

熱核融合プラズマにおける高エネルギーイオンの振る舞い

Behaviors of high energy particles observed by a lost ion probe on LHD

西浦 正樹 [1]

Masaki Nishiura[1]

[1] 核融合研

[1] NIFS

核融合プラズマに関する研究は、国際熱核融合実験炉 ITER の建設地も決定し、ますます進展するものと考えられる。容器内で高温・高密度プラズマを閉じ込め、核融合反応 $D+D \rightarrow He^3+n+3.27MeV$, $D+D \rightarrow T^3+H^1+4.03MeV$, $D+T \rightarrow He^4+n+17.6MeV$ を維持しなければならない。これらの反応で生成した高エネルギー粒子（プロトン、アルファ粒子、トリトン）の振る舞いを理解することは核融合炉を実現する上で不可欠である。

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置（LHD）に設置された損失イオンプローブ（LIP）の開発を行っている。本計測器は先端部に埋め込んだシンチレータの発光位置情報を CCD カメラにより観測する。その発光位置情報は入り口の aperture を通過した高エネルギーイオンのピッチ角とエネルギーに相当する。Fig.1 に高エネルギーイオンのシンチレータ上に観測される画像を示す。画像上のメッシュは上下方向がエネルギー、左右方向がピッチ角を表している。画像解析により LHD のプラズマ周辺部における高エネルギーイオンのピッチ角とエネルギーを同時計測することができるので、高エネルギーイオンの振る舞いや MHD に関連した高エネルギーイオンとプラズマとの相互作用を理解することが可能となる。

本計測器は高温・高密度プラズマにさらされることとなるため、それに耐えうるシンチレータの開発、光学系の開発などが重要となる。現在シンチレータ材料として ZnS:Ag を用いている。ZnS:Ag の発光効率は良いが、約 300 以上で発光強度が極端に低下し、計測条件が限定されてしまう。更に、ITER では 300 以上の高温下での計測が想定されるため、我々は新たに YAG:Ce (P46) など、高温・高放射線下で使用可能なシンチレータの開発を開始した。シンチレータの諸特性は講演にて報告する。

プラズマを加熱・維持するために電子サイクロトロン共鳴加熱（ECH）、イオンサイクロトロン共鳴加熱（ICH）、中性粒子入射加熱（NB）を用いる。閉じ込め磁場揺動に同期した高エネルギーイオンの閉じ込め領域外への吐き出しがプラズマ閉じ込め劣化として問題となる。その磁場揺動が消失し、プラズマ閉じ込めが改善された一例を Fig.2 に示す。NB で維持したプラズマに $t=0.8s$ で NB3 号機を新たに入射した際、Fig.2 に示すように損失イオンプローブに高エネルギーイオンに起因する損失信号が観測された。この損失信号のピッチ角は 90 度近辺であった。その後、 $t=1.2s$ で急激な損失信号の減少が観測されている。この損失信号の減少以降は自己保持プラズマが観測されている。[1] 損失イオン信号の周波数解析から損失イオン信号が多いところ（1sec 前後）で 5kHz、自己保持プラズマ中（1.2sec 以降）では 5kHz 近辺の周波数は見られていない。

加熱方法の違い（ICH と NB）が、高エネルギー粒子の発生・損失にどのように影響を与えるか、高エネルギー粒子と Alfvén 波との関連、磁場揺動との関連など、更に解析を進めていく予定である。