

LHDにおける重イオンビームプローブによる静電ポテンシャル計測

井戸 毅、清水昭博、西浦正樹、中野治久、大島慎介、加藤眞治、LHD実験グループ
核融合科学研究所

磁場閉じ込めプラズマ内部に形成される径方向電場は、プラズマ中の輸送現象に密接に関係している。特に径電場勾配はせん断流を駆動することにより乱流輸送を低減するため、閉じ込め特性を左右する重要な要素と考えられる。またヘリカル型装置においては新古典論においても電場が直接的に輸送と関連している。このため電場形成メカニズムを理解することはプラズマの閉じ込め性能を予測する上でも極めて重要な課題である。我々は、大型ヘリカル装置(LHD)において、電場形成メカニズムと乱流輸送の理解を進めるために重イオンビームプローブ(HIBP)の開発を行ってきた。

HIBPでは重イオン(LHDの場合は Au^+)をプラズマ中に入射し、プラズマ中で電離したイオンを取り出して分析を行う。入射ビーム(1次ビーム)と検出ビーム(2次ビーム)のエネルギー差がイオン化点におけるポテンシャルエネルギーに相当するという事を利用して高温プラズマ中の電位を直接的に計測することができる。また2次ビーム電流値の変動はプラズマ密度の変動を反映する。つまり、高温プラズマ内で静電ポテンシャル及びその揺動、密度揺動を同時に測定することができるという特長を持っている。したがって、電場の振る舞いを計測できると同時に、乱流及びそれが引き起こす粒子束を評価できる可能性を有する。しかしその計測原理上、閉じ込め装置の大型化に伴い、プラズマ中でのビームの減衰や必要なビームエネルギーの増大などが大きな技術的課題となる。我々のグループではこのような特徴を持つHIBPをLHDに導入すべく、研究開発を行ってきた。

今年度の実験において静電ポテンシャル分布計測を行い、荷電交換分光計測(CXS)によって評価された径電場と一致することが確認された。また、新古典モンテカルロ・シミュレーションコードDCOMによって予測された径電場分布はHIBPにより測定された分布とよく一致している。これまでCXSでは難しかったプラズマ中心近傍の電位分布の計測が行えるようになったことで、今後電位形成メカニズムの解明につながると考えられる。

また、HIBPの高時間分解能計測という特長を生かし、プラズマ中心近傍においてポテンシャル揺動計測を行った結果を右図に示す。乱流成分、MHD揺動と考えられる成分とともにコヒーレントな揺動が観測されている。空間分布計測を行った結果、このコヒーレントモードはプラズマ中心近傍に局在していることが分かった。また周波数はGeodesic Acoustic Mode(GAM)周波数(18kHz)程度であり、温度に対して正の依存性をもっている。これらの特徴は帯状流の一種であるGAMの特徴と一致している。

高時空間分解能を有するHIBPを活用した高温プラズマの視覚化により、核融合プラズマの閉じ込め物理の研究をさらに進展させることが可能になると考えられる。

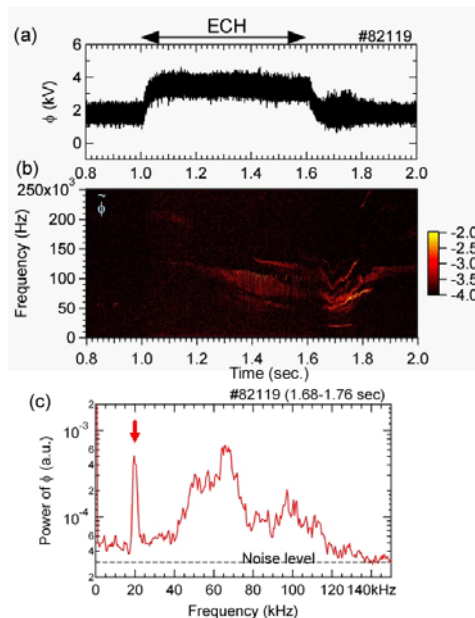


図 1 (a)プラズマ中心近傍におけるポテンシャル信号。(b)その周波数スペクトルの時間変化。(c)1.68秒から1.76秒における周波数スペクトル。19kHzにコヒーレントな揺動が見られる。