

# 蛍光膜を用いた2次元プラズマ粒子密度分布計測系の開発と 電子プラズマ不安定性に関する研究

46214 和田 篤始

(指導教員 吉田 善章 教授、比村 治彦 助教授)

nonneutral plasma, diocotron instability, fluorescence screen, feedback control,

## 1. はじめに

直線マルンバーク型実験装置BX-Uにおける研究目的の1つにプラズマの電気的非中性化とそれに伴う回転流の駆動を実験的に検証することがある。具体的な実験手法としてあらかじめマルンバークトラップに閉じ込められた電子プラズマに、水素プラズマを重畳させる。このとき、そのプラズマの持つ自己電場により、イオン回転流を引き起こそうとするものである。

### 1? 1 マッハプローブを用いた電子プラズマ・水素プラズマの重畳実験の問題点

すでにBX-Uでは、電子プラズマに対する水素プラズマの入射予備実験が行われた。しかし、期待された $E \times B$ 方向へのイオン回転流は観測されなかった。この理由の一つにイオン回転流を測定するために装置内部に深く挿入されたプローブにより電子プラズマが消失するという問題がある。

### 1? 2 本研究の目的

そこで本研究では、その能動的プローブに変わりうる受動的計測器の考案を行った。新たに設計・製作した計測器は電子プラズマダイナミクスモニター用誘導電荷測定器と蛍光膜を用いたエンドオン型2次元プラズマ粒子密度分布計測器である。さらに開発した計測器を用いて電子プラズマダイナミクスの観測、電子プラズマの安定な閉じ込めを目指す。

## 2. 蛍光膜を用いた2次元プラズマ粒子密度分布計測系の開発

本研究では蛍光膜を用いたエンドオン型2次元プラズマ粒子密度分布計測器の設計・製作を行い、さらに電子ビームを用いてその測定系の性能特性評価を行った。

### 2? 1 蛍光膜を用いた粒子密度分布計測の原理

トラップされたプラズマ粒子を磁力線に沿って軸方向へと引き出し蛍光膜に衝突させる。この際、電子・イオンを加速する。電子の密度分布を計測したいときは蛍光スクリーンに正の電位に、イオンの密度分布の場合は、負の電位にする(図1)。蛍光体の発光は真空容器のガラス窓と光学フィルタを通してICCDカメラに記録される。得られた発光強度分布は、円筒断面上各地点を貫く磁束管中にある電子、イオンの数に比例している。発光測定時に蛍光スクリーンから高圧電源へ流れた総電流量から蛍光スクリーンに衝突した全粒子数を求め、蛍光スクリーンの総発光量との比から粒子数と発光強度との比を求める。この比を用いて各地点の発光強度を粒子数に変換することで2次元プラズマ粒子密度分布を解析することができる。

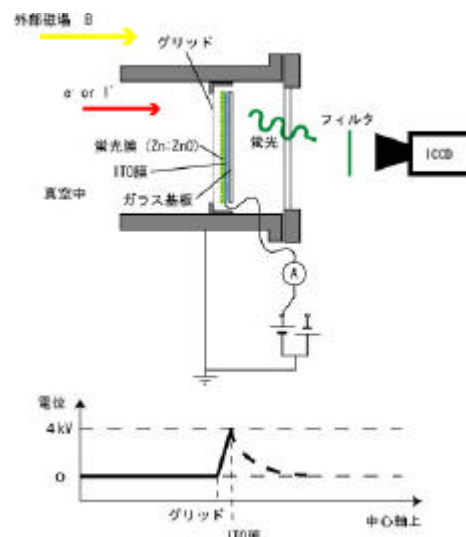


図1. 蛍光膜を用いた粒子密度分布計測の原理

### 2? 2 蛍光スクリーンの発光の様子

渦巻きフィラメントを電子源として装置中に電子ビームを生成し、電子ビームの2次元電子密度分布

測定を行った。装置のバイアス磁場 $B=0.1, 0.2, 0.5, 0.7$  kGにおいて得られた2次元電子密度分布を図5に示す。

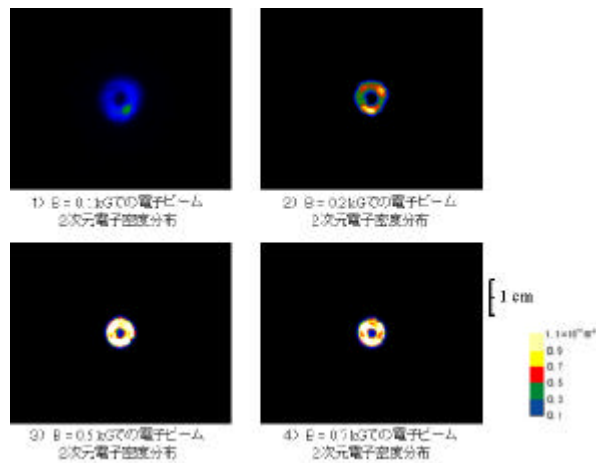


図2 各磁場における電子ビームの2次元電子密度分布

### 2? 3 ファラデーカップによる電子密度計測との比較

図2と同じ条件でファラデーカップによる径方向電子密度分布計測を行い得られた結果と、開発した2次元電子密度分布測定系から得られた径方向電子密度分布とを比較した。この結果、ファラデーカップによる計測と蛍光スクリーンによる計測で求めた径方向密度分布は一致していることを確認した。

### 3. 誘導電荷計測器の導入と電子プラズマの観測

本研究では、閉じ込め領域における中央の三つの電極を周方向に4分割し、閉じ込めた電子プラズマダイナミクスに応じて、分割電極の内壁面に誘起される正電荷量の時間変化を計測することで電子プラズマダイナミクスの推定を行った。

#### 3-1 分割電極からの信号

電子プラズマ閉じ込め実験を行い、閉じ込め時にそれぞれの分割電極に流れる電流量をモニターしたところ、図3のような波形が得られた。

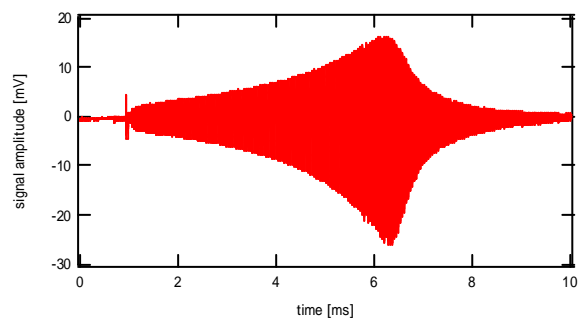


図3 ダイオコトロン不安定性の波形

これは電子プラズマの $l=1$ ダイオコトロン振動による波形と推定される。このダイオコトロンの振動時

間が続つにつれ大きくなり、不安定性が成長している。

#### 4-2 フィードバック制御システムによるダイオコトロン不安定性の抑制

ダイオコトロン不安定性を抑制するためにフィードバック制御システムを製作・設計し、BX-Uに導入した。フィードバック制御システムの原理を図4に示す。アンテナ部の電極に電子プラズマが接近するとアンテナ部の電位が増幅されてバイアス部にかかる。この電位が作る電場により電子プラズマに対して半径方向内向きへ $E \times B$ ドリフトが生じ、電子プラズマは中心方向へ運動する。図3のダイオコトロン不安定性を振動にフィードバックをかけた時の信号が図5である。ダイオコトロン振動が抑えられていることが分かる。

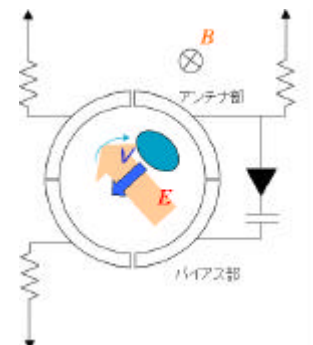


図4 フィードバック制御システムの原理

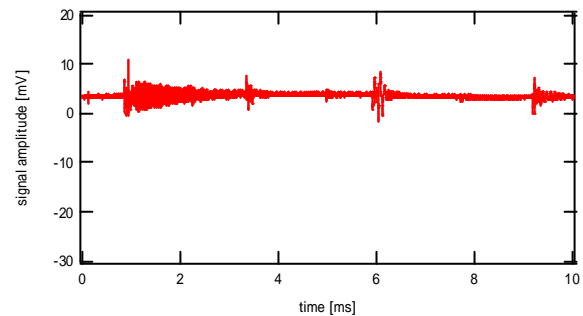


図5 フィードバック制御で抑制されたダイオコトロン不安定性

### 5. まとめ

私は、蛍光膜を用いた2次元プラズマ粒子密度分布計測器を開発しITO膜を導電性膜として利用することで、より容易に製作できる蛍光スクリーンの開発に成功した。さらにBX-Uに誘導電荷計測系を導入しダイオコトロン不安定性を観測した。この誘導電荷計測系でダイオコトロン不安定性を研究する一方、フィードバック制御を用いてダイオコトロン不安定性を抑制することに成功した。こうして私は受動的計測系の開発、さらに電子プラズマの安定な閉じ込めを実現した。