

大型ヘリカル装置における高速イオン軌道特性に対する径電場効果の研究

エネルギー電磁流体力学グループ 渡邊研究室 森 涼雅

1. 目的と意義

核融合発電炉心での反応維持条件は、核融合反応生成物である高速の α 粒子によって、燃料である重水素、三重水素イオンを高温に保つことである。そのためには、高速 α 粒子が燃料と十分に衝突して、熱速度に減速するまで、磁場中に閉じ込められる必要がある。特に、様々な原因で生成される小半径方向の径電場は、高速 α 粒子の閉じ込め性能に影響を与える可能性があるため、径電場による軌道特性の変化を本研究の目的とした。

α 粒子追跡にあたって、計算領域となる LHD 真空容器内の構造を図 1 に示した。ヘリカル型の周辺磁場領域は複雑な形状をとり、最外殻磁気面(以下 LCFS と記載)から外側へ移動する粒子は、再び LCFS 内側へ Re-entering することがある。つまり、従来の計算方法(LCFS 内側のみを対象としたもの)では、損失粒子の割合を過大評価してしまうこととなる。したがって、損失粒子の割合を適切に評価するために、計算領域を真空容器壁(LHD における実際の壁面)まで拡張した。

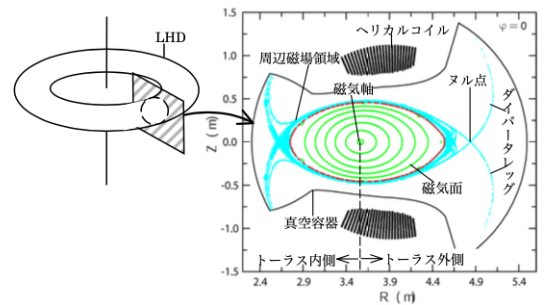


図 1. LHD 真空容器内の構造

2. 解析

計算条件に使った LHD の磁場配位は、真空磁場 $B = 2.75$ [T]とした。また LHD における中心プラズマ達成温度が10 keVであることから、径電場は10 V/mを採用した。高速イオンの始点は、図 1 における $z = 0$ m上の赤道面とした。

3. 結果・考察

高速イオンの軌道特性を■通過粒子、■バナナ粒子、■カオス軌道粒子、■即損失粒子の4つに分類した。また、計算時間中に、真空容器壁に到達して損失した粒子は、□とした。図 2 に径電場がない場合、径電場が+10 kV/mの場合の軌道特性を示す。

図 2 において、縦軸は粒子の初期速度のピッチ角(磁場と初期速度のなす角)、横軸は高速イオン始点の大半径 R の座標をそれぞれ示す。ここで、ピッチ角が 0.5 付近の粒子は、磁力線方向の速度が小さく、 ∇B による反射を受けやすいため、即損失粒子、バナナ粒子、カオス軌道粒子が多く分布している。 $E_r = 10$ kV/mの径電場により、軌道特性に大きな変化はみられないが、壁面に衝突する粒子が減少していること、カオス軌道粒子がバナナ粒子に遷移していること、大半径外側($R = 4.5$ m 付近)において即損失粒子が減っていることが分かる。径電場有無によるピッチ角が0.55で、始点が $R = 4.05$ mのバナナ粒子のドリフトを図 3 に示す。径電場により、ポロイダル方向の粒子軌道が変化していることを確認した。

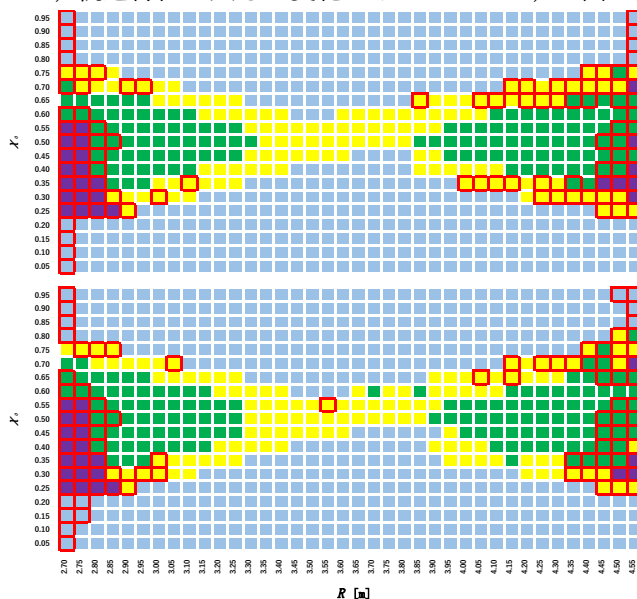


図 2. 粒子の軌道特性, (上) $E_r = 0$, (下) $E_r = 10$ kV/m

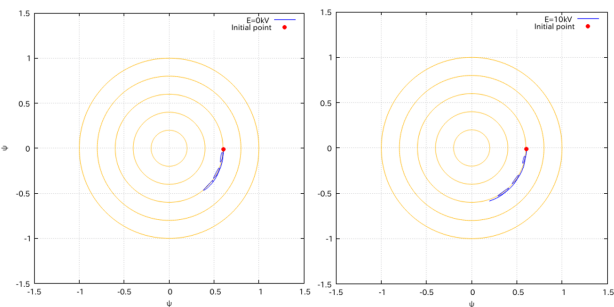


図 3. 粒子軌道(小半径: 磁束), (左) $E_r = 0$, (右) $E_r = 10$ kV/m