

磁気圏型配位における非中性プラズマの安定閉じ込め

Stable confinement of non-neutral plasma in a magnetospheric configuration

齋藤 晴彦^{1*}, 吉田 善章¹, 森川 惇二¹, 矢野 善久¹, 水島 龍徳¹

Haruhiko Saitoh^{1*}, Zensho Yoshida¹, Junji Morikawa¹, Yoshihisa Yano¹,
Tatsunori Mizushima¹

¹東大新領域

¹GSFS, Univ. Tokyo

キーワード: 磁気圏型配位, 非中性プラズマ

Keywords: magnetospheric configuration, non-neutral plasma

Ring Trap 1 (RT-1)装置は, 磁気浮上させた高温超伝導コイルにより磁気圏型配位を生成するプラズマ実験装置である. RT-1では, 多彩な物理現象を生み出す惑星磁気圏にヒントを得て, 先進核融合に適した高温プラズマと非中性プラズマの基礎研究を実施している. 本発表では, これらのうちRT-1における非中性(純電子)プラズマ研究について報告する.

単一の電子やイオンから構成される非中性プラズマを使用して, 粒子輸送や拡散, 波動現象, 渦構造の形成等のプラズマの基礎性質についての精密な研究が進められてきた. また近年の粒子線技術の進展に伴い, 低速の反陽子や陽電子ビームが入手可能となり, CPT対称性の検証を目指す反水素合成や, 天体現象に観測される電子陽電子のpair plasmaの生成に向けた研究が開始されている. このように非中性プラズマの研究対象は, 構造形成等の集団現象に代表されるプラズマ物理の基礎分野にとどまらず, 原子素粒子や宇宙物理学との境界領域においても拡がりつつある.

非中性プラズマの分野で一般的に使用される直線型配位(Penning-Malmberg trap等)では, 軸方向の一樣磁場により単一粒子プラズマの極めて良好な閉じ込めが実現される. しかし, 軸方向の閉じ込めに静電井戸を使用する直線型配位において, 異なる電荷符号を持つ粒子や高エネルギー粒子の閉じ込めは困難である. ここで軸方向の閉じ込めを必要としないトロイダル配位では, 電荷符号によらない荷電粒子の閉じ込めが原理的に可能である. 任意の非中性度を持つプラズマの閉じ込めが実現されれば, 上述の反物質閉じ込め等, 天体現象とも関わりの深い多様なプラズマ研究が可能となる. こうした観点から, 磁気圏型配位を用いたトロイダル非中性プラズマの閉じ込め研究が提案され, 超伝導コイルを備えたRT-1装置において実験が開始されている.

強い非一様性を有するdipole磁場中では, 非中性プラズマが形成する平衡構造は自明でない. RT-1では, コイルを磁気浮上させプラズマに与える擾乱を抑制する事により, 300sを上回る純電子プラズマの長時間閉じ込めが実現されている. 観測された閉じ込め時間は, 中性粒子との衝突による古典拡散時間に匹敵する長時間であり, RT-1の磁気圏型配位において極めて安定な非中性プラズマの平衡構造が形成される事を示している. Wall probeを用いた静電揺動計測によれば, 電子入射中に観測される乱流的な揺動は, 振幅減衰を伴う長時間閉じ込め期への遷移後は安定化し, 剛体回転を示唆する小振幅のコヒーレントな揺動が観測される. 径方向電場の多点計測により閉じ込め領域の推定を行い, 長時間閉じ込めを示すプラズマが磁気圏型配位の強磁場領域に閉じ込められている事を明らかにした. プラズマの生成過程で, 電子は閉じ込め領域の周辺部に配置した電子銃から入射される. 静電プローブ計測によれば, 電子銃位置よりも強磁場の領域で空間電位の大きさは電子の初期加速電圧を上回る. プラズマ中に存在するdiocotron (Kelvin-Helmholtz) 揺動により系の軸対称性が破れる時, 粒子の正準角運動量は保存されない. この時, 第三断熱不変量は非保存となり, 粒子軌道が初期磁気面からポロイダルLarmor半径を超えて逸脱する径方向輸送が可能となる. この時, 電子の第一・第二断熱不変量が保存する場合には, 強磁場領域に輸送された粒子は初期値を上回るエネルギーを得て内向きの粒子輸送が可能であり, 粒子加速の観測結果と一致する. こうした粒子輸送現象は, 閉じた磁気面を持つトロイダル系の非中性プラズマに対して粒子の入射及び引き出しの手法として利用可能である. 揺動の径方向への伝搬やそれに伴う粒子輸送過程の計測結果についても報告する.