

ERO コードによる LHD ダイバータモデリングと不純物輸送シミュレーション

河村学思(kawamura.gakushi@nifs.ac.jp)

核融合科学研究所 核融合理論シミュレーション研究系

LHD (Large Helical Device)における周辺プラズマの不純物輸送シミュレーション研究は三次元流体コード EMC3 によって行われてきており、最近では高密度プラズマのフリクションフォースによる不純物の外部への吐き出し現象（不純物スクリーニング）の解析などが行われている。しかし、計算技術的制約から現在はダイバータレグが計算領域に含まれていないため、不純物ソースとレグにおける輸送が模擬的に扱われている。将来のコード拡張・結合を見据えてダイバータ部の不純物およびプラズマ壁相互作用に特化したシミュレーションとして ERO(erosion and redeposition)コードの導入を近年進めてきた。このコードは炭素やタングステンなどの不純物に対してプラズマが及ぼす力や電離などを計算しながら中性および荷電粒子として電磁場中を追跡するモンテカルロコードである。壁表面での損耗再堆積モデルを持ち、表面での不純物分布や空間中の不純物密度分布などを計算することができる。

LHD はトカマク装置と異なる非軸対称装置であるため、シミュレーションにあたって装置や磁場の三次元形状に即したモデリングが新たに必要となる。その出発点として、ダイバータプラズマ(レグと呼ばれる細いシート状領域)を一次元で模擬する 2 流体モデルを構築し、ダイバータ部の断面形状とともに ERO コードへの組み込みを行った。

解析の一例として 図 1 にダイバータ板由来の炭素の空間分布を示す。中性粒子は電磁場にかかわらずダイバータ板上のストライクポイントから直線的に広がり、プラズマ中へ進入すれば電子によって電離される。一方電離されたイオンは磁力線に巻きつき、ダイバータレグ上を運動する。イオンはプラズマとの衝突を介してプラズマ流速方向(ダイバータ板方向)にフリクションフォースを受け、壁近傍に比較的局在している。また、第一壁に到達する炭素に関する解析では、発生源には隣接ダイバータと対面ダイバータがあるが、ダイバータ板付近では隣接側の寄与が圧倒的に多いことが示された。対面側から来た炭素原子はダイバータレグのプラズマを通過しないと壁面に到達できず、その際に電離するために量が減っている。この傾向は化学スパッタで生じるメタンにより顕著で、プラズマが高温または高密度なほど強い。

講演では 流体方程式によるモデル化の詳細と第一壁への炭素再堆積機構の解析を中心に述べる。また最近取り掛かっているガスパフによる不純物輸送シミュレーションやコード拡張や結合などの将来計画の展望にも触れる予定である。

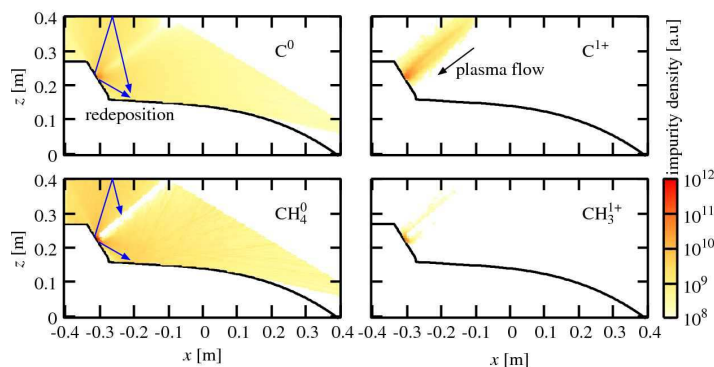


図 1: 炭素不純物の空間分布（対数スケール）。LHD 横長断面の内側ダイバータ部。ダイバータ板に対して垂直に切った断面を用いて奥行き方向には一様と仮定している。実際の装置断面形状はこれを上側に折り返した形状になっており、上下対称を模擬して計算している。