

審査の結果の要旨

氏名 牛木 知彦

本論文は「Verification and application of electron energization process during spherical tokamak merging start-up (球状トカマク合体立ち上げにおける電子エネルギー付与過程の検証と応用)」と題し、磁場閉じ込め核融合配位の一つである球状トカマクプラズマを形成する手段の一つであるプラズマ合体法において高電子温度を達成するために、軟 X 線分布計測により合体中の電子加速機構を検証し、さらに合体法に適用可能な非接触プラズマ形状推定手法の開発を行ったものである。

本論文は 8 章からなり、第 1 章は「Introduction (序論)」として、核融合プラズマ開発における球状トカマク方式の利点および欠点を説明した上で、通常のトカマク方式で一般的に利用されてきた中心ソレノイドコイルに代わるプラズマ形成手法が必要であることが述べられている。本論文はプラズマ合体法を採用することとし、先行研究の調査結果が記されている。

第 2 章は「Magnetic reconnection」と題し、合体法における重要な素過程である磁気リコネクションについて、電磁流体モデルに基づいた説明の後に、二流体効果、さらには本論文で重要となるガイド磁場の効果について先行研究を踏まえて記述している。特に、英国 MAST 装置において実施された合体法による球状トカマク形成実験において測定された電子温度分布について、従来の流体的な解釈が困難であることを述べている。

第 3 章は「Objectives of this thesis」であり、合体法に伴い発生する高ガイド磁場下の磁気リコネクションにおける磁力線方向電子加速の検証、ならびに、合体法において顕著な電子加熱をもたらすために必要となる非接触プラズマ形状推定手法の開発が目的として挙げられている。

つづく第 4 章では「UTST device」として、本論文で用いている実験装置の概要が説明されている。特に、通常用いられている挿入型磁気プローブアレイが、球状トカマクプラズマの電子温度上昇を妨げていることが実験結果に基づき示されている。

第 5 章は「Soft X-ray measurement system」と題し、本論文において用いられた軟 X 線単一視線計測および新たにマイクロチャンネルプレートを用いて開発された軟 X 線高速イメージング装置が詳述されている。

第 6 章は「Verification of electron acceleration mechanism during spherical tokamak merging」として、単一視線観測において軟 X 線発光量が電子加速に寄与する実効電場に対して正の相関を有していることを確認したのちに、イメージング計測によ

って軟 X 線発光がリコネクション点付近に局在していることを発見した。また、水平視線において得られた二次元画像を解析することにより、軟 X 線発光分布の時間発展を得ることに成功した。合体中期にはリコネクションセパトリクスに沿った領域でのみ軟 X 線発光が観測されたのに対し、合体初期には面内電場が形成されていないことにより、リコネクション下流側の広範な領域において高エネルギー電子が生成されていることを見出した。

第 7 章は「Development of plasma shape reconstruction during spherical tokamak merging」と題し、真空容器に流れる渦電流の寄与が大きい合体法に適用するプラズマ形状再構成手法として修正コーシー条件面法を用い、合体途中の非平衡状態のプラズマにおいても良好な再構成精度が得られることが示された。

第 8 章は「Conclusion」であり、本論文で得られた結論をまとめている。

なお、本論文第 6 章の一部は、井通暁、小口治久、山崎広太郎、郭学瀚、菅原拓路、松山啓太、山田琢磨との共同研究であり、第 7 章の一部は井通暁、板垣正文との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験装置の構築、実験遂行および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上を要するに、球状トカマクプラズマの合体生成において発生する高ガイド磁場下の磁気リコネクションによって電子が磁力線方向に加速されており、その空間分布は面内電場の形成に強く影響を受けることが示された。さらに、合体過程で得られた高エネルギー電子を加熱に活用するために必須となる非接触プラズマ形状推定法を開発し、合体法における有用性が示された。これらの成果はプラズマ理工学、核融合工学への貢献が少なくない。

したがって博士（科学）の学位を授与できると認める。