

平成30年度成果報告：大型ヘリカル装置計画プロジェクト

森崎友宏

大型ヘリカル装置（LHD）では平成29年に、通常の水素（軽水素）より重い「重水素」を用いた実験を開始しました。これまでに行われた、LHDと方式の異なる「トカマク装置」の実験で、重水素プラズマの方が軽水素プラズマより性能が良い（同じ加熱パワーでより高温のプラズマが得られる）ことが分かっています。では、重水素をプラズマ生成用のガスとして使うとLHDもトカマク装置のように高い温度のプラズマが得られるのでしょうか。また、もしそうなるのであれば、なぜ重水素を用いるとプラズマ性能が向上するのでしょうか。これらの問いに答えることはLHDに課せられた重要な研究課題です。

まず一つ目の問いに関して、答えは「YES」です。LHDは重水素実験開始早々に「イオン温度1億2,000万度」という、核融合を実現するために必要な最も重要な条件の一つをヘリカル装置としては世界で初めて達成しました。また、この結果を平成30年度の実験でも再現することができたことで確信を持つことができました。さらにこの実験では、イオン温度に加えてプラズマのもう一つの構成粒子である、電子の温度を高めることにも成功しました。電子の加熱には、家庭にある電子レンジと同じ原理を利用した、周波数の高い電磁波（マイクロ波）を使用します。ただ従来の実験では、プラズマ中にマイクロ波を入射すると、せっかく加熱したイオンの温度が大きく低下するという厄介な現象に悩まされてきました。ところが今回の実験では、イオン温度1億2,000万度の重水素プラズマにマイクロ波を入射したところ、その値を維持したまま電子温度を前年度の最高値4,200万度からその約1.5倍となる6,400万度まで上昇させることに成功したのです。これは、従来の軽水素実験では見られなかったプラズマの振る舞いで、重水素プラズマの方が軽水素プラズマより性能が高いことを明確に示しています。

それでは二つ目の問いに関してはどうでしょうか。同じ水素の仲間なのに、なぜ重水素を使うと軽水素より温度の高いプラズマを生成することができるのでしょうか。残念ながら、現時点における答えは「分からない」です。実はこの問題、トカマク装置においても同様に「長年の謎」なのです。もしこの現象の背後に存在する物理的な描像が明らかになれば、更なるプラズマの高性能化に

繋がる運転シナリオの提案や、装置設計の方針を示すことが可能になります。この謎を解く鍵がプラズマ中の「乱流」です。乱流の発達を抑えることができれば、プラズマの温度を更に向上させることが期待されるため、世界中で注目されています。最近、核融合科学研究所の理論グループがスーパーコンピュータを駆使して行った大規模シミュレーションで、重水素プラズマ中では、軽水素プラズマ中に比べて、乱流が抑えられることが分かってきました。今後、実験グループと理論グループが協力して重水素プラズマの性質を調べていくことで、この「プラズマ物理における長年の謎」の解明に当たる予定です。

上述したように平成30年度の実験では、イオン温度とともに電子温度も高いプラズマの生成に成功しました。将来の核融合炉心プラズマは、イオン温度と電子温度がともに1億2,000万度を超える状態になるものと考えられています。核融合炉を実現するためには、炉心級のプラズマを実現しその性質を理解しなければなりません。このような観点からも、今回の成果は極めて重要です。

（大型ヘリカル装置計画プロジェクト 研究総主幹/
高密度プラズマ物理研究系 教授）

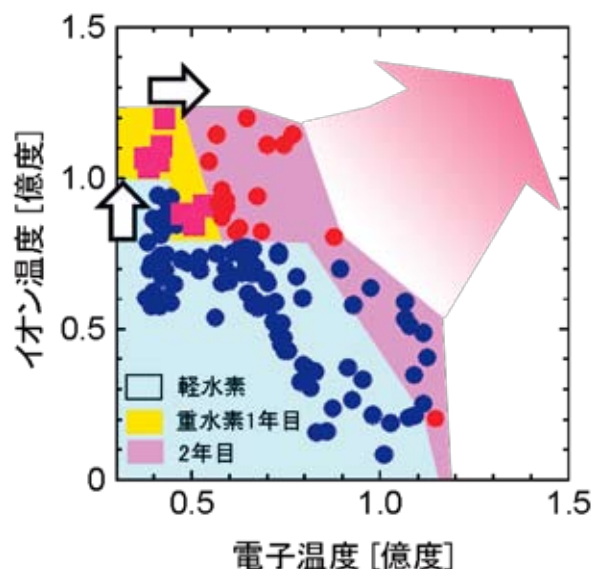


図1 LHDプラズマのイオン温度・電子温度領域。各点は代表的な実験結果。19年間の軽水素プラズマ実験で得られた領域（水色）が、重水素実験1年目で高イオン温度側に（橙色）、更に2年目には高電子温度側にも広がった（薄紫色）ことが分かります。今後は赤色矢印方向への領域拡大を目指します。