

## 極短パルス電磁波入射による電子バーンシュタイン波群速度の直接計測

学生証番号 76205 氏名 金城 清猛  
(指導教員 小川 雄一 教授)

Key Words : Electron Bernstein wave, Upper hybrid resonance, Electron cyclotron heating, Cutoff and Resonance

ボイジャーなどの惑星探査衛星が木星まわりプラズマを測定した結果、 $\beta$  値(=プラズマ圧力/磁気圧)が100%を超えるようなプラズマが存在することがわかった。 $\beta$  値が高いということは、比較的低い磁場でも十分高い高温・高密度のプラズマを保持できることを意味している。このような高圧プラズマ閉じ込めの実証を目指し、惑星磁気圏と同じような形の磁場を発生できる内部導体装置Mini-RTにより、高効率なプラズマ閉じ込めを目指した研究が開始された。Mini-RTの最終的な目標は径方向電場によってトロイダル流を駆動し、高 $\beta$ プラズマの閉じ込めを実証することである。その為、まずはプラズマがどのような特性を持つかを理解し、その上で高温・高密度なプラズマ生成を行う手法について検討していく。Mini-RTにおいては高 $\beta$ なプラズマ閉じ込めを目指している為、磁場に対して電子密度が高いプラズマとなっている。その為、電磁波をプラズマ中で伝播させるとき、密度限界により波が伝播しない領域(遮断層)が存在し、このことが高密度プラズマの生成、加熱における問題点の1つとなっている。Mini-RTではこのようなプラズマの加熱に非常に有効である電子バーンシュタイン波(EBW)によるプラズマ加熱が行われている可能性がある。

現在のMini-RTにおける主要なテーマはEBWの直接計測である。EBWは静電波のモードであり、プラズマの外部から励振することが極めて困難である。EBW加熱を効率よく行うためには、プラズマの外部から電磁波を入射し、モード変換によってプラズマ中でEBWを励振する必要がある。その為、EBWのプラズマ中での存在を確かめるには直接計測により証明する必要がある。これまでに電子サイクロトロン周波数領域(ECRF)電場の計測を行い、短波長、後進波というEBWの2つの特徴を併せ持った信号が、UHRとサイクロトロン共鳴層の間で計測されている。

本研究では、プラズマ中にパルス幅3~10ns程度の単パルスを打ち込み、高速オシロスコープによりEBW群速度を直接計測することを目的としている。EBW計測の原理としては励振アンテナより3~10ns程度の1GHzマイクロ波を入射し、それを可動式計測用アンテナを使用し、浮上コイル径方向位置を変えて計測する。マイクロ波の群速度は( $3 \times 10^8$  m/s)程度である為、上記コイル径方向においては、どの位置でも同時刻にパルスは到達すると見なせるが、EBWは高々( $1.8 \times 10^6$  m/s)(電子温度10eVの場合)であるため上記コイル径方向においてパルスの到達時刻に差が生じる。EBWは後進波であるため、径方向内向きに伝搬していくと考えられ、装置内側ほど到達時刻が遅れると考えられる。その為、それぞれの空間位置におけるパルス波形を比較することでEBWの群速度の向きと速度を求めることができる。

実験結果より2ndECR近傍においてパルス到達時刻の遅れが計測された。これはEBWへのモード変換によるものと考えられ、実験結果より見積もった群速度はおおよそ( $0.5 \times 10^6$  m/s~ $5 \times 10^6$  m/s)(電子温度0.4eV~40eV)であり、予想される群速度( $1.8 \times 10^6$  m/s)(電子温度10eV)と近い値となった。

まとめると、本研究においてはEBW群速度の直接計測の為、パルス幅3~10nsの極短パルス入射スイッチの製作を行った。また、極短パルス入射スイッチを用いた計測によって、EBWの特徴である位相速度に対して後進波、電子の熱速度程度である波が計測された。