

論文審査の結果の要旨

氏名 東郷 訓

本論文は「Simulation study of scrape-off-layer plasmas by a virtual divertor model incorporating ion temperature anisotropy (非等方イオン温度に基づいた仮想ダイバータモデルによるスクレイプオフ層プラズマのシミュレーション研究)」と題し、6章から成っている。

第1章では序論として本研究の背景と位置付けを説明している。まずトカマク型核融合炉のダイバータの役割を振り返り、そこにかかる熱負荷が問題となっている点、その解決に向けて非接触プラズマの研究が進められている点を説明している。次に本研究で取り扱ったシミュレーション研究の現状と手法、シミュレーションと実験の比較や課題について述べられている。最後に本研究で非等方イオン温度と仮想ダイバータ(VD)モデルを導入することの動機について述べ、本論文の構成を説明している。

第2章ではプラズマの流体モデルとVDモデルについて説明している。本研究で用いるプラズマ流体モデルは従来から使用されてきたBraginskiiの流体モデルと異なり、イオン温度が磁力線平行方向と垂直方向で異なることを前提として定式化されている。これにより運動量輸送方程式が二階微分から一階微分へと変わるので、マッハ数に関する境界条件を陽に必要としないモデルとなることを、Braginskiiの流体モデルとの等価性を絡めて説明している。次に境界条件の代わりにダイバータ板とシースの効果を模擬するために導入したVDモデルの概念と定式化について説明している。これは境界の奥に設けた人工的な領域に滝を再現する要領でプラズマの粒子、運動量、エネルギーの人工的なシンク項を置くものである。差分法と行列方程式の解法についても説明している。

第3章ではVDモデルの妥当性の検証結果について説明している。まず境界でのマッハ数が1になる計算条件を用いてコードの収束性を調べている。またVD領域のエネルギーシンクの調整により、熱流束の境界条件を司るシース熱伝達係数が、シース理論から導かれる値に制御できることを示している。次にイオン温度非等方性と衝突周波数の関係や超音速流の傾向が粒子コードからの結果と定量的によく一致することや、粘性流束と近似前の応力テンソルを直接比較して近似の妥当性を検証した結果が示されている。

第4章ではスクレイプオフ層(SOL)およびダイバータプラズマで重要な役割を担っている中性粒子の流体モデルについて述べている。本研究では中性粒子を二群に分けて取り扱っているが、そのいずれもVDモデルと適合する定式化がなされており、ダイバータ板での粒子のリサイクリングはVD領域での人工シンク・ソースによって代えられている。拡散モデルで記述される中性粒子は人工シンクの大きさを調整することで境界条件を再現できることが示されている。次に中性粒子モデルを含めた結果として、中性粒子の存在によりイオン温度非等方性の緩和が促進されることなどを紹介している。最

後に熱流束の低減において重要な不純物モデルの説明をしている。

第 5 章では非接触プラズマのシミュレーションについて述べている。非接触プラズマの特徴である粒子束の低減の原因として体積再結合反応と径方向プラズマ拡散が考えられるが、まず体積再結合反応のみによる非接触プラズマの再現を行い、次に径方向プラズマ拡散の効果を加味している。これにより径方向プラズマ拡散の効果によって、ダイバータ板近傍の圧力が落ちきる前に粒子束の低減が始まるという、より実験に近い結果が再現されたことを示している。

第 6 章ではまとめを述べた後、今後の課題としてミラー効果やプラズマ電流の導入、非定常シミュレーションに向けた境界条件の制御と非等間隔メッシュの導入の必要性について述べている。

以上を要するに、本論文では SOL-ダイバータプラズマに対して非等方イオン温度を導入した流体モデルを初めて適用しており、それに伴う境界条件の取り扱いの問題の解決のため仮想ダイバータ(VD)モデルを新たに開発・実装している。また粒子コードの結果や、非接触プラズマに関する実験結果との比較などを通して、非等方イオン温度を導入する重要性和 VD モデルの妥当性を主張している。以上のことから、本論文は先端エネルギー工学、特に核融合プラズマ工学の発展に貢献するところが大きい。

本論文の第 2 章から第 5 章は滝塚知典氏、中村誠氏、星野一生氏、伊庭野健造氏、Lang Tee Long 氏、小川雄一氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となってコード開発、モデルの妥当性検証、数値解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(科学)の学位を授与できると認める。

以上 1974 字