

## LHD第16サイクル実験成果

山田 弘 司

我が国独自のアイデアによる世界最大の超伝導核融合実験装置である大型ヘリカル装置(LHD)では、第16サイクルプラズマ実験を平成24年10月17日から12月6日にかけて実施しました。得られた成果は4月10～12日に研究所で開催しましたプロジェクト成果報告会においてご報告するとともに、国際会議や学術誌での発表準備を進めています。この研究最前線では、そのあらましをご紹介します。

LHDは大学共同利用機関である核融合科学研究所の中心となる共同利用装置であり、日本だけでなく海外の大学や研究機関の研究者に開かれた研究施設です。共同研究として提案された約260の課題に、600名を超える研究者や大学院生が取り組み、核融合科学の進展に資する成果を得ました。海外からも約60名が実験に参加し、国際共同研究を進めました。

第16サイクルプラズマ実験においては、超高温にプラズマを加熱する方法に大きな進展がありました。イオン温度については、運転方法の改善により、昨年度、記録された8,000万度を超える8,500万度を達成するとともに、このような高いイオン温度を再現性良く実現することができるようになりました。また、電子温度についても、加熱するマイクロ波の周波数を77ギガヘルツから154ギガヘルツへ倍増させた新しい加熱装置の導入により、これまでできなかった高い密度での電子の加熱が可能となり、10兆個/ccの密度で1億5,000万度の電子温度が得られました。このマイクロ波の高周波数化によって、核融合の密度条件である100兆個/ccの高密度においても有効な加熱が期待できます。これらの成果により、核燃焼プラズマを見通すために1億2,000万度の温度を密度20兆個/ccで達成するというLHDの最終目標に向かって、さらに一歩前進することができました。

将来の核融合発電炉では、その炉心は、密度100兆個/cc以上の密度でイオン温度と電子温度が1億2,000万度を超える超高温のプラズマ状態にあ

ります。この密度は大気の20万分の1程度であることから分かるように、非常に希薄なガス状態でもあります。このような超高温までにプラズマを加熱するために高速の原子のビームや、プラズマ中のイオンあるいは電子と共鳴する電磁波を用います。これらの手法は、それぞれイオンを加熱するのが得意なものと、電子を加熱することが得意なものに分かれます。LHDでは複数の加熱手法を用いて、イオン温度と電子温度がそれぞれ1億2,000万度のプラズマを密度20兆個/ccで実現することを最終目標としています。LHDの装置規模の実験において、この数値目標を実証することが、将来の核融合発電炉の炉心プラズマを見通すことにつながります。

図1にこれまでで最高のイオン温度を得たプラズマ中のイオン温度分布を示します。第16サイクルでは、FM周波数帯の電磁波を用いてヘリウムのプラズマを点け、このプラズマによって壁を洗浄する、すなわち壁に吸着されていた水素をはき出させる運転の改善を進めました。これによって高速の原子ビームがプラズマ中心を加熱する効率を向上させることができ、一昨年度と同じ加熱電力

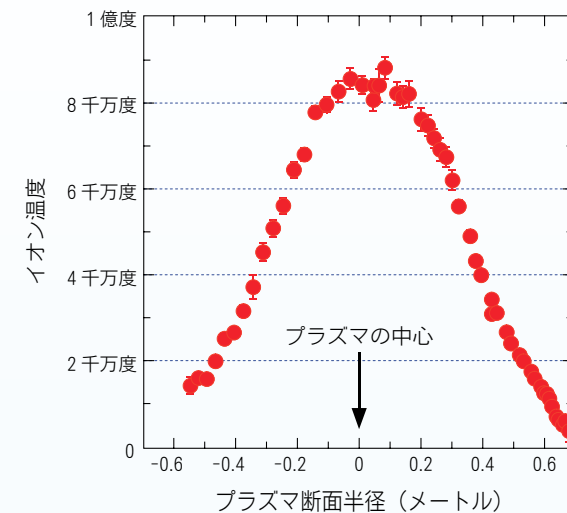


図1 最高イオン温度8,500万度を記録したプラズマ中のイオン温度分布

であっても、温度を500万度上昇させることができました。これには、図1に示したようなプラズマ中の温度や密度の分布やその時間変化を捉える計測がより高精度化され、それらの実験データを用いた理論的な解析がより精密となり、プラズマの中で何が起きているかの理解が深まったことが貢献しています。第16サイクルでは、このような高いイオン温度の状態を格段に再現性良く、より確実に得られるようになりました。具体的には、イオン温度8,000万度以上を達成したプラズマの放電回数は昨年度の4倍となり、実験データを充実させて、より詳細、精密な物理の議論が進められるようになりました。

電子の加熱には磁場中での電子の回転運動に共鳴するマイクロ波が有効です。回転運動と同じあるいは倍数の周波数を持った電磁波が同期することによって電磁波からエネルギーをもらい電子の温度が上がります。ところが、プラズマの密度が上がると、電磁波がプラズマ中を伝わりにくくなり、ある密度(遮蔽密度と言います)以上では全く伝わりません。高い密度のプラズマを加熱するためには高い周波数の電磁波が必要となります。第16サイクルプラズマ実験では、これまで使用してきた77ギガヘルツに加えて、筑波大学と共同で新たに研究開発した2倍の周波数(154ギガヘルツ)のマイクロ波を発生させることができるジャイロトロンと呼ばれる発信管が稼働し始めました。図2に電子の温度と密度でみた達成領域の拡大を示し

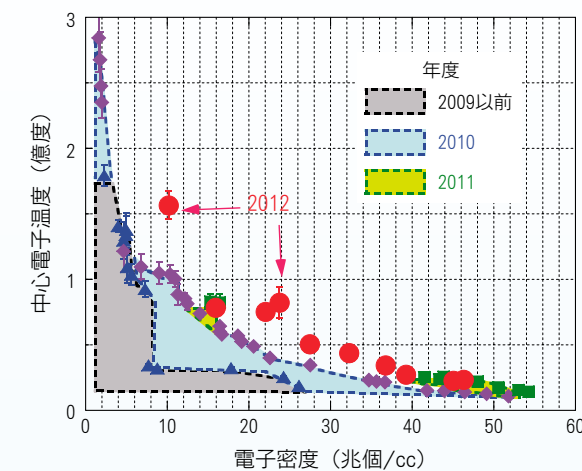


図2 電子温度と電子密度で見た達成領域。赤丸が平成24年度に高周波数のマイクロ波によって得られた新データです。これまでに比べ、より高温・高密度のプラズマが生成されていることが分かります。

ます。今年度のデータを赤丸で示しており、新しい領域が拓かれたことが分かります。また、図3に77ギガヘルツと154ギガヘルツのマイクロ波を用いた加熱実験の結果を横軸プラズマの密度、縦軸を加熱効率として示します。154ギガヘルツでは77ギガヘルツの2倍近い140兆個/ccのプラズマまで加熱できました。この新しいジャイロトロンにより、これまで10兆個/ccでの密度では1億度であった電子温度を、同じ密度で1億5,000万度まで上昇させることができるようになりました。

本報では第16サイクル実験の成果について、これまでになかったプラズマ性能を得たことを中心にご紹介しました。これらは得られた研究成果の一部です。プラズマが自ら磁場をドラマチックに変化させる現象やプラズマから壁への熱の逃げが大きく減る現象を理解し、制御する研究の進展など世界的に注目される成果がありました。さらに得られた実験データをつぶさに吟味し、国際的に認められるよう国際会議や国際学術誌に発表していきます。

最後になりましたが、LHD実験をあたたく見守ってくださっている皆さまに改めて御礼申し上げます。この9月26日開始予定の平成25年度の第17サイクル実験においても、引き続き、ご支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

(大型ヘリカル装置実験計画 研究総主幹)

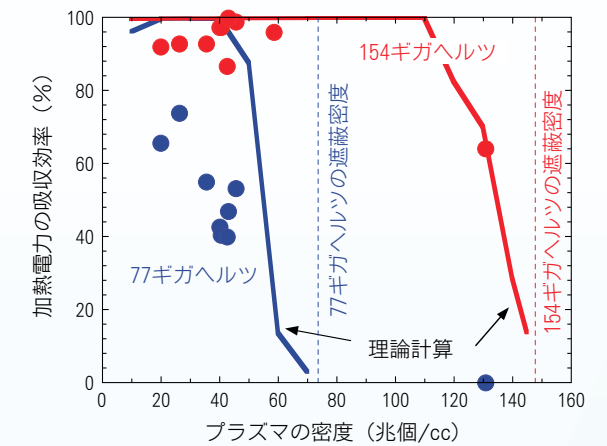


図3 マイクロ波の周波数の増加による高い密度での加熱が実証されたデータ。実線が理論計算からの予測で、丸印が実験結果です。点線はそれぞれの周波数の電波が、これ以上では伝わらなくなる密度の上限を示しています。