

# E×Bドリフトを利用したMalmbergトラップへの 電子斜入射システムの開発

26205 栗原 智成

(指導教員 吉田 善章 教授, 比村 治彦 助教授)

Key Words : Non-neutral Plasma, Malmberg Trap, E×B drift, Electron Beam Deflection

## 1. はじめに

流れを伴うプラズマ系においてベータ値が1を超えるプラズマ平衡が存在する可能性が理論的に指摘されている。これを踏まえて、回転を伴うプラズマの生成を非中性プラズマを用いて試みる実験を行うために、電子プラズマ研究に用いられているMalmberg Trapを利用した直線型装置BX-U(Beam Experiment Upgrade)を組み立てた。BX-Uでの研究目的はプラズマの回転が非中性条件を用いて駆動されるのか実験的に検証することである。

## 2. BX-U装置

図2-1にBX-U装置の全体図を示す。BX-Uはソレノイドコイル、電子斜入射部、プラズマの閉じ込め領域、中性プラズマガン、蛍光板の5つから構成されている。ソレノイドコイルは、装置移設時にバイアス磁場が一様になるよう改造した。プラズマ閉じ込め領域では、プラズマを装置対称軸方向に閉じ込めるため、5個の円筒電極により井戸型ポテンシャルを形成している。

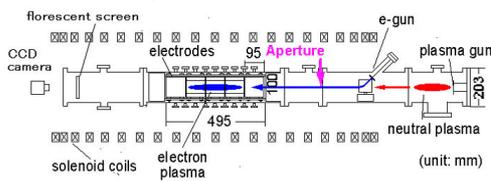


図2-1 BX-U全体図

## 3. 電子斜入射

非中性二流体プラズマ実験を行うためにはこの電子プラズマに中性プラズマを重ねさせる必要があるが、直線型装置の幾何学的制約により、電子プラズマ生成用の電子源を装置の構造対称軸から離れた位置へと移動させ、その位置から磁場を横切る電子の斜入射を行う必要が生じた。そこで本研究では、BX-Uにおいて電子を斜入射するシステムの設計及

び開発を行った。

今回、電子を斜入射する方法として軸方向バイアス磁場とそれに対して垂直に印加された電場によるE×Bドリフトの利用を考案した。これにより電子源から射出された電子を装置の構造対称軸上まで偏向させる。

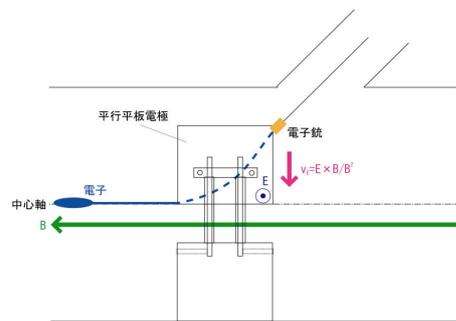


図3-1 電子斜入射システム概略図

開発にあたっては、まず射出された電子の軌道計算を行うことで、必要とされるパラメータの最適化を行った。

軌道計算に当たって、単一の電子を入射するとし、その他の条件は図3-2のように設定した。磁場強度は113 G、二枚の極板の間隔を4 cm、極板の磁力線方向への長さは5 cmとしている。電子の射出位置は対称軸から4cmの位置とする。これはBX-Uの構造上からの要請によるものである。

以下では端部コイル直下に電子銃を置いた場合の結果について述べる。図3-3は極板間電圧 $V_p=800V$ の場合の電場方向からみた電子軌道の図である。横軸は射出された電子の装置内への進入距離を示しており、縦軸は装置対称軸からの距離である。図の緑色で示された部分は極板の位置を表している。電子は図の右上の赤い矢印の位置から射出されている。図から分かるように、このとき電子は対称軸上まで偏向されている。

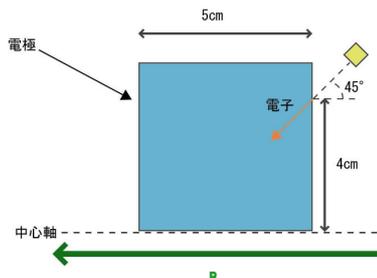


図3-2 シミュレーションセットアップ

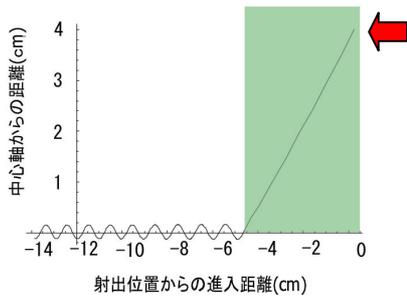


図3-3 端部コイル直下からの電子入射 ( $V_p=800V$ )

#### 4. 電子斜入射装置の設計・製作

前章の計算結果を基に電子偏向システムの構築を行った。電子銃のカソードにはタングステン線をコイル状に巻いたフィラメントを用いた。

電場と磁場の強度を変化させて電子の偏向する様子を調べた。電子銃から射出された電子が閉じ込め領域を通過し、後方に設置している蛍光板に達すると発光するので、これをCCDカメラによって撮影した。蛍光板上の輝点と装置対称軸との距離を測定することで、電子の偏向量を知ることができる。

図4-1は $B=304(G)$ の場合の測定値と計算値を比較したものである。この図で装置対称軸の位置である縦軸40 mmまで電子が偏向するために必要な電圧は、計算値では2.3kVであるのに対して、測定値では4 kVである。この差は極板に電圧が印加されたときに、BX-U装置壁の電位もグラウンドになるため、極板と装置壁との間に電場が生じてしまい、極板間だけに電場が生じると想定したときよりも生じた電場が弱かったためであると考えられる。

上記の事象を明らかにするために、ポテンシャル分布を計算した。簡単のため、装置が軸対称方向に無限に長いとして2次元ラプラス方程式の計算を行った。等電位面を図4-2に示す。図の緑色の矢印は電気力線を表す。電気力線は極板の中心付近を除いて外側に広がっていることから、極板間の電場強度はシミュレーション時に想定した電場強度よりも弱くなっていると推測される。実際、極板間中心部の平均電場強度を計算したところ $7.6 \times 10^4 V/m$ であり、シミ

ュレーションでの電場強度 $10^5 V/m$ よりも弱くなっていることが確認された。

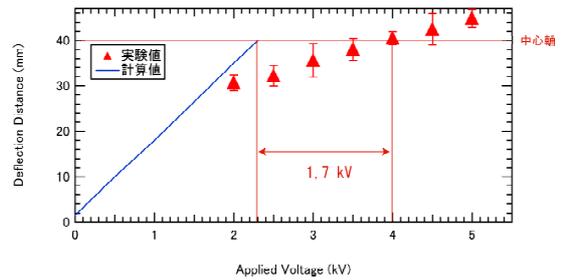


図4-1 偏向距離の測定値と計算値の比較

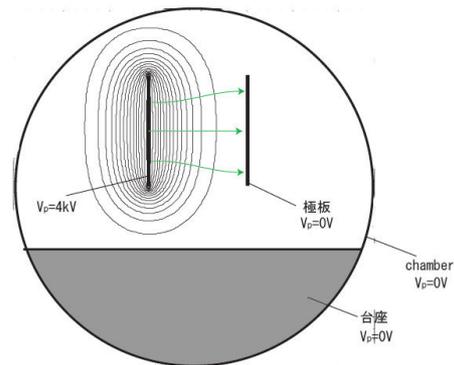


図4-2 本実験条件下での等電位面と電気力線

#### 5. まとめ

2流体プラズマ生成研究への礎として、直線型装置への $E \times B$ ドリフトによる電子斜入射システムの開発を行った。

初めにバイアス磁場が一樣になるよう改造を行った。電子斜入射装置開発に先立ち、電子軌道シミュレーションにより必要なパラメータの最適化を行った。次に、シミュレーションに基づいて斜入射装置の設計・開発を行った。初めに極板間に電場を発生させた状態で電子を射出する実験を行い、電子を装置中心軸上まで偏向させることに成功した。射出された電子の偏向距離を装置後方に設置した蛍光板により測定した。電子を装置対称軸上まで偏向させるために必要な電圧はシミュレーションにより得られた値よりも1.7 kV大きかった。これは実験で生成された電場がシミュレーションで想定した電場強度よりも弱かったことが原因であると考えられる。実際、極板に電圧が印加された際の電場強度を計算するとシミュレーションと比べて76%となった。この結果を考慮してもなお実験に必要な電圧とシミュレーションでの電圧に差は残るが、これは射出された電子がビームであるためお互いに反発し合い、これを抑えるためにより高い電場が必要になるためであると考えられる。