

LHD第15サイクル実験成果

山田 弘 司

世界最大の超伝導定常プラズマ実験装置である大型ヘリカル装置(LHD)の第15サイクル実験は昨年7月28日から開始し、10月20日に終了しました。LHDは大学などの研究者の共同利用装置であり、実験は国内外の研究者による共同研究として行われています。第15サイクルでは提案された267の実験課題に取り組みました。この中には1億度に迫る高いイオン温度を目指すようなプラズマ性能の向上をねらうもの、プラズマを閉じ込める磁力線構造の変化とその影響を物理として明らかにしようとするもの、また、プラズマを光源として使い、天文学や産業応用への展開を図るものなど、様々な提案があります。これらの多種多様な課題はすべてが束ねられ、また互いに刺激し合い、核融合エネルギーの実現に必要な学術基盤を築くために貢献しています。

実験は、行ってすぐ結果が目に見えるものもありますが、データを詳しく調べ、吟味するために時間がかかるものがほとんどです。結果が目に見えるものであっても、なぜそうなったか、実験前の考えを検証しないと次につながりませんし、うまく行った結果だけに注目して、うまく行かなかったことに目をつぶる訳にもいきません。得られた実験データの解析を進めることによって、多くの成果を得ることができました。これらの成果は4月9-11日に研究所で開催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、その一端をご紹介します。

第一の成果は、プラズマ中心のイオンの温度が8,000万度を超える高温のプラズマを生成することに成功したことです。これまでの最高イ

オン温度は7,500万度であり、核融合エネルギー実現を見込むために必要な1億度以上の目標にさらに、一歩近づきました。図1にその時のイオン温度のプラズマ中の分布を示します。定常方式では世界最高の記録です。プラズマを加熱する電力はこれまでと同じですが、今回、イオンの温度を上げることができた理由はプラズマの周辺部にあるガスを制御することに成功したことにあります。これまで真空容器の壁に吸着したガスが放出されることによってプラズマの周辺の密度が上がる傾向にありましたが、電磁波によって生成したプラズマを使って、あらかじめ壁を洗浄して吸着したガスを取りのぞくことによって、周辺の密度が下がることが分かりました。これによりプラズマ中心部までより多くの加熱が届き、温度が上がりました。今年度は、「閉構造ダイバータ」と呼ばれる高性能排気装置の本格運用が始まり、周辺の密度の制御性が大きく向上しますので、さらに好ましい状況が期待されます。

磁力線の構造を制御することによって好ましい効果をもたらす実験に、大きな進展が見られ

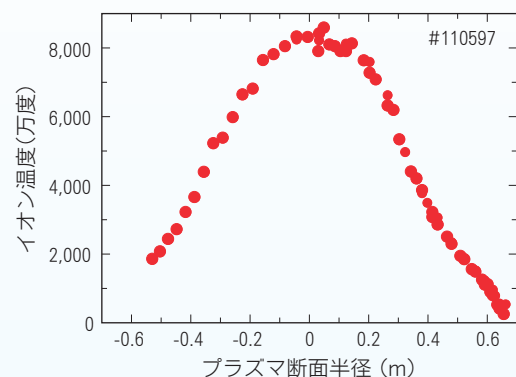


図1 最高イオン温度を記録したプラズマ中のイオン温度分布。プラズマ断面半径位置0がプラズマの中心。

ました。ここでは、プラズマを閉じ込めるための磁力線でできた磁場の容器を作る超伝導磁石に加えて、プラズマの周辺部の磁場を制御する電磁石(補正コイルとも呼ばれます)を用います。この補正コイルによってプラズマの周辺部の磁場をわずかに制御することにより、高温プラズマによる真空容器内壁への熱負荷を大幅に減少させることに成功しました。これは将来の核融合炉の耐久性を改善させることのできる重要な成果です。具体的には、プラズマで起こる不安定性によって生じる間欠的かつ衝撃的な熱負荷を抑制すること、プラズマの中心部の温度を下げることで周辺部の温度を下げ、熱いプラズマが壁に近づかないようにすることができました。まず、間欠的な不安定性が発生する条件を作り、これに周辺部の磁場を効かせると、不安定性の発生は頻繁になるのですが、一つ一つの熱負荷が小さくなることが分かりました。これによって壁への熱負荷は時間的に均等化され、大幅に減少しました(図2)。また、これとは別になりますが、壁の熱負荷を下げるには、プラズマの密度を上げることで、プラズマから光として逃げるエネルギーを増やし温度を下げるのが有効です。図3に1秒間に光として逃げるエネルギーと密度との関係を示します。赤丸が通常の運転時のものであり、密度がある上限を超え

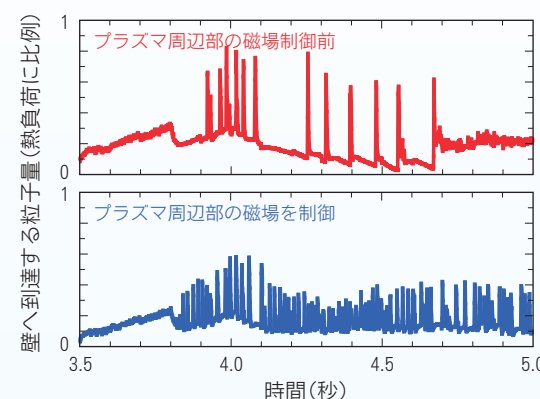


図2 プラズマが高温になると間欠的にプラズマが真空容器の壁に逃げる現象が発生します(赤)。プラズマの周辺部の磁場を制御すると(青)間欠的に逃げる頻度は高まりますがピーク量が減少し、全体として壁への負荷を数分の1に減少させることに成功しました。

ると、急激に光として逃げるエネルギーが増大し、プラズマは中心部も冷えてしまいます。一方、プラズマの周辺部の磁場を制御すると、青丸で示すように、比較的低い密度から光として逃げるエネルギーが大きくなるのですが、かなり広い範囲の密度で、この光として逃げるエネルギーが一定となります。この条件では、プラズマの中心部は高い温度に保たれつつ、周辺部では十分に温度が下がり、壁への熱負荷はほとんどなくなりしました。

第15サイクル実験の成果の全てはここでは紹介しきれませんが、特に、今年10月に米国サンディエゴで開かれる国際原子力機関主催の第24回核融合エネルギー会議で約20件の発表をすべく、検討をさらに進めています。

最後になりましたが、日頃より、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。今年8月29日開始予定の平成24年度の第16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。

大型ヘリカル装置計画 研究総主幹

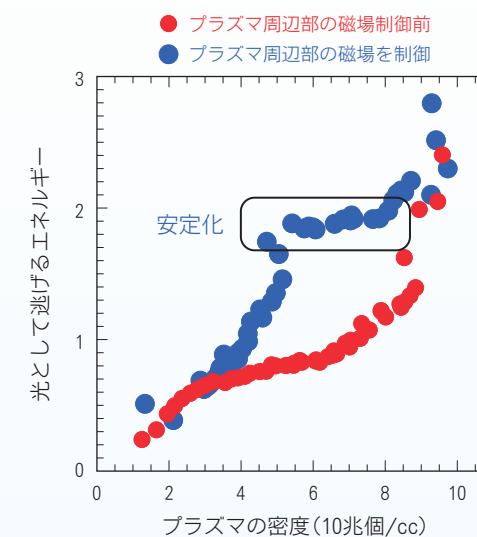


図3 プラズマの周辺部の密度を上げて、プラズマから壁に逃げるエネルギーをプラズマの周辺部で光に変えて逃がすことにより壁への熱負荷をほぼゼロにできる状態、プラズマ周辺部の磁場を制御することにより低いプラズマ密度から安定に作り出すことに成功しました(青丸、枠で示した領域)。縦軸の単位は百万ワット。