

## 原型炉ダイバータシミュレーションとモデル・コード開発 DEMO Divertor Simulation and Code/Model Development

星野一生  
Kazuo HOSHINO

慶応大  
Keio Univ.

核融合原型炉設計における重要課題のひとつに、ダイバータにおける熱・粒子制御があげられる。閉じ込め領域から排出される膨大な熱を、ダイバータにおいて除熱可能なレベルまで低減させるため、希ガス不純物によりSOL・ダイバータ領域における放射冷却を促進させ、非接触ダイバータ運転を行うことが考えられている。現在、原型炉設計合同特別チームにおいて、統合ダイバータコードSONICを用いて、このような非接触ダイバータ運転による熱排出シナリオの検討が行われている[1]。

熱排出シナリオの検討には、非接触ダイバータ物理の理解と、それにもとづく信頼性の高い予測シミュレーションが重要である。しかし、現在のところ、非接触ダイバータの理解は十分とは言えず、実験で観測される非接触ダイバータの数値シミュレーションによる定量的な再現には至っていない。

そこで、原型炉研究開発共同研究を利用して、非接触ダイバータに関連する各種物理過程を中心にシミュレーション研究を進め、それらから得られた知見・モデルをSONICコードへと集約し、原型炉における非接触ダイバータの予測精度の向上を目指している。以下、最近の進展について、いくつかトピックスを報告する。

### ・SONICにおける中性粒子モデルの改良

原型炉では、ダイバータの中性粒子密度が高くなり、従来は考慮されていなかった中性粒子間の弾性衝突(NNC)や輻射再吸収が重要となる可能性がある。以前の共同研究において開発されたこれらのモデルを、最新のSONICコードに再実装し、現在検討が行われている原型炉概念JA-DEMOを対象にその影響を改めて評価した[2]。NNCではドーム裏のサブダイバータ領域の分子圧力が増加し、排気効率が若干向上したが、現在のダイバータ形状ではプラズマに対する影響はわずかであった。一方、後者については、輻射吸収による電離反応の促進により、プラズマの低温化が進み、ダイバータ近傍では非接触ダイバータが進行す

る結果が得られた。

### ・運動論的熱伝導モデルのSONICへの実装

原型炉では、SOLプラズマの衝突頻度が低く、プラズマの熱伝導は、古典的なSpitzer-Harm (SH) モデルに比べて低下すると考えられる。SONICコードなどでは、Flux Limiter モデルによる運動論的な補正を行っているが、パラメータによる調整にとどまっていた。そこで、低衝突頻度の高エネルギーイオンに起因する運動論効果を考慮できる非局所輸送モデル (LMVモデル) をSONICに試験的に実装し、初期的な評価を行った[3]。その結果、SOL上流の熱伝導流速がSHモデルに比べて最大90%減少する結果が得られた。実用に向け、境界条件、数値アルゴリズム改善等の課題解決に取り組んでいる。

### ・タングステン輸送モデルの整備

原型炉では非接触ダイバータ運転が基本となるため、ダイバータの損耗によるタングステンの発生量は少ないと考えられる。以前に、外側ダイバータの損耗解析が行われた。現在、大域的な輸送やプラズマへの異常拡散による影響を考慮した詳細な解析を進めている。同時にSONICコードとの結合を目指したインターフェイスの開発を進めており、タングステン発生による非接触プラズマへの影響の自己無撞着な解析を目指している。

これらの他にも、リサイクリングおよび原子分子過程の詳細化、PICコードによる運動論効果の検討、等を進めている。これらの知見を集約し、非接触ダイバータの理解、運転領域への影響評価、非接触ダイバータ制御に向けた計測方法の検討などを進めている。

- [1] N. Asakura, et al., Nucl. Fusion **61** (2021) 126057
- [2] K. Hoshino, et al., 19th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices, China, 2023.
- [3] 本間裕貴、他、本年会 27P20