

炉心とSOL/ダイバータプラズマにおける不純物輸送の統合モデリング Integrated modeling of impurity transport in core and SOL/divertor plasmas

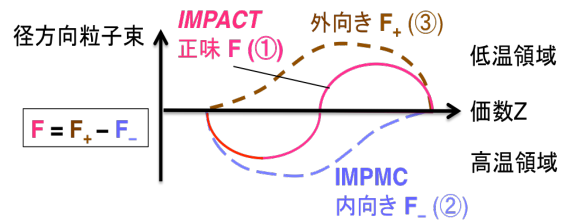
林 伸彦、清水勝宏、星野一生、本多充
N. Hayashi, K. Shimizu, K. Hoshino, M. Honda

原子力機構
JAEA

トカマクにおいてダイバータの熱負荷低減のために入射する不純物の炉心への蓄積とプラズマ性能への影響を矛盾なく評価するためには、従来別々に開発・計算されてきた炉心領域の不純物輸送コードとSOL/ダイバータ領域の不純物輸送コードとを結合する必要がある。本研究において、炉心の1次元流体コードと SOL/ダイバータの2次元モンテカルロコードとを結合するモデルを開発した。

これまでに、トカマクプラズマ全体を模擬する統合コードTOPICSにSOL/ダイバータの統合コードSONICを結合し、さらにTOPICSに炉心の1次元不純物流体コードIMPACTを結合してきた。SONICの特徴の1つは、その中の不純物部分の2次元コードIMPMCにモンテカルロ法を適用している点である。モンテカルロ法により、壁との相互作用や運動論的効果等の原理により近いモデリングが可能であり、他の統合コードにない優位性がある。しかし、炉心領域まで拡張するのは計算コストが高く困難で炉心のIMPACTに結合する必要があり、また、境界では炉心内部への片側だけの拡散粒子束しか評価できず正味の粒子束を扱う流体コードの境界条件に直接には使えない。そのため図1に示す結合モデルを開発した。拡散輸送だけを考えた場合、境界では、低温領域の低価数の不純物が高温領域へ流入し、高温領域の高価数のものが低温領域へ流入し、径方向粒子束の価数依存性は図1上部のものが想定される。結合の手順として、まず、①IMPMCの境界近くで不純物イオンの密度を価数毎に評価し、その密度をIMPACTの境界密度に設定しIMPACTを実行して、正味の径方向粒子束Fを評価する。次に、②IMPMCで評価した内向き粒子束F₋から、③外向き粒子束F₊を評価し、IMPACTに渡し実行する。以上の手順を繰り返して定常解を得るか、時間発展させる。このモデルの適用性を確認するために、不純物としてアルゴンを使い全領域で一定の異常輸送拡散係数のみを考慮した単純なケースで計算を行った。図2に、IMPACTで定常計算を行って得た境界(ρ=0.97に設定)での径方向粒子束の価数依存性を示す。IMPACTで得られた正味粒子束と不純物密度分布は、結合モデルを使わないでIMPMCを炉心領域まで拡張して得たものとほぼ一致し、結合モデルのIMPACT側の適用性を確

認した。次に、図2のIMPMCの内向き粒子束から得られた外向き粒子束に基づいてIMPMC側の境界でテスト粒子を発生させIMPMCの計算を行い、炉心領域まで拡張したIMPMCの結果と変わらないのを確認して、IMPMC側でも結合モデルの適用性を確認する。その後、より複雑なケースを解析する予定である。



- ① IMPMC の境界近くで評価した価数 Z 毎の不純物イオン密度を IMPACT の境界密度に設定し、IMPACT を実行して正味粒子束 F を評価
 - ② IMPMC で内向き粒子束 F₋ を評価
 - ③ 外向き粒子束 F₊ (= F + F₋) を評価し、IMPACT に渡し実行
- 繰返し or 時間発展

図1. 不純物イオンの径方向粒子束の価数 Z 依存性の概略(上)と、不純物輸送の流体コード IMPACT とモンテカルロコード IMPMC とを結合するモデルの手順の概要(下)

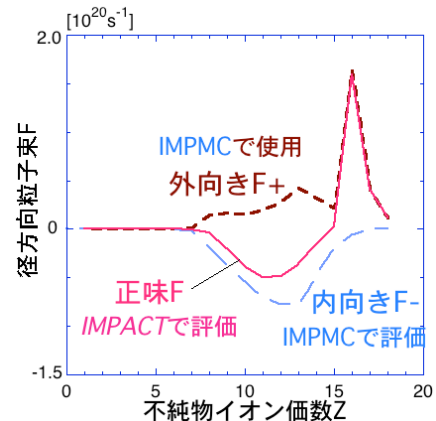


図2. 全領域で異常輸送拡散係数 $D_{an}=0.3\text{m}^2/\text{s}$ のみを考慮した場合の、境界 $\rho=0.97$ におけるアルゴンの径方向粒子束の価数 Z 依存性