

2022 年度外部評価報告書の概要

2022 年度の核融合科学研究所外部評価委員会（以下「委員会」とする。）は、「人材育成」「国際協力」「技術部」について評価するため、2022 年 10 月 11 日から 2023 年 1 月 30 日にかけて会議及びヒアリングを行い、その後 E-mail による意見交換を集中的に行った。運営会議で示された評価の観点は、核融合科学研究所（以下「NIFS」とする。）が大学共同利用機関として実施してきた研究等の活動の妥当性と達成度の評価を基本としつつ、2021 年度に取りまとめられた「今後の核融合科学研究所の在り方についての提言」に照らした今後の方向性や戦略をも問うものである。

委員会の下に 2 つの専門部会が設置された。1 つは人材育成及び国際協力を担当する専門部会、もう 1 つは、技術部を担当する専門部会である。各専門部会は担当するテーマについて報告をまとめ、委員会が各専門部会の報告を基に外部評価報告書を作成した。委員会は、全体として、NIFS が核融合科学における人材育成と国際協力に多大な貢献をしていること及び技術部が NIFS の研究活動の実施を支えていることを特筆する。一方で委員会は過去の維持に固執し、体制の進化を怠れば、核融合科学の分野における人流、ひいては活動の縮小を招きかねないことへの懸念も共有した。

NIFS は現在、学際的な展開に向けた核融合科学における取組みのパラダイムシフトを推進しており、ユニットの新しい研究体制は、この改革に不可欠な役割を担っている。NIFS は、この長期ビジョンに沿って、世界最高水準の研究活動と環境の改善を追求することを提言する。委員会は、この外部評価が NIFS の重要な転換期における改革に役立つことを期待する。

1. 人材育成

全体として、NIFS が核融合・プラズマ研究の中核機関として、大学院生を教育し、若手研究者を育成する人材育成に高い貢献をしていることは高く評価される。ここで、根本的な課題は、大学を含む核融合コミュニティ全体の人材育成を進めるために、大学共同利用機関として NIFS がどのような役割を果たすべきかである。この課題は、NIFS がユニットシステムを取り入れることによって推進する新しいパラダイムに従って扱われるべきである。NIFS は、新しい世代を惹きつけるために、研究プラットフォームや学位制度の刷新、優れた研究者による教育水準の向上により、世界最高レベルの研究環境の改善を追求することを提言する。

核融合とプラズマの研究は、多くの基本的な物理過程に支配された複雑系の科学として、本質的に学際的特性を有している。このような魅力的なテーマの重要問題を解決するために、NIFS は LHD やスーパーコンピュータなど、世界最高水準の最先端プラットフォームを探索し、核融合科学の研究者となる大学院生の教育システムに組み込んでいる。

NIFSには、我が国における世界レベルの研究機関を母体とする大学院大学「総合研究大学院大学（以下「総研大」とする。）」と、名古屋大学、九州大学、東京大学の各大学院生を NIFS の指導教員のもとで教育を行う「連携大学院」がある。これらの大学院の教育プログラムには、NIFSや総研大の特別研究員制度など、大学院課程の5年間を対象とする経済的支援も含まれている。特に NIFS の特別研究員制度は、博士課程3年、PD2年の計5年間を支援し、博士課程の学生が切れ目なく研究活動を開始できる制度である。この10年間で、留学生を含め毎年平均30名以上の優秀な学生が入学し、中には日本学術振興会特別研究員DC1、DC2を取得した学生もいる。研究力強化戦略室（RESO）に新設された「若手研究者の研究力・キャリアパス強化タスクグループ」による核融合科学分野の大学院生・若手研究者育成の戦略的取り組みは、適切に機能しており、高く評価される。

一方で、核融合科学を専攻する博士課程学生や卒業後に海外に出るPDの数が、海外の有力な研究機関と比較して少ないことが懸念される。NIFSの研究テーマやその魅力に関する情報が不足している点などが考えられる。特にLHDの研究に関しては、その内容や方法論が技術的な側面に偏りすぎていることが好ましくない要因とも思われる。その原因を究明し、現代的な教育システムを構築するために適切に対応することが求められる。

NIFSで学ぶ大学院生にとって、様々なプラットフォームの優れた環境に加え、多様な専門性を持つ約60名の指導教員が豊富に配置されていることもユニークな利点である。これらの指導教員は多かれ少なかれ人材育成に携わっているが、NIFSにはもっと多くの学生を受け入れる潜在能力があると考えられる。研究の活性化の観点から、国内外の大学との様々な連携体制を整備し、国内外からより多くの学生を受け入れる効率的な体制を構築するための議論を継続することが望まれる。総研大のダブル・ディグリー・プログラムは、大学院教育のさらなる進展のための次の目標とも言える。

NIFSの主要な使命のひとつは、次世代のビッグプロジェクトをリードする優秀な若手研究者を育成することである。ITERとJT-60SAは2大国際プロジェクトである。これらは近い将来運転を開始し、実験や解析のために多くの若い研究者を必要とする。また、高温燃焼プラズマの学術研究に影響を与える重要かつユニークなプラットフォームでもある。したがって、総研大や連携大学院だけでなく、量子科学技術研究開発機構（QST）やITER機構と連携して、人材育成に関するより広範なパートナーシップを構築することを提言する。

NIFSのユニット制度の開始や総研大の教育制度の再編は、横のつながりを強化することを目的としており、NIFSの大学院生や若手研究者のためのシステムを改善する良い機会である。様々な関連プログラム（サマースクール、ウィンタースクール、インターンシップなど）は、既存の核融合科学コミュニティ以外の分野、例えばプラズマ天体物理学、低温プラズマに関する物理学、関連工学などへも柔軟に展開することが

期待される。核融合研究の視野を広げ、他分野の研究者を惹きつけることは、若い世代が核融合科学の分野に参加するための鍵である。ユニットシステムが主導する核融合科学の学際的发展を、上記の核融合エネルギー開発への貢献と合わせて、人材育成に組み込むことを提言する。

2. 国際協力

全体として、NIFSが国際的な中核機関として多くの国際協力を推進し、核融合・プラズマ研究において優れた世界的なリーダーシップを発揮していることは、高く評価される。LHDに続く新しいプラットフォーム、すなわちポストLHDプロジェクトは、ユニットシステムが本質的に重要な役割を果たすべきであり、国内外のコミュニティで集中的に議論し、できるだけ早い時期に計画されるべきものである。このプラットフォームは、核融合科学の学術的な基礎を追求するために、幅広い研究テーマを網羅し、柔軟性と機動性に優れていることが要求される。

一つには、LHDとNIFSのスーパーコンピュータというユニークで世界をリードするプラットフォームを利用した国際協力がある。特にLHDは、総合的かつ高度な診断・加熱システムを備えた世界初の大型超伝導システムである。LHDから得られた建設／試験運転／運用に関する多様な知識は、その後の大型超伝導トカマクであるEAST（中国）、KSTAR（韓国）、ITER、特にW7-Xステラレータ（ドイツ）に重要な指針を与える役割を果たしたことは特筆すべきことである。NIFSは、自動解析システム、データリポジトリサーバー、使いやすい強力なデータビューア、実験提案ウェブシステムなどを開発し、LHD重水素実験のための優れた遠隔実験参加の環境を構築してきた。また、海外専門家による、研究課題に対する助言や評価も実施している。これらの適切な仕組みは、多大な努力を必要とした一方、国際協力の推進に大きく貢献した。LHDのマシントimeが広く国内外の研究者に提供されていることは高く評価される。COVID-19の世界的流行の際も、海外からの応募割合が増え、ここ数年は総応募数を維持している。

もう一つは、核融合科学において現在活動的な各国の主要な研究機関や大学と協働して、国際協力活動の企画を積極的に牽引していることである。交流協定は現在32件に達している。ステラレータ・ヘリオトロン技術協力をはじめ、プラズマ壁相互作用技術協力、球状トカマク技術協力といった特定の分野に焦点を当てた多国間協力事業は、国際エネルギー機関の実施協定の下、NIFSのリーダーシップの下で継続されている。

これらの活動は、人材交流や権威ある会議・ワークショップの企画と相まって、国内の大学や研究機関の核融合・プラズマ研究を国際的な水準にまで高めてきた。このような環境は、ITER計画や幅広いアプローチ（BA）活動を含む次世代の世界の核融合計画の主要な担い手となる大学院生や若い優秀な研究者の育成に貢献していること

も強調されるべきである。NIFSはQSTと協力し、2つの行動でITER/BAに貢献してきた。一つは、プロジェクトマネージャーやプロジェクト委員会委員としての活動、もう一つは、複雑なヘリカルプラズマの研究から得られた幅広い知識をもとに、専門家としてITPAの7つのすべてのトピカルグループにおいて活動を行っていることである。以上これらは、LHDとW7-Xの閉じ込めの違いの解明など、インパクトのある学術誌を含む、過去5年間の数百の国際共著論文につながっている。

NIFSは、LHDにおける3次元トロイダル閉じ込め物理や関連する工学、計算科学に深い専門性を持っているという強みを持っており、これらには世界的に関心が高まっている。そのため、例えばマルチスケール乱流、非拡散性輸送など、LHDを用いた基本的かつ緊急の課題の解決に向けた研究を継続することが期待される。世界の核融合コミュニティへのLHDに基づいた研究の意義が確保できるように、十分な実験の機会を国際的に共有することを提言する

核融合パラメータ最大化だけの追求から、より基礎的で広範な核融合科学へのパラダイムシフトに伴い、ステラレータ・ヘリオトロンを超えるNIFSの共同研究分野への、重点的な評価が要請されていることに留意されたい。核融合科学の学際的发展を目指すNIFSでは、2023年からユニットという新しい組織がスタートする。LHDの後継となる新しいプラットフォーム、すなわちポストLHDプロジェクトは、国内外のコミュニティで集中的に議論し、できるだけ早い時期に計画されるべきであり、ここではユニットシステムが本質的に重要な役割を果たす必要がある。このプラットフォームは、幅広い研究テーマを網羅し、核融合科学の学術的な基礎を追求するために、柔軟性と機動性に優れていることが要求される。

核融合プラズマの複雑な挙動を予測・制御するための様々な方法論は、基礎研究に基づき開発され、整備された複数の実験装置やコンピュータシミュレーションによって検証される必要がある。NIFSは、独自のプラットフォームを持つ国内外の研究機関や大学と様々な共同研究体制を整えている。核融合エネルギーの実現に必要な未解決の課題を効率的に解決し、核融合科学が学術的に特に重要であることを示すために、NIFSはNIFS内外の複数のプラットフォームでの活動を統合する新しいタイプの国際協力のスキームを検討することを提言する。この新しいスキーム・枠組みは、世界の核融合科学コミュニティをリードする重要な役割を果たすことが期待される。

3. 技術部

全体として、技術部がNIFSの研究活動、特にLHDプロジェクトの実施に不可欠な支援を行っていることは高く評価される。蓄積された専門知識は、NIFSだけでなく、日本の核融合科学コミュニティのかけがえのない財産である。利用可能な資源を最大限に活用することによって、NIFSの新しいパラダイムに沿った形で技術部の効率的な経営を展開するべきであることを提言する。

技術部は、中性子による放射化やトリチウムの発生を伴う LHD の重水素実験に、準備段階から現在まで大きく貢献してきた。技術部は、トリチウムの取り扱い管理に携わり、LHD での重水素実験の技術的準備と許認可を得るために多くの働きをなした。また、技術部は、重水素実験の安全・安心な実施のために、関連するスタッフへの教育・訓練も行ってきた。これらの活動は、重水素実験の成功に大きく貢献したものであり、極めて高く評価できる。これらの知識、ノウハウ、経験を維持・発展させ、将来の国際的な核融合プロジェクトや核融合原型炉に向けての研究に活かされるよう提言する。

NIFS には、LHD の他にスーパーコンピュータ（雷神）や工学研究施設など、約 34 の研究プラットフォームがある。技術部は、これらのプラットフォームに対して技術協力と技術支援を行っている。また、情報通信システム部、製作技術課の機械工作室、中央部品室などを通じて技術支援を行っている。多くの複雑なシステム/設備は、限られた資源で多大な努力をもって維持されている。すべてのプラットフォームが良好に運用されており、特に LHD については、非常に高い稼働率（2017 年以降 92.1%）と信頼性（最近 10 年間は真空漏れがほぼない）を有している。これらの活動は優れていると評価できる。今後の研究のために、技術部は開発した技術情報をまとめ、公開することを提言する。また、並行して技術部が効率的に貢献できるよう、業務や設備の優先順位付けや最適化を行う必要がある。

技術部は、安全衛生推進部の一員として、NIFS の安全衛生推進に貢献している。また、毎年「労働安全衛生に関する情報交換会」を開催し、大学や研究機関の参加者が情報交換を行う貴重な機会を提供している。これらの活動は高く評価されており、今後も継続していく必要がある。

全国の大学・研究機関の技術者との技術交流のため、有限要素法解析ソフト ANSYS による解析技術や NC 加工技術など、さまざまな技術支援や関連技術講習会を開催している。これらの活動は優れたものであり、今後も継続していくことが望まれる。大学や研究機関との技術提携をさらに強化することが望まれる。

異種金属接合技術など、技術部が蓄積したノウハウを活用し、産学連携を推進していることは評価できる。技術部は、産業界との連携をさらに強化し、核融合工学技術から他の分野へのスピノフ効果を高めることを提言する。そうすることで、核融合工学技術がより発展する可能性がある。

過去 5 年間で、技術スタッフの約 2 割が入れ替わった。技術部は、世代交代のために、若いスタッフに適切な研修を提供している。また、国際共同研究など、NIFS 以外の研修への参加も奨励している。JST の「PM 育成・推進プログラム」に技術職員 1 名が採択され、技術部から ECH 技術者 1 名が ITER 機構に移籍した。これらの活動は高く評価され、今後も継続されるべきものである。

4. 外部評価委員会からの付加提案

委員会は建設的な精神で、今後、次のような問題を検討すべきであると提案をする

- 1) NIFS は核融合科学の地平を広げるパラダイムシフトを推進している。ユニットを採用した新しい研究組織が 2023 年度にスタートする。このユニットは、NIFS 以外の研究者も巻き込みながら、コミュニティでの議論を重ね、核融合エネルギーの実現や自然界のエネルギー循環に関わる未解決の重要な科学的課題に学際的なアプローチで挑戦するものである。この改革の進捗状況やユニットの活動については、適切な時期に評価される必要がある。また、今回評価された NIFS の人材育成、国際協力、技術部などの活動も、この改革に沿ったものでなければならない。したがって、これらの 3 つについては、将来、再評価する必要がある。
- 2) 実験施設・装置だけでなく、スーパーコンピュータ環境、データ利用を含む研究基盤は、共同研究にとって重要な要素である。このような世界最高水準の共同利用プラットフォームをコミュニティに提供することは、大学共同利用機関である NIFS にとって本質的な役割である。
- 3) 共同研究は NIFS の主要な使命であり、新しい研究組織との積極的な相乗効果を得るためには、共同研究体制の戦略的再編成は必然的である。共同研究体制は、外部評価の重要なテーマとなる。
- 4) ITER プロジェクトや幅広いアプローチ活動に代表される核融合エネルギーの実現に向けた研究開発への NIFS の貢献は大いに期待される。NIFS の役割は QST と相補的なものであり、核融合エネルギーの意義を説得力を持って示すための NIFS の学術的責任は非常に重要である。
- 5) たとえ LHD の設計がそのまま実現可能な原型炉の概念へつながらなかったとしても、NIFS は、制御性に優れた LHD の高性能プラズマと、高性能プラズマ計測機器群を用いて、ヘリカル核融合炉に関する理解を進める上で中心的な役割を果たすことが期待される。NIFS の核融合炉設計への貢献は、幅広い観点から評価されるであろう。
- 6) 技術部に特化して評価された安全衛生への取り組みは、NIFS の様々な活動を統合することにより確立されている。これらの項目は、次回の機会に NIFS 全体として評価されることを提言する。