試験の依頼を受けた。その後何度かのTV会議を経て、研究協力内容を確認して、2008年6月に Service Contract 契約を締結した。契約内容は、報告書の製作、修理費、真空4極管の購入等に関して、ITER 機構側が相当のサポートをする。

出力試験結果: 1MW/100 秒, 1.3MW/10 秒, 1.45MW/3 秒の出力試験に成功した。また、H-L 遷移に伴う高周波加熱源への電力反射が、出力に影響を及ぼす事が推測される、この事に対する試験が実施された。電力反射率が增大するにしたがって、高周波加熱源出力が減少する(スクリーングリッドへの電流制限のため)事が判明した。具体的には、電力反射率 1.5%の場合最大出力は 1.7MW を期待できるが、電力反射率 14.7%の場合最大出力は 0.8MW まで低下する。

(2) 低温システムのリアルタイムシミュレーション

ITER クライオプラントプロセスのリアルタイムシミュレーション研究に関する ITER からの外部委託に応募し、NIFS においてその研究を実施することが決定した。研究内

容は3つの段階に分かれており、それぞれの段階毎に ITER 機構による承認が必要になっている。第1段階は超臨界圧ヘリウム循環テスト装置のモデル化とそのシミュレーションの実行、第2段階はサブスケールの ITER 超伝導コイルシステムのモデル化、第3段階は ITER コイルシステムに予想されているダイナミックな熱負荷の変動を軽減し、液化機の安定な運転を継続する運転手法の検討を行うことになっている。その研究の実効的な開始に先立ち ITER 機構の担当者 (R. Maekawa, L. Serio) と NIFS 担当者によるキックオフミーティング (2010年11月17日) を NIFS において行った(図 3.2.16-1)。

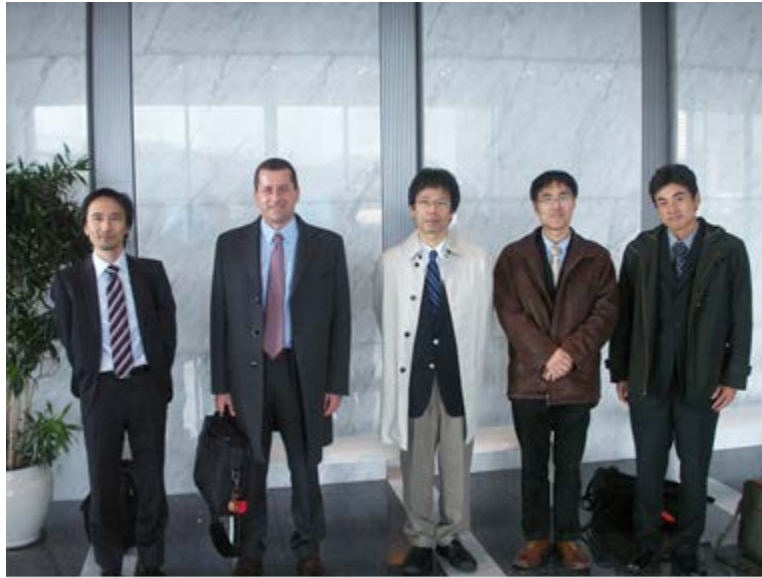


図 3.2.16-1. キックオフミーティング開始の担当者集合写真 (左から、ITER 機構の R. Maekawa, L. Serio、NIFS の岩本、大場、鷹見)

(3) ITER データ収集の基本設計に向けた物理データ形式ほかの調査研究

ITER CODAC (制御・データアクセス・通信システム) におけるデータ収集機能の基本設計に向け、物理データ形式及び関連システムに関する要求仕様分析と関連技術調査を行う ITER の外部委託要請に NIFS が応札し、採択された。

ITER CODAC 開発では、ここ2年ぐらいで ITER CODAC のプロトタイプ版である mini CODAC を開発する計画であり、本研究はその基礎資料を作成する調査研究という位置づけで、2010年11月から2011年6月までの短期契約である。

研究内容は、1. 物理データ形式の分類・分析、2. 定常データ収集方法の検討、3. ITER データ保存システムの技術検討と提案、4. ITER サイト内及び遠隔データアクセスの仕様分析等となっており、二週間おきに ITER CODAC 側と進捗会合 (TV 会議) を持ちながら、ステップバイステップで調査と報告書作成を進めていく。本研究の開始に際し、2010年11月29日に ITER CODAC 担当者 (Lana Abadie, Anders Wallander ほか) と NIFS 担当者によるキックオフミーティング (TV 会議) を行った。

3. 2. 17 交流協定に基づく国際協同研究の今後の進め方

ITER・BA 活動が本格化する中、世界的に各国において原型炉に向けた戦略の重要性が問われている。我が国においては、コミュニティと文部科学省の核融合研究作業部会において、専門的な分析に立つロードマップの議論が進められている。この原型炉に向けたロードマップについては韓国においては1年以内にまとめられること、米国でもPPPL が中心となって議論が開始される場所である。研究所間学術交流協定に基づく国際共同研究は、「それぞれの機関の特徴と共同研究成果」で述べたように協定締結機関の特長を生かして継続的に進められていることから、一見バラバラで ITER・BA も視野に入れた原型炉の製作とは無関係と捉えられがちであるが、実際には、LHD が目指すヘリカル原型炉に必要な知見として、長期的視野に立って、核融合科学研究所のトロイダルプラズマの総合的理解、工学的研究に組み込まれるものである。核融合科学研究所は国内外の動向を注視し、大学共同利用機関として、今後の LHD 実験、炉工学、数値炉のプロジェクトや国際共同研究の強化を図る方針である。

- ・ ITER への直接貢献のために ITER 機構との包括協定を締結し、設計・建設や実験計画に関する共同研究や人的交流を促進していく。
- ・ 今後も、研究所間学術交流協定先の特長を生かした国際共同研究を、ヘリカル原型炉の実現を念頭に、大学共同利用機関の機能を国際的に展開することによって進めていく。核融合科学研究所が締結した協定をもとに、国内の大学等の研究者による国際的な共同研究への参画を促進する。
- ・ 米国とは、政府間協定が締結されるまで個別協定によって政府間協定を補い、TITAN 以降の共同事業計画を含めた日米協力を滞りなく進めることに努める。テキサス大学を通じた核融合シミュレーション計画や、PPPL を通じた宇宙プラズマ物理への展開等、組織的事業にも日本側の拠点としての役割を果たす
- ・ 欧州とはマックスプランク研究所や CIEMAT とヘリカル系研究の高度化を進めるとともに、ITER 及びその後の原型炉を見据えた炉工学及び大学院教育に関する協力を強化する。
- ・ アジアにおいては、KSTAR 及び EAST の超伝導トカマク装置実験へのこれまでの技術協力に立ち、本格化してきた実験への参画を促進していく。これによって定常プラズマに関する総合的理解に努める。
- ・ ロシア及びウクライナについては、高い能力を持った若手研究者との協力や、国際研究集会への支援や参加を通じて、一定規模の国際協力活動を維持する。

3. 3 自然科学研究機構の国際連携活動

大学共同利用機関法人自然科学研究機構では、機構を構成する5機関（国立天文台、核融合科学研究所、基礎生物科学研究所、生理学研究所、分子科学研究所）がその分野における中核機関としての機能を継続発展させると同時に、機構全体として各々の分野を越え、共同することによって、自然の理解を一層深め、自然科学の新たな展開に貢献することを目指すこととなった。この目的を実現するため、機関横断的な事業として「分野間連携による学際的・国際的研究拠点形成」に平成17年度より取り組み始めた。この事業の枠組みの中で、学際的と国際的の2つのカテゴリーにおいて実体をなすプロジェクトが検討された。このうち、核融合科学研究所から提案され、実施の運びとなったプロジェクトのうちの 하나가、「国際共同研究拠点ネットワークの形成」である。平成21年度を持って5年の事業を終えたが、この事業の推進によって得られた先端的かつ創造的な研究成果や、萌芽的学際研究を更に発展させ、国際的にも高く評価される自然科学の国際的学術拠点を形成することを目的として、自然科学研究機構では、平成22年度から、「自然科学研究における国際的学術拠点の形成」事業を展開することとなった。核融合科学研究所では、この主旨に沿って、「磁場閉じ込めプラズマ中の乱流、磁気島及び磁力線の研究」を掲げ、国際的研究者コミュニティの共同研究交流拠点形成と、新しい方法論としての「イメージングサイエンス」へ核融合科学からの貢献を目指すこととした。その一環として、平成22年度より「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」プロジェクトを実施している(図3.3-1)。

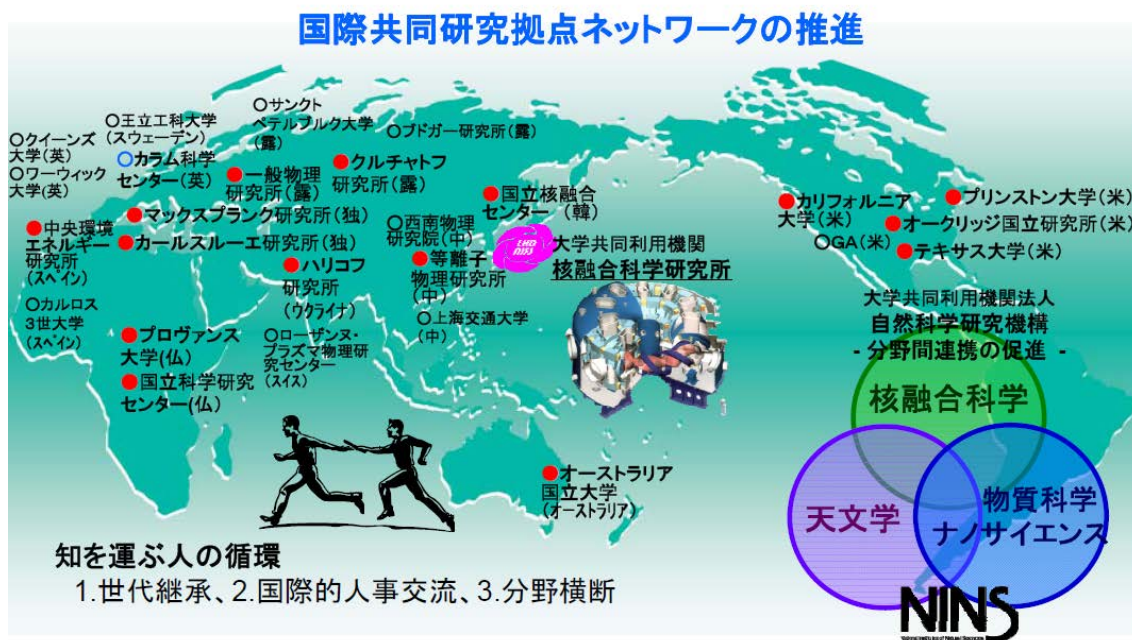


図 3.3-1 国際共同研究拠点ネットワークの推進の狙い

そこでは、核融合科学研究所が締結している幅広い学術交流協定等を基盤とした国際共同研究の組織的な先導や体系的な展開と合わせ、大学共同利用機関としての役割と機

能を国際的に広く発揮し、国内研究者と国際的研究コミュニティとを結ぶハブ機能を更に強化することに注力している。このプロジェクトのキーワードは滞在型共同研究交流であり、今後、本プロジェクトの創造的展開によって、核融合科学の学術的体系化、その基盤に立脚した先端的研究、さらには、新分野の創成につながる研究に貢献できる国際的学術拠点のネットワーク活動を推進する。特に、基盤となる予算手当のない欧州との協力関係を担保する役割を担うことになる。

これまでの交流実績を図 3.3-2 に示す。交流延べ人数は平成 21 年度までの事業において増加し、延べ 120 名を超える行き来を支援することができた。平均滞在日数は、平成 21 年度には 14 日となっており、滞在型共同研究が実質的に進められていることを示している。共同研究拠点のネットワーク化が組織的に進むことにより交流が促進されたことと、事業初期においては、国際共同研究のための一定の機器整備にも予算を計上していたが、人事交流に特化していく戦略をとった。相手国も平成 17 年度は 5 か国であったが、平成 22 年度には 14 か国に増えた。延べ交流日数実績は、平成 21 年度は 1,700 人/日となっており、日米の 1,570 人/日、日中の 1,440 人/日を上回る流動性を実現した。図 2 のグラフ中に () に大学院生数を内数として示してあり、

教育の役割も果たしている。平成 22 年度からは「磁場閉じ込めプラズマ中の乱流、磁気島及び磁力線の研究」をテーマとすることとして対象課題を絞ることによって、縮小された予算規模でも更にネットワークを強化できるようにしている。対象から外れた課題については、平成 21 年度まで築いた関係を個別に継続発展させる努力を求めている。現在は、「3次元ヘリカル型プラズマにおける磁気島構造と乱流が及ぼす閉じ込めへの影響」、「プラズマ乱流に関する共同研究」、「LIA336 や プロヴァンス大学に係る共同研究及び ITER International Summer School (IISS) 等の推進」、「ヘリカル系国際調整作業会合 CWGM」、「境界プラズマと材料相互作用」、「球状トーラス」、「先進閉じ込め配位」の課題を設定し、また核融合科学研究所の大学共同利用機関としての役割を国際的に更に拡充するための戦略的な交流に当たっている。

平成 17 年度から 21 年度までの成果及び平成 22 年度からの新事業についての情報を WEB 上にて公開している (<http://incrbp.lhd.nifs.ac.jp/index.html>)。

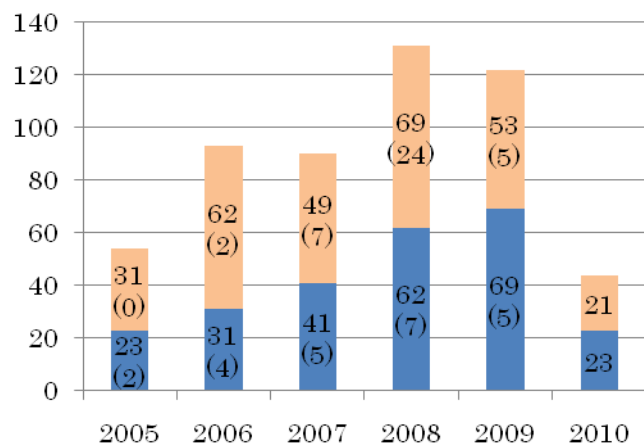


図 3.3-2 「国際共同研究拠点ネットワークの形成」(平成 17 年度-21 年度)による人事交流実績と、「国際共同研究ネットワーク活動の推進」(平成 22 年度)による同、見込。青は派遣、橙は招聘。()内は学生数で内数。

3. 4 ボランティアな貢献（ITPA等）

当研究所における ITER・BA 計画に対する連携活動は ITER 建設地の決定前の平成 15 年度から始まっており、平成 16 年度の研究所の法人化後に新たな組織として連携研究推進センター学術連携研究室 ITER 連携研究部門（併任教官 4 名）が設置された。以後 6 年間にわたって様々な形で ITER・BA 計画に貢献してきた。

（1）ITER 連携協力としての国際トカマク物理活動（ITPA）

国際トカマク物理活動（ITPA）は核融合プラズマ物理の進展に寄与する実験データ及び解析結果を提供し、データベースの構築と ITER 等の核燃焼プラズマの性能とその制御に関する研究を推進することを目的としている。この成果は平成 19 年に「Progress in the ITER Physics Basis」として学術誌（Nuclear Fusion, 47（2007））にまとめられ、世界の多くの研究者から閲覧されている。この論文執筆には当研究所の研究者も多く参加している（Y. Todo, B. J. Peterson 他）。また、ITER 機構設立後は ITPA が機構の傘下に置かれ、ITER 設計評価においても ITPA 組織から物理面での多くの指摘がなされ、ITER の実験計画立案にも大きく貢献している。

ITPA は 7 つのトピカル物理グループ（輸送、周辺とペDESTAL、スクレープオフとダイバータ、MHD、高エネルギー粒子、定常運転シナリオ、計測：[昨年からは輸送と閉じ込め・データベースが統合され、高エネルギー粒子が独立した]）で構成されており、それぞれ年に 2 回の会合が開かれ、日本、ヨーロッパ、ロシア、アメリカ、中国、韓国、インドの 7 極から各トピカルグループの委員が参加している。当研究所からは 50 名中延べ 13 名の委員を出しており、ITPA 活動の国内の支援部隊である核融合エネルギーフォーラムの国内物理クラスター活動を含めて積極的な連携活動を実施している。ITER の喫緊の課題である ELM 制御等に関連して、LHD 実験を中心として、ヘリカル系の特徴

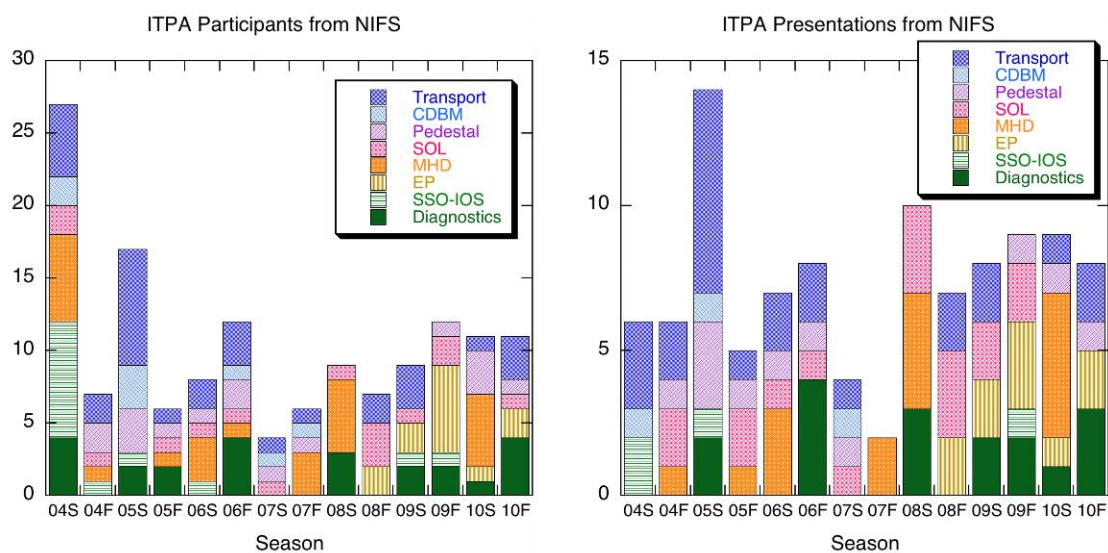


図 3. 4-1 ITPA 会合への参加者数と発表件数の推移

である 3次元の物理からの貢献が行われている。特に、「閉じ込めと輸送」及び「ペDESTAL」トピカルグループにおいて企画提案を行い、3次元の物理セッションが平成 22 年 10 月から設けられたことに決定的な貢献をした。

図 3.4-1 に示されるように、平成 16 年度 (2004 年) からの ITPA 会合への参加者は延べ 140 名 (約 20 名/年) となり、各トピカルグループでの発表件数も 103 件 (約 15 件/年) に上っており、ITER の設計活動から実験計画立案に対して、LHD をはじめとするヘリカル系から多大な貢献をしている。これは研究所からの ITPA 会合参加への積極的なサポート体制 (旅費支援) による大きな成果である。具体的には、トラスプラズマに共通する課題を中心に、LHD における輸送現象、閉じ込めデータベース、MHD 現象、高エネルギー粒子関連研究、PWI 関連研究、定常運転等様々な実験結果をはじめとして、トカマクでの協力研究や理論解析等を含めて、多くの発表と多数の研究者の会合への参加を行ってきた。特に、トロイダルプラズマの帯状流の実験的検証、プラズマの自発回転のメカニズム解明、粒子内部拡散障壁の発見、非局所輸送の実験解析、粒子輸送及び乱流輸送の比較研究 (トカマク/ヘリカル)、ペDESTAL 構造形成、電子輸送障壁形成に関する加熱パワー閾値、トロイダルアルヴェン固有モード (TAE モード) の実験解析及びシミュレーション、ダスト、ICRF 壁コンディショニング、タングステン照射等のプラズマ壁相互作用、損失・粒子計測法の開発等についての発表はデータベースの構築やトラスプラズマの包括的理解を深める上で注目され、大きな評価を得た。さらに、輸送グループでは輸送現象における 3次元効果に注目が集まり、今後、ヘリカル研究の成果がますます期待されている。

(2) 幅広いアプローチ (BA) 活動における連携協力

BA 活動の連携協力では、国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 事業の核融合計算機シミュレーションセンターに導入する高性能計算機選定のための特別作業グループ (SWG1) において高性能計算機の技術仕様の検討を推進した。高性能計算機の最小必要要件、性能評価のためのベンチマークコードの選定と現有スーパーコンピュータによるその性能評価を行った。この功績により、当研究所職員が平成 22 年 9 月より国際核融合エネルギー研究センター事業長に就任している。

炉工学関係では、ITER-TBM 計画を含めて、IFMIF-EVEDA 計画の推進、炉設計 R&D 活動の推進を全日本で進めるための組織体制作りにも協力し、核融合ネットワーク (核融合炉工学) と核融合エネルギーフォーラムの炉工学クラスターの合同作業会の立ち上げに貢献した。また、炉設計 R&D 活動での連携研究も実施している。

(3) ITER・BA 関連活動での連携協力

ITER・BA の事業活動の推進に関して、核融合科学研究所職員に対して、以下に示す各種委員等が委嘱され、その運営等に貢献している。

ITER 理事会理事 (小森彰夫)

ITER 科学技術諮問委員会委員 (伊藤公孝)

BA 運営委員会委員 (金子修)

国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 事業長 (中島徳嘉)

サテライト・トカマク事業委員会委員（竹入康彦）

ITER STAC での科学技術的課題の審議、ITER Research Plan の改訂作業、ITER TF コイル（超伝導導体、コイル本体、電流リード、フィーダー、電源）の調達に関する評価、ITER-NBI HV ブッシング概念・最終設計レビュー、IFMIF-EVEDA 計測、純化予備設計国際レビュー等国際的な評価委員として ITER・BA 計画の推進に大きな役割を果たしている。このように、LHD の建設、運転の経験が ITER/BA 事業の推進に生かされており、特に、IFERC 事業における高性能計算機選定には、性能評価のためのベンチマークコードの選定と現有スーパーコンピュータによるその性能評価を通じて、核融合科学研究所から多大な貢献をしている。また、国内では核融合エネルギーフォーラム ITER・BA 技術推進委員会や BA 事業の多くの関連委員会等では幹事や世話人を引き受け、ITER・BA 活動の活性化に貢献している。

ITER 機構設立前であるが、ITER 国際チームの要請でプラズマ立ち上げ時のリミターの熱・粒子負荷の 3 次元解析を共同で実施し、ITER 設計に大きな貢献をした（M. Kobayashi, Nuclear Fusion, 47 (2007) 67.）。また、ITER の主要燃料粒子供給であるペレット入射装置では LHD のニューマチックパイプガン加速方式による実験実績が高く評価され、設計変更に大いに貢献した。ITER 用 NBI 加熱装置においても LHD における負イオン源の中性粒子ビームの技術開発の実績が高く評価され、ITER-NBI のテストファシリティの開発に関する連携協力を要請され、共同開発が進められている。

（4）その他

核融合科学研究所の高い研究成果を世界の核融合研究の発展に生かすため、職員に対して、以下に示す委員、客員等が委嘱され、運営、研究推進等に貢献している。

プリンストン・プラズマ物理研究所評議会委員（山田弘司）

国立核融合研究所(韓国)KSTAR 研究センター客員実験コーディネーター（居田克己）

ITER 国際チームとの共同研究例として、ITER 国際チームの要請で NIFS 職員が半年間ドイツのガルヒンで共同研究を実施した。研究課題は「ITER プラズマ点火時のリミター配位におけるリミターへの熱負荷解析」であり、3次元の EMC3-EIRENE 輸送コードを用いてリミターへの熱・粒子負荷を様々なケースについて評価した（図 3.4-2）。ヘリカルプラズマに対する 3次元解析が ITER 設計に大きく貢献することが実証された。この共同研究は ITER 国際チームからも高い評価を得た。

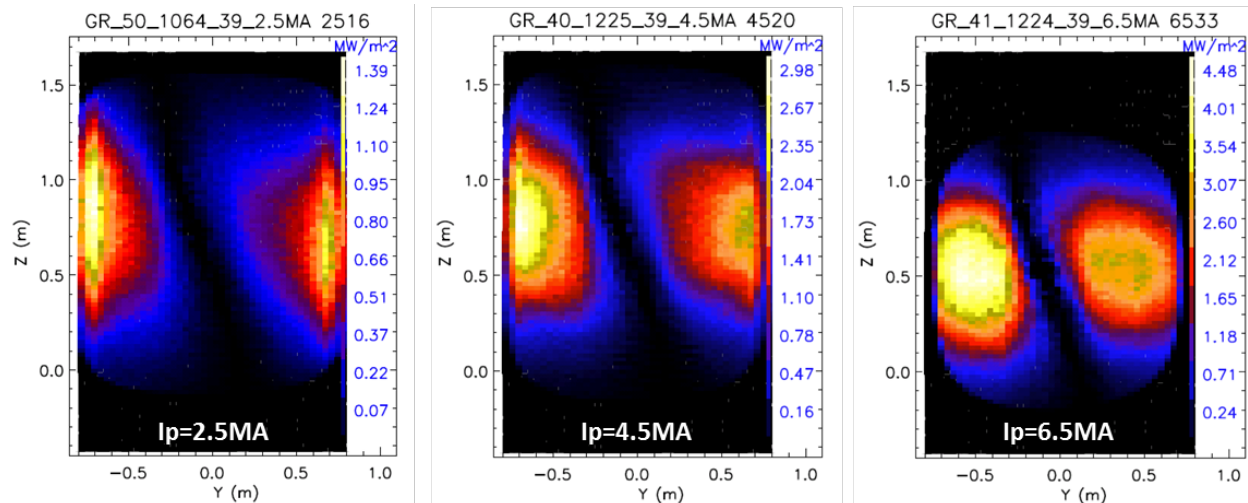


图 3.4-2 Power deposition profile on the Limiter for different I_p .

参考文献：“3D edge transport analysis of ITER start-up configuration for limiter power load assessment”M. Kobayashi et al., Nuclear Fusion, 47 (2007) 67.

4. 連携研究

4. 1 自然科学研究機構内連携研究

平成 16 年 4 月 1 日に発足した大学共同利用機関法人自然科学研究機構では、機構を構成する 5 機関（国立天文台、核融合科学研究所、基礎生物学研究所、生理学研究所、分子科学研究所）がその分野における中核機関としての機能を継続発展させると同時に、機構全体として各々の分野を越え、宇宙、物質、エネルギー、生命等広範な自然科学分野の研究を担う機関が連携し、共同することによって、自然の理解を一層深め、自然科学の新たな展開に貢献することを目指すこととなった。この目的を実現するため、平成 17 年度より、機構では研究連携委員会及び研究連携室を設置し、機構を横断する事業の企画立案を担当している。特に、5 研究機関が連携するものとして、「イメージングサイエンス」と「自然科学における階層と全体」の 2 つの課題を設定し、これまで、国際シンポジウムや新しい技術の開発等の成果を上げている。核融合科学研究所ではこれに対応して、連携研究センター内に機構連携部門（併任）を設け、平成 22 年 4 月の研究体制の見直し後は、連携プロジェクトの中に機構連携部会を設けて、活動を進めている。

「イメージングサイエンス」については、自然科学研究機構シンポジウムの平成 18 年 3 月の第 1 回及び平成 22 年 3 月の第 9 回において中心テーマに設定し、社会にもアピールしている（図 4.1-1 参照）。核融合科学研究所からプラズマのイメージング計測及び没入型バーチャルリアリティを軸に重要な貢献をしている。「イメージングサイエンス」については、平成 21 年 4 月に機構に新分野創成センターが設置され、ブレインサイエンスと並んで 2 部門体制が整備された。核融合科学研究所からは長山好夫教授と石黒静児教授の 2 名が併任として運営に参画している。また、平成 22 年度からの機構による「自然科学研究における国際的学術拠点の形成」事業の一環として、核融合科学研究所では、「磁場閉じ込めプラズマ中の乱流、磁気島及び磁力線の研究」プロジェクトを開始し、3. 3 で述べた国際協力と合わせて、見る（プラズマイメージング計測）、見せる（3 次元での可視化）の 2 つ課題に取り組み始めている。



図 4.1-1 自然科学研究機構シンポジウム。左：第 1 回（平成 18 年 3 月 21 日）、右：第 9 回（平成 22 年 3 月 21 日）、いずれも東京国際フォーラムにおいて開催。

「自然科学における階層と全体」については、計算機シミュレーション科学を軸とした物理系（核融合科学研究所、分子科学研究所、国立天文台が主）と生物における情報伝達階層を軸とした生物系（基礎生物学研究所、生理学研究所が主）の 2 つの学際的な

交流の場を設けつつ、核融合科学研究所が中心となって全体での議論を進めている。平成 20 年 2 月 21－23 日には機構が主催する初めての国際シンポジウムとなる “International Symposium on Hierarchy and Holism -Bridging Across Different Hierarchies in Natural Sciences - “を開催した。

機構全体ということでは、この他、平成 22 年に自然科学研究機構がプリンストン大学との包括的協力協定を締結の重要な背景の一つを核融合科学研究所が提供したことが挙げられる。分子生物学と天文学と並んで核融合科学・プラズマ物理学がプリンストン大学との幅広い結びつきを強化しており、今後の展開として、例えば、プリンストン大学とマックスプランク協会が進めている宇宙プラズマ研究機関構想への参画等が見込まれる。また、日本学術振興会ボンセンターが企画して日独修好条約 150 周年記念の企画への参画等分野を横断する貢献が更に期待されている。

機構内機関との協力についても研究者同士の認知が進み、交流がしやすくなったことから、幾つかの具体的な研究課題を挙げて進められている。太陽に関連した国立天文台及びナノサイエンスに関連した分子科学研究所との連携協力が特筆される。各々の研究機関の特長を生かした相乗的な研究の高度化が進められた。

一つ目は実験室プラズマの自発回転と太陽の差動回転との共通の物理を探る国立天文台との

連携研究である。太陽では赤道に近い方が、回転が速いことが知られており、最近の LHD でもプラズマの自発回転が精密に議論されるようになりつつある。このことから、乱流駆動の角運動量輸送をテーマとして議論を進めている（図 4.1-2）。二つ目は同じく太陽を対象としているが、太陽コロナの加熱機構の解明を目的とした LHD と太陽観測衛星「ひので」による非平衡プラズマの研究が共同で進められている。プラズマパラメータが良く分かっており、なおかつ制御できる LHD のプラズマを利用して、鉄イオンスペクトル線解析を行い、これを太陽活動領域の電子密度分布の評価に応用する等、多くの成果が上がっており、平成 17 年の協力開始以来、20 篇の共同論文が発表されている。また、水素原子ライマン α 線の偏光計測による太陽彩層磁場の直接測定のため、分子科学研究所がシンクロトロン放射光設備を用いて観測装置評価を、核融合科学研究所がスペクトルプロファイルの理論解析を担当して、天文台とともにロケット実験計画を開始した。さらに、実験室プラズマの自発回転と太陽の差動回転との共通の物理を探る国立天文台との連携研究を進めている。太陽では赤道に近い方が、回転が速いことが知られており、最近の LHD でもプラズマの自発回転が精密に議論されるようになりつつある。

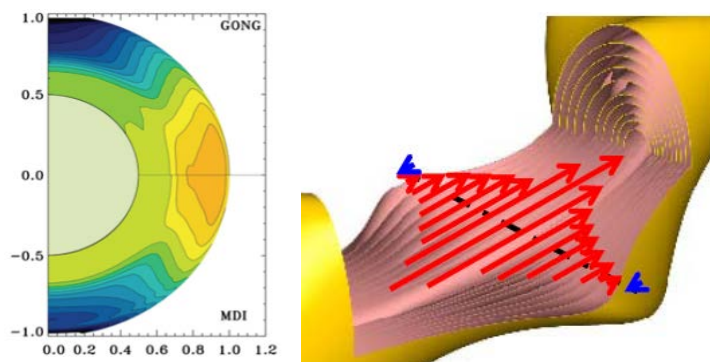


図 4.1-2 左：太陽断面の周回回転分布、右：LHD プラズマ中のトロイダル回転分布

このことから、乱流駆動の角運動量輸送をテーマとした物理研究の進展が期待されている。

分子科学研究所との間ではナノ微粒子の近接場イメージングのシミュレーションに関する連携研究に成果が上がった。分子科学研究所グループが近接場光学顕微鏡を用いた基板上の金ナノロッドの観察から表面プラズモン定在波の関係が指摘し、核融合科学研究所では、実験を模擬する電磁気学的な数値シミュレーションを行い、金ナノロッド上の明暗パターンを再現することに成功した。これらの研究成果は2編の共著論文として発表された。

この他にも、機構長裁量による「若手研究者による分野間連携プロジェクト」が機構内公募によって進められており、特に近接場における非平衡量子力学の新展開やナノ光学イメージングや、マイクロ波を軸としたプラズマ物理とナノサイエンスの結合による新しい物性学の創成に関する分子科学研究所との共同研究に成果があがっている。

今後も機構連携作業部会が円滑な機構連携を可能とするための環境整備と機構内の交流を促進する機会を設けていくことによって、分野を横断する研究の試みを支援していく。

4. 2 大学・研究機関との協定に基づく連携研究

核融合科学研究所では、大学・研究機関との協定を締結し、各大学・研究機関の特徴を生かした緊密な連携研究を実施している。現在、表 4.2-1 に示す 筑波大学、富山大学、名古屋大学エコトピア研究所、大阪大学、岐阜大学、東北大学、静岡大学、名古屋工業大学、日本原子力研究開発機構と協定に基づく連携研究を開始している。

表 4.2-1 大学・研究機関の協定締結先及び締結年月日

| 大学・研究機関名 | 協定締結年月日 |
|---------------|---------------|
| 筑波大学 | 2005年 9月 27日 |
| 富山大学 | 2007年 3月 14日 |
| 名古屋大学エコトピア研究所 | 2007年 9月 13日 |
| 大阪大学大学院工学研究科 | 2007年 10月 30日 |
| 岐阜大学 | 2008年 3月 25日 |
| 東北大学 | 2009年 3月 9日 |
| 静岡大学 | 2009年 3月 23日 |
| 名古屋工業大学 | 2009年 7月 8日 |
| 日本原子力研究開発機構 | 2009年 8月 10日 |

4. 2. 1 筑波大学

大学共同利用機関法人自然科学研究機構は国立大学法人筑波大学と平成 17 年 9 月 27 日に「プラズマ物理・核融合分野における学術交流に関する協定」を締結した。本協定に基づいて核融合科学研究所と筑波大学との間で、プラズマ核融合分野で必須となる大電力定常ジャイロトロン管開発を推進することを目標とした共同研究を平成 18 年度より実施することにした。

筑波大学のプラズマ研究センターは大電力定常ジャイロトロン開発に力を入れており、LHD の ECH 加熱技術・物理研究との協力が双方に有益である。共同研究の成果として、LHD に用いる 77GHz ジャイロトロン開発を行い、1.8MW/1 秒の世界最高出力を得ることに成功した。これまでに開発した 3 本の 77GHz 大電力ジャイロトロンを用いて、LHD の 2010 年度の実験では、4 MW 超の加熱入力が可能となり、電子温度 20keV を超えるプラズマ生成に成功した。これまでの研究協力により、共著の学術論文 4 編、国際会議 17 件（招待講演 1 件）、国内学会発表 17 件（招待講演 2 件）が発表されている。

LHD においては、核融合炉心 ITER データ収集の基本設計に向けた物理データ形式ほかの調査研究プラズマに近い高温低衝突領域での閉じ込めの物理を探求するとともに、定常運転に向けた技術的問題を実験的に検証してゆく必要がある。大電力定常ジャイロトロン管は、そのような高温定常プラズマを生成加熱維持するのに最も適したミリ波加熱パワー源である。加熱システムのコンパクト化のために、単管出力の一層の向上と定常運転化が望まれている。本共同研究においては、これまで筑波大学で進められてきたジャイロトロン開発技術と、核融合科学研究所で蓄積されてきた大電力ミリ波の準光学的取扱い技術を総合し、77GHz/1MW 以上パルス運転、及び 0.3MW 定常運転が可能となるジャイロトロン管の開発を共同で行うことを通じて、プラズマ核融合分野で必須となる大電力定常ジャイロトロン管開発を推進することにした。

平成 18 年度より平成 22 年度までに進められた共同研究の進展を図 4.2.1-1 に示す。

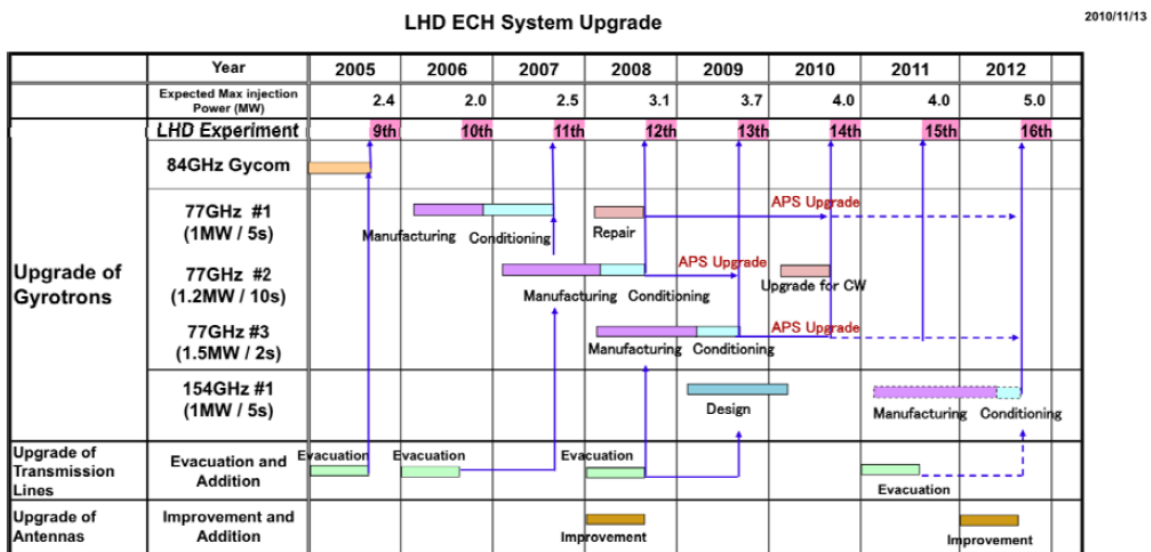


図 4.2.1-1 筑波大学との共同研究による 77GHz ジャイロトロン開発の進展

平成 18 年度、19 年度、20 年度に、目標出力 1 MW, 1.2MW, 1.5MW と段階的に増強しながらそれぞれ 1 本のジャイロトロン管を開発、製作した。ジャイロトロン管の外観写真を図 4.2.1-2 に示す。その間、1 号管で発生した出力窓の破損とその対策、修理を行うとともに、その後のジャイロトロン管設計に改良点が活かされている。1.5 MW 出力の 3 号管では、電子銃、キャビティ、内蔵モード変換器等を大きく見直し、所定の 1.5 MW 出力を達成するにとどまらず、印加電圧波形は工夫することにより平成 22 年度には 1.8MW, 1 秒の世界最高性能を達成した。定常運転に関しては、当初、管内での回折 RF による内部部品の加熱により、運転時間を制約されることが判明し、その対策を 3 号管の設計で講じ、更に平成 22 年度には 2 号管の改造に施した。その結果、0.2-0.3MW 出力で 1 時間を超える運転が可能となった。これまでに得られている各ジャイロトロン管の性能を表 4.2.1-1 に示す。これらのジャイロトロン管は、LHD におけるプラズマ実験に使用され、LHD 入射で 4 MW に及ぶパワー入射が可能となった。それによって、平成 21 年度の第 13 サイクル実験では、電子温度 15 keV を超えるプラズマの生成に成功した。また多くのプラズマ実験に使用されている。

本共同研究の特色は、これまで筑波大学において蓄積されてきた大電力ジャイロトロン設計上の学術的、技術的知見の集約である開発技術を発展させ、さらに核融合科学研究所での高パワ一定常ミリ波の取扱い技術と融合させることにより、安価でかつ高性能なジャイロトロン管を将来に渡り安定に供給できるシステムを構築するところにある。これにより国内の核融合研究機関で必要とされるジャイロトロン管を安定供給だけでなく、ITER はじめ広く世界のプラズマ物理・核融合分野に必要なジャイロトロン管の研究及び開発を進展させ、社会の発展に寄与できると期待される。



図 4.2.1-2 ジャイロトロン発振管（全長約 3m,重量 800kg）

| Tube No. | Specification | Pulse Operation <5 s | CW Operation |
|----------|---------------------|--|---|
| #1 R | 1 MW/ 5 s | 1.10 MW (36.4 %) 1.2 s | 0.29 MW (29.2 %) 60 s |
| | 0.3 MW/ CW | 1.01 MW (33.0 %) 5 s | 0.13 MW (21.7 %) 935 s |
| | Two step V_A rise | 1.41 MW (51.1 %) 0.2 s | |
| #2 (R) | 1.2 MW/ 5 s | 1.10 MW (29.8 %) 1.2 s | 0.2 MW (19.8 %) 370 s |
| | 0.3 MW/ CW | 1.02 MW (30.3 %) 5 s | *0.24 MW (30.8%) 1800 s *0.3 MW (31.3 %) 165 s |
| | Two step V_A rise | 1.30 MW (43.8 %) 0.45 s | |
| #3 | 1.5 MW/ 2 s | 1.6 MW (36.6 %) 0.5 s | 0.30 MW (36.3 %) 2400 s |
| | 1.2 MW/ 10 s | 1.53 MW (36.0 %) 1.6 s | 0.22 MW (32.4%) 4500 s |
| | 0.3 MW/ CW | 0.91 MW (40.9 %) 1.8 s | |
| | Two step V_A rise | 1.87 MW (37.2 %) 0.1 s 1.78 MW (37.9 %) 1 s 1.59 MW (40.8 %) 1.8 s | |

表 4.2.1-1 現在までに得られている出力性能. ジャイロトロン 1 号管から 3 号管まで、出力（効率）パルス幅を示す。表中の各管下段に示したものは、電源電圧の 2 段階印加運転によるものである。

成果論文リスト：

- [1] T.Kariya, R.Minami, T.Imai, K.Sakamoto, S.Kubo, T.Shimozuma, H.Takahashi, S.Ito, T.Mutoh, Y.Mitsunaka, Y.Endo, H.Shidara, N.Murofumi, Y.Sakagoshi, H.Yasutake, Y.Okazaki, "Development of 28GHz and 77GHz 1MW Gyrotron for ECRH of magnetically confined plasma", Fusion Science and Technology 55, 2T (2009) 91-94.
- [2] T.Shimozuma, S.Kubo, Y.Yoshimura, H.Igami, H.Takahashi, Y.Takita, S.Kobayashi, S.Ito, Y.Mizuno, H.Idei, T.Notake, T.Shimozuma, S.Kubo, Y.Yoshimura, H.Igami, H.Takahashi, Y.Takita, S.Kobayashi, S.Ito, Y.Mizuno, H.Idei, T.Notake, M.A.Shapiro, R.J.Temkin, F.Felici, T.Goodman, O.Sauter, R.Minami, T.Kariya, T.Imai, and T.Mutoh, "Handling Technologies of Mega-Watt Millimeter-Waves for Optimized Heating of Fusion Plasmas", Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy Vol.43, No1 (2009) 60-70.
- [3] H. Takahashi, T. Shimozuma, S. Kubo, S. Ito, S. Kobayashi, Y. Yoshimura, H.Igami, Y. Mizuno, Y. Takita, T. Mutoh, T. Kariya, R. Minami, T. Ima, "The Development of a 77-GHz, 1-MW ECRH System for the Large Helical Device", Fusion Science and Technology, Vol.57, No.1 (2010) P19-26.
- [4] T.Shimozuma, H.Takahashi, S.Kubo, Y.Yoshimura, H.Igami, Y.Takita, S.Kobayashi, S.Ito, Y.Mizuno, H.Idei, T.Notake, M.Sato, K.Ohkubo, T.Watari, T.Mutoh, R.Minami, T.Kariya and T.Imai, "ECRH RELATED TECHNOLOGIES FOR HIGH POWER AND STEADY-STATE OPERATION IN LHD", Fusion Science and Technology, 58 (2010) pp 530-538.

4. 2. 2 富山大学

○2007年3月に基本協定調印

- ・重水素、トリチウム等水素同位体の科学及び安全取扱い技術の開発に関わる研究
- ・人材交流、人材養成、大学院教育
- ・その他本協定の目的を達成するために必要な連携・協力

水素同位体科学研究センターにおいて「研究」、大学院理工学研究部において「教育」を主として連携・協力を行う。

本連携研究では、NIFSからはグロー放電洗浄等プラズマ実験に関する実験手法の知見を提供し、富山大学からはトリチウムをはじめとする水素同位体の取り扱い方や分析手法等の知見を提供して共同で実験を行っている。本研究により、核融合装置におけるトリチウムの挙動解明に成果を上げつつあり、今後はトリチウム除去、除染方法の確立へと展開していく計画である。

○NIFSからの寄与

2007年度

- ・集中講義（大学院及び学部学生を対象）・・・宇田教授、中村教授
- ・研究指導（客員教授）・・・・・・・・・・・・西村教授、野田教授
- ・核融合科学研究所の共同研究の枠内での研究連携
- ・・・・西村教授、宇田教授、朝倉教授、相良教授、河野准教授、増崎准教授、芦川助教

2008年度～

- ・集中講義（大学院及び学部学生を対象）・・・宇田教授、中村教授
- ・研究指導（客員教授）・・・・・・・・・・・・西村教授
- ・核融合科学研究所の共同研究の枠内での研究連携
- ・・・・西村教授、宇田教授、朝倉教授、相良教授、河野准教授、増崎准教授、芦川助教、田中助教

○連携・協力の今後の進め方

教育：総合研究大学院大学での外部講師による集中講義（制度を検討中）

特別共同研究員（委託・受託学生）

研究：重水素実験に関わる協力研究（二者間で特化できる研究課題）

真空容器内のトリチウム汚染評価に関する協力研究

材料のトリチウム除染に関する協力研究

重水素実験に関わるトリチウム取り扱い従事者教育（実習）

- ・水素同位体科学研究センターにて教育を受けるべく NIFS から派遣
- ・水素同位体科学研究センター受け入れ施設の拡充（2010年度実施）

○これまでの成果

H19 年度：LHD において使用されていた SS316L を試料として材であり、 β 線誘起 X 線計測法(BIXS)を用いてトリチウムの保持状況を調べた。

結果：試料の構成元素に由来する Fe 及び Cr のピーク、堆積物に由来すると思われる Ti のピークが観測された。表面堆積物の FE-SEM による分析により、炭素やホウ素に加えて Ti の存在が確認された。また、堆積物のみからのトリチウム浸出量の経時変化を追跡したところ、SS316L (母材) の約 6 倍以上の量となった。これらの結果、表面堆積物によるトリチウム保持挙動も重大な問題となり得ることが明らかとなった。

H20 年度：前年度の測定においてプラズマ対向面の堆積物中に Ti の存在が確認された。このことを再確認するために、LHD での第 9, 10 及び 11 サイクルの各プラズマ実験に晒された SS316 試料の分析を行った。その結果、Ti の堆積挙動の相違は基本的には試料の配置場所に依存するものであると考えられるが、長時間の運転後には、プラズマ対向材料表面に局所的に堆積した Ti が炉内に平均化されていき、水素同位体の保持に対する Ti の影響が突然顕在化する可能性を秘めている。また、X 線スペクトルから計算される表面層の平均 Cr 濃度はミルシートに記載されているものの約 2 倍程度まで濃縮されていることが知られた。曝露条件によるが、表面層に保持されているトリチウムは、非常に高濃度の状態にまで達し得ることも予測される。トリチウムの保持場所としては、試料表面に存在することが知られている Cr の酸化水酸化物表面の OH-又は O²⁻に捕獲されていると推定される。水との交換反応を用いた実験結果も、試料の最表面は Cr 化合物で覆われており、そこにトリチウムが捕獲されていることを示唆している。

水素同位体及び希ガス雰囲気におけるグロー放電による材料表面の水素同位体の取り込み及び洗浄効果を調べる目的でグロー放電試験装置を製作した。当該装置は、トリチウムガス雰囲気でもグロー放電が可能であり、また放電後の試料を加熱し取り込み気体の脱離試験をするための機構も備えている。予備的な実験の結果、試料からの再放出量は吸収量に依存し、吸収量に拘らず、放出割合はほぼ 22%となった。また、本実験での水素同位体の吸収量から求められた壁面材表面層の水素同位体濃度は、軽水素で 1.8×10^{20} atoms/m²、重水素で 1.5×10^{20} atoms/m² となり、表面層の水素濃度が極めて高い状態にまで達していることが知られ、本試験装置のグロー放電によって大量の水素同位体を注入し得る事が確認された。

成果発表

- 1) M. Matsuyama et al., "Tritium distribution in surface layers of metallic materials", Symposium on PWI/PFC and Fusion Technologies, 27-29 October, 2008, Huangshan Anhui, China.
- 2) S. Naoe et al., "Transport of tritium in SS316 at moderate temperatures", Fusion Sci. Technol., 54 (2008) 515-518.
- 3) K.Akaishi et al., "On the mechanism of tritium desorption from stainless steel", J. Vac. Sci. Technol. A, 26 (2008) 321-327.

H21 年度：軽水素によるグロー放電洗浄では、10 分程度で注入量のほぼ半分を除去でき、洗浄時間に大きな依存性は見出されなかった。この様な洗浄効果はグロー放電装置の大

きさや構造にも依存すると思われるが、いずれにしても短時間の放電洗浄で除去割合が飽和に達すると推定される。即ち、放電洗浄によって除される重水素は、先に材料に注入された重水素のうち表面層に存在する重水素だけである事を示している。グロー放電洗浄は注入された水素同位体の深さ分布に大きく左右されるが、壁材表面のコンディショニング（材料表面の軽水素化、重水素化又はトリチウム化）を目的とせず、ベーキングによる除去効果と同様の水素同位体除去を主眼とする場合には、希ガスによる放電洗浄が有効と言える。

重水素のグロー放電に 30 分間曝露し、その試料を大気に曝すことなく移動して赤外線加熱試験による脱離挙動を調べた。本加熱条件では脱離ピークの最大値が 120°C 付近に見出され、グロー放電で注入された重水素の殆どが比較的低温で放出される事が知られた。このことは前年度の試験において確認された 180°C でのベーキングで Glow-2 のステンレス鋼製の容器壁から注入重水素のほぼ全量が放出されるという結果とも一致する。また、昇温速度の増大とともにピーク温度は高温側に移動しており、重水素の脱離反応が表面での会合反応を経由した脱離律速となる二次反応で進行していることを示唆している。実験結果から、脱離の活性化エネルギーは 49 kJ/mol と評価され、平林らが報告している HT-II の脱離の活性化エネルギー値 55 ± 9 kJ/mol とほぼ同じ値となった。

現在、脱離機構を更に詳細に検討するために、拡散、捕獲サイトからの脱捕獲、表面再結合及び脱離過程等を組み合わせたモデルによる計算機シミュレーションを行い、観測された脱離ピークのプロファイルの再現を検討し、脱離ピークはこれらの素過程を考慮することによってほぼ再現できることが判明したが、今後更なる検討を継続する予定である。

成果発表

- 1) M. Matsuyama et al., “Trapping and depth profile of tritium in surface layers of metallic materials”, 14th ICFRM, Sep. 7-11, Hokkaido, (2009).
- 2) Y. Oya et al., “Fluence dependence on deuterium retention for the oxidized SS-316”, 14th ICFRM, Sep. 7-11, Hokkaido, (2009).
- 3) K. Nishimura et al., “Absorption and desorption characteristics of hydrogen isotopes implanted into stainless steel by glow discharge and baking”, Submitting to the TRITIUM 2010 Conference.

4. 2. 3 名古屋大学エコトピア研究所

名古屋大学エコトピア科学研究所と本研究所とは平成 19 年 9 月 13 日に、エネルギー科学に関して、地球環境負荷を低減した環境調和型社会の実現に関する学際研究、核融合エネルギーの実現に関する学術及び科学技術振興に寄与することを目的として連携協定を締結した。それぞれの研究所の特長を生かして、ダイバータプラズマの研究、X 線分光計測研究、炉工学研究等においての連携協力が実施されてきている。連携協力実施のための直接経費は無いため、LHD 計画共同研究、一般共同研究を企画するとともに、本研究所の室賀教授がエコトピア科学研究所の客員に就任し、連携協力を実りあるものにしてきている。

(1) X 線分光計測

一般的に LHD プラズマ（実験室プラズマ）は熱化しているが、宇宙プラズマでは非熱的粒子や X 線輻射場の存在により、観測される X 線スペクトル線構造には多くの違いが存在することが予想される。そこで、お互いのプラズマ構造の違いを研究する目的で様々な電離状態にある FeK α 線コンプレックスを計測できるコンパクトな X 線結晶分光器を製作し、LHD に設置した。首尾よく X 線スペクトルを計測することに成功した¹⁾。残念ながら X 線天文衛星「すざく」に搭載された X 線カロリメータの冷却系の不具合により宇宙プラズマ X 線スペクトル観測は不可能となった。しかし、まもなく次期 X 線天文衛星が打ち上げ予定であり、今回の共同研究の成果を有効に利用することが可能である。また、得られた FeK α 線スペクトル形状は LHD プラズマコア部の拡散係数として記述される粒子閉じ込め時間の関数であり、電子温度・密度分布を考慮することによりデータの解析を行った。計算したスペクトル形状はこれまで得られていた拡散係数を用いることにより実験値と一致した²⁾。(図 4. 2. 3-1)

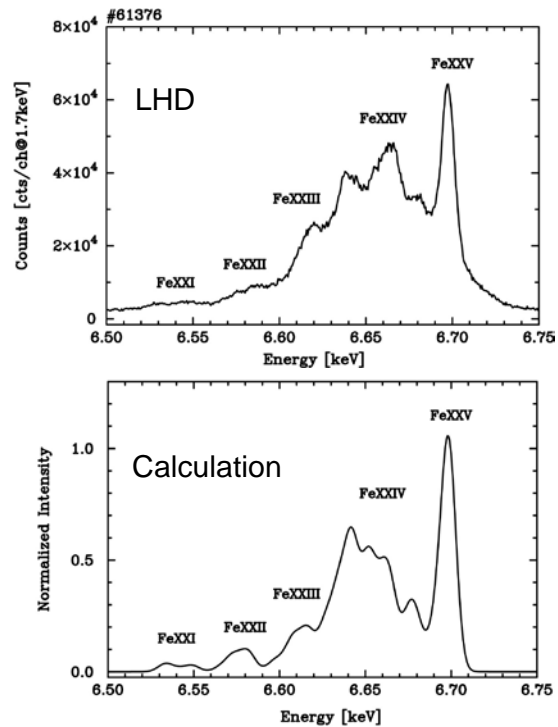


図 4.2.3-1 X-ray spectroscopy in LHD and space plasmas

- 1) I.Sakurai, Y.Tawara, C.Matsumoto, A.Furuzawa, S.Morita and M.Goto, RSI 77 (2006) 10F328.
- 2) I.Sakurai, Y.Tawara, C.Matsumoto, A.Furuzawa, S.Morita and M.Goto, PFR 2 (2007) S1068.

(2) 核融合装置真空容器内ミラー材料への He 照射効果次期核融合装置では中性子遮蔽のため多くの金属ミラーが使用予定であるが、粒子衝撃によるミラー損耗と反射効率の低下が懸念されている。その基礎研究としてエコトピア研究所・直線型プラズマ発生装置 NAGDIS のヘリウムプラズマを用いてミラー照射を行った後、核融合科学研究所所有の解析装置を用いてミラーの光学的反射率の変化を調べた。Mo ミラーにヘリウムを照射すると、ヘリウムイオンエネルギーは 50 eV とスパッタリング閾値より十分に低いにもかかわらず、表面にはヘリウムバブルや繊維状のナノ構造が形成され、反射率が著しく劣化した。劣化は特に波長が短い紫外領域において著しく、おおよそ 1,200 K,

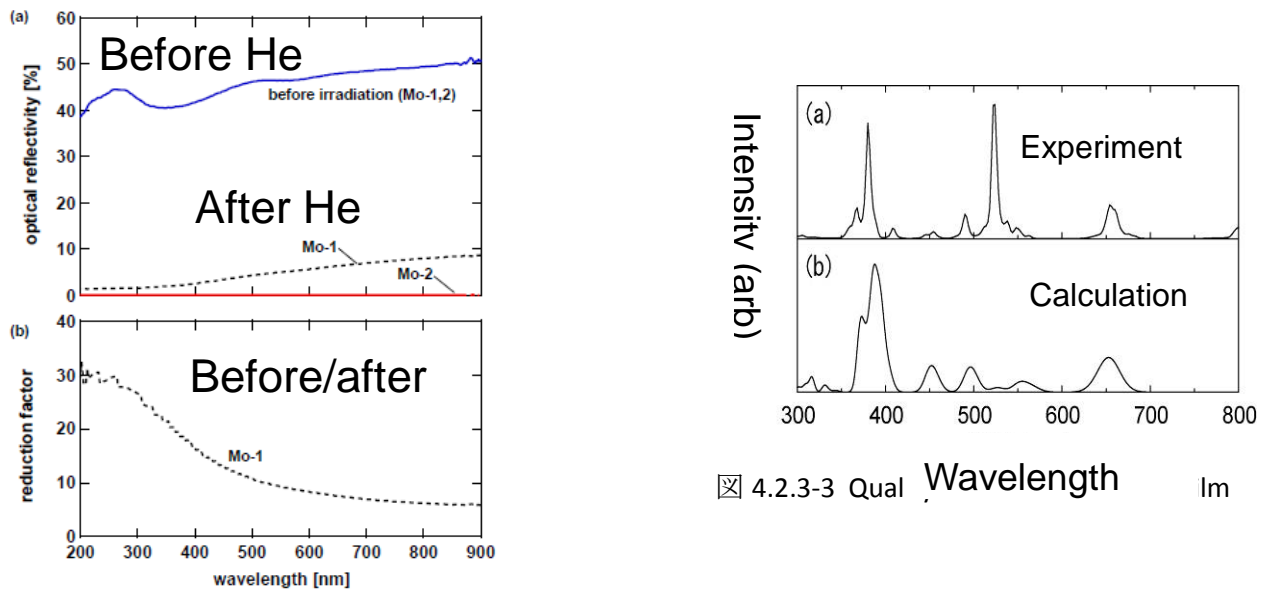


図 4.2.3-2 Optical reflectivity of in-vessel Mo mirror

$1.8 \times 10^{26} \text{ m}^{-2}$ のフルエンスにおいて、波長が 300 nm の時、光学的反射率が 1/30 程度まで減少した。波長が 1 μm になると減少率は 1/5 程度と緩和されることが分かった。(図 4.2.3-2)

(3) 酸化エルビウム被覆の照射誘起発光による特性評価

液体 Li 冷却ブランケットにおける MHD 圧力損失の低減を目指し、酸化エルビウム (Er_2O_3) 電気絶縁被覆の研究開発を行なった。核融合科学研究所では電子線照射誘起発光測定装置の構築を進め、エコトピア研究所では Er_2O_3 理論遷移スペクトルに関して相対論第一原理多重項計算法を用いて多重項準位及び吸収スペクトルを計算した。その結果、特に 640-690 nm の発光強度と被覆の結晶性に関連があること、また原子構造対称性の崩れを考慮することにより有意な解が得られること等が分かった。(図 4.2.3-3)

成果論文リスト：

- 1) V. P. Budaev, N. Ohno, S. Takamura, S. Masuzaki, A. Komori, T. Morisaki, "Extended Self-Similarity in Edge Plasma Turbulence of Fusion Devices", Contributions to Plasma Physics, Vol.48, 2008, pp.42-47.
- 2) V.P. Budaev, N. Ohno, S.Takamura,S. Masuzaki, A. Komori, T. Morisaki, "Extended self-similarity of intermittent turbulence in edge magnetized plasmas", Nuclear Fusion , Vol.48, 2008, pp.24014.
- 3) N. Ohno, M. Yoshimi, M. Tokitani, S. Takamura, K. Tokunaga, N.Yoshida, "Spherical cauliflower-like carbon dust formed by interaction between deuterium plasma and graphite target and its internal structure", J. Nucl. Mater., Vol. 390-391 (2009) 61.
- 4) N. Matsunami, N. Ohno, M. Tokitani, "Deuterium retention in tungsten oxide under low energy D2+ plasma exposure", J. Nucl. Mater. Vol. 390-391 (2009) 693.
- 5) T. Tanaka, M. Yoshino, Y. Hishinuma, D. Zhang, W. Kada, F. Sato, T. Iida, T. Nagasaki, T. Muroga" Characterization of Er2O3 ceramic coatings by luminescence measurements" Presented at 14th International Conference on Fusion Reactor Materials (Sept 6-11, 2009, Spporo), Journal of Nuclear Materials, accepted for publication.
- 6) S. Kajita, T. Saeki, N. Ohno, M. Tokitani, T. Hatae, W. Sakaguchi " Degradation of optical reflectivity of in-vessel mirror materials by helium bombardment" 14th International conference on fusion reactor materials, September 6-11, 2009, Sapporo, Japan, to be published in Journal of Nuclear Materials
- 7) M. Yamagiwa, S. Kajita, N. Ohno, M. Takagi, W. Sakaguchi, N. Matsunami, H. Kurishita, M. Tokitani, S. Masuzaki " Helium bubble formation on tungsten in dependence of fabrication method" 14th International conference on fusion reactor materials, September 6-11, 2009, Sapporo, Japan to be published in Journal of Nuclear Materials
- 8) J. M. Dewhurst, B. Hnat, N. Ohno, R. O. Dendy, S. Masuzaki, T. Morisaki and A. Komori, "Statistical properties of edge plasma turbulence in the Large HelicalDevice", Plasma Phys. Control. Fusion 50 (2008) 095013 (15pp)
- 9) N.Matsunami, T.Tanaka, N.Ohno and M.Tokitani, "Deuterium retention near surface of TiO2 by low-voltage D2 plasma discharge", Phys. Stat. Sol. (c), Vol.5 No.4, pp.923-926, 2008
- 10) N.Ohno, M.Yoshimi, M.Tokitani, S.Takamura, K.Tokunaga, N.Yoshida, "Spherical cauliflower-like caron dust formed by interaction between deuterium plasma and graphite target and its internal structure", Journal of Nuclear Materials, Vol.390-391, pp.61-64, 2009.
- 11) N.Matsunami, N.Ohno and M.Tokitani, "Deuterium retention in Tungsten Oxyside under low-voltage D2+ plasma exposure", Journal of Nuclear Materials, Vol.390-391 (2009) pp.693-695
- 12) 10. H. Tanaka, N. Ohno, Y. Tsuji, S. Kajita, S. Masuzaki, M. Kobayashi, T. Morisaki, H. Tsuchiya, A. Komori, "Enhancement of cross-field transport into the private region of detached-divertor in Large Helical Device", Phys. Plasmas 17, 102509 (2010)

4. 2. 4 大阪大学

協定の概要

大阪大学大学院工学研究科と核融合科学研究所との協定

平成 20 年 10 月 30 日に協定締結。

材料、物理、電気、建設機械、化学、等幅広い専門教育連携ならびに連携研究を包含した広範囲な協定

○研究・教育でのお互いの特色を生かした連携を強化、推進する。

共同研究、大型実験での大学院研究、セミナー、ワークショップ、プロジェクト推進等

○キーワード：核融合エネルギー、プラズマ、超伝導、レーザー、マテリアル等を軸とした幅広い工学研究連携。高度研究環境での大学院教育連携。

現在までの状況

材料、物理、電気、建設、機械、化学、等幅広い専門教育連携ならびに連携研究を包含した広範囲な協定を締結し、研究・教育でのお互いの特色を生かした連携を強化、推進している。

幅広い共同研究事業において、毎年、約 200 名前後の大阪大学大学院工学研究科に所属する教官、技官、学生が共同研究に参加している。

共同研究成果の一例として、高繰り返し慣性核融合炉ターゲットチェンバー中心に爆縮後エアロゾルが生成することを実験室系装置で検証し、特に、炭素をチェンバー材料に用いた場合、カーボンナノチューブ状のエアロゾルが生成することが判明した。

教育連携として、核融合科学研究所の教授が「特別講義」を行っている。また、大阪大学大学院工学研究科の学生を対象とした核融合科学研究所の見学会を実施している。

核融合科学研究所の見学会の実施

実施日：平成 20 年 9 月 24 日（水）

対象者：大阪大学大学院工学研究科学生

参加者：学部 4 年生 3 人、修士 1 年生 6 人、博士 3 年生 1 人の合計 10 名

引率者：電気電子情報工学専攻 羽原英明准教授

大阪大学工学部（北千里）から核融合科学研究所まではマイクロバスで移動し、その経費は核融合科学研究会からの補助によった。

見学会は、研究所紹介、見学（制御室、ドーム、液化機室）、特別講義（南貴司准教授（当時））とした。感想として、見学に来て良かった、今後もこのような見学ツアーを継続してほしいといった希望が出された。

4. 2. 5 岐阜大学

核融合科学研究所は、岐阜大学と多様な分野で協力し、学術研究の振興と研究成果の社会活動の推進及び大学院教育の充実を図ることを目的として、包括的な合意の下に、理工学分野を中心として共同研究・研究協力が進められている。具体例として岐阜大学のカーボンナノチューブ研究や核融合科学研究所のセラミックスと粉末冶金の研究等それぞれの得意分野で協力し、民間企業を巻き込んでハイテクの製造技術の開発を進めている。

(1) レーザー工学とその応用

核融合科学研究所は、岐阜大学が行っているレーザーを使ったレーダー（ライダー）による半径数キロの局地大気の変動観測をサポートする。核融合科学研究所の蓄積しているレーザー技術との連携によって、飛行中及び空港滑走路とそのアプローチ付近に発生する晴天乱気流の警告、大気中の炭酸ガスの精密分布測定等、気流モニターシステムの研究を目指した安全と環境に関する協力を検討。

(2) マイクロ波加熱研究とカーボンナノ研究の融合

核融合科学研究所のセラミックスと粉末冶金の研究や、岐阜大学のカーボンナノチューブ研究等それぞれの得意分野が協力、民間企業を巻き込んでハイテクの製造技術の開発を進めている。

(3) プラズマと材料・物性学分野の協力

核融合科学研究所の高度なプラズマ物理研究と岐阜大学の固体物性学の交流を強化し、核融合炉工学分野等新しい学際分野を開拓する。

(4) 情報通信分野（中期計画）

核融合科学研究所と岐阜大学の間では、岐阜県等の通信ネットワーク等情報網を利用した高度通信システムの構築を目指す。

(5) 中性子利用分野（長期計画）

長期的視点から核融合科学研究所は、LHD 装置を使った高エネルギー中性子を利用する研究を検討している。

(6) 社会教育分野

核融合学研究所は、岐阜大学と社会教育分野に関する協力を推進。賢材塾という若い経営者を中心とした幅広い社会教育システムに、岐阜大学の参加も期待。

(7) 大学院教育

個別の研究テーマを推進してゆく過程で、大学院学生の交流、研究への相互参加の機会を生み出す。

以上のように、この包括協定は、具体的な直近の共同研究と中長期的な計画からなるが、研究環境の変化に対応して、見直しを行い、活性化を図る必要がある。

4. 2. 6 東北大学

両機関の連携協力を推進し、相互の研究開発能力及び人材を生かすことにより、多様な分野での共同研究、研究者交流、大学院教育への協力を進めている。

○ 協定の概要

国立大学法人東北大学と大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所における連携協力に関する協定

平成 21 年 3 月 9 日に協定締結。

両機関の連携協力を推進し、相互の研究開発能力及び人材を生かすことにより、学術研究の発展と人材育成の充実、核融合に関する科学技術の向上について、新たに重要な役割を果たすことを目的とした協定。

目的達成のため、

- (1) 共同研究等の企画及び実施とこれに伴う研究者の交流、
- (2) 大学院教育、
- (3) その他協定の目的を達成するために必要な連携・協力を行うこととしている。

○ 現在までの状況

上記協定に基づき、(1) 共同研究等の企画及び実施に関しては、平成 22 年度より、双方向型共同研究に核融合工学研究課題を取り込むべく、東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター（大洗センター）をその第一歩として新たに参画機関に加え、核融合炉材料の中性子照射効果に関する基礎研究を中心として、既に公募により審議採択された共同研究 9 件が開始されている。

大洗センターの中性子照射後試験施設を用いた、NIFS で開発した共通バナジウム合金の耐照射性の研究、ブランケット用被覆、接合材の照射効果の研究、NIFS の高温材料強度試験装置を用いた、大洗センターで開発した微結晶バナジウム合金の高温クリープ変形特性の研究、高温クリープ試験法、液体金属雰囲気照射試験法等試験法の高度化に関する研究が開始されており、協定締結後これまで、5 件の共著論文を発表している。

また、(2) 大学院教育に関して、平成 22 年 10 月 1 日に東北大学大学院工学研究科との連携講座に関する協定を締結した。これによって、核融合炉を実現するために必要不可欠な総合システム工学及び核融合炉に必要な炉材料設計等の分野での大学院教育・人材育成を進めるため、核融合炉材料工学及び核融合炉システム工学の 2 講座について、東北大学工学研究科－核融合科学研究所連携講座を立ち上げた。それぞれの講座で教授 1 名、准教授 1 名、の計 4 名の構成となっている。既に、博士課程を中心に、修士学生の聴講も含めて約 10 名を対象にした集中講義を開始している。

4. 2. 7 静岡大学

プラズマ壁相互作用／水素同位体の研究グループ、画像処理の研究グループとの共同研究を実施し、また共同研究の立ち上げを計画している。協定以前から共同研究を実施してきた経緯もあり、2009年からの共同研究の成果として、学術論文10編、国際会議発表 14件、国内学会発表 16件の実績が上がっている。

平成21年3月に静岡大学と核融合科学研究所との間に連携協力協定が結ばれたことを受け、多様な分野での共同研究の推進と研究者の交流、大学院教育の充実を目的として、静岡大学・核融合科学研究所連携研究フォーラムが開始され、平成22年2月に第一回が開催された。今後の共同研究と教育協力のための情報交換として、活動のスタートとして議論が行われた。第一回は核融合科学研究所で行なわれ、次回からは相互に場所を移して行なわれることになった。現在はこのフォーラムをとおして、共同研究の枠組みが議論され、プラズマ壁相互作用の分野を中心に共同研究が行なわれている。フォーラムにおいては次の事項が発表され、議論された。

- ・ 学術交流に向けた取り組み紹介
- ・ プラズマ・壁相互作用／トリチウム関連
- ・ イメージングサイエンス関連
- ・ 今後の協力の進め方について

現在研究協力が行なわれている例について以下に紹介する。

LHD 計画共同研究「ボロンコーティング膜におけるトリチウムを含む水素同位体動的挙動」に（H13-16年、代表：静岡大学・奥野健二教授，世話人：相良明男）により、デカボランを用いた化学蒸着（CVD）法によるボロン被覆装置を整備した。本装置では、プラズマグロー放電により、基盤に目的物質（本研究ではボロン）を蒸着させることができる。その後、一般共同研究（例えば「水素グロー放電に曝露したボロン膜中の水素滞留量及びその存在状態に関する研究」H16-18年、代表：奥野健二教授，世話人：芦川直子）を中心に、LHD・ボロニゼーションにより被覆されたボロン膜の評価、及び同膜への水素同位体保持特性に関する評価を中心に共同研究を進めてきた。

静岡大学・奥野研究室では、X線光電子分光法（XPS）、昇温脱離法（TDS）、原子間力顕微鏡（AFM）等表面分析装置も整備されており、必要に応じて分析装置を使用するための人材交流も行われている。

これまで精力的に行われてきた研究の一つとして、被覆ボロン膜の理解につながる評価がある。初期には、ガス種及び不純物制御環境下で成膜されたCVDボロン膜と、LHDのボロニゼーション中に被覆されたボロン膜における酸素捕捉特性に関する比較研究を行った。CVD法により高純度ボロン膜（B95%以上）、炭素含有、酸素含有ボロン膜等含有量を制御したボロン膜を作成し、ボロン膜の特徴である酸素不純物保持特性の違いについて比較を行った。その結果、LHDのような実機とCVDボロン膜との違いは、不純物含有量にあることを明らかにした。

さらに、将来のLHD重水素実験に向けてボロン膜中への重水素保持特性を明らかにするため、LHDボロン膜に対して、LHD水素プラズマ放電への曝露及び静岡大学内におい

て重水素ビーム照射実験による比較実験を行い、これら水素同位体の捕捉サイトについて分析を行った。ボロン膜中に捕捉される水素は、ボロン (B) と結合するだけでなく、不純物である炭素及び酸素とも結合している結果が得られ、不純物含有量は水素同位体保持量に影響することを明らかにした。この結果は IAEA2010 で発表された。

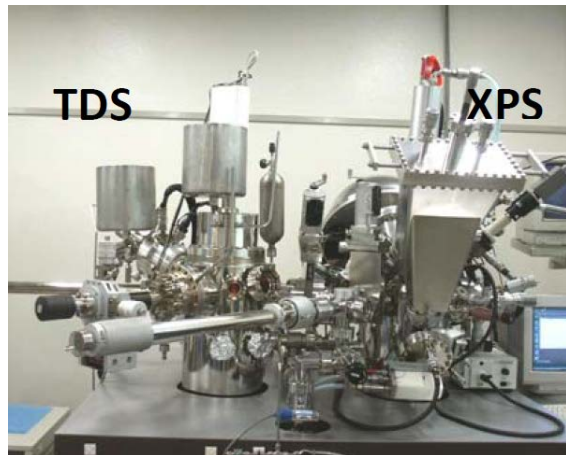


図 4.2.7-1 (A) 昇温脱離法 (TDS) 及び
(B) X線光電子分光法 (XPS) 析装置

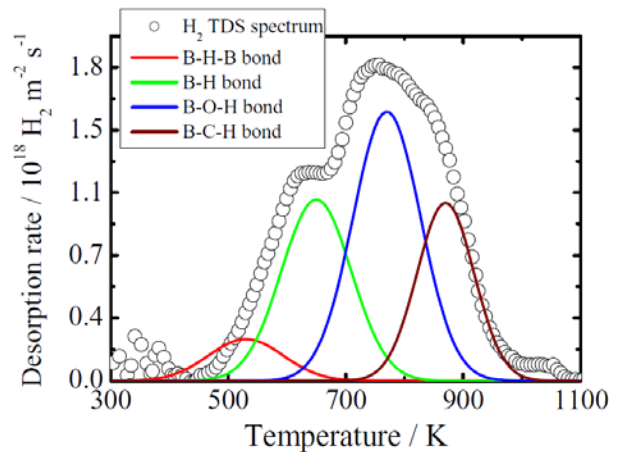


図 4.2.7-2 昇温脱離法 (TDS) による水素 (H₂) の保持状態. ボロン膜中に含まれる炭素および酸素不純物による保持に起因するピークが観測されている.

論文リスト:

- 1) Yasuhisa Oya, Makoto Kobayashi, Rie Kurata, Naoaki Yoshida, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Masanori Hara, Yuji Hatano and Kenji Okuno, “Comparison of hydrogen isotope retention and irradiation damage behaviors in tungsten and SS-316 with simultaneous C+D2+He+ implantation”, Fusion Engineering and Design (in press).
- 2) Yasuhisa Oya, Makoto Kobayashi, Rie Kurata, Wangjing Wang, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida, Yuji Hatano and Kenji Okuno, “Dynamics of hydrogen isotope trapping and detrapping for tungsten under simultaneous triple ion (C+, D2+ and He+) implantation”, Journal of Nuclear Materials, (in press)
- 3) Rie Kurata, Makoto Kobayashi, Sachiko Suzuki, Wanjing Wang, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida, Yasuhisa Oya, and Kenji Okuno, “Correlation between desorption of deuterium and recovery of irradiation defects in simultaneously deuterium and carbon ion-implanted tungsten”, J. Plasma Fusion Res. SERIES, 9 (2010) 193-196.
- 4) Kenji Okuno, Sachiko Suzuki, Makoto Kobayashi, Rie Kurata, Matsuyama Masao, Naoko Ashikawa, Akio Sagara and Yasuhisa Oya, “Retention Behavior of Hydrogen Isotopes in Boron Film Deposited on SS-316 for LHD first wall”, Fusion Engineering and Design, 85 (2010) 2328–2330.
- 5) Wanjing Wang, Makoto Kobayashi, Rie Kurata, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida, Guang-Nan Luo, Yasuhisa Oya and Kenji Okuno, “Temperature Dependence of Chemical Behavior of Energetic Deuterium and Carbon Implanted into Tungsten Simultaneously”, Journal of Nuclear Materials, (in press)

- 6) Yasuhisa Oya, Sachiko Suzuki, Masao Matsuyama, Takumi Hayashi, Toshihiko Yamanishi, Yamato Asakura and Kenji Okuno, "Fluence dependence of deuterium retention in oxidized SS-316", *Journal of Nuclear Materials*, (in press).
- 7) Yasuhisa Oya, Sachiko Suzuki, Wanjing Wang, Rie Kurata, Makoto Kobayashi, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida and Kenji Okuno, "Correlation between deuterium retention and microstructure change for tungsten under triple ion implantation", *Physica Scripta*, T138 (2009) 014051.
- 8) Makoto Kobayashi, Sachiko Suzuki, Wanjing Wang, Rie Kurata, Katsuya Kida, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida, Yasuhisa Oya and Kenji Okuno, "Trapping behaviour of deuterium ions implanted into tungsten simultaneously with carbon ions", *Physica Scripta*, T138 (2009) 014050.
- 9) Yamato Asakura, Masahiro Tanaka, Tatsuhiko Uda, Hideki Ogawa, Shigeyuki Takami, Yasuhisa Oya, Kenji Okuno and Satoshi Fukada, "Design of gaseous tritium recovery system applying commercially available membrane-type dehumidifier", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 46 (2009) 614-647.
- 10) Yasuhisa Oya, Yuji Inagaki, Sachiko Suzuki, Hirotada Ishikawa, Yohei Kikuchi, Akira Yoshikawa, Tomohiro Iwakiri, Naoko Ashikawa, Akio Sagara, Naoaki Yoshida and Kenji Okuno, "Behavior of hydrogen isotope retention in carbon implanted tungsten" *Journal of Nuclear Materials*, 390-391 (2009) 622-625.

11) 4. 2. 8 名古屋工業大学

核融合科学研究所と名古屋工業大学の間には締結された連携協定(2009年7月8日)に基づき、下記のとおり連携研究とこれに付随する活動を行っている。共通する課題である物質科学やシミュレーションに関するセミナーによる学術交流や教育での連携活動を実施している。

● 共同研究

三浦(核融合科学研究所)・後藤(名古屋工業大学)
佐藤、高山(核融合科学研究所)・高須(名古屋工業大学)

● セミナーの開催 平成22年度実績(平成22年11月1日現在)。

1) 平成22年5月2日 於名古屋工業大学

材料関係が中心のセミナー。核融合科学研究所と名古屋工業大学多治見セラミクス基盤工学センターが近接している事に注目、双方の機器を利用した共同研究について検討(核融合科学研究所:田中)。

2) 平成22年8月2日 於核融合科学研究所

両機関がシミュレーションの専門部署(核融合科学研究所核融合理論シミュレーション研究系及び基礎物理シミュレーション研究系、名古屋工業大学大学院創成シミュレーション工学専攻)を有する事に注目、シミュレーション技法等の情報交換(核融合科学研究所:三浦, 中島)。

● 外部資金申請等

・ 日本学術振興会 多国間国際研究協力事業 (審査中、独:Joerg Schumacher, 名古屋工業大学:後藤, 核融合科学研究所:三浦)

● 教育活動等

1) 名古屋工業大学において総研大夏の体験入学参加者募集への協力(核融合科学研究所:三浦, 名古屋工業大学:後藤)。

2) 核融合科学研究所インターシップ制度による、名古屋工業大学大学院生に対するスーパーコンピュータプログラミングの指導(核融合科学研究所:三浦, 名古屋工業大学:後藤)。

3) 特別利用共同研究員受け入れ(核融合科学研究所:高山, 名古屋工業大学:高須, 山田)。

● 研究成果

教育面では、NIFSの最先端研究設備を用いた名古屋工業大学の学生の修士・博士の研究内容の充実。NIFSにとっては、優秀な人材の活用。これにより、名古屋工業大学に最新研究設備を導入せずに、学生の研究環境を整えることが可能。インターシップ等により一部が実現した。応用面では、大学のLabサイズの研究とLHDを筆頭に大型設備の設計・製作技術の融合により、工場ラインへの導入を視野にいれた研究遂行が可能となった。

さらに、両者の専門性やトピックの多様性を生かした新しい研究提案実績としてG8への申請等が挙げられる。

4. 2. 9 日本原子力研究開発機構

「大学共同利用機関自然科学研究機構核融合科学研究所と独立行政法人日本原子力研究開発機構との核融合研究開発分野における連携協力の推進にかかる協定書」を平成21年8月10日に締結し、包括的な連携研究協力を開始した。

「JT-60SA 超伝導コイルの性能確認試験に関する共同研究」においては、核融合科学研究所の世界有数の大型超伝導試験設備に熱交換器と断熱容器を増設することにより、大型強制冷却導体の任意温度における性能評価を可能とし、JT-60SA の試作導体及び実機導体の性能評価を実施している。この共同研究に関して、2009年と2010年の2年間に4件の学術論文を発表した。以下に現在実施している共同研究項目と実績を示す。

(1) JT-60SA 超伝導コイルの性能確認試験に関する共同研究

① 目的

NIFS の試験装置を用いて、JT-60SA の CS/EF コイルの性能確認試験を行う。

② 連携の形態

JAEA/NIFS 間の共同研究で、以下の性能試験を実施する。

③ 項目

CS/EF 実機導体及び接続サンプル試験 ・ CS 導体端部処理の構造評価試験 ・ EF 導体端部処理の構造評価試験 ・ CS 巻線部の絶縁物の機械試験 ・ CS モデルコイル試験 ・ 実機 CS モジュールの励磁試験

④ 実績と今後の計画

<NIFS 超伝導マグネット研究棟での共同研究の実績>

2007年度：EF コイル用試作導体の分流開始温度 (T_{cs}) 測定

2008年度：EF コイル用試作接続部の抵抗測定

2009年度：EF コイル用試作導体の安定性試験

EF-H コイル用実機導体の T_{cs} 測定と安定試験

2010年度：EF-L コイル用実機導体の T_{cs} 測定と安定試験

EF コイル用実機接続部の抵抗測定

<NIFS 超伝導マグネット研究棟での共同研究の今後の計画>

2010年度：CS コイル用実機導体の T_{cs} 測定：実験1回

2011年度：CS コイル用実機接続部と CS コイル端部接続部の抵抗測定：実験2回

2012年度：CS モデルコイル試験（1パンケーキの試験）

2013年度：CS モジュール試験（1モジュールの試験）

図 4.2.9-1 に、磁場9テスラ超伝導スプリットコイルを装備した大型超伝導導体試験装置を使用して、高磁場環境下における JT-60SA の短尺試作導体の性能評価試験（電流分流開始温度測定及び安定性試験）を実施している状況を示す。

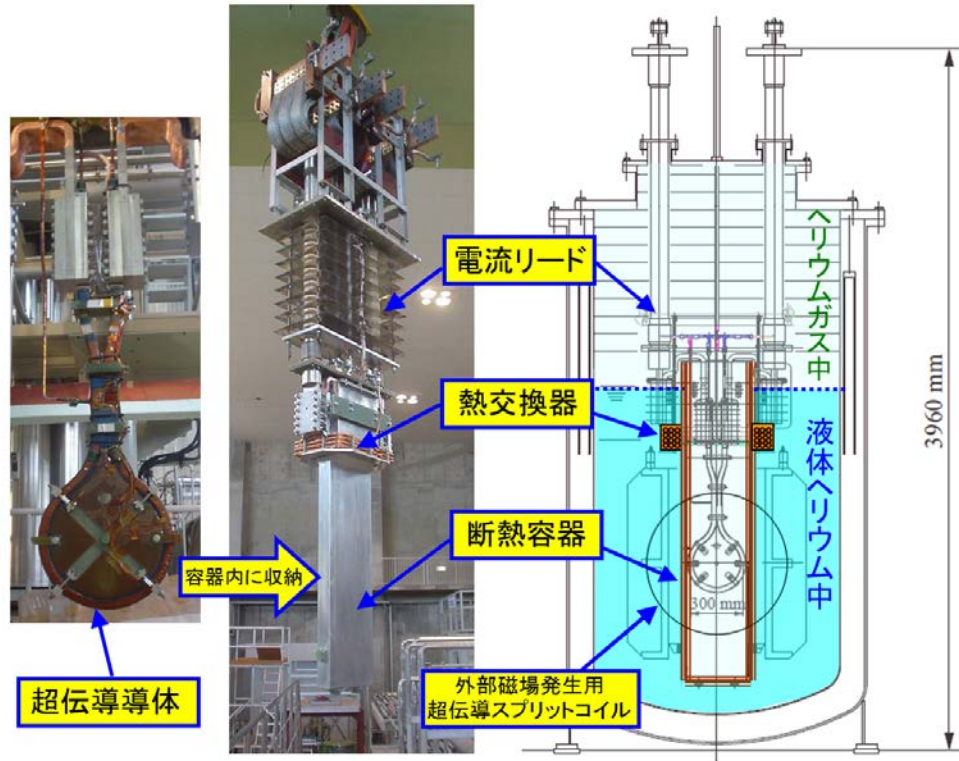


図 4.2.9-1 超伝導導体サンプル（左）と導体試験装置に設置する前の様子（中央）、導体試験装置の全体図（右）

論文リスト：

- (1) T. Obana, K. Takahata, S. Hamaguchi, N. Yanagi, T. Mito, S. Imagawa, K. Kizu, K. Tsuchiya, R. Hoshi, K. Yoshida, "Upgrading the NIFS superconductor test facility for JT-60SA cable-in-conduit conductors", Fusion Engineering and Design, Vol. 84, Issues 7-11, (2009) pp. 1442-1445.
- (2) K. Kizu, K. Tsuchiya, T. Obana, K. Takahata, R. Hoshi, S. Hamaguchi, Y. Nunoya, K. Yoshida, M. Matsukawa, N. Yanagi, S. Imagawa, and T. Mito, "Critical current measurement of prototype NbTi cable-in-conduit conductor for JT-60SA," Fusion Engineering and Design, vol. 84, Jun. 2009, pp. 1058-1062.
- (3) H. Murakami, T. Ichige, H. Kizu, K. Tsuchiya, K. Yoshida, T. Obana, S. Hamaguchi, K. Takahata, T. Mito, S. Imagawa, "Stability and Quench Test for NbTi CIC Conductor of JT-60SA Equilibrium Field Coil", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 20, Issue 3 (June 2010) 512 - 516.
- (4) T. Obana, K. Takahata, T. Mito, S. Imagawa, K. Kizu, H. Murakami, K. Yoshida, "Magnetic Field Measurements on a Shake-Hands Lap Joint Sample of Cable-In-Conduit Conductors for JT-60SA EF Coil", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 20, Issue 3 (June 2010) 1471 - 1474.

(2) JT-60SA トカマク装置の組立・試験検討に関する助言

① 目的

LHD 建設の経験に基づいて、JT-60SA の組立・試験に関して助言を行う。

連携の形態

四半期に 1 回、1 週間程度 JAEA 那珂研究所に滞在し、下記に関する助言を行う。

② 項目

組立シナリオ・手順 ・ 工程管理方法 ・ 位置計測方法 ・ 位置決め方法 ・ 密着組立のためのカスタマイズ方法 ・ サーマルシールドの組立/サポート方法 ・ リーク試験対策 ・ 総合試験の考え方

③ 実績と今後の計画

2009 年度：1 日×2 回 JAEA 那珂研究所に赴き、意見交換を実施

(1 回目) JT-60SA の全体計画、真空容器、超伝導マグネット、本体組立等について説明を受け、LHD 本体の概要、建設体制、組立等を説明。

(2 回目) LHD の組立寸法管理、リーク試験、試運転等を説明。

2010 年度：2 回程度 JAEA 那珂研究所に赴き、意見交換を行う予定

4. 3 産学連携

核融合科学研究所では、核融合科学研究で得られた最新の技術成果を産業界と連携して、広く社会に役立つ技術として還元することを目的とし、産学連携研究を推進している。民間との共同研究の件数の年度毎の推移を表 4.3-1 に示す。年間 14～20 件の共同研究がコンスタントに実施されており、産学連携研究が着実に継続して実施されていることが分かる。これらの共同研究の成果は、実用化されたものや、特許を取得したもの、競争的開発研究資金の獲得に結びついたもの等、様々な形で核融合科学研究所及び連携した企業の実績となっている。例えば、2005 年度～2009 年度までの特許取得件数は 28 件となっている。

産学連携研究は、単に核融合研究成果の民間への転用と言う一方向の広がりのみでなく、得られた研究成果が核融合技術の更なる高度化や新たな学問への波及等のブーメラン効果も生んでいる。マイクロ波応用では、無機酸化物のマイクロ波下における酸化還元反応の促進に関する研究が推進され、マイクロ波は単なる熱源の置き換えではない、物性学的、熱力学的に異なる物材加工の手段であることが明らかになってきた。超伝導応用では、瞬停対策 SMES（超伝導磁気エネルギー貯蔵装置）用の伝導冷却型パルスコイルの開発成果から、核融合炉の超伝導マグネットを冷却の観点から高度化する間接冷却方式の研究へと発展し、新たな研究テーマとして継続・展開している。

表 4.3-1 民間との共同研究及の年度毎の推移

| 件数/年度 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 計 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 新規 | 4 | 17 | 17 | 17 | 15 | 17 | 87 |
| 継続 | 10 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 18 |
| 計 | 14 | 20 | 20 | 19 | 15 | 17 | 105 |
| 東海地方企業との共同研究 (割合%) | 6 (43) | 6 (30) | 9 (45) | 7 (37) | 6 (40) | 6 (35) | 40 (38) |

地元産業への貢献として、東海地方の企業と実施している民間との共同研究は 2004 年～2009 年の実績で延べ 40 件であり、民間との共同研究、全 105 件に占める地元企業の割合は 38%となり、高い水準を維持している。東海地区は、ものづくり産業が盛んであり、共同研究のみでなく、機器の開発や工事において地元企業との連携が深く図られている。

特にマイクロ波焼成では、地場産業である窯業と深く結びついた密接な共同研究が実施されており、地元との交流の窓口としての重要な役割を果たしている。地元産業界と核融合研究で生み出された大電力マイクロ波加熱技術の応用研究として、実用規模の設備の開発研究が行われた。現在その技術シーズを基にして、土岐市立陶磁器試験場及び地元各工業組合との協力が進み、マイクロ波・ガス複合炉の実用化推進研究が順調に推移している。

また、岐阜県工業会と岐阜県が主催する賢材塾（次世代技術経営者育成、塾長：澤岡大同大学長）は2007年に始まりフォローアップを含めて毎年2回開催してきている。核融合科学研究所は、この企画に全面的に協力し、研究所の施設を提供して、合宿型セミナーの実施に協力している。また、賢材塾のコーディネーターである山田雅夫氏を本研究所の客員に迎え、本企画のより有効な実施に協力してきている。研究所の貢献に対して、地元産業界、岐阜県から高い評価を得ている。

産学連携研究成果の具体例として、地元との連携強化の観点から、重要な意義を果たしているマイクロ波焼成技術に関する産学連携及び、LHDの超伝導システムの研究開発成果を生かした超伝導・低温技術に関する産学連携、トリチウム除去技術に関する産学連携について以下に示す。

4. 3. 1 マイクロ波焼成技術

核融合科学研究所は、工業用マイクロ波炉用いた飲食器焼結技術の研究開発を地元産業と連携して推進してきた。この地元貢献が、大きなスパイラルを描いて、私たち関係者を再び物理研究に引き寄せてきた。本稿では、産学連携と学術の補完的発展という観点から、NIFSにおけるマイクロ波物質相互作用研究を紹介する。

平成12～14年に科学研究費補助金「地域連携推進研究費（3,500万円）」の交付を受けて、地元産業界と核融合研究で生み出された大電力マイクロ波加熱技術の応用研究が開始され、同13～15年に経済産業省地域新生コンソーシアム事業（2億6千万円）」を受けて実用規模の設備の開発研究が行われてきた。現在その技術シーズを基にして、土岐市立陶磁器試験場と共同研究を行っている。同試験場を核として、地元各工業組合の協力が進み、マイクロ波・ガス複合炉の実用化推進研究が順調に推移している。

各陶磁器工業組合は、地区毎に異なる製品を生産している。最初に各地区の代表的な成型品を選定し、土岐市立陶磁器試験場のマイクロ波ガス複合炉を使い試験焼成を行った。その結果、それぞれの地区で、マイクロ波固有の性質と在来の要素がかみ合い新たな可能性が見いだされてきた。広い製品のスペクトラムがあり、それぞれの製品における焼成には、広い無機物理化学上の研究による理解が必要であることが明らかになった。最適条件を地区毎に徹底して解明し実用化を図るため、平成20年度に下石陶磁器工業協同組合、21年度に、駄知、泉、肥田、妻木の各工業組合にマイクロ波ガス複合炉を設置して、活発な試作研究が行われている。22年度には、土岐津組合にも設置し、大量生産に向けた実験段階に進んでいる。

研究レベルと実用レベルを結ぶ、基本的課題は耐久性及び製品の質である。

[耐久試験]

耐久性は、設計・製作における材料の選定、組立・調整の炉本体において基本的に決まるとともに、地元企業の技術において、維持管理が可能でなければならない。平成22年度には、21年度に設置した窯の耐久試験を継続して行っている。工場で実働する場合、1年の窯の運転時間はおよそ2,400時間程度と見積られている。最初に設置した下石組合の炉が、22年3月末には約1,500時間に達した。これは、試験運転としては、予期した以上の使用頻度であるが、最低1年間程度の耐久試験を行うために、22

年度にも実験を継続し、11月現在2,500時間を超えている。これらの地元にも維持管理の技術が蓄積されてきた。

[製品の質]

製品の質は、焼成における新しい物性学的・化学的な経過によって決まる。火炎による在来の焼成とは、熱力学的に異なるため、学術的な支援が研究の核となる。

(研究課題1) マイクロ波加熱とガス加熱の特性に基づく最適焼成条件の調査研究
マイクロ波とガス燃焼を組み合わせた場合、下記のような特性が問題となっている。

マイクロ波の吸収は高温で強くなる。そのため、温度の高い部分ができると、集中的に加熱される。ガスとマイクロ波の複合炉で、ガス加熱による温度斑があると、マイクロ波を重畳させた時、温度差が拡大する。温度斑は増幅される。これらの条件をクリアして、温度均一性を達成するガス複合炉の焼成方法を実験的に調査研究し、各地区の製品に対する最適条件が見いだされ、在来法に比べて、50%程度の炭酸ガス排出量が実現され、実用化が進展している。

(研究課題2) マイクロ波・還元ガス複合作用による高品質・次世代陶磁器の開発は、省エネと相まってマイクロ波を導入するメリットである。マイクロ波では、還元作用が強く働く。また、マイクロ波照射で磁性のある金属酸化物のナノ結晶を作ることができる。新しい発色等陶磁器で不可能とされた発色の開発、光の波長数百nmより細かい数～数十nmの結晶の乱反射が少ないことによる澄んだ光の反射等、新しい芸術性の追求、高付加価値化研究を進めている。

[学術への波及効果]

無機酸化物のマイクロ波下における酸化還元反応の促進に関する研究が推進された。また、上述したナノ化現象は、マイクロ波のコヒーレントな電磁界が物質中の電子構造にコレクティブな運動を与え、結晶構造の破壊が起こるためであると推定される。このようにマイクロ波加熱は、コヒーレントな高周波電磁場に依る位相の揃った集団運動が基礎になるという作業仮説が打ち出された。この仮説に対する実験的、理論的研究が進められ、マイクロ波は単なる熱源の置き換えではない、物性学的、熱力学的に異なる物材加工の手段であることが明らかになってきた。

超高真空環境で赤色・緑色系顔料の基礎となる銅酸化物の粉末をマイクロ波で還元する実験を行い、還元分解による酸素の発生速度が酸素分圧に比例する関係

($\frac{dn_{O_2}}{dt} = P_{O_2} \cdot f / RT_0 = k_0 \exp(-\Delta E / RT)$) (f は排ガス速度、 T_0 は室温、逆反応を無視) を用いて、反応の活性化エネルギー ΔE を、マイクロ波による還元酸素分圧 P_{O_2} の温度 T に関する依存性 $\ln P_{O_2} \propto -\Delta E / RT$ という関係を使って算出した。酸化銅(Cu₂O)のマイクロ波加熱と通常赤外線加熱において、反応の活性化エネルギーは図4.3.1aで、赤と黒で示す様に、高温ではそれぞれ80kJ/mol及び320kJ/molであると算出された。すなわち、マイクロ波では80kJ/molの低い活性化エネルギーで、通常加熱の1/3程度で反応が進行している。このことは、反応の活性化エネルギーの大部分が非熱的なエネルギーの形態で与えられることを明確に示している。この実験は、マイクロ波プロセスにおけるエネルギー供給過程を、アレニウス型の熱エネルギー供給と非アレニウス型のコヒーレント・エネルギー供給に分けて定量的に計測した世界で最初の実験である。マイ

クロ波による反応の活性化エネルギーの内訳を定量的に明らかにした点で、大きな学術的進歩をもたらした（図 4. 3. 1b）。同様な実験結果は、酸化チタンにおいても得られており、チタンでは表面現象だけでなく、マイクロ波による仕事がナノ結晶化等 volumetric な構造相転移のエネルギー供給源であると推定されている。

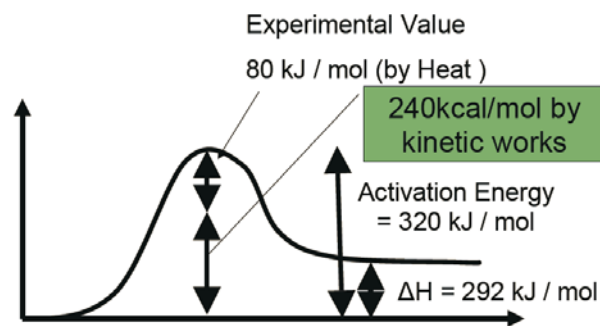
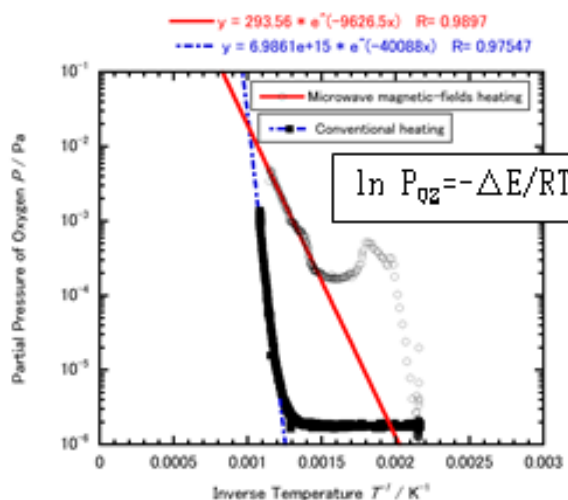


図 4. 3. 1a 酸化銅 (Cu₂O) の反応の活性化エネルギー 図 4. 3. 1b エネルギー供給過程

4. 3. 2 超伝導技術

1) 瞬低対策 SMES 用伝導冷却超伝導パルスコイルの開発

核融合で開発された超伝導・低温技術の他分野への応用と、大型の核融合実験装置ではいきなり実現することが困難な先進的な技術開発の両方を目的とし、具体的な目標を定めた超伝導・低温技術の開発研究を、産学連携研究として進めてきた。その一例として、NEDO の基盤技術研究促進事業の一環として 2002 年度～2006 年度に行った伝導冷却型超伝導パルスマグネットの研究開発成果を示す。核融合や加速器等の大型科学実験設備や、工場の生産設備等の基幹電力系統に 1 秒以下の瞬時停電や電圧低下（以下では瞬低と略す）が発生すると実験の長期間の中断や製品歩留まりの低下による大幅な損失を招く等、その影響は非常に大きい。しかしながら、MW 級の電力を補償するいわゆる無停電電源を従来技術である蓄電池等を用いて用意することは設備規模とコストが膨大になることから非現実的であり、新たな技術開発が必要とされている。ここでは短時間で大容量のエネルギー出し入れが可能な電力蓄積装置としての超伝導マグネットの特徴に着目し、瞬低対策 SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) に適した伝導冷却型低温超伝導パルスマグネットを開発した(図 4. 3. 2-1)。

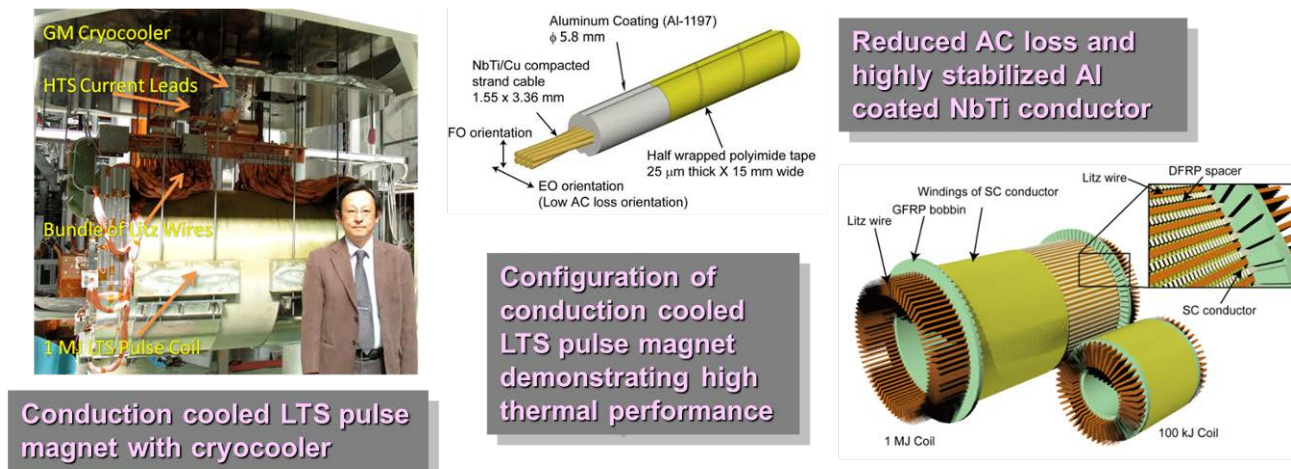


図 4. 3. 2-1 瞬低対策 SMES 用伝導冷却超伝導パルスコイル

価格／性能比に優れた NbTi 低温超伝導体を用い、低温超伝導体の温度余裕の少なからパルスマグネットへの適用は困難と考えられていた伝導冷却方式を独自の工夫により、実現することに成功した。まず、交流損失の発生を抑えつつ高度の安定性を両立した超伝導導体を、核融合用大型超伝導導体の開発研究の成果である電流分布制御型超伝導導体の構造を採用することで実現した。次に、マグネット内の交流損失を最小にするため、導体を捻りながら巻線する独自の捻り巻線を専用の自動巻線機を開発することで実現した。さらに、極低温でのマグネット材料の熱拡散率の増大効果を活用し、マグネット内の発熱を効率的に除去できる伝導冷却構造を巻線内に組み込むことにより、1 秒

で蓄積エネルギーの半分を取り出すパルス運転に対応可能な伝導冷却型低温超伝導パルスマグネットの開発に成功した。

コスト競争力の観点から実用化一歩手前で残念ながら商品化には至らなかったが、ここで開発された伝導冷却技術は、核融合炉の超伝導マグネットを冷却の観点から高度化する間接冷却方式の研究へと発展し、博士課程学生の研究テーマを含む新たな研究課題として継続・展開している。本共同研究の成果は、2004年度から2009年度までに、15件の論文発表、39件の学会発表等を行い、広く公表されている。また、共同研究者の鹿児島大学・川越明史助教が博士論文「伝導冷却型低温超伝導パルスコイルの開発と性能評価に関する研究」としてまとめ、2006年3月に総合研究大学院大学の博士（工学）を授与されている。

2) 低温システムのリアルタイムシミュレータ開発

LHD用ヘリウム冷凍機等の大型低温システムを対象としたリアルタイムシミュレーション装置（C-PREST）の開発を産学連携研究として行ってきた（図4.3.2-2）。これは実機と同様の操作端末を介して、まさに実機を運転しているような感覚でシミュレーションを実行することを目標としており、運転実績との比較を行いながら、実機に対応するモデルの開発が可能となっている。LHDの実際の低温システムのリアルタイムシミュレーションに成功するとともに、その成果は低温技術に関する国際会議や学術誌等で発表を行った。リアルタイムシミュレータは既存の低温システムの運転方法の改良や改造時の設計検討に有用なのみでなく、新しいシステム構築の際の設計検討にも有用である。これらの成果が国際的にも評価され、ITER機構からの依頼で、ITER低温システムのリアルタイムシミュレーション受託研究が2010年に開始された。

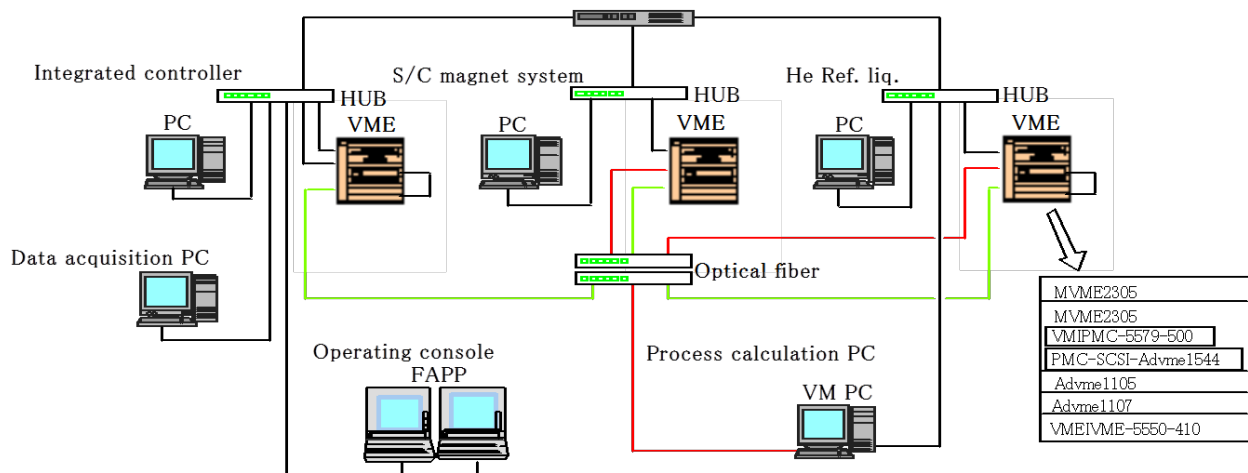


図 4.3.2-2 リアルタイムシミュレーション装置（C-CREST）の機器構成

4. 3. 3 トリチウム除去技術

研究期間：平成 13 年度－平成 21 年度

共同研究企業：(株)TYK 機能材料研究所（岐阜県多治見市）

研究テーマ：プロトン導電性セラミックスを応用した水素ポンプの高性能化

研究概要：

高精度の放射線管理を目的に、地元の窯業メーカーである TYK が得意とするプロトン導電性セラミックスを応用した極低レベルの気相中トリチウムモニターの開発を行っている。これまで、計測ガスに含まれる水素や水素化合物（水蒸気、メタン）を分解・透過し、水素ガスの形で選択的に抽出する水素ポンプを試作し、機能を実証した。さらに、電極仕様の改良とセラミックス形状の最適化により、モニターに必要な水素抽出速度（1 cc/min 以上）を達成した。21 年度には名古屋大学のトリチウム取扱い施設で、トリチウムを用いた透過特性評価試験に着手した。22 年度からは所内研究としてモニタリングシステム化の検討を推進している。

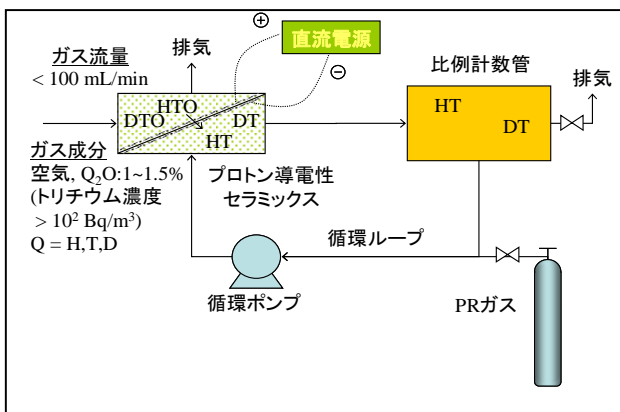


図 4.3.3-1 高感度モニターの構成とフロー

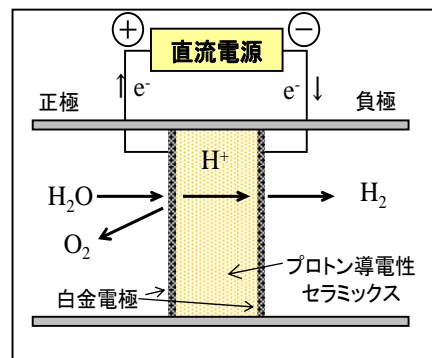


図 4.3.3-2 水素ポンプの原理



図 4.3.3-3 試作装置の外観

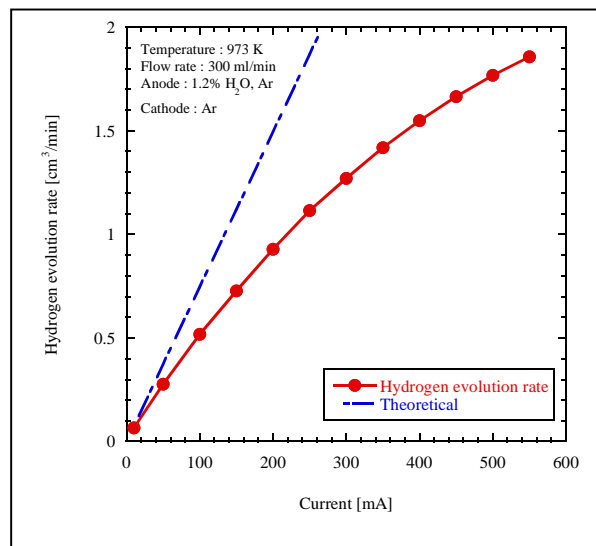


図 4.3.3-4 試作装置の水素ポンプ性能

成果：共著論文投稿（6 編）、共願特許（3 件）

4. 4 連携研究プロジェクト

核融合科学研究所の平成 22 年 4 月の組織改編連に伴い、連携研究プロジェクトが新たに発足した。連携研究プロジェクトでは、核融合科学研究所における幅広い連携研究活動の円滑な遂行を目的とし、連携研究体制の整備、連携研究の企画・立案、研究成果の公表と活用、支援活動を、連携研究委員会を中心として実施している。連携研究委員会は、図 4. 4-1 に示す部会で構成され、各部会長をリーダーとして研究所の幅広い連携研究活動に対応するべく活動を開始した。

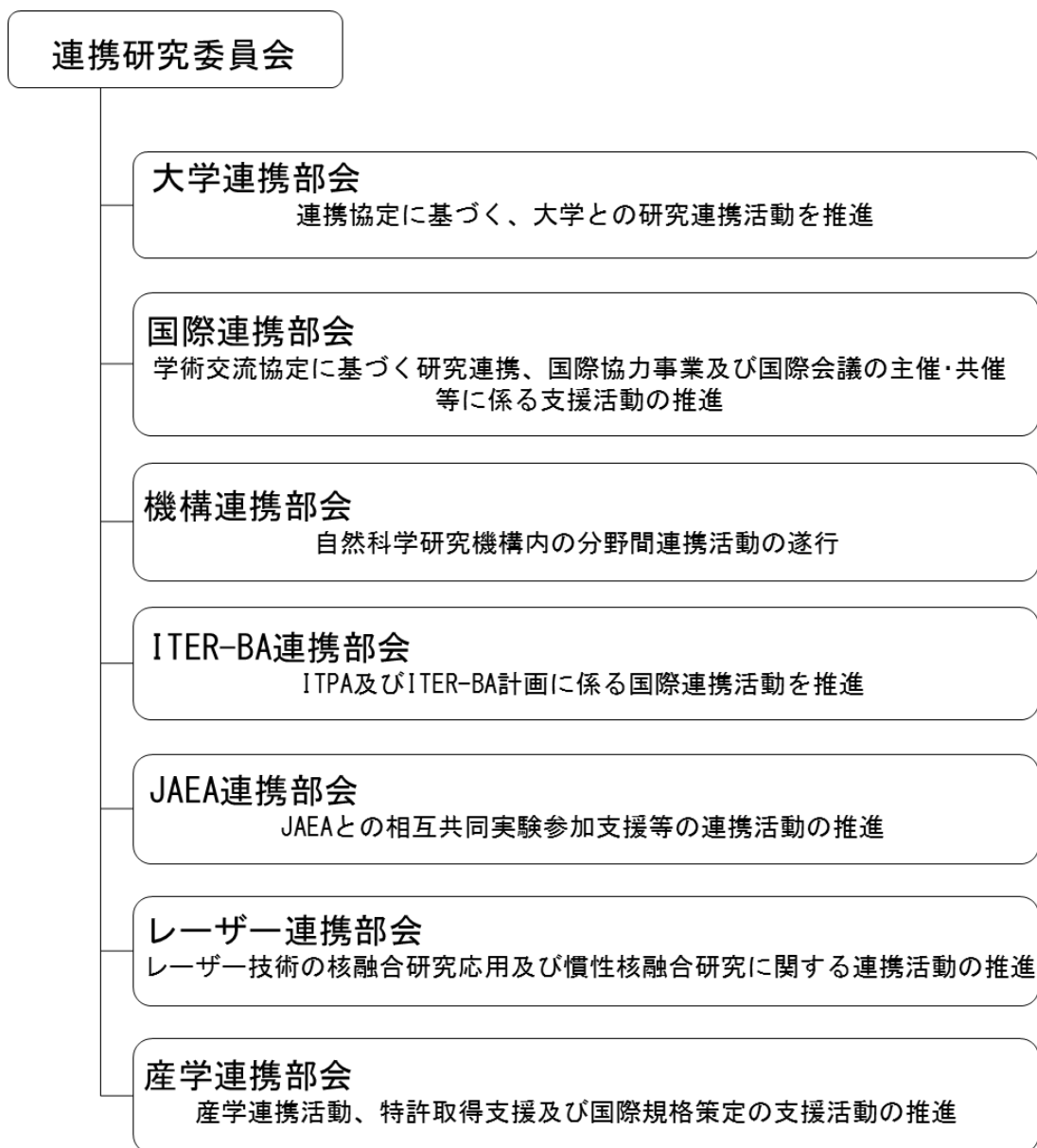


図 4. 4-1 連携研究プロジェクトの基に設置された連携研究委員会構成図

5. 評価の観点に基づくまとめ（国際共同研究、連携研究）

【国際共同研究】

（1）政府間レベルの協定に基づく国際共同研究 －実施機関としての役割を果たしてきているか－

| 協力名 | 実施機関としての役割 |
|------|---|
| 日米協力 | <p>日本国内の実施体制の中核として日米研究計画委員会（委員長：核融合科学研究所所長、所内委員5名、所外委員10名）を組織し、研究課題の公募、採択審議、成果の公表、評価と改善等において主導的な役割を果たしている。特記すべき点は、日米エネルギー協定が現在失効中のため、核融合科学研究所と米国の代表的な研究所（PPPL, IFS, ORNL, UCLA）との間の研究所間協定を活用して、研究協力活動を継続して円滑に行っていることである。</p> <p>事業を、「一般交流計画」、核融合炉工学と核融合物理からなる「共同研究」、理論シミュレーションを扱う「核融合理論共同研究（JIFT）」、及び「TITAN計画」を実施している「共同プロジェクト」の分野に分け、一般交流計画を除くそれぞれの分野に、大学等からの協力を得てキーパーソンを配置するとともに、分野によっては米側も含めた委員会を組織し、計画の立案、米側との調整等を行って、研究者の相互派遣、共同研究等が円滑に行われ、実施効果が上がるように配慮している。一般交流計画では、日米間で、事業の運用のための交流を図っている。それぞれの分野では、例えば、TITAN計画の委員会にアドバイザーを置き、助言及び評価を行っている等、固有の活動・運用も行っている。</p> <p>核融合科学研究所は、本事業を安全に遂行するため、日米安全巡視活動の窓口機関として、全国の大学及び研究機関と連携し、日米双方の実験施設の安全巡視を2年おきに実施している。巡視結果は、報告書として出版し、巡視での指摘事項とその後の改善結果について関連研究者に広報している。</p> <p>本事業活動による成果は毎年3月上旬に開催される報告会（参加者数100名規模）で報告され、冊子として出版されるとともに、国内及び国際会議等で報告されている。報告会では、成果を評価して、次年度の課題の採択に生かしている。また、ホームページ、学会誌等への掲載により、研究計画の目標、概要、実施状況等の周知を図り、広く参加者が応募できる措置を取っている。本事業の成果の例を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 年間100件程度の論文として発表されるとともに、招待講演等国际会議への貢献も大きい。 ・ 若手研究者育成や博士課程学生の教育にも貢献しており、TITAN計画に関連した研究において、2007年～2009年までに8名の博士号取得者を輩出した、またJIFTでも2007年～2010年までに5名の大学院生・ポスドクの研究に寄与する等、教育での貢献度の大きさが示されている。 |
| 日韓協力 | <p>日米協力事業と同様に、日韓核融合協力事業研究計画委員会（委員長：核融合科学研究所所長、所内委員4名、所外委員5名）を組織し、研究課題の公募、採択審議、成果の公表、評価と改善等において主導的な役割を果たしている。年度末には成果報告会を開催し、成果の評価を行って、次年度の課題の採択の参考とし、事業の改善に当たっている。</p> <p>本事業は、「KSTAR・LHD・JT60」、「理論」、「炉工」、「プラズマ・核融合物理」の4分野からなり、「ワークショップ・会議」「研究者交流」を行うとともに、</p> |

| | |
|---------------------------|--|
| | <p>KSTAR・LHD・JT60では「共同研究」も実施している。ワークショップ開催や研究者交流の実績は、ワークショップ開催が約10件/年、人的交流が約150から250人/年に達している。</p> <p>韓国核融合科学研究所(NFRI)のKSTAR装置は、核融合科学研究所のLHDと同じく超伝導磁場コイルを持つ定常運転可能なトロイダル装置であり、特に、計測装置、高周波加熱装置等で緊密な研究協力が行われ、共同研究も開始されている。2010年度からは、実験の促進に協力するため、LHD実験で経験豊富なプラズマ研究者(今年度は居田教授)を客員実験コーディネーターとして派遣している。</p> <p>「KSTAR・LHD・JT60」分野での実績の例を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プラズマ計測では、核融合科学研究所において高い研究実績を有するボロメータ計測、エッジトムソン散乱計測、電子サイクロトロン放射計測器の整備において研究協力を実施し、KSTAR研究計画の速やかな実験立ち上げに貢献している。 ・ KSTARのICRFシステムとECHシステムの開発と調整について研究協力を行い、KSTAR立ち上げ時のトカマク運転成功に貢献した。また、NBI加熱のための運転協力で核融合科学研究所からエキスパートを派遣した。 ・ これらの共同研究の成果として、2005年から、論文24編、国際会議1件、国内学会1件の研究が発表されている。 ・ 若手研究者の教育と人的交流を図る目的で日韓両国の大学院生を主体とする「先進プラズマ計測に関する日韓セミナー」を、日韓双方で2年毎に大学、研究機関との協力により実施している。2008年に第4回の日韓セミナーが韓国浦項工科大学において、2010年の第5回は九州大学において開催され、約80名規模の参加者による活発な議論と研究交流が行われた。 |
| <p>日中協力事業 /日中拠点大学</p> | <p>【日中協力事業】</p> <p>2007年に「磁気核融合関連研究分野における日中協力事業」が政府間協定として締結され、2008年に両政府が本事業を推進するために開催する第1回のJWG (Joint Working Group)が行われた。核融合科学研究所(NIFS)は日本原子力研究開発機構とともに日本側の実施機関となっており、技術コーディネーターとしてJWGの構成員として、事業を推進している。中国側は西南物理研究所(SWIP)と中国科学院プラズマ物理研究所(ASIPP)が実施機関となっている。両国の交流事業計画は、年1回のJWG(日中の実施機関で持ち回り)において審議・承認される。今年が3年目であるが、事業規模は年々増加してきている。</p> <p>本事業は、1)プラズマ閉じ込め・プラズマ加熱、2)先進核融合炉工学、3)プラズマ理論・シミュレーションの3つの分野で行われている。現在は、事業開始後まもないため、核融合科学研究所員が勤める技術コーディネーターが、交流事業計画の立案、中国との実施打ち合わせ等を行い、事業を進めている。なお、本事業は、次に述べる「日中拠点大学事業」と重ならないように実施されている。</p> <p>【日中拠点大学】</p> <p>日中協力事業のもう一つの柱である日中拠点大学交流事業においても、過去10年にわたりNIFSは日本側の拠点大学として、その円滑な実施に寄与してきている。NIFSには拠点大学として、コーディネーター及びサブコーディネーターが置かれ、国内委員会を開催し、日本側の交流計画を立案する等、本事業を実質的に推進している。中国とは、年2回、「Coordinator's Meeting」を開催し、交流計画を調整、決定している。</p> <p>本事業には、「炉心プラズマ性能の改善」、「核融合炉工学の基礎研究」、「核融合プラズマの理論と計算機シミュレーション」の主要な3つ分野を設定し、先進的な核</p> |

| | |
|--------|---|
| | <p>融合炉の実現に不可欠な課題に取り組んでいる。3つの分野は、課題によって更に細分化されており、課題毎に置かれたキーパーソン約30名が国内委員会の構成員となっている。課題は、国内委員会の委員長名で公募し、国内委員会で採択審議、成果の公表等を行っている。</p> <p>核融合研究に係わる日中のほとんどの研究機関、大学が参加しており、交流実績として、年平均約120名（日本からの派遣が約60名、中国からの受入が約60名）、延べ1,200人/日（日本からの派遣400人/日、中国からの受入800人/日）に達している。また、多くの学術成果が上がっており、最近4年間は年間200編以上の学術論文やレポートが発表されている。2009年度は、人物交流181人、論文発表数312編に上っている。</p> |
| IEA 協力 | <p>核融合科学研究所は日本を代表して、多国間協定である国際エネルギー機関（IEA）の3つの実施協定「テキサトルにおけるプラズマ壁相互作用実施協定」、「ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発実施協定」、「球状トーラスに関する協力のための実施協定」を締結しており、国内の活動を取りまとめるとともに、国際的な活動を促進している。</p> <p>IEAによる核融合関連事業全体を統括する核融合調整委員会（FPCC）に日本代表として参画し、現行事業の評価及び将来計画の作成等に貢献している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「テキサトル（TEXTOR）におけるプラズマ壁相互作用実施協定」では、国内技術委員会を主催し、公募された研究課題を基に、毎年4月に年度計画を定めている。核融合科学研究所の基盤経費である「連携協力事業の推進」により、日米、日韓、日中協力事業とともに本実施協定のための経費を計上している。TEXTORは、プラズマ・壁相互作用（PWI）を調べるために特に設計され、多用途に対応できる装置であり、同装置を用いてダイバータターゲット板の長寿命化、トリチウムインベントリと取り込み率、プラズマ対向材料、PWI制御方法等についての共同研究を行っている。毎年、約10名の派遣を行い、平均して2週間程度の滞在で共同研究課題を実行している。その成果として、2006年度からの最近5年間で57編の国際共同論文を発表している。 ・ 「ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発実施協定」は、1992年に日本が署名、参加した。ヘリカル方式による核融合研究を主導する核融合科学研究所にとってIEAの3協定の中でも最も重要なものとなっている。2006年より日本が議長国となっており、核融合科学研究所は、国内はもとより、国際的な事務局も務めている。2010年の期間延長手続きの際、協定名に我が国独自の創案である「ヘリオトロン」を名称に加えることについて国際的に合意を得て、「ステラレータ-ヘリオトロン概念の開発実施協定」に変更することができた。本協定に関わる国際活動は、自然科学研究機構事業の一環である「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」から支援している。本協定の重要な活動として隔年実施される国際ステラレータ/ヘリオトロンワークショップがある。参加人数・発表論文が100件を大きく超える実質的には国際会議と言える規模であり、核融合科学研究所の共同研究からの寄与は、その半数近くを占め、会議のレベルアップに大きな貢献をしている。また、国際調整作業会（Coordinated Working Group）活動では、核融合科学研究所とマックスプランク・プラズマ物理研究所が共同調整役を務め、ヘリカル系コミュニティだけでなく、国際トカマク物理活動（ITPA）との関係強化を図っている。核融合科学研究所は、課題リーダー、データの提供、データベースのホスト等で主導力を発揮している。 ・ 「球状トーラスに関する協力のための実施協定」は、2007年に発足した。国内 |

| | |
|--|---|
| | <p>における球状トカマク研究 (ST) は、双方向型共同研究を推進する見地から、核融合科学研究所の運営委員会の下に設置されている共同研究委員会の分科会である双方向型共同研究委員会に置かれた専門部会「双方向型共同研究推進専門部会 (ST)」、通称「全日本 ST」を中心に推進されている。このため、本協定は全日本 ST を中心に運営されており、日本と国外 (米国 NSTX、英国 MAST 等) の ST 研究の間の、人的交流、共同研究の実施に寄与している。本協定に関わる国際活動の原資も、自然科学研究機構事業の一環である「国際共同研究拠点ネットワーク活動の推進」から支援している</p> |
|--|---|

(1) 政府間レベルの協定に基づく国際共同研究

－今後の進め方 (方針・計画) は適切か－

| 協力名 | 今後の進め方 (方針・計画) |
|------|---|
| 日米協力 | <p>日米科学技術協力の重要性は日米双方ともに重く認識しており、失効中の政府間協定の再締結を行い、国レベルの協力活動として推進する。また、ITER 時代を迎え、高ベータプラズマの定常運転や材料開発等、ITER だけでは十分に行えない課題があることから、日米協力によりそのような課題をカバーすべきであることを日米双方で認識しており、今後、一層協力事業を推進して行く。</p> <p>本年 2010 年、日米科学技術協力事業は 30 周年を迎えた。韓国で開催された IAEA 核融合エネルギー会議の期間中の 2010 年 10 月 13 日に本事業の最高意思決定機関である日米核融合調整委員会 (CCFE) が開かれ、日米双方の出席者により日米科学技術協力 30 周年を祝うとともに、日米科学技術協力 30 周年記念報告書を 2010 年度内に出版することを確認した。さらに、30 年間のレビューを行い、次期計画の方針について議論した。</p> <p>日米研究計画委員会では、毎年、事業分野の内容、公募の方針等について審議し、次年度以降の公募に反映している。この仕組みを今後も維持し、評価と改善を行って、事業を円滑に実施して行くものとする。</p> <p>個々の分野では、以下のような方針・計画である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2013 年 3 月終了となる TITAN 計画の次期計画を審議する小委員会を研究計画委員会の中に立ち上げ、選定に向けた審議を開始する。 ・ 年 1 回、JIFT 運営会議を開催するほかに、必要に応じて臨時拡大運営会議や JIFT 検討会議を開き、今後の運営方針や長中期計画に関する議論を進めてきた。その結果、JIFT 活動の 1 カテゴリーである日米高速専用ネットワークを利用した「計算機共同研究プロジェクト」は、日米協定のデータリンクageに関する付属書の失効に伴い廃止とし、共同研究としては、他の 2 つのカテゴリー (ワークショップと研究者交流) の中で、継続するものとした。 |
| 日韓協力 | <p>現在、日韓核融合協力事業研究計画委員会を組織し、研究課題の公募、採択審議、成果の公表を行っているが、これを更に充実させ、事業を進展させる。協力の方針、方向、大枠等は、同委員会で、評価や必要性を踏まえて議論し、決定している。本事業の 4 つの分野と各分野における事業内容は、特に議論がなければ、現状のままで進める予定である。</p> <p>本事業の中心となる KSTAR・LHD・JT60 分野では、次のようなことを行う方針・計画である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ KSTAR の計測関係の協力では、計測装置の建設時に共同研究を行った、ボロメータ、ECE 計測、エッジトムソン散乱計測の精度の高いデータ取得へ向けて |

| | |
|---------------------------|---|
| | <p>協力を行ない、合わせてプラズマ実験の共同研究を行うのが適切である。KSTAR で得られる知見は、トロイダルプラズマの閉じ込めを総合的に理解する上で重要であり、我々核融合科学研究所の研究目的に合致する。この国際協力が核融合科学研究所にとっても実りあるものとなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ プラズマ実験の実施に当たっては、有用な人的協力を行い、質の高い実験が実施できるよう協力するのが適切である。そのために今年度から設けられた客員実験コーディネーター制度を活用し、これに継続して核融合科学研究所の研究者を派遣するものとする。 ・ 今後協力できる課題として、高周波加熱実験への協力を進める。LHD の豊富な経験を生かして、イオンサイクロトロン共鳴加熱 (ICH) と電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECH) による KSTAR プラズマパラメータの向上と閉じ込め改善に貢献するものとする。同じ定常運転装置であり、長パルス運転は共通であるので、両装置での経験は LHD や将来のヘリカル装置での加熱物理の理解と加熱装置開発にも有益である。 |
| <p>日中協力事業 ／日中拠点大学</p> | <p>日中協力事業は、将来、日中拠点大学交流事業に代わって、日中協力の柱になると考えられている。また、ITER の設計・建設が進む今日、日中協力事業は両国間でますます重要視されてきている。このため、日米や日韓の協力事業と同様に、研究計画委員会（委員長：核融合科学研究所所長、所内委員数＜所外委員数）を組織し、研究課題の公募、採択審議、成果の公表、評価と改善等を行うものとする。また、各分野にはキーパーソンを置いて、研究計画委員会の構成員とし、研究協力活動を継続して円滑に進めるものとする。これまでは、発足間もないこともあり、また、日中拠点大学で人的交流が活発に行われていたこともあり、小規模な研究協力を行ってきたが、人的交流を含め、規模を拡大した共同研究に発展させるものとする。</p> <p>日中拠点大学は、これまで実施されてきた日中拠点大学交流事業 (JSPS) が 2010 年度で終了することから、2011 年度からは、アジア研究拠点協力事業として、韓国を含めた日中韓のより幅広い研究協力として発展させることを計画している。規模的には現在の約半分となり、年限も限られていることから、アジア研究拠点協力事業終了後は、この拠点事業で進めてきた活動を日中協力事業に統合する予定である。アジア研究拠点協力事業は、これまでのノウハウを生かすため、日中拠点を進めてきた運営システムをそのまま取り入れ、必要であれば改善するものとする。</p> |
| <p>IEA 協力</p> | <p>IEA が関わる核融合関連事業全体に対して、FPCC において我が国の存在感を高めるための対応を進め、国内活動へのフィードバックを図る。IEA からは協定間の連携が求められているところであり、特に「定常運転」に関する理工学統合と技術開発が重要課題となっている。この連携活動に対して中心機関として主導的に取り組んでいく。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ テキサトル協定については、TEXTOR 装置稼働中は現行の活動を維持し、その上で後継装置計画を注視し、FOM 研究所との連携をも戦略的に取り込んで、新たな研究の展開に主導的に貢献する。 ・ ステラレータ-ヘリオトロン協定によるヘリカル系における重要課題を共同して取り組む調整作業会 (Coordinated Working Group) 活動をマックスプランク・プラズマ物理研究所と協力して組織的に拡充・運営していく。この活動のコーディネーター及びデータベースのホスト等の中心的な役割を更に強化する。ステラレータ-ヘリオトロン協定執行委員会では、ITPA へのヘリカル系代表者を 7 名指名しており、CWG 活動の ITPA との連携を強化し、ITPA への貢献を研究者個々からヘリカル系コミュニティからの戦略的なものとしていく。 |

| | |
|--|---|
| | <p>具体的には、3次元の物理が切り口として考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ST 協定については、全日本体制をホストするとともに、NSTX 及び MAST の増強計画に注視し、既に締結済みの PPPL との研究所間学術交流協定に加えて、カラム研究所との協定締結も視野に入れて、関係の強化を図り、これらの将来計画における日本の貢献の在り方を検討していく。 |
|--|---|

(2) 研究所間学術交流協定等による国際共同研究

－それぞれの機関の特徴を生かした共同研究が行われているか－

| 研究機関名 | それぞれの機関の特徴と共同研究成果 |
|------------------------|---|
| プリンストン・プラズマ物理研究所 | <p>プリンストン・プラズマ物理研究所 (PPPL) は核融合研究のパイオニアであり、米国の核融合研究を総合的にリードしてきた歴史を持つ。協定締結後は、プリンストン大学との連携を更に高めることによって学術的・学際的な性格が強化されており、核融合科学研究所(NIFS)の位置づけと近いものがある。</p> <p>NIFS の LHD と PPPL の NSTX の双方の主力実験装置を用いた、特に下記のような国際共同研究が進められており、典型的な双方向的共同研究となっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> LHD の国際共同実験では、磁場計測データを用いた平衡配位の再構築、イメージング X 線結晶分光器を用いた分光法によるイオン温度分布計測等が進行中である。 NSTX の国際共同実験では、トレーサ内蔵ペレット (TESPEL) を用いた揺動と輸送の研究を行い、VUV イメージング分光器によって不純物トレーサイオンの振る舞いを観測することに成功した。また、重水素実験に参加し、NB 入射高速イオンの空間分布測定を行った。 NSTX の国際共同実験は、核融合科学研究所が推進する双方向研究の内、全日本 ST 活動における国際共同研究の実施に貢献している。 <p>JIFT による共同研究では、3次元摂動磁場により軸対称性が破れたトカマクにおけるトロイダル流に対する新古典粘性に関する理論・シミュレーション共同研究が行われ、その成果が国際研究集会 (Varenna,2010)で招待講演として発表され、学術論文(Plasma Phys. Control. Fusion)として投稿された。</p> |
| テキサス大学オースティン校・核融合理論研究所 | <p>テキサス大学オースティン校・核融合理論研究所は、米国における核燃焼プラズマプログラムの推進を始めとする核融合プラズマに関する理論・シミュレーション研究の一大研究拠点として、また、NIFS とともに日米科学技術協力事業の核融合理論研究 (JIFT) の実施機関としての幅広い研究活動を展開している。</p> <ul style="list-style-type: none"> これまで、この特徴を生かした共同研究を実施し、トロイダルアルヴェン固有モード(TAE)をはじめとする高エネルギー粒子の物理、イオン温度勾配不安定性や電子温度勾配不安定性に伴う乱流と帯状流の発生・輸送に関する研究、衝撃波や磁気リコネクション等の基礎プラズマ過程に関する研究等、プラズマ・核融合研究における幅広い課題で多くの実績を上げてきている。 |

| | |
|--------------------------|---|
| オークリッジ国立研究所 | <p>オークリッジ国立研究所 (ORNL) とは、炉工学・プラズマ物理学にわたる広範な課題において、双方の機関の特徴を生かした継続的な共同研究を展開している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉工学分野では、ORNL の HFIR(高中性子束炉)を用いた共同研究を TITAN 計画の一環として実施しており、照射・トリチウム複合効果、接合・被覆システムの健全性、動的変形挙動などについて数々の研究成果が上がっている。 ・ プラズマ物理学分野では、ORNL には現在プラズマ閉じ込め実験装置がないため、LHD 実験データを活用した共同研究を実施している。成果の一例として、LHD で観測された磁気揺動がトロイダルアルヴェン固有モード (TAE) であることをシミュレーションにより同定した。 |
| カリフォルニア大学ロサンゼルス校 | <p>カリフォルニア大学ロサンゼルス校の MTOR(磁場下熱流動試験装置)を 2007 年に整備し立ち上げた。TITAN 計画の一環として、同装置を活用した液体金属ブランケットの MHD 挙動研究を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ これまでに高温環境下での超音波ドップラー流速計測法 (UDV) の立ち上げや、3次元大規模流動数値計算 (DNS) を実施している。 ・ 関連ワークショップの開催や研究者の派遣、招聘により、実験及びモデリングに関する議論を行い、今後行うべき実験計画の明確化がなされている。 |
| 中国科学院・等離子体物理研究所 (ASIPP) | <p>中国科学院・等離子体物理研究所(ASIPP)との 2001 年以降の交流の大部分は、日本学術振興会の拠点大学方式による学術交流事業として実施されてきた。2010 年までの 10 ヶ年計画で、ASIPP が中国側、NIFS が日本側の拠点大学の役割を果たしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 双方の研究所はヘリカル型プラズマとトカマク型プラズマ研究を進めているが将来の高性能な磁場閉じ込め核融合炉実現に向けての多くの共通する課題を異なる角度から相補的に研究を進めている。 ・ 両研究所には世界有数の全超伝導トーラス装置、すなわち EAST 装置 (ASIPP) と LHD 装置(NIFS)が稼動しており、両者で共通するプラズマ加熱装置やプラズマ計測装置開発、さらに磁場閉じ込めプラズマの物理に関する共同研究を進めている。 ・ これらの共同研究に加え、超伝導技術や炉壁材料開発等炉工学的共同研究に関しても多くの共同研究を進めている。 |
| マックスプランク・プラズマ物理研究所 (IPP) | <p>国際ステラレータ/ヘリオトロンデータベースと、LHD 及び W7-X の 2 大ヘリカル系実験計画を軸とし、多様な拡がりをもちつつ共同研究が実施されている。IEA 実施協定「ステラレータ・ヘリオトロン概念の開発」による多国間協力として進めている国際調整作業会 (Coordinated Working Group) の共同コーディネーターとして活動を推進している。この活動を通じて集積されたデータベースを WEB 上に公開している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2005 年度～2009 年度までの 5 年間の実績として、IPP からの来所は 50 名、核融合科学研究所からの派遣は 60 名となっており、年間 10 名程度の研究者が滞在型共同研究を実施する継続的な研究者交流が行われている。 ・ 共同研究成果として、IAEA 核融合エネルギー会議に、核融合科学研究所と IPP の共同論文が 2010 年は 2 件、2008 年は 4 件が報告さ |

| | |
|---------------------|--|
| | <p>れている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 電子サイクロトロン共鳴加熱に関する共同研究をカールスルーエ工科大学との3者間の共同研究として実施している。 W7-Xの実験立ち上げのための共同研究としてダイバータ板の温度分布計測や磁気面測定について LHD をプラットフォームとした共同研究を進めている。 |
| カールスルーエ工科大学 (KIT) | <p>NIFSはカールスルーエ工科大学(KIT)の前身となるカールスルーエ研究センター(FZK)と2005年に核融合関連技術に関する研究協力及び研究者交流の推進を目的として協定を締結した。協定は形骸化を防ぐため、2年毎に成果の評価及び見直しを行い、両者の合意に基づいて延長の手続きを行うことになっている。2007年に十分な実績が上がっているとの双方の判断で協定の延長を決定した。同様に2009年に新たな組織となったKITと協定の再延長を行った。FZKには27の研究所が所属し、その研究分野は、エネルギー、環境、バイオ、基礎科学からナノテクノロジーと多岐に及んでおり、欧州有数の研究拠点である。2009年には、FZKはカールスルーエ大学と統合し、最先端の研究と教育を同時に行う新たな研究教育組織KITとして再スタートした。</p> <p>超伝導応用、マイクロ波応用、トリチウム技術等の核融合工学の研究テーマについて共同研究、研究者交流を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 超伝導応用に関する共同研究では、高温超伝導電流リードの開発研究を共同で進め、その成果はITER、JT60-SA、W7-X等の実際の電流リード設計に生かされている。また、共同研究での議論を更に発展させて国際的なワーキンググループを形成することにより、個々の装置に対応した電流リード設計だけでなく、より一般的な国際規格の制定に向けた取り組みをNIFSとKITが中心となって実施した。その成果として、「超伝導機器に使用される電流リードの特性試験方法に対する一般要求事項」がIEC(国際電気標準会議)の国際規格(IEC-61788-14)として2010年に発行された。 マイクロ波応用では、KITで開発したW7-X用ジャイロトロン管のLHDへの導入検討、テラヘルツジャイロトロン管の開発、周波数可変ジャイロトロン管用窒化珪素 Brewster 窓の開発、ダイヤモンド窓の特性評価等に関する共同研究を実施するとともに、マイクロ波の幅広い分野への応用を目指し、電磁波と物質の相互作用に関するプラズマとナノサイエンスの国際連携の構築を目指した研究協力で進展が得られた。 トリチウム技術では、KITが欧州におけるトリチウム実験の拠点研究施設であることから、NIFSで開発したトリチウム分離回収装置に用いるCECE(Combined Electrolysis Chemical Exchange)装置を持ち込み、トリチウムを含む水を化学的に分離濃縮する技術に関する共同研究を実施した。 |
| ロシア科学センター・クルチャトフ研究所 | <p>クルチャトフ研究所はシャフラノフ博士を筆頭とする「ヘリカル理論研究」に伝統があり、計測分野において特に、重イオンビームプローブは核融合科学研究所と並んで世界トップレベルにある。</p> <ul style="list-style-type: none"> 核融合科学研究所は、LHD実験成果とモデルや計測手法を検証するための実験環境を提供し、クルチャトフ研究所からは、伝統のある「ヘリカル理論研究」を軸に、得意分野である、「HIBPやマイクロ |

| | |
|-------------------------------------|--|
| | <p>波計測による乱流揺動の計測・解析手法や周辺プラズマの揺動特性の統計的解析手法」に関する共同研究を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ヘリカル磁場配位の最適化、MHD 平衡特性の解明及び LHD 実験における MHD 平衡配位の精度の高い同定手法の提案、精度の高い新古典熱伝導度、ブートストラップ電流評価モデルが提案され、現在、LHD 実験解析をとおしてモデルの検証を進めている。これらの共同成果は7編の学術論文として発表されている。 |
| <p>ロシア科学アカデミー・ 一般物理研究所</p> | <p>一般物理研究所(GPI)はレーザーの発明によるノーベル賞を受賞したプロコロフ博士の名前を冠した研究所であり、その設置経緯からレーザーやマイクロ波の物理やその応用技術を持っている。特にマイクロ波散乱計測及び揺動統計解析に強みを持ち、またヘリカル系での新古典拡散理論のパイオニアである L. Kovryzhnykh 氏を中心とした輸送理論の活動がある。これらについて過去約 10 年共同研究を行ってきた。これらの実績をもとに、GPI と核融合科学研究所は 2007 年 10 月 15 日に 2 研究所間の学術交流協定を締結した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 2009 年度まで年間 1 名ないし 2 名を自然科学研究機構の国際的研究拠点形成事業による「国際共同研究拠点ネットワークの形成」により招聘し、高出力マイクロ波光源を用いた散乱計測についての共同研究を行った。また、若手の研究者を赤外線領域のレーザーを用いた微視的不安定性による乱流揺動計測の実験に参加するために招聘した。 |
| <p>ウクライナ科学センター・ ハリコフ物理工学研究所</p> | <p>NIFS と同じヘリオトロンタイプの装置 (URAGAN 2 M、URAGAN 3 M) を有している研究所であり、磁場閉じ込めの共通の物理を研究している。高エネルギー粒子軌道解析で共通する研究が行われており、人的交流による継続的な共同研究を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 2006 年に A. A. Shyshkin 教授を招聘し、滞在中の成果として、“Control of cold alpha-particle cross-field flux with the resonance magnetic perturbations in the helical fusion plasma” の題目の共著論文 (主たる共著者・相良教授) を Nuclear Fusion に発表した。 2008 年には、Mishchenko 博士を招聘し、ヘリカル系磁場配位におけるプラズマ微視的不安定性や乱流輸送に対して重要な影響を及ぼすと予想されるプラズマ帯状流、背景電場やリップル捕捉粒子の効果についての共同研究を実施した。 2010 年には O. A. Shyshkin 博士と非マクスウェル分布プラズマにおける核融合反応率の増大に関する研究を実施した。 |
| <p>オーストラリア国立大学</p> | <p>オーストラリア国立大学は中型のヘリアック装置 (H-1) を有し、ヘリカル系プラズマ実験研究を進めるとともに、計測や MHD 理論において高いレベルの活動を行っている。日豪学術交流は、政府間で締結された日豪科学技術協力協定に始まる。本協定を実質的ならしめるため、1995 年に豪国オーストラリア国立大学と当研究所の間で大学間学術交流協定を締結し、学術研究における緊密な連携を促すことを目的として、人物交流、研究交流及びワークショップの開催を行ってきた。</p> <ul style="list-style-type: none"> 「プラズマ理論及び計算機シミュレーションに関する日豪ワークショップ」及び「プラズマ計測に関する日豪ワークショップ」をそれぞれ 2 年又は 3 年に 1 度の頻度で開催している。2009 年 2 月に、 |

| | |
|-----------------------|--|
| | <p>オーストラリア国立大学において第8回プラズマ計測に関する日豪WSを共同開催した。日本からは核融合科学研究所他、6研究機関から12名の参加があった。オーストラリアからの出席者としては、オーストラリア国立大学、シドニー大学を中心として約30名の参加があった。</p> |
| 韓国国立核融合研究所 (NFRI) | <p>核融合科学研究所は、1996年3月6日に韓国基礎科学支援研究所(KBSI)と核融合科学に関する共同研究、人材交流を目的として学術交流協定を締結した。KBSI内に2005年10月に韓国国立核融合研究所(NFRI)が設置され、活動の実態は、もっぱらNFRIとの交流となっている。この共同研究の成果は日韓協力の項目に記述している。</p> |
| プロヴァンス大学 | <p>プロヴァンス大学とはITER時代を支える大学院生の教育に協力して当たっている。双方の特徴を生かした国際教育として、先方の大学院生が核融合科学研究所にインターンシップのため滞在し、教育指導を行った。この滞在研究成果は、フランスの同コースに属する総ての学生の成果の中で最高の評価を得ている。</p> <p>ITER International Summer School(IISS)の国際化として、運営委員やプログラム委員を務め講師を派遣するとともに、2008年には我が国に誘致した。IISS-2008の日本開催により、全国の大学院生・若手研究者に参加の場を提供する事が出来た。</p> |
| 磁場核融合に関する国際連携研究所 | <p>「磁場核融合に関する国際連携研究所LIA 336」は、磁場核融合に関する学術研究の振興を図るため、日本側は、核融合科学研究所、九州大学、大阪大学、フランス側はCNRS(国立科学研究センター)及びプロヴァンス大学の5機関が合同で国際学術交流協定を結び開設したものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ LIA 国際ワークショップ(2009年5月17日、京都)を開催し、11名が参加、研究発表、集中的な討議が行われた。 ・ ITER International Summer School(IISS)を推進した。4回のIISSに対し運営委員やプログラム委員を務め講師を派遣、若手研究者の交流を実践、Twin doctor degree 取得を援助等の実績が上がった。 ・ 協同成果論文を出版した。出版物の中で特筆すべきものとして、S.-I. Itoh, M. Shindo, S. Inagaki, M. yagi, ed., Second ITER International Summer School - Confinement (AIP, 2009) AIP Conference Proceedings 1095, 243pagesを上げる。 |
| スペイン国立エネルギー環境技術研究センター | <p>スペイン国立エネルギー環境技術研究センター(CIEMAT)はLHDにつぐ規模のヘリカル装置であるTJ-IIヘリアックを有し、この実験のみならずヘリカル系の研究を幅広く進めている。CIEMATと核融合科学研究所は2009年2月26日に2研究所間の学術交流協定を締結して以来、継続して強力な協力を進めている。国際調整作業会活動では、核融合科学研究所、IPPに次ぐ第3番目の極としてTJ-II実験データをもとに貢献をし、共同作業を進めている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 協定締結前よりIEA実施協定「ステラレータ・ヘリオトロン概念の開発」による多国間協力に基づいて、TJ-IIとLHDの共同実験等多くの共同研究が進められてきた。協定締結後は協力関係が更に強化され、2008年度と2009年度の2年間の実績として、派遣22名、招聘10名となっている。 |

| | |
|---------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • LHD と TJ-II の比較実験や共同実験として、H-mode 遷移、高速イオン励起 MHD 不安定性、磁気島の発生と消滅、HIBP 計測からの電場に関わる物理について継続的に進めており、今年の IAEA 核融合エネルギー会議においても 2 件の共著論文を発表した。 • LHD における共同実験では、特に、2009 年度より CIEMAT より高速カメラを LHD に持込み、周辺揺動に関する統計性やメゾスケールの輸送物理現象に注目した研究を進めている。スペインの大学院生がこの高速カメラ計測を用いて博士論文研究を LHD で行っている。 • TJ-II においては LHD で用いられている高速イオン損失プローブと同じ設計のものを設置し、磁場配位の異なることによる高速イオン閉じ込めの異同を議論している。両研究所の若手研究者が相手機関での共同実験を企画立案・実施することによって、所属機関での実験の枠を超えたより包括的な研究展開が図れるよう、組織的に計らっている。 |
| ITER 機構 | <p>ITER は人類初の核燃焼プラズマの実証と制御を行う国際事業であり、2019 年の実験開始を目指して、本格的な建設に入った。</p> <ul style="list-style-type: none"> • ITER 建設及び運転の工学的な課題を解決するため、ITER 機構と共同研究契約を結び、研究課題を実施している。これまでに契約した 3 件の共同研究は、(1) ICH 出力試験、(2) 低温システムのリアルタイムシミュレーション、(3) ITER データ収集の基本設計に向けた物理データ形式の調査研究である。 • ITER 建設の本格化により、LHD での装置開発、建設、運転及び装置改良に豊富な実績を有する核融合科学研究所の協力はますます重要になってくると考えられる。国際的な責任を果たす意味からも積極的な貢献を行っている。 |

(2) 研究所間学術交流協定等による国際共同研究

—ITER・BA も視野に入れた今後の進め方（方針・計画）は適切か—

| |
|--|
| <p>ITER・BA 活動が本格化する中、世界的に各国において原型炉に向けた戦略の重要性が問われている。我が国においては、コミュニティと文部科学省の核融合研究作業部会において、専門的な分析に立つロードマップの議論が進められている。この原型炉に向けたロードマップについては韓国においては 1 年以内にまとめられること、米国でも PPPL が中心となって議論が開始される場所である。研究所間学術交流協定に基づく国際共同研究は、「それぞれの機関の特徴と共同研究成果」で述べたように協定締結機関の特長を生かして継続的に進められていることから、一見バラバラで ITER・BA も視野に入れた原型炉の製作とは無関係と捉えられがちであるが、実際には、LHD が目指すヘリカル原型炉に必要な知見として、長期的視野に立って、核融合科学研究所のトロイダルプラズマの総合的理解、工学的研究に組み込まれるものである。核融合科学研究所は国内外の動向を注視し、大学共同利用機関として、今後の LHD 実験、炉工学、数値炉のプロジェクトや国際共同研究の強化を図る方針である。</p> <ul style="list-style-type: none"> • ITER への直接貢献のために ITER 機構との包括協定を締結し、設計・建設や実験計画に関する共同研究や人的交流を促進していく。 • 今後も、研究所間学術交流協定先の特長を生かした国際共同研究を、ヘリカル原型炉の実現を念頭に、大学共同利用機関の機能を国際的に展開することによって進めていく。核融合科学研 |
|--|

研究所が締結した協定をもとに、国内の大学等の研究者による国際的な共同研究への参画を促進する。

- ・ 米国とは、政府間協定が締結されるまで個別協定によって政府間協定を補い、TITAN 以降の共同事業計画を含めた日米協力を滞りなく進めることに努める。テキサス大学を通じた核融合シミュレーション計画や、PPPL を通じた宇宙プラズマ物理への展開等、組織的事業にも日本側の拠点としての役割を果たす
- ・ 欧州とはマックスプランク研究所や CIEMAT とヘリカル系研究の高度化を進めるとともに、ITER 及びその後の原型炉を見据えた炉工学及び大学院教育に関する協力を強化する。
- ・ アジアにおいては、KSTAR 及び EAST の超伝導トカマク装置実験へのこれまでの技術協力に立ち、本格化してきた実験への参画を促進していく。これによって定常プラズマに関する総合的理解に努める。
- ・ ロシア及びウクライナについては、高い能力を持った若手研究者との協力や、国際研究集会への支援や参加を通じて、一定規模の国際協力活動を維持する。

(3) 自然科学研究機構の国際連携活動

—機構による国際連携活動は成果を上げているか—

2005-2009 年度に機構の「分野間連携による学際的・国際的研究拠点形成」事業の一環として、「国際共同研究拠点ネットワークの形成」を行った。ここでは、滞在型共同研究を中心に据え、核融合科学研究所を拠点として、国内大学等と海外研究機関との共同研究ネットワークを形成することを目的とした。

所外委員が半数を占める機構の委員会が課題の選定、実施運営を行った。これによって、日米、日韓協力と相補的に相手機関との組織的な連携が進み、既に学术交流協定を結んでいた機関との関係が強化され、さらにカールスルーエ研究センター（独）（現：カールスルーエ工科大学）、プロヴァンス大学（仏）、ロシア科学アカデミー・一般物理研究所（露）、磁場核融合に関する国際連携研究（仏）、エネルギー環境科学技術研究センター（西）の6つの新たな学术交流協定締結に結実した。

- ・ 5年間に226名の派遣と264名の招聘を行い、平均して1名当たり14日間の滞在からなる一過性ではない交流を約20課題にわたって支援した。
- ・ この国際連携活動では核融合科学研究所のみならず、東京大学（高ベータ・高自律系プラズマの物理）、大阪大学（プラズマ・天文分野連携による実験室宇宙物理の国際拠点形成）、京都大学（先進ヘリカルにおける改善閉じ込め研究）等の国内拠点の国際化を進めることができた。
- ・ プラズマ・核融合科学発の分野間連携の国際展開として、太陽コロナの非平衡プラズマの研究、核融合理論の宇宙プラズマへの応用、反応性プラズマの相乗的複雑性と天文学・物質科学への応用、プラズマ材料表面過程に関する学際的研究のテーマに取り組み、これらの関する国際的な研究ネットワークを形成することができた。
- ・ 学術的な成果に加えて、若手による企画の枠を設けて年間5課題程度採用したこと、大学院生を5年間に23名を派遣及び38名を招聘したことにより、国際的な人材育成にも貢献した。これらの成果は研究所のWEBページにおいて公表されている。

(4) ボランタリーな国際貢献（ITPA等）

—NIFSとして十分な貢献をしているか—

【ITPA活動】

- ・ ITER等の核燃焼プラズマの性能とその制御に関する研究を推進することを目的とした国際トカ

マク物理活動 (ITPA) に対して、トピカルグループメンバーとして、日本からの 50 名中 13 名を核融合科学研究所から出している。ITER の喫緊の課題である ELM 制御等に関連して、LHD 実験を中心として、ヘリカル系の特徴である 3 次元の物理からの貢献が行われている。特に、「閉じ込めと輸送」及び「ペDESTAL」トピカルグループにおいて企画提案を行い、3 次元の物理セッションが 2010 年 10 月から設けられたことに決定的な貢献をした。

- ITPA 会合への参加者は毎年約 20 名であり、2004 年度から延べ 140 名に達しており、ITER の設計活動から実験計画立案に対して、LHD をはじめとするヘリカル系から多大な貢献をしている。

【ITER/BA 関連活動】

- ITER/BA の事業活動の推進に関して、核融合科学研究所職員に対して、以下に示す各種委員等が委嘱され、その運営等に貢献している。

ITER 理事会理事 (小森彰夫)

ITER 科学技術諮問委員会委員 (伊藤公孝)

BA 運営委員会委員 (金子修)

国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)事業長 (中島徳嘉)

サテライト・トカマク事業委員会委員 (竹入康彦)

- ITER 機器の調達に関する評価委員会等に委員として関与して、ITER 超伝導システム、NBI-HV ブッシング、IFMIF-EVEDA 計測・純化予備設計等の設計、調達活動に大きな役割を果たしている。このように、LHD の建設、運転の経験が ITER/BA 事業の推進に活かされており、特に、IFERC 事業における高性能計算機選定には、性能評価のためのベンチマークコードの選定と現有スーパーコンピュータによるその性能評価を通じて、核融合科学研究所から多大な貢献をした。

【その他】

- 核融合科学研究所の高い研究成果を世界の核融合研究の発展に生かすため、職員に対して、以下に示す委員、客員等が委嘱され、運営、研究推進等に貢献している。

プリンストン・プラズマ物理研究所評議会委員 (山田弘司)

国立核融合研究所(韓国)KSTAR 研究センター客員実験コーディネーター (居田克己)

【連携研究】

(1) 自然科学研究機構内連携研究

ー連携研究は成果を上げているかー

この連携研究では、2つのアプローチ(1) 機構に属する5研究所が総体となって組織的に機構の研究活動として進めるもの、(2) 同じ機構内にある利便性を生かして、研究者間で学際的な共同研究行うもの、各々について特徴ある成果が上げられている。

- ・ (1) については、機構をする横断テーマである「イメージングサイエンス」及び「自然科学における階層と全体」について核融合科学研究所は中心となる役割を果たしてきている。「イメージングサイエンス」は2009年に設置された機構の新分野創成センターにおける主テーマとして「ブレインサイエンス」とともに推進されているが、核融合科学研究所はこの活動の立ち上げに貢献し、長山好夫教授と石黒静児教授の2名が併任として運営に参画している。
 - 自然科学における重要な方法論である「イメージングサイエンス」では、核融合科学研究所と天文台との間でプラズマのマイクロ波、X線、高速可視カメラによるイメージング計測による「見る」課題について、計測素子や光学設計に関する研究が、没入型バーチャルリアリティによる「見せる」課題についても4D-2U(天文台設備)との間での比較研究が進み、これらが機構全体の取り組みを加速した。
 - 「自然科学における階層と全体」は、計算機シミュレーション科学を軸とした物理系と生物における情報伝達階層を軸とした生物系の2つの学際的な異分野交流の場を核融合科学研究所が中心となって定期的に設けてきた。2005年より6回のシンポジウムを実施し、2008年2月には機構が主催する初めての国際シンポジウムとなる“International Symposium on Hierarchy and Holism -Bridging Across Different Hierarchies in Natural Sciences -”を核融合科学研究所が中心となって開催した。
- ・ (2) については、太陽に関連した国立天文台及びナノサイエンスに関連した分子科学研究所との連携協力が特筆される。各々の研究機関の特長を生かした相乗的な研究の高度化が進められた。
 - 太陽コロナの加熱機構の解明を目的としたLHDと太陽観測衛星「ひので」による非平衡プラズマの分光学的研究が共同で2005年より継続的に進められている。LHDのプラズマを利用して、鉄イオンスペクトル線解析を行い、これを太陽活動領域の電子密度分布の評価に応用する等、多くの成果が上がっており、協力開始以来、20篇の共同論文が発表された。
 - 水素原子ライマン α 線の偏光計測による太陽彩層磁場の直接測定のため、分子科学研究所がシンクロトロン放射光設備を用いて観測装置評価を、核融合科学研究所がスペクトルプロファイルの理論解析を担当して、天文台とともにロケット実験計画を開始した。
 - 分子科学研究所との間ではナノ微粒子の近接場イメージングのシミュレーションに関する連携研究に成果が上がった。分子科学研究所グループが近接場光学顕微鏡を用いた基板上的金ナノロッドの観察から表面プラズモン定在波の関係が指摘し、核融合科学研究所では、実験を模擬する電磁気学的な数値シミュレーションを行い、金ナノロッド上の明暗パターンを再現することに成功した。これらの研究成果は2編の共著論文として発表された。

(1) 大学・研究機関との協定に基づく連携研究
 一両機関の特徴を生かし、成果を上げているかー

| 大学・研究機関名 (協定締結年月日) | 両機関の特徴と成果 |
|-------------------------------|---|
| 筑波大学 (2005年9月27日) | <p>筑波大のプラズマ研究センターは大電力定常ジャイロトロン開発に力を入れており、LHDのECH加熱技術・物理研究との協力が双方に有益である。</p> <ul style="list-style-type: none"> 共同研究の成果として、LHDに用いる77GHzジャイロトロン開発を行い、1.8MW/1秒の世界最高出力を得ることに成功した。これまでに筑波大と共同で開発した三本の77GHz大電力ジャイロトロンを用いて、LHDの2010年度の実験では、4MW超の加熱入力が可能となり、電子温度20keVを超えるプラズマ生成に成功した。 これまでの研究協力により、共著の学術論文4編、国際会議17件(招待講演1件)、国内学会発表17件(招待講演2件)が発表されている。 |
| 富山大学 (2007年3月14日) | <p>重水素、トリチウム等水素同位体の科学及び安全取扱い技術の開発に関わる研究、人材交流、人材養成、大学院教育、その他本協定の目的を達成するために必要な連携・協力を行っている。水素同位体科学研究センターにおいて「研究」、大学院理工学研究部において「教育」を主として連携・協力を実施している。</p> <p>【水素同位体科学研究センターとの共同研究】</p> <ul style="list-style-type: none"> NIFSからはグロー放電洗浄等プラズマ実験に関する実験手法の知見を提供し、富山大学からはトリチウムをはじめとする水素同位体の取り扱い方や分析手法等の知見を提供して共同で実験を行っている。本研究により、核融合装置におけるトリチウムの挙動解明に成果を上げつつあり、今後はトリチウム除去、除染方法の確立へと展開していく計画である。これまでの共同研究成果として、国際会議で6件の発表を行っている。 <p>【人材交流に関わる大学院講義の実施】</p> <ul style="list-style-type: none"> 新エネルギー科学専攻として、核融合プラズマ理工学と核融合放射線安全学の科目を集中講義している。講義には、博士課程のほか修士等を含め約20名が聴講している。他に、同センター客員教授としても共同研究に携わっている。 |
| 名古屋大学エコトピア研究所 (2007年9月13日) | <p>エネルギー科学に関して、地球環境負荷を低減した環境調和型社会の実現に関する学際研究、核融合エネルギーの実現に関する学術及び科学技術振興に寄与することを目的として連携協定を締結した。</p> <ul style="list-style-type: none"> それぞれの研究所の特長を生かして、ダイバータプラズマの研究、X線分光計測研究、炉工学研究等の連携協力を実施している。 連携協力実施のための直接経費は無いため、LHD計画共同研究、一般共同研究を企画するとともに、本研究所の室賀教授がエコトピア科学研究所の客員に就任し、連携協力を実りあるものにしてきている。これまでの連携協力によって、10編の共著論文等の成果を上げている。 |
| 大阪大学大学院工学研究科 (2007年10月30日) | <p>材料、物理、電気、建設機械、化学、等幅広い専門教育連携ならびに連携研究を包含した広範囲な協定研究・教育でのお互いの特色を生かした連携を強化、推進している。</p> |

| | |
|-----------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> 幅広い共同研究事業において、毎年、約 200 名前後の大阪大学大学院工学研究科に所属する教官、技官、学生が共同研究に参加している。 共同研究成果の一例として、高繰り返し慣性核融合炉ターゲットチェンバー中心に爆縮後エアロゾルが生成することを実験室系装置で検証し、特に、炭素をチェンバー材料に用いた場合、カーボンナノチューブ状のエアロゾルが生成することが判明した。 教育連携として、核融合科学研究所の教授が「特別講義」を行っている。また、大阪大学大学院工学研究科の学生を対象とした核融合科学研究所の見学会を 2008 年に実施した。参加者は、学部 4 年生 3 人、修士 1 年生 6 人、博士 3 年生 1 人の合計 10 名であった。 |
| 岐阜大学 (2008 年 3 月 25 日) | <p>岐阜大学と結んだ包括協定は、具体的な応用研究と中長期的な計画から成り立っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 岐阜大学のカーボンナノチューブ研究や核融合科学研究所のセラミックスと粉末冶金の研究等それぞれの得意分野で協力し、民間企業を巻き込んでハイテクの製造技術の開発を進めている。 |
| 東北大学 (2009 年 3 月 9 日) | <p>両機関の連携協力を推進し、相互の研究開発能力及び人材を生かすことにより、多様な分野での共同研究、研究者交流、大学院教育への協力を進めている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 共同研究では、東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料国際研究センター（大洗センター）の照射後試験施設、NIFS の高温材料強度試験装置を相互利用する炉材料の研究で、協定締結後、既に 5 件の共著論文を公表している。 大学院教育に関して、核融合炉材料工学及び核融合炉システム工学の 2 講座について、東北大学工学研究科－核融合科学研究所連携講座を立ち上げた。それぞれの講座で教授 1 名、准教授 1 名、の計 4 名の構成となっており、博士課程を中心に、修士学生の聴講も含めて約 10 名を対象にした集中講義を開始している。 |
| 静岡大学 (2009 年 3 月 23 日) | <p>プラズマ壁相互作用／水素同位体の研究グループ、画像処理の研究グループとの共同研究を実施し、また共同研究の立ち上げを計画している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 協定以前から共同研究を実施してきた経緯もあり、2009 年からの共同研究の成果として、学術論文 10 編、国際会議発表 14 件、国内学会発表 16 件の実績ががっている。 |
| 名古屋工業大学 (2009 年 7 月 8 日) | <p>共通する課題である物質科学やシミュレーションに関するセミナーによる学術交流や教育での連携活動を実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 教育面では、NIFS の最先端研究設備を用いた名古屋工業大学の学生の修士・博士の研究内容の充実とともに、NIFS にとっては、優秀な人材の活用が図られている。これにより、名古屋工業大学に最新研究設備を導入せずに、学生の研究環境を整えることが可能となる。 応用面では、大学の Lab サイズの研究と LHD を筆頭に大型設備の設計・製作技術の融合により、工場ラインへの導入を視野にいたした研究遂行が可能になった。さらに、両者の専門性やトピックの多様性を生かした新しい研究提案実績として G8 への申請等が挙げられる。 |

| | |
|-------------------------------------|--|
| <p>日本原子力研究開発機構 (2009年8月10日)</p> | <p>日本原子力研究開発機構と核融合科学研究所は、「核融合研究開発分野における連携協力の推進にかかる協定書」を締結し、包括的な連携研究協力を開始した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 「JT-60SA 超伝導コイルの性能確認試験に関する共同研究」において、核融合科学研究所の世界有数の大型超伝導試験設備に熱交換器と断熱容器を増設することにより、大型強制冷却導体の任意温度における性能評価を可能とし、JT-60SA の試作導体及び実機導体の性能評価を実施している。 共同研究成果として、2009年と2010年の2年間に4件の学術論文を発表した。 |
|-------------------------------------|--|

(3) 産学連携研究

ー核融合研究の有効なスピノフとなっているかー

| |
|---|
| <p>核融合科学研究所では、核融合科学研究で得られた最新の技術成果を産業界と連携して、広く社会に役立つ技術として還元することを目的とし、産学連携研究を推進している。</p> <ul style="list-style-type: none"> 年間 14～20 件の民間との共同研究が実施されており、産学連携研究が着実に継続していることが分かる。これらの共同研究の成果は、実用化されたものや、特許を取得したもの、競争的開発研究資金の獲得に結びついたもの等、様々な形で核融合科学研究所及び連携した企業、社会への還元の形で実績となっている。例えば、2005 年度～2009 年度までの特許取得件数は 28 件となっている。 産学連携研究は、単に核融合研究成果の民間への転用と言う一方向の広がりのみでなく、得られた研究成果が核融合技術の更なる高度化や新たな学問への波及等のブーメラン効果も生んでいる。 マイクロ波応用では、工業用マイクロ波炉用いた飲食器焼結技術の研究開発を地元産業と連携して推進し、マイクロ波・ガス複合炉の実用化推進研究が順調に推移している。さらに、学術への波及効果として、無機酸化物のマイクロ波下における酸化還元反応の促進に関する研究が推進された。マイクロ波のコヒーレントな電磁界が物質中の電子構造にコレクティブな運動を与え、結晶構造の破壊が起こるためであると推定される。マイクロ波は単なる熱源の置き換えではない、物性学的、熱力学的に異なる物材加工の手段であることが明らかになってきた。 核融合で開発された超伝導・低温技術の他分野への応用と、大型の核融合実験装置ではいきなり実現することが困難な先進的な技術開発の両方を目的として産学連携研究を推進している。超伝導応用では、工場等の電力系統を瞬時電圧低下の被害から守る大電力容量の無停電電源として瞬停対策 SMES (超伝導磁気エネルギー貯蔵装置) 用の伝導冷却型パルスコイルの開発に成功した。コスト競争力の観点から実用化一歩手前で残念ながら商品化には至らなかったが、そこで開発された伝導冷却技術は、核融合炉の超伝導マグネットを冷却の観点から高度化する間接冷却方式の研究へと発展し、博士課程学生の研究課題を含む新たな研究テーマとして継続・展開している。また、本共同研究の成果は、2004 年度から 2009 年度までに、15 件の論文発表、39 件の学会発表等を行い、広く公表している。 LHD 用ヘリウム冷凍機等の大型低温システムを対象としたリアルタイムシミュレーション装置 (C-PREST) の開発を産学連携研究として行ってきた。LHD の実際の低温システムのリアルタイムシミュレーションに成功するとともに、その成果は低温技術に関する国際会議や学術誌等で発表を行った。リアルタイムシミュレータは既存の低温システムの運転方法の改良や改造時の設計検討に有用のみでなく、新しいシステム構築の際の設計検討にも有用である。これらの成果が国際的にも評価され、ITER 機構からの依頼で、ITER 低温システムのリアルタイムシミュレーション共同研究を 2010 年に開始した。 |
|---|

ー地元産業等への貢献がなされているかー

東海地区は、ものづくり産業が盛んであり、共同研究のみでなく、機器の開発や工事において地元企業との連携が深く図られている。

岐阜県工業会と岐阜県が主催する賢材塾（次世代技術経営者育成、塾長：澤岡大同大 学長）は、2007年に始まりフォローアップを含めて毎年2回開催してきている。核融合科学研究所は、この企画に全面的に協力し、研究所の施設を提供して、合宿型セミナーの実施に協力している。また、賢材塾のコーディネーターである山田雅夫氏を本研究所の客員に迎え、本企画のより有効な実施に協力してきている。研究所の貢献に対して、地元産業界、岐阜県から高い評価を得ている。

地元の企業と実施している民間との共同研究は2004年～2009年の実績で延べ40件であり、民間との共同研究、全105件に占める地元企業の割合は38%となり、高い水準を維持している。

- ・ 特にマイクロ波焼成では、地場産業である窯業と深く結びついた密接な共同研究が実施されており、地元との交流の窓口としての重要な役割を果たしている。
- ・ 2000～2002年に科学研究費補助金「地域連携推進研究費」の交付を受けて、地元産業界と核融合研究で生み出された大電力マイクロ波加熱技術の応用研究が開始され、2001～2003年に経済産業省地域新生コンソーシアム事業」を受けて実用規模の設備の開発研究が行われた。
- ・ 現在その技術シーズを基にして、土岐市立陶磁器試験場と共同研究を行っている。同試験場を核として、地元各工業組合の協力が進み、マイクロ波・ガス複合炉の実用化推進研究が順調に推移している。
- ・ 2008年度に下石陶磁器工業協同組合、2009年度に、駄知、泉、肥田、妻木の各工業組合にマイクロ波・ガス複合炉を設置して、活発な試作研究が行われている。2010年度には、土岐津組合にも設置し、大量生産に向けた実験段階に進んでいる。

6. おわりに

核融合科学研究所は大学共同利用機関として、また核融合研究分野の中核的研究所として、大学が個々に持つことの出来ない大規模設備を有して共同利用に提供するとともに最先端の研究環境を提供して共同研究活動を展開し、大学における高度な核融合研究を推進する母体となるよう努力してきた。

その結果として、国内共同研究においては双方向・LHD計画・一般の3つのカテゴリーを整備して、基礎的・萌芽的研究から核融合炉心研究に至るまでの幅広い領域をカバーしてきた。また、国際協力においては、国内大学の高い学術レベルを背景とした政府間協定の実施機関としての役割を担うとともに、核融合科学研究所自身の持つCOEとしての研究企画力を基に各国の中核的研究機関と個別の協定を結び、協力と競争の関係を築いてきた。さらに、このような最先端研究分野から発生するスピノフとして産学連携や学学連携を通じて地元産業への貢献や異分野との連携研究活動も時代の要請として拡大してきた。

しかしながら最近では科学・技術分野への期待の声とは裏腹に、財政的な手当は減少の一途をたどっている。大学共同利用機関も原点に戻り、真に重要な役割として残すものを考える必要に迫られている。本評価において、これまでの活動を踏まえ今後の進むべき方向についての示唆をいただければ幸いである。



大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
核融合科学研究所
〒509-5292 岐阜県土岐市下石町 322-6
<http://www.nifs.ac.jp/>