

電子ビーム・プラズマ系における線形不安定モードの非線形現象の観測

Observations of Nonlinear Phenomena of Linearly Unstable Modes in an Electron-Beam Plasma

山際 啓一郎 [1]; 竹田 剛 [2]; 八木 香澄 [3]

Keiichiro Yamagiwa[1]; Tsuyoshi Takeda[2]; Kazumi Yagi[3]

[1] 静大・理・物理; [2] 静大・理・物理; [3] 静大・理工研・物理

[1] Depart of Phys., Shizuoka Univ.; [2] Depart. of Phys., Shizuoka Univ.; [3] Physics, Shizuoka Univ

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~spkyama/index.htm>

電子ビーム・プラズマ系におけるビーム波は、プラズマ周波数より低い周波数領域で線形不安定であることは知られている。このモードは大きな成長率を持ち、線形成長から非線形構造の形成に至るまでの過程を容易に観測できる。我々は10年以上にわたって電子ビーム系の波動の非線形発展に関する研究を継続している。最近、電子ビームの分布関数をプラズマ振動の周期程度の時間分解能で観測することが可能になり、波と共にビーム電子の位相空間における振舞いを観測することが出来た。

なお、本研究は、磁気圏テイルなどで観測される現象と関連付けられ、スペースにおける現象の地上シミュレーション的な役割をも担っている。

電子ビーム・プラズマ実験装置は、ターゲットプラズマと電子ビーム銃からなる。ターゲットプラズマ源は強力な永久磁石で表面閉じ込めをした、いわゆる多磁極閉じ込め型プラズマ装置を使用している。このプラズマ装置は、低ガス圧中で放電によりプラズマを生成できる特徴がある。多磁極閉じ込め型装置において生成したアルゴンプラズマ中に、時間幅3~4マイクロ秒のパルス電子ビームを繰り返し入射する。波形信号とビームの分布関数の計測データは高速のデジタルオシロスコープで同期記録し、パソコンを介して外部メモリーに転送する。サンプリング時間1ナノ秒、データ長8000で記録される計測データは加重平均(通常512回)されるので、波形信号のノイズは著しく軽減する。この条件における、観測系のバンド幅は、直流~250メガヘルツでありプラズマ振動数が100~150メガヘルツの範囲で行う、我々の実験には十分である。実験は、ビームの走行距離に沿って必要な区間を128等分、約3ミリ間隔で分割し、それぞれの位置で、受信プローブとエネルギーアナライザーを止め、波のポテンシャルとエネルギー分布関数を観測し記録する。

電子ビーム波の非線形発展、飽和領域における波束列の発生、波ポテンシャルによるビームの捕捉位相空間上の電子ビーム・ホール形成、ビーム系を支配する非線形構造の特徴等を、以下の手順に従い報告する。

- (1) プラズマ中に低密度の電子ビーム(0.3%より低い)を入射して観測した自然励起の不安定モードの観測
- (2) 波の観測と同時に、最近開発した電子の応答時間に対応できる、高周波特性に優れたエネルギー・アナライザーを使って計測した電子ビームのエネルギー分布関数の観測結果。
- (3) 波ポテンシャルとビームのエネルギー分布関数、それから算出される位相空間データ等をデータ処理して総合的にまとめる。特に、波によるビームの捕捉、位相空間上のホールを検証し、電子ビーム系を支配する非線形構造の根源的な機構を明らかにする。
 - (1) プラズマ中に低密度の電子ビームを入射して観測した自然励起の不安定モードの非線形現象の観測
 - (イ) 線形不安定な電子ビーム系における自然励起波動が示す非線形飽和領域における波束列の発生とビーム密度との間のスケールリング則(波束の幅がビーム密度の3分の1乗に反比例する)を見つけた。
 - (ロ) ビーム電子に単一の高周波バースト摂動を加えるとビームの下流側に次々に新しいバースト構造を放出して安定化する。発生するバーストの数はビーム密度に比例する。
 - (ハ) 上記(イ)及び(ロ)を電子ビームプラズマ系におけるソリトン理論で議論する(矢嶋・田中, 1988年)。
- (2) 最近の研究で、密度0.3%以上の強ビームでは、捕捉効果により位相空間に電子ビームホールが生まれ、ダイナミックに時間発展する様子を観測した。波とホールの発展には相関があり、ホール速度半径の二乗が波ポテンシャルの振幅に比例する。同時に、加速された脱捕捉電子が存在することがわかった。

位相空間ホールの一例を下図に紹介する。竹田、山際、Phys. Lett. V.339 118 (2005)

以上、詳細は講演で報告します。

