

LHD の最近の成果-高ベータ実験を中心にして

核融合科学研究所 大館暁、LHD 実験グループ

大型ヘリカル装置は超伝導コイルを使った大型の環状磁場閉じ込め装置で、ヘリオトロントタイプの核融合炉での物理・工学的課題を解明するための実験を行ってきた。炉心プラズマに近いプラズマパラメータでの実験をめざして、加熱装置の増強と放電条件の最適化を行い、高イオン温度(5.6keV at $n_{e0}=1.6 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$)、超高密度での放電($n_{e0} = 1.2 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$ and the $P_0 = 155 \text{kPa}$)などが実現されている。

高ベータ実験では炉心プラズマクラスの高いベータ値(5%)を持つプラズマの特性、特に MHD 特性や、輸送特性を調べている。より高いベータ値のプラズマ生成をめざして低磁場での実験条件の最適化を行ってきた。低磁場で有効な NBI の加熱効率は、磁場の低下と、磁気軸の外側へのシフトに伴い急速に劣化することから、高ベータプラズマの生成には磁場の値に最適値があることがわかる。NBI の加熱効率の劣化は、高速粒子の損失によるもので、前サイクルの実験では ICRF アンテナが取り外されたことにより、低磁場における加熱効率の劣化が緩やかだった。このため磁場の最適値は低下し、 $B_t=0.41 \text{T}$ で、それまでの記録をわずかに超える平均ベータ 5% のプラズマを生成することができた。

通常の高ベータ放電では、プラズマ周辺部の磁気丘部に高い圧力勾配があるため、周辺部の有理面に関連する不安定性が観測されている。これは抵抗性の交換型不安定性によるものであり、磁気レイノルズ数の上昇とともに揺動の振幅は小さくなっている。 $m/n=1/1$ の摂動磁場を加えた場合に、周辺揺動の強度がトロイダル方向に非一様になる現象が見出され注目されている。高ベータプラズマの輸送解析によれば、周辺揺動により異常輸送が増大している。このため周辺部の圧力勾配を低く保ち、ピークした分布を作ることで中心部の値を上昇させる実験が行われた。高密度放電と同様のペレット入射により密度分布をピークさせる手法が使われている。中心部の値は 10% を超え、通常の高ベータ放電と同等以上の値である。コア部の圧力勾配は急峻化するが、理想交換型不安定性は磁気井戸により安定化されていると考えられている。しかし、コア密度崩壊と呼ばれる新しい崩壊現象が見出された。崩壊に先立ち、 $m/n = 1/1$ のグローバルな前置振動が観測されているが、崩壊現象の直接の原因はいまだ不明である。コア密度崩壊現象は磁気軸位置に敏感で、より高い中心値を実現するために、実時間の磁気軸制御実験が行われた。初期的な実験では 1 秒程度のタイムスケールで垂直磁場の制御を行い、プラズマの周辺部だけでなくコア部も外部からの垂直磁場に反応して移動したことが分かった、今後 MHD 不安定性の回避や、高い閉じ込め特性と良好な高エネルギー粒子の軌道を高ベータの条件で実現するために有効に活用できるものと考えている。講演では高エネルギー粒子関連の成果、アルヴェーン固有モードと GAM 振動との相関などについても触れる予定である。