



サロン

次期計画検討の経緯とこれからの展望

Discussions and Future Prospects for the Next-Step Research in the Plasma and Fusion Research Community

安藤 晃, 坂本隆一¹⁾, 森 芳孝²⁾ANDO Akira, SAKAMOTO Ryuichi¹⁾ and MORI Yoshitaka²⁾東北大学, ¹⁾核融合科学研究所, ²⁾光産業創成大学院大学

(原稿受付: 2020年6月10日)

1. LHD 計画と次期計画について ~これまでの経緯~

大型ヘリカル装置 (LHD) は, 核融合科学研究所 (以下, 核融合研) が推進する主要な実験装置であり, 1998年にプラズマ実験を開始して以降, 全国・全世界の核融合研究者コミュニティの知が結節する中核拠点として多くの成果をあげてきました. この大型ヘリカル装置 (LHD) 計画は, 2013年以降は新たに創設された大規模学術フロンティア促進事業「超高性能プラズマの定常運転の実証」として支援を受け運用されています. この事業は, 世界が注目する大規模プロジェクトについて, 社会や国民の幅広い理解・支持を得つつ, 国際的な競争・協力に迅速かつ適切に対応できるように支援し, 戦略的・計画的な推進を図ることを目的としています. 支援されるプロジェクトは, 原則10年間の年限が設けられており, 「超高性能プラズマの定常運転の実証」事業は2022年にその年限を迎えます.

この事業終了後におけるプラズマ・核融合分野の大規模プロジェクトを検討するために, 2017年4月に, 核融合研内に『次期計画・将来構想検討委員会』が立ち上がりました. この委員会ではLHD装置に続くポストLHD計画を検討し, 提案を取りまとめる『次期計画検討部会』と, ヘリカル型定常核融合炉の実現に向けた工学課題を明確にする『ヘリカル核融合炉ロードマップ検討部会』が設置されました. 『次期計画検討部会』では, ポストLHD計画もLHD計画同様に大規模学術フロンティア促進事業にふさわしい, 新しい研究課題に挑んで世界の学術研究を先導し得る計画, 国際的な研究拠点を形成して研究活動の共通基盤を提供できる計画を策定することをめざし, 所員から広く意見を募りながら下記の4つの候補計画にまとめました.

1. LHD の改造をベースとした研究計画
2. 新配位創成をめざした新装置による研究計画
3. LHD 型ヘリオトロン磁場配位を改良した高温超伝導・新装置による先進プラズマ核融合実験と工学試験
4. 核燃焼実験や核融合研究で生まれた技術を活用した応用研究計画

これらの各研究計画の検討結果をまとめ, 2017年10月に中間報告として, 核融合科学研究所長 (以下, 所長) に提出し, 引き続き1~3の各検討課題に対して, 3つのサブワーキンググループを作り, その研究計画を検討してきました. その中で高温超伝導技術を用いながら大型化をめざす案も提出され, 最終的に検討グループは下記の4課題について検討を進めました.

1. 核融合炉クリティカル課題解決のためのLHD高度化計画 (LHDの改造)
2. 先進的三次元ヘリカル磁場によるプラズマ閉じ込めの新規開拓 (新規最適化配位装置)
3. 核融合炉の実現を加速する高温超伝導強磁場LHD改良型ヘリオトロン装置を用いた定常プラズマのエネルギー・物質循環研究 (小型高温超伝導ヘリオトロン装置)
4. 高温超伝導ヘリカル装置による高核融合三重積プラズマの1年間定常保持 (大型高温超伝導ヘリオトロン装置)

上記の4つの検討結果について, 『次期計画・将来構想検討委員会』に報告すると共に各内容について詳細に議論し, 2018年4月に最終報告書を所長へ提出しました. この最終報告書を受け, 所長から, 下記のように次期計画に関する方針として取りまとめ, 第1回拡大核融合ネットワーク会合 (2018年8月6日) で全国の研究者で構成されるコミュニティに報告しました.

「ヘリカル型定常核融合炉の実現を加速するために重要な物理的な課題と工学的な課題を解決するために, それらをベースとした『高温超伝導コイルによるヘリカル型装置の製作と定常プラズマを用いた理工学試験』および『新配位創生を目指した最適化ヘリカル装置による研究』を同時かつ相補的に行うことを, 次期計画の基本方針とする。」

第1回拡大核融合ネットワーク会合の総合討論では, 「核融合研究の将来にとってもポストLHD計画は重要であ

り、所内で検討された4つの提案も含めコミュニティ全体での議論がさらに必要であろう。」との意見がありました。

一方で、核融合研の運営会議の下に次期計画検討委員会(委員長:安藤晃(東北大))が設定され、拡大核融合ネットワーク後に開催された第1回委員会(2018年9月18日)では、「これまでの検討経緯についての説明がさらに必要であり、基本方針について十分な説明をすることがコミュニティの合意を得る上でも重要」との指摘がなされました。

これを受け、引き続きコミュニティの意見を聞く場として、拡大核融合ネットワーク会合(2018年10月2日, 12月26日)や第35回プラズマ・核融合学会年会のシンポジウム(2018年12月6日)を開催し、諸意見を受けながら計画案を修正するとともに、次期計画検討委員会での議論を含め核融合研内での検討を進めました^(*)。その中で、高温超伝導の連続巻ヘリカル装置では、コイルとプラズマ間に断熱距離が必要となり、ダイバータ配位を備えるにはLHDの大きさがほぼ下限となることや、高温超伝導線を用いたねじれ巻き線の技術的困難さもあり、優先度を下げることになりました。

現在は、核融合研内に設置された次期計画検討チームを中心に、核融合研から提案する次期計画を下記の方針で検討を進めています。

「先進的な物理・工学特性の最適化によって高いプラズマ閉じ込め特性を実現し、自己点火核融合炉を想定し得る炉心プラズマを探索する学術研究を展開する。」

さらに、この次期計画検討を確実に進めるためのフロントローディングとして、下記の準備研究を進めています。

1. 閉じ込め磁場配位の最適化研究

乱流輸送やゾーナルフローといったプラズマに内在する非線形性や構造形成を組み入れた、新たな最適化因子やモデル・数値探索手法などの構築により、磁場配位の創成研究を推進する。磁場配位創成研究の体系化やその有効性の実験実証を目的とする次期装置の配位を決定する。

2. 高温超伝導体開発研究

将来の核融合での使用を想定し、強磁場化による閉じ込め特性の向上、高電流密度による装置のコンパクト化の可能性をめざして、大型の高磁場マグネットに適用可能な高温超伝導体の開発研究を行う。その成果によっては、次期計画への適用も視野に入れる。

3. LHDを用いた検証研究

磁場配位最適化に用いる理論モデルの検証などを、LHDを用いて行うとともに、LHDプラズマの性能向上に寄与する。LHDの成果を、研究計画策定や装置設計に反映する。

ここに掲げた検討方針は、次期計画の中核となる研究課題について記したのですが、次期計画で推進する装置には、ITER時代を迎える核融合研究においても、世界的な

(*) 拡大核融合ネットワークでの議論については、学会誌インフォメーションでも紹介している。プラズマ・核融合学会誌 95, 121 (2019)。

中核研究機関としてプラズマ科学における幅広い学術研究の共通プラットフォームを提供できることが求められています。一方で、この装置単独では核融合研究に関わる全ての課題を実施することはできないことも明らかです。核融合研究の推進のためには、次期計画のみならず、核融合研で推進している炉工学や理論シミュレーション研究に関するプロジェクトおよび国内外の多くの研究プロジェクトとの連携による取り組みが重要になることは言うまでもありません。

2. 今後のプロセスについて

今後の次期計画検討の進め方について、第4回次期計画検討委員会(2019年9月19日)で議論され、以下の方針が決められました。

- 研究テーマ策定は、核融合研の共同研究の枠組みを利用して、コミュニティ全体の意見を取り入れながら次期計画に収斂させる。
- 研究計画策定・装置設計は、核融合研に設置した次期計画検討WG(次期計画検討チームを所外研究者まで拡張)により、検討課題を反映した研究計画の策定と、それを実現する装置設計検討を進める。
- 研究計画検討は、コミュニティの代表者を含めた次期計画検討委員会による計画のレビューと承認によって、着実に推進する。

また、これらの内容は、第36回プラズマ・核融合学会のインフォーマルミーティング(2019年11月29日)にて、コミュニティへ説明するとともに、次期計画検討の進め方に関する議論を行いました。この会合では、参加者より以下のような意見が提示されました。

- プラズマ・核融合研究コミュニティでの活度を俯瞰した上で、研究会などを通じた議論を含め、次期計画検討を進めてほしい。
- LHDを提案した30年前と研究環境は変わっている。これから明らかにすべき物理・工学の学術としてワクワクするテーマ設定を示してほしい。
- 次期装置は分野のフラッグシップであるべきなので、共同研究などの枠組みで広く議論・研究を深めてもらいたい。
- 提案装置がダウンサイジングだからといってイノベーションが無いとは思わない。加熱密度を上げる方向性などもありうる。研究会などを通してコミュニティからの広い提案を吟味しながら、具体化してもらいたい。
- 核融合研の将来計画は核融合研だけのものではなく、コミュニティの問題でもあるので、ぜひその観点で進めてほしい。
- プラズマ基礎との連携も十分に考慮してほしい。分野活性化の意味も込めて、コミュニティを巻き込んだ議論を深めるべき。

- Fusion だけでなく、Non-fusion も含めたテーマも含めて考えるべき。

これらの意見交換を行い、コミュニティからの意見を次期計画検討委員会が検討し次期計画策定のプロセスを進めることが確認され、あわせて今後も検討すべき視点として以下が紹介されました。

- 我が国の核融合研究における核融合研の位置付けと将来計画
- トカマク研究 (ITER/JT-60SA 等)、レーザー研究、大学の共同研究との関係
- 核融合研への期待

以上の経緯に基づき、核融合コミュニティの将来研究テーマを議論する共同研究として、『2030年代以降を見据えたプラズマ・核融合科学の学術課題検討会（研究代表：森芳孝（光産業創成大））』（通称 Fusion2030研究会）が設

立され、2020年4月から活動を開始しています。Fusion 2030研究会は、コミュニティが一丸となって、これまで蓄積されたプラズマ科学、核融合科学及び核融合炉工学に関する学術知見を集約し、共通目標である核融合炉の実現にむけて、次期計画が開始される2030年代以降に取り組むべき学術課題を整理するために設立されました。運営方針として、ボトムアップでプラズマ・核融合コミュニティにおける将来計画や研究展望・ビジョンについて、自由に意見を交わすことを掲げています。その成果は、将来計画や研究展望、サイエンスチャートとして整理して公開していきます。

次期計画については、引き続きこれまで核融合研で進めてきた検討内容を発展させ、核融合研内での検討を継続するとともに、Fusion2030研究会においても、コミュニティ全体から将来計画への意見を集約する場として、次期計画検討に反映させていく予定です。