

LHDにおける捕捉粒子軌道の特性解析

Characteristics of trapped particle orbit in LHD

渡辺二太, 吉田正信, 増崎 貴, 江本雅彦, 長山好夫

核融合科学研究所

T. Watanabe, M. Yoshida, S. Masuzaki, M. Emoto and Y. Nagayama

NIFS

通過粒子はほぼ磁気面に沿って運動し、捕捉粒子は磁気面を横断しながら運動する。これにより捕捉粒子は最外殻磁気面 (LCFS) 近傍と磁気軸近傍とでプラズマ挙動に影響する。捕捉粒子の軌道は磁力線に沿う局所ミラー磁場の空間構造で決定される。局所ミラー磁場の底に捕捉されたピッチ角の立った粒子 (ピッチ角 = $\pi/2$) の軌道は

$$0 = \frac{\mathbf{B}}{|\mathbf{B}|} \cdot \nabla |\mathbf{B}|, \quad 0 < \left(\frac{\mathbf{B}}{|\mathbf{B}|} \cdot \nabla \right)^2 |\mathbf{B}|$$

$$|\mathbf{B}| = \text{const.}$$

で与えられ、これを一枚の図形: 捕捉粒子軌道特性図 (図1) で表すことに今回成功した。

無衝突で真空容器壁へ衝突する粒子 (ロスコーン粒子) の存在は核融合炉の特性を低下させる。ヘリカル磁場中でのロスコーン解析は損失境界を LCFS と設定し、LCFS に到達した粒子を損失粒子と取り扱う解析が多くを占めてきた。このときには高エネルギー粒子の閉じ込め特性が過小評価される。

標準磁場配位 ($R_{ax} = 3.75\text{m}$, 四重極磁場成分 = 0 配位) の下ではロスコーンは存在しないことが捕捉粒子軌道特性図で示された。しかしながら、垂直磁場コイル電流値を調節し、磁気面体積を最大化するとロスコーンが磁気面内に形成される (図1および表1)。ロスコーン深度 ($\equiv \max(X_{lcf} - X_{loss})/X_{lcf}$: X は横長断面方向の回転ヘリカル座標) が高エネルギーイオンの直接損失率に反映することを軌道計算で確認した。

R_{ax} (m)	標準	V_{lcf} (m^{-3})	l_{lcf} 2π	磁気井戸 ($\delta U/U_{ax}$)	ロスコーン 深度
	最適化				
3.60	標準	28.5	1.56	無	0.055
	最適化	30.3	1.77	無	0.107
3.75	標準	25.2	1.27	無	0.000
	最適化	27.2	1.39	無	0.116
3.85	標準	22.6	1.04	0.67×10^{-2}	0.084
	最適化	25.2	1.20	0.45×10^{-2}	0.296
3.90	標準	21.1	0.96	1.46×10^{-2}	0.131
	最適化	23.3	1.09	0.43×10^{-2}	0.411

表1: 磁気軸位置および磁気面体積最大化による捕捉粒子閉じ込め特性の変化。磁気井戸形成についても記す。

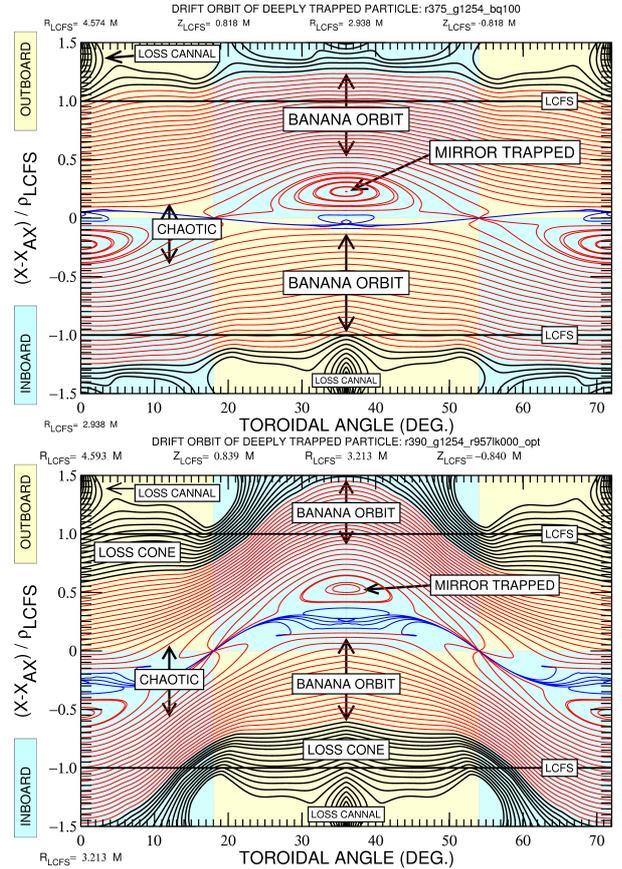


図1: 標準磁場配位 (上図: $R_{ax} = 3.75\text{m}$) と磁気面体積最大化した磁気軸外寄せ配位 (下図: $R_{ax} = 3.9\text{m}$) での捕捉粒子軌道特性図。横軸はトロイダル角 ϕ 、縦軸は回転ヘリカル座標位置 X の磁気軸位置からのシフト量を最外殻磁気面までの距離で規格化したもの。0 は磁気軸位置、 ± 1 は最外殻磁気面位置を示す。局所ミラーの底を移動する軌道は赤点で、局所ミラーの天井に到達した軌道は青点で示す。真空容器壁に到達する軌道および最外殻磁気面外で局所ミラーの天井に到達する粒子は直接損失粒子として黒点で示す。横長断面 ($\phi = 0, 36, 72$ 度) の磁気軸近傍にはトラスを周回しないミラー捕捉粒子が存在するのに対し、縦長断面 ($\phi = 18, 54$ 度) の磁気軸近傍にはカオス軌道粒子のみが存在することも示されている。