

今後の核融合科学研究所の在り方についての提言（素案）

＜注：当該 WG において検討途中のものです＞

令和 年 月 日

ver.3 2021/12/19

核融合科学研究所運営会議

今後の核融合科学研究所の在り方に関する検討ワーキンググループ

1. はじめに

- 核融合科学研究所は、平成元年に「核融合プラズマに関する学理及びその応用の研究」を目的とした大学共同利用機関として設立された。設置の基本方針には「広く全国の大学等の核融合分野の研究者の英知を結集して、大型ヘリカル装置（以下、「LHD」という。）を建設し、同装置を用いる研究を推進するとともに、核融合に関する理論・シミュレーション研究の中核的機能を果たすことを基本としつつ、自由な発想による研究を進め、広く核融合に関する研究を総合的に推進する」とある。
- 地上の太陽、核融合炉を実現できる理工学的知見の蓄積には、長期の学術研究の積み重ねを必要とすることから、核融合科学を成熟した学術に深化させる研究機関として研究所は設立され、また自然科学研究機構の一機関として位置づけられている。
- 大規模フロンティア促進事業による LHD 計画への予算措置が 2022 年度をもって終了することとなった。本ワーキンググループでは、この「ポスト LHD」と言える今後の中長期的な研究所の在り方について、本提言にまとめる。この提言は研究所にとどまらず、我が国の核融合科学コミュニティにも広く共有されることを期待する。

2. 核融合科学研究所が取り組むべき研究課題について

- 自然科学研究機構は、「宇宙、物質、エネルギー、生命などの広範な自然科学分野の研究を連携と共同により、自然の理解を一層深め、社会の発展に寄与していくこと」を目指すとしており、核融合科学研究所が創設時に掲げた「広く核融合に関する研究を総合的に推進」と照らし合わせて、取り組むべき研究課題を設定する必要がある。
- 核融合科学は、核融合エネルギーを成功に導くための学術基盤を構築することによって社会のエネルギー問題の解決に貢献する学術分野であるとともに、核融合反応は我々をとりまく地球環境さらに宇宙の根源的エネルギー源であることから、エネルギーにかかわる自然の法則体系を明らかにし、地球的課題解決に貢献できる学術分野である。
- LHD が採用しているヘリカル方式の特長を活かして、プラズマの安定性や定常性、あるいは幾何学的対称性の効果などにおいて、世界的に唯一無二と言える先駆的な学術的成果が積み上げられてきた。また、これらの成果をもたらした高度な技術には他を凌駕するものがある。ここで得られた学理や方法論、蓄積されたデータは方式を越え

た貢献をなすべきものであり、次の発展につながる基盤である。

- 例えば、世界最高の高精度プラズマ計測システム群を構築し、超高温プラズマ中の乱流がもたらす秩序や速度空間の揺らぎに関する研究などにおいて世界をけん引している。精緻な理論的考察との精密な比較・検証は核融合燃焼プラズマに対する予言性能と高めるとともに、非平衡開放系における構造形成という自然科学の一大課題の解明にせまる貢献をするものであることは疑いがない。工学においても、世界最大級の超伝導コイル、負イオン源などを用いたプラズマ加熱、ブランケットなどにおいて極限環境にかかわる世界をリードする先端的研究がある。また、シーズとニーズの交換により新たな計測技術や表現法が生まれ、研究に革新をもたらしている。
- 大学研究者らの知力を結集して、核融合科学を発展させるために、研究所が築いてきたこれらの研究実績及び研究基盤(プラットフォーム)を合理的かつ多角的に活用し、核融合エネルギー実現のために必要な重要課題を見極め、それらの解決に世界に先駆け、また主導的に挑戦することを方向性とすべきである。
- 天体の核融合反応によってもたらされる地球規模のエネルギー循環に関連する自然現象や災害の発生機構を解明し、それを科学的に予測すること、あるいは、再生可能エネルギーも合わせた体系的な考察によって、カーボンニュートラル社会に向けた持続可能なエネルギーシステムを支える学術分野として、未来の社会に大きく貢献することにつながるものである。
- 研究所が培ってきた理工学上の研究実績と洞察力をもって、未解明・未解決の課題を学的かつ普遍的に価値のある知の具体的問題として設定し、国際的なコミュニティが共有でき、かつ他分野にも理解される言語で定義されたもの、これが、研究所が取り組むべき研究課題となる。

3. 核融合科学研究所の新しい取り組みに相応しい実施体制について

- LHDを用いた大規模フロンティア促進事業という中枢計画を2022年度までに完遂し、2023年度からは未解明で、学際的かつ普遍的に価値のある問題に取り組む、世界トップレベルの拠点であるために相応しい実施体制を整備する必要がある。
- 学術研究の基本は研究者一人一人の独創性・創造性と実行力であることは論をまたない。さらに、複数人が議論し、意見を交わす環境を整えることによって、学术界に新しい風を吹かす種となる課題を見出し、それを探究する方法論を考案し、その解明に向かう実行力を高め、実をあげる可能性が増大される。これらの研究者コミュニティからのボトムアップにより、中核機関として各大学ではできない規模（大型実験装置にとどまらず、かかわる研究者数、データ量、多様性、学際性においても）の研究を共同研究として企画し、実行する役割を担うものが大学共同利用機関である。
- 前節で議論した研究課題に取り組むグループの体制として、課題の特性や必要とされる規模により、どの程度の研究者が一つのグループを構成することが良いかには、自明な解はないが、問題解決の可能性を高める適切な規模のグループ体制を構築する必要がある。

- ・ グループ組織の単位は、グループ内で目的と方向性が共有でき、かつ中核拠点としての組織力を発揮できる規模、目標と計画を示し、具体的な成果による評価と責任が確認できる規模が求められる。さらにはマスタープランを提案する潜在力を有するものも期待される。逆に、研究の進展や評価に応じて、組織の見直しを適宜行うことが容易な規模に収める必要がある。創造的な大中規模の研究テーマを開拓していける十数名程度の研究グループを単位とすることが妥当であろうと考える。
- ・ この研究グループは所員だけではなく、国内外を問わず所外の共同研究者とともに構成されることが必然であり、所外の研究者が研究リーダーを務める、あるいは研究の重心が所外にあることも、あってしかるべきである。ブランチャラボラトリーやクロスアポイント、客員部門等の実効的な利用が加速されるよう、研究所は組織的な措置を講じるべきである。
- ・ 研究グループは自ら目的を設定し、自主・自立して存分に能力を発揮すると同時に説明責任を負うことが求められる。研究者個人の自由な意思の尊重とともに目指すべき方向性について共通概念を共有する機能体であることが大切である。さらに、研究グループ活動はそれぞれに閉鎖・孤立に陥らず、情報は研究グループ間の境界を自由に通り、常に開かれたものであることが求められる。研究グループは科学的批判を乗り越えて自らを彫琢し、予算をはじめとするリソースの獲得に自ら努める覚悟も必要である。
- ・ 研究所の新しい取り組みは技術部と管理部の協力なくして実行できるものではない。研究を支える技術部と管理部の実施体制及び構成員との対話には十二分に留意されたい。

4. 核融合科学研究所への期待と担うべき役割

- ・ 核融合科学とは、核融合エネルギーの実現に必要とされる科学であるとともに、エネルギーにかかわる自然の法則体系を明らかにし、地球的課題解決に貢献できる学術分野である。その知見の深化と散種・拡大を図り、広く自然科学の発展に寄与するものである。これらの学際的展開は新たな学問分野の開拓、社会貢献、産業応用への波及につながると同時に還流して、核融合エネルギーの実現に革新と加速を生むものとなるはずである。これらの学術基盤を粘り強く築き上げることが大切であり、このことは原型炉開発研究における不断の改善・改良・刷新にとっても不可欠のものとなる。
- ・ ポスト LHD においても核融合科学において、世界的トップレベルの研究所であるために、最も本質的なことは、大学では実現不可能な大型の学際的・国際的プロジェクトを可能とするために、所員と大学などの研究者コミュニティが協力して未来設計ができることである。このために、新しい体制においても、各大学センター、量子科学技術研究開発機構、ITER 機構などの拠点との連携について改善を図るとともに、分野を超えて国内外の研究者とのネットワークを広げて、紐帯を広く多様化することが求められる。国内大学にとどまらず、海外及び広く社会にもつながり、核融合科学を核として、国際的にも、学際的にも学術研究を先導し、貢献し続けることが研究所の存

在意義である。

- 日本学術会議や文部科学省などの関連機関の場での協議や折衝においてコミュニティの代表としての任を果たすこと、コミュニティの研究成果を国際的、学際的に発信し、組織的展開を図ること、そのために関連する学協会・研究組織などと協力していくというコミュニティの中核拠点としての役割も極めて重要である。
- 核融合エネルギーの実現を目指した今後の発展を図るためには、プラズマ閉じ込め装置方式への統合を目指す、あるいは装置性能の優劣を問う競争よりも、核融合エネルギーを実現し、利用するために必要かつ未解決の重要課題を見極め、それらの解決に世界に先駆け、また主導的に所員及び共同研究者が挑戦できる環境を醸成することを期待する。
- 組織体制にあっては、国際的な情勢の変化を先取りする新しい提案に随時挑戦し、実行していくために、研究グループ間のみならず所外のネットワークにも横ぐしを通せる柔軟な仕組みを持つ必要がある。
- 実験装置や計算機資源をプラットフォームとして共同利用する体制が提案されている。プラットフォームにおいては、LHD のレガシーを当面は活かすとともに、研究課題への取り組みに必須となる適切な更新、改造・増強、そして必要であれば新しい大型装置の整備を企画・提案・実現していくことが期待される。これらの施設の整備・運用の責任体制、支援体制、技術部の役割については、研究所のみならず、自然科学研究機構の各研究所が持つグッドプラクティスを活かしていくことが適切である。
- プラットフォームは研究課題に取り組む道具である以上に、その道具を使った個々の独立した作業ではなく、苗床、スクールにあたる多様なものを関係づける場であってほしい。このためには受容性と利便性を高める必要がある。実行可能性は必須であるが、役に立つものだけを近視眼的に採用し、リスクのあるものは取らないという選択に陥らないように留意すべきである。

5. 核融合科学研究所に関わる情勢について

- 研究所に関わる情勢を、核融合炉開発政策、ITER などの大型計画の進展、そして、日本学術会議におけるマスタープラン及び文部科学省におけるロードマップについて整理する。
- 核融合炉開発の政策的ビジョンについては、文部科学省の科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会がとりまとめている。2017 年に公開された「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」では、原型炉計画を中心とした、核融合エネルギーの「技術的実証・経済的実現性」を目指す第四段階への移行に向けて、トカマク方式を炉型として、移行条件を満足させる技術課題の達成を産学官の核融合研究開発コミュニティ全体の共通目標として定める、としている。さらに、この検討をもとに 2018 年には ITER 計画及び幅広いアプローチ (BA) 計画を中核とした「原型炉研究開発ロードマップ」が示された。そこでは、LHD 計画が担うヘリカル方式については、学術研究から開発研究への将来展開も想定しつつ、今後も様々な学術的視点から、大

型のヘリカル研究を推進する、とされた。2050年カーボンニュートラルに伴う成長戦略にも核融合が位置づけられ、ITERを中核とした原型炉開発とともに、米国、英国、中国における発電炉加速計画や核融合ベンチャーへの投資活性化が注視されている。

- ・ 核融合研究開発の国際的なフラッグシップである ITER 計画は 2025 年の実験開始、2035 年の核燃焼運転開始を目指して、建設・組立が約 80%まで進んでいる。我が国の貢献は設計・建設から、国際的な実験チームへの参画へと変容していくことになる。
- ・ 大型の学術研究の推進に目を転ずれば、日本学術会議において「我が国の科学を世界の第一線に押し上げ、かつ大学等における基盤研究と人材育成を支えてきた」「学術の大型計画の適切な推進」を図るために、2010 年より「学術の大型研究に関するマスタープラン」の提言が 3 年毎にまとめられている。これに呼応して、文部科学省において「学術研究の大規模プロジェクトへの安定的・継続的支援を図るべく」2012 年に「大規模学術フロンティア促進事業」が創設された。文部科学省においては、「マスタープランを踏まえ、大型プロジェクト推進に当たっての優先度を明らかにする観点から、大型プロジェクトの推進に関する基本構想「ロードマップ」を策定」している。このロードマップから選抜されたものについて「大規模学術フロンティア促進事業」による予算化が図られることとなった。さらに、この「大規模学術フロンティア促進事業」として予算が措置されたプロジェクトは、原則 10 年間の計画とすることとなった。
- ・ 研究所の LHD による学術の大型計画は 2010 年のマスタープランより認められるところとなり、2012 年のマスタープラン、ロードマップによる審議を経て、「超高性能プラズマの定常運転の実証」が「大規模学術フロンティア促進事業」の一つとして選抜された。予算措置は 10 年の期限があることから、後継計画として「定常高温核融合プラズマを実現する粒子・エネルギー循環の学理」がマスタープラン 2020 に提案されたが、重点大型研究計画に選ばれるところとならず、ロードマップ 2020 の掲載に至らなかった。これにより、「大規模学術フロンティア促進事業」による予算措置は 2022 年度をもって終了することとなった。
- ・ LHD による後継計画が「大規模学術フロンティア促進事業」に相応しいとされる評価を受けられなかった結果を、現行計画をどう説明してきたか、を含めて顧みる必要がある。ヘリカル方式をトカマク方式の代替方式として位置づけ、トカマク方式に対するヘリカル方式の優位性を訴えるという価値が、ITER 計画やトカマク原型炉設計活動にあるように、トカマク方式が世界の大型核融合実験の主流となっている状況に照らして、「大規模学術フロンティア促進事業」による大型予算措置の対象としては問題視されたことが要因と考えられる。ヘリカル方式による核融合炉に向けた学術的位置づけの長期的な視点、国際的な情勢の展開に照らしたグローバルな視点からも LHD が達成したヘリカル方式によるプラズマ性能の数値向上だけでは十分な説得力を持たなかった。現行の「超高性能プラズマの定常運転の実証」及び後継計画として提案された「定常高温核融合プラズマを実現する粒子・エネルギー循環の学理」においても、方式を超えて「環状プラズマの総合的理解」に資する一般化された価値をもつものを内包しているが、「トカマク方式」に対する「ヘリカル方式」という二項対立の構図を

超えて、それらの真価が十分に評価されるものに至らなかったことを受け止める必要がある。

6. まとめ

- LHD を用いた後継計画がロードマップ 2020 に掲載されなかった事実を受けとめ、大規模フロンティア促進事業による LHD を用いた現行計画への予算措置の終了を見込んで、核融合科学研究所には「ポスト LHD」に向けた改革が必要である。
- 大学研究者らの知力を結集して核融合科学を発展させるために、核融合科学研究所が築いてきた研究実績及び研究基盤を合理的かつ多角的に活用し、核融合科学の未解決課題に総合的に取り組む学際的な共同研究体制を構築し、世界をリードする研究を推進する必要がある。
- 取り組むべき研究課題は、核融合エネルギーの実現、さらには自然界における核融合反応に発するエネルギーの循環にかかわる未解明・未解決の課題を学際的かつ普遍的に価値のある知の具体的問題として設定し、国際的なコミュニティが共有でき、かつ他分野にも理解される言語で定義されたものであるべきである。
- 核融合科学研究所の新しい取り組みに相応しい実施体制として、研究者間の意思の疎通が十分取れ、かつ、大学共同機関研究所として大学では困難な創造的な大中規模の研究テーマを開拓していける十数名程度の研究グループを組織の単位とすることが妥当であろうと考える。
- 実験研究施設には装置性能と、科学的課題に照らして寿命が必ずある。代替のない大型研究になるにしたがって、装置の運転計画が科学的な研究計画そのものを握るようになることが、ビッグサイエンスと言われる分野では顕著である。核融合科学においてもしかりである。装置の巨大化はビッグサイエンスの宿痾であろうか？ 科学の進展は多様なアプローチの可能性を生むものであり、巨大な装置建設だけが選択肢であろうか？ LHD を用いた研究は、実験開始以来 20 数年間で世界的な成果を上げてきた。これらの研究成果がもたらす、パラダイムチェンジと言える新たな研究展開の節目ととらえるべきであり、他分野からの耳目を集めるものとなることに留意されたい。
- 本提言で議論した在り方の根源には、研究者の自主自立の尊重がある。これに基づき、研究所が機能体かつ共同体として国民の期待に答えるべく所員が能力を存分に発揮できる環境を作るために、よりどころとなる規範あるいは憲章にあたるものを自主的かつコミュニティとともに練り上げることを求めたい。
- 本提言においては、教育については直接触れていない。これは、今回の提言では、取り組むべき研究課題と実施体制の考え方に焦点を絞って検討を行ったためであり、研究所が果たすべき「教育」への役割を軽視したものでは決してない。核融合エネルギーの実現には長期間を要し、教育と人材育成の重要性は論を待たない。これについては別の機会に委ねたい。

今後の核融合科学研究所の在り方に関する検討ワーキンググループ名簿

(五十音順)

磯谷 桂介 中部大学副学長

上田 良夫 大阪大学大学院工学研究科教授

川合 眞紀 分子科学研究所長

岸本 泰明 京都大学大学院エネルギー科学研究科教授

坂本 隆一 核融合科学研究所高密度プラズマ物理研究系研究主幹

佐藤 哲也 核融合科学研究所名誉教授、総合研究大学院大学名誉教授、
兵庫県立大学名誉教授

高部 英明 大阪大学名誉教授

常田 佐久 国立天文台長

永岡 賢一 核融合科学研究所プラズマ加熱物理研究系研究主幹

室賀 健夫 核融合科学研究所副所長、ヘリカル研究部長、核融合工学研究研究総主幹

山田 弘司 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授（主査）