

# ダイポール磁場中の純電子プラズマ平衡状態の 運動論的計算と実験的検証

学生証番号 47116086 笠岡 紀和  
(指導教員 吉田 善章 教授)

Key Words : non-neutral plasma, self-organization, adiabatic invariant, chemical potential, rigid rotation

## 1. 研究の背景と目的

非中性プラズマは電氣的に中性でない荷電多粒子系をいう。自己電場と外部磁場や電場がバランスして渦構造を作るように緩和する。この状態は熱平衡状態である。このような自己組織化の性質を使った多くの閉じ込め装置は原子の構造の解明[1]に貢献した。閉じ込めに電場が必要な直線磁場に対し、自然界に存在するダイポール磁場(惑星周りの磁場)では磁場のみで閉じこまる。実験的に当研究室のRT-1(磁気圏型プラズマ実験装置)で電子プラズマの安定的閉じ込めが観測された。電子ビームを注入すると揺動の後に電子がコイル方向へ内向きに輸送され平衡状態となる。さらに電子は剛体回転の構造を自発的に形成し、300秒程度保たれた[2]。この長時間閉じ込めは反物質閉じ込めに応用が期待される[1]。

理論では長谷川[3]による運動の保存量を用いた平衡モデルが提案され、さらに吉田[4]は温度効果を加えたモデルを提案し、平衡状態の密度分布を求める式を導出した。しかし、解析的に得られない保存量が存在し、ポテンシャルを考慮した計算はまだ行われていない。

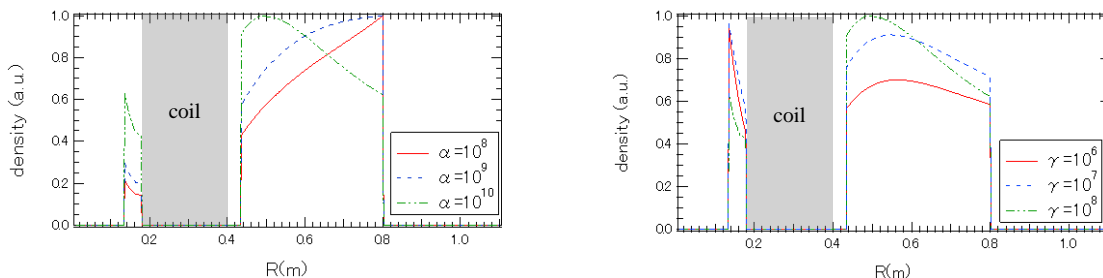
そこで本研究では、保存量を数値計算で求めることでモデルを計算し、さらにポテンシャルを考慮した計算に発展させ、純電子プラズマの平衡状態を計算する。この保存量を用いる運動論的計算は新しい試みで、電子の軌道計算を大量に行う必要があるため難しい。また、RT-1の純電子プラズマ実験を行い、残された計測位置Z方向にて空間電位の測定を行うことで空間電位を2次的に理解し、計算結果と比較を行う。

## 2. 計算手法と結果

次は密度を運動論的に求める計算式である。

$$n_0 = \int \frac{1}{Z} \exp\{-(\beta(\mu\omega_c + J\omega_b) + \alpha\mu + \gamma f)\} \frac{2\pi\omega_c d\mu}{m} \frac{dJ_{||}}{mL_{||}}$$

被積分関数にサイクロトロン運動の保存量 $\mu$ とバウンス運動の保存量 $J_{||}$ が入っているため、本研究では電子の軌道計算を行い運動の保存量を求めて計算する。さらに、ポアソン方程式とのself-consistentな平衡解を求め下図に示す。パラメータはケミカルポテンシャル $\alpha$ と $\gamma$ である。



これよりパラメータ $\alpha$ 、 $\gamma$ を大きくするとコイルすぐ外側に密度の割合が集中する結果となる。実験結果と比較を行うと、密度分布と合うパラメータは $\alpha=10^{10}$ 、 $\gamma=10^8$ となる。またこのパラメータでのEXBドリフト周波数はほぼ一定となり、先行実験で示された剛体回転状態を表す結果となった。

[1]Z.Yoshida *et al.*, Plasma and Fusion Res.1 1,008(2006) [2]Z.Yoshida *et al.*, Phys. Rev. Lett. 104, 0235004(2010)

[3]A.Hasegawa, Phys. Scr. T116, 72 (2005) [4]Z.Yoshida, COE Lecture Note Vol.38, 170 (2012)