

6. プラズマチャンネル中を伝播する 軽イオンビームの安定性解析

石 本 哲 哉

軽イオンビームは慣性核融合のエネルギードライバーとしてターゲットとのカップリング、及びエネルギー発生効率などの点から有望視されているが長距離（5 m程度）の伝播については問題が残っている。プラズマチャンネル（全長10 m，半径0.5 cm）中を定常伝播するLIBの安定性解析はNRLのOttlingerらが電荷中性及び電流中性の仮定の下で二流体不安定性とフィラメンテーション不安定性について行い、安定伝播に必要なパラメータを与えている。本研究ではビームがパルスであることにより生じる両端での電流非中和の効果を考慮し安定伝播に必要なパラメータを再検討する。

ビームの両端では電荷中性が電流中性より先に成立するので電磁場はベクトルポテンシャルだけで記述される。軸対称を仮定すると中心軸付近においては、電子のz方向の速度はオームの法則にしたがいr方向の運動はローレンツ力により支配される。この非線形項（ローレンツ力）を一般的に取り扱うことは非常に困難である。従来の解析ではこの項を無視しているために、完全な電流中性が成立しビームのパルス特徴が失われてしまっている。本研究ではビームのz方向の速度 v_z が一定でr方向の速度がゼロという条件を課すことにより、この非線形項を含んだ定常解を求める。このときベクトルポテンシャル A_z の満たす方程式は

$$\partial^3 A_z / \partial \eta^3 = \alpha (\partial A_z / \partial \eta)^2 + \beta (\partial A_z / \partial \eta) + \gamma \quad (1)$$

但し、 $\eta = z - v_z t$ ， $\alpha = \omega_{pe}^2 e / 2mc^3 v_z$ ， β, γ は境界条件から定まる定数である。またこの方程式の解は解析的に求めることができ

$$-\partial A_z / \partial \eta = x_2 + (x_3 - x_2) \operatorname{cn}^2 \left(\left(\alpha (x_3 - x_1) / 6 \right)^{1/2} \eta, k \right) \quad (2)$$

但し、 x_1, x_2, x_3 は(1)に $\partial A_z / \partial \eta$ をかけて積分し右辺をゼロとおいたときの三次方程式の解であり、 $k^2 = (x_3 - x_2) / (x_3 - x_1)$ である。

以上よりビームが定常伝播しているときのチャンネル電子の応答、ビームの密度分布及びパルス両端での磁場を求めることができる。さらにこの定常解に摂動を加えたときの成長率を求めることができ電子の半径方向の速度成分の寄与が重要であることがわかった。