

イオンビーム軌道の不変条件と核融合への適用

Conditions for Ion Beam Trajectories and its Application for Fusion System

松田慎三郎¹⁾、柏木美恵子²⁾、小西哲之¹⁾

Shinzaburo Matsuda¹⁾, Mieko Kashiwagi²⁾ and Satoshi Konishi¹⁾

京大エネルギー理工¹⁾、原子力機構²⁾

Kyoto Univ.¹⁾, JAEA²⁾

現在稼働中、あるいは ITER や将来の核融合炉に NBI が使われる場合に、製作した静電加速器がどのような運転の柔軟性・拡張性を有するかを検討した。

静電場の中の荷電粒子が定常的に加速されているとき、粒子の軌道は Maxwell の式と運動方程式により導かれる。

$$\nabla^2\phi = -\frac{Z_i}{\epsilon_0}n_i \dots\dots\dots (1) \quad m_i \frac{d\vec{v}}{dt} = -Z_i\nabla\phi \dots\dots\dots (2) \quad \nabla \cdot (Z_i n_i \vec{v}) = 0 \dots\dots\dots (3) \quad (2) \text{ と } (3) \text{ から}$$

$j = Z_i n_i \vec{v} = Z_i n_i \sqrt{\frac{Z_i}{m_i}} \sqrt{2\phi} = n_i m_i^{-1/2} Z_i^{3/2} \sqrt{2\phi}$ が導かれ、 $\phi = E$ における電流密度を

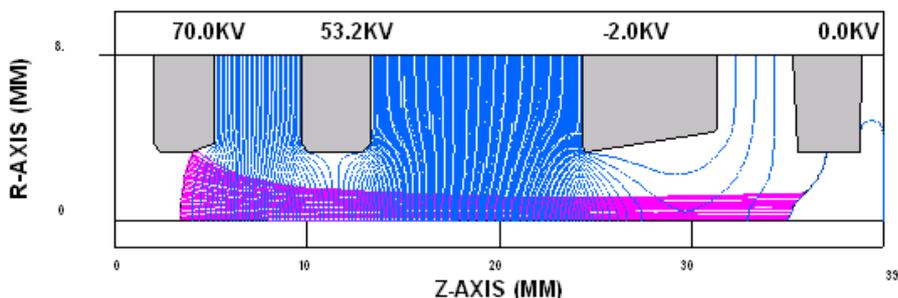
$j_G = C' \sqrt{\frac{Z_i}{m_i}} \sqrt{2E}$ を満たすように選べば、流線に沿って $j = j_G$ より $Z_i n_i = C' \sqrt{\frac{E}{\phi}}$ となる。即ち、空間電荷密度はイオン種の違いによって変わらないので、空間電荷も含めた電場のポテンシャルも変わらない。

これを踏まえ、電磁場中の粒子軌道に対応するラグランジアン

$$L = \sum_i \frac{1}{2} m_i \vec{v}_i^2 - Z_i \phi \quad \text{の次元解析から電流密度の調整によって空間電荷密度を一定に保つ条件}$$

$\sum j_i \sqrt{\frac{M_i}{Z_i}} = \text{const}$ が満たされれば、ビームの軌道パターン（発散）を変えることなく他のイオン種や複数のイオン種の混合ビームを加速することが可能であることが示される。

次にその応用について検討した。この条件が満たされれば、例えば重水素用に最適化して製作した加速器で、他のイオン種を引出せるのみでなく、収束のよい D,T の混合ビームを引き出すことが出来、燃焼分布制御への柔軟性と、トリチウムプラントのシステム合理化などへの貢献が期待できる。



イオン源で加速されるビーム。左端の曲面がプラズマとビームの境界面。青線は静電ポテンシャル、赤線はビーム軌道。