

磁気圏型プラズマRT-1の分光計測とイオン加熱実験

47-086078 氏名 水島 龍徳
(指導教員 吉田 善章 教授)

Key Words : He Ion Spectroscopy, Ion Confinement Time, Charge Exchange, Curvature Drift, ∇B Drift

磁気圏型プラズマ実験装置RT-1でイオン温度とイオン流速との関係を求めることを目的とした実験をおこなった。また、イオンの閉じ込め時間を評価した。さらに、イオンが高い β をもつようなプラズマを作るためイオン加熱の予備実験をおこなった。

プラズマの平衡を考える上で、プラズマ流の慣性項は無視できる量であるため通常無視して考える。しかし、高い β を持つプラズマは自発的に流れを発生させるため、慣性項を無視して考えられなくなる。現在の高電子温度プラズマのRT-1では円環型の超伝導コイルを磁気浮上させることにより磁気圏型プラズマ閉じ込めを行っている。プラズマ生成加熱をECRHにより行い、高い β (40%以上)と長い閉じ込め時間(0.1s)を達成している。イオンは直接加熱機構をもたず、電子からのエネルギー緩和により加熱される。イオンが高い β をもつプラズマは流れを作り、その流れがプラズマの平衡に与える影響を無視できなくなる。RT-1の場合はイオンの β は低いので、流れが平衡に影響は少ないが、電子は高い β をもつため電子の流れが平衡に影響を与える。そのため、RT-1の磁気面配位でのトロイダル流速の温度依存性を調べることが重要である。また、イオンを加熱し、イオンが高い β をもつと、プラズマ全体の質量が流れをつくり、プラズマの平衡を大きく変化させることが将来的目的となる。

Heプラズマ中のHe(II) (468.57nm) イオン、水素プラズマ中の不純物C(II)(464.74nm)イオンの発光スペクトルを分光計測した。ドップラー広がりからイオン温度を求めた。ドップラーシフトによりイオン流速を計測した。Heイオンの発光スペクトルには多重ガウスフィッティングを適応した。イオンサイクロトロン共鳴によりイオンを加熱するため、RT-1の真空容器の内側にループアンテナを設置し、電界センサーにより発生する電界を調べた。イオン加熱用の電源として、5kWの周波数30k~240kHzまで変化させられるインバータをFETを使ったフルブリッジ回路で作成した。

イオン温度は放電前のガスの圧力が低い方が高く、He(II)イオンで最大5.5eV、C(II)イオンで18eVとなった。ヘリウムイオンの温度とイオンと電子とのエネルギー緩和時間の関係からイオンの閉じ込め時間を求めると、コイル浮上してない時、浮上時共に0.1sと求まった。その閉じ込め時間を決める原因はイオンと原子の荷電交換による損失であると結論づけた。RT-1では少なくとも0.1s間、不安定性等によりエネルギーロスしないことがわかった。この閉じ込め時間でイオン加熱を考えると1eV加熱するのに0.06Wと求まった。アンテナから発生する電場は電界センサーで大気中に測定すると単位電流あたり、 $E_{rms}=8V/m$ ($r=800mm$)であった。フルブリッジ回路で自作したインバータによりRT-1のプラズマの外側 $r=960mm$ に設置したループアンテナに $r=0.5m$ のところ共鳴する周波数、220kHzの高周波電流、 $I_{rms}=10A$ 流しICRF加熱を行った。(入射エネルギーは電流電圧波計の位相のそろった成分が1 Ω 程度増加していたため100Wと推定している。) 加熱によるイオン温度上昇は0.4eV以下で統計的揺らぎの範囲であった。イオン加熱が起きなかった原因として、イオンを加熱するとイオンのジャイロ半径が大きくなって真空容器にぶつかり、高速イオンが逃げってしまうため、加熱できないことが考えられた。ガス圧を下げるとイオン温度が上がり、その温度変化に比例するような流れが観測された。その流れはRT-1のカーバチャードリフトと同じ方向でコイルの上から見て時計周りに流れていた。その大きさは $r=650mm$ で5.5eVのイオンで6000m/sであり、計算で求めたカーバチャー+ ∇B +反磁性ドリフト速度と一致した。この流れはシアアルフベン速度が $2 \times 10^6 m/s$ であるのに対して、 4×10^3 倍であり、磁気エネルギーに比べ無視できる量であったが、イオンの温度が100eVを越えるような高 β プラズマで、流れのエネルギーが磁場のエネルギーと同程度となり、プラズマの平衡を考える上で移流項を無視して考えることができなくなると予想された。