

IFERC-CSC 大型計算機利用報告書(プロジェクト枠)

2023 年度

研究課題名	<i>Numerical Study of SOL/Divertor Plasmas</i>
上記の頭文字	<i>NSSDIV</i>

研究代表者 (PI):

研究代表者名	星野一生
--------	------

1. 成果の概要 (200字程度)

原型炉における非接触ダイバータプラズマの理解と予測精度の向上を目指したシミュレーション研究を進めている。近年提案された物理モデルを実装した最新版の SONIC を用いて、原型炉ダイバータの運転領域への影響を調べた。また、原型炉において分光計測により非接触ダイバータ状態が判断可能か初期的な解析を行い、非接触状態の違いによる不純物放射の線積分値の変化を調べた。さらに、炉壁の損耗解析向け IMPGYRO コードの改良を行い、初期解析を行った。

2. 成果の詳細 (図、表等を含めて A4 で 2~3 ページ程度)

ダイバータプラズマ特性の理解およびダイバータシミュレーションコード開発は、アクションプランでも取り上げられているとおり、原型炉設計研究において非常に重要な課題である。本プロジェクトでは、そのようなダイバータプラズマ特性の理解と原型炉設計研究で用いるダイバータコードの信頼性・予測精度の向上を目指し、シミュレーション研究を行っている。2023 年度は、主に、最新版の SONIC による原型炉非接触ダイバータの再評価と放射分布の解析、壁損耗解析について取り組んだ。以下、詳細を述べる。

これまで、日本の原型炉概念 JA-DEMO のダイバータプラズマについては、SONIC コードを中心として数値解析、設計研究が進められてきた。近年、原型炉で重要となると考えられる物理モデルについて提案・SONIC への実装が進められてきた。しかし、個別に、それぞれ別の原型炉ダイバータ条件でその影響が調べられたにとどまっており、全て考慮した解析や運転領域への影響については調べられていなかった。

そこで、輻射再吸収、中性粒子間弾性衝突、高精度な原子分子データ、運動論にもとづく不純物熱力モデルを導入した最新の SONIC により、運転領域の解析を行った。SOL 流入パワーを 250MW とし、不純物放射割合 (frad=不純物放射パワー/SOL 流入パワー) を変化させた場合の外側ダイバータの熱負荷について、上記 4 モデルの考慮の有無による変化を図 1 に示す。ここで、比較の為に SOL 密度を一定 ($2.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$) に保つようガスパフのフィードバックを行うモデルを新たに追加し、同じ SOL 密度条件下で比較を行った。今回の条件下では、いずれの放射パワーでも物理モデルを考慮することで熱負荷は大きく増加した。主な要因として、不純物熱力モデルの改良により SOL に滞留していた不純物がダイバータ領域へと移動し、不純物放射による低温化領域が狭くなったことが原因と考えられる。一方、元々非接触が十分進んでいた内側ダイバータについて熱負荷は下がる結果となった。

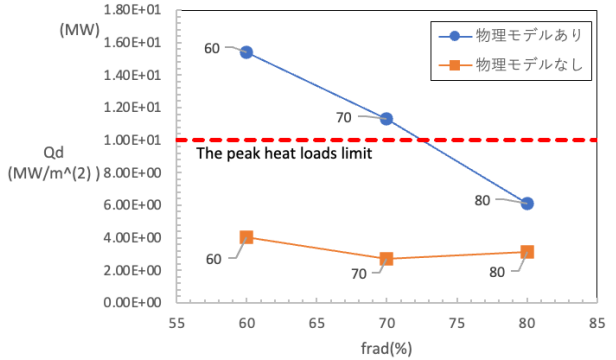


図 1 不純物放射割合 frad に対する新旧モデルによる外側ダイバータ熱負荷の比較

また、原型炉では計測機器・方法に制限があり、限られた計測情報で非接触ダイバータを維持制御しなければならない。現状では、現状ではダイバータ下部からの分光計測が有望であるが、非接触ダイバータプラズマの状態を十分に判断できるか明らかではない。そこで、上記で得られた結果をもとに、ダイバータカセット下部からの分光計測を想定し、放射分布を比較した。SOL への排出パワーに対する不純物放射パワーの割合 frad をパラメータとし、frad=0.8 と 0.85 の結果の比較を図 2 に示す。Frad=0.85 では 0.8 に比べて非接触領域 (電子温度 < 2eV) が広がっているが、ダイバータカセット下部から外側ダイバータを見込む 7 つの視線でみた放射パワー分布により、その違いが判別できている。

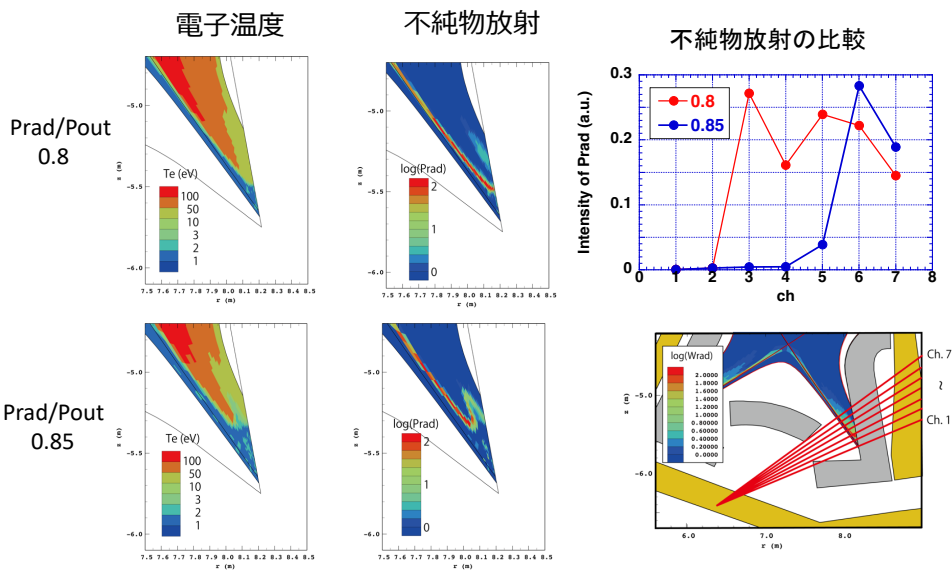


図 2 外側ダイバータ部の電子温度・放射分布と、線積分値の比較

今後、様々なパラメータで運転領域の解析を継続するとともに、分光計測による非接触ダイバータ状態の判断およびその制御方法について検討を進める。

壁損耗解析を行うために、IMPGYRO コードの改良を行った。先行研究 (Y.Homma, et al, Nucl. Mater. Eng. 12(2017)323) を発展させ、異常拡散、大域的輸送、第一壁の損耗評価モジュールを導入した。また、SONIC で計算された背景プラズマ分布を直接利用するためのインターフェイスを実装した。初期解析結果として、第一壁 (今回の解析は SOL 端を壁として解析している) における損耗堆積分布を図 3 に示す。外側ダイバータで損耗により発生したタングステンのは大半は SOL 上流へと輸送され、その後壁へ堆積している。外側赤道面および内側赤道面上部に多くの堆積が見られる。損耗堆積の正味としては堆積となっており、外側ダイバータから発生したタングステンがダイバータへ戻らず、第一壁 (SOL 端) に堆積する結果が得られた。今後、幅広いパラメータ条件で損耗解析を進めていく。

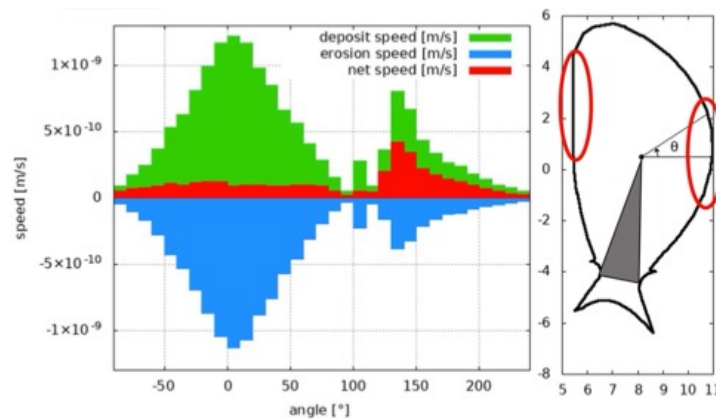


図 3 SOL 端における損耗堆積分布の初期解析結果

3. 研究のキーワード

1.原型炉	2.ダイバータ	3 非接触	4. 損耗解析	5.
-------	---------	-------	---------	----