

論文審査の結果の要旨

氏名 田辺 博士

本論文は「イオンドップラートモグラフィーを用いた高ベータ球状トカマク合体生成機構の解明」と題し、トーラスプラズマ合体法を用いた高温・高ベータ球状トカマク生成機構に焦点を当て、コンピュータトモグラフィの手法をドップラー計測に融合することより2次元イオン温度画像診断を実現し、合体・磁気リコネクションのプラズマ加熱メカニズムを明らかにした。

第1章「序論」では核融合開発におけるトーラスプラズマ合体加熱の役割と原理を紹介し、その基礎となる磁気リコネクション現象がイオンと電子を異なった機構で加熱するとされるこれまでの研究が紹介され、結論を得るには如何なるプラズマ計測が必要となるかを述べた。

第2章「実験装置概要」ではプラズマ合体実験装置TS-3について、今後のTSプロジェクトでは磁気リコネクション現象によるイオン加熱と電子加熱機構の解明、特に局所2次元のイオン温度空間分布計測が必要になる点を述べている。

第3章「局所イオン温度・流速分布の再構成原理」では、本研究の独創的な計測であるイオンドップラー計測にトモグラフィーを組み合わせることを提案し、計測システム開発の詳細を述べた。プラズマが発光するライン光のドップラー幅を、TS-3, TS-4装置の中心対称面上の多数のコードを用いて計測し、トモグラフィーによって局所の発光スペクトルを再構成し、局所2次元のイオン温度を計測する原理を述べた。

第4章「計算機実験による再構成シミュレーション」では、提案する2次元ドップラー計測において、仮定したライン光を視線積分した多数の信号をトモグラフィーソフトによって再構成し、元のイオン温度を再構成出来るかについて検証を行った。アーベル変換法を適用した2次元軸対称のイオン温度分布の再構成法に加えて、視線ベクトルと流速ベクトルの関係を考慮したベクトルトモグラフィーを用いた新しいプラズマ流速計測法を開発した。

第5章「2次元イオンドップラー分光計測システム」では4章で開発したトモグラフィー再構成ソフトを運用するため、TS-3, TS-4球状トカマク実験装置で開発した2次元イオンドップラー分光計測システムについて解説し、同システムの有効性を実験的に検証した。

第6章「磁気リコネクションのプラズマ加熱機構の検証」では、開発した2次元計測を用いて磁気リコネクションのイオン加熱を解明している。アウトフローの熱化によってリコネクション下流域でイオン加熱が発生し、主に同一磁気面上を伝播しながら全体に緩和することを明らかにした。その加熱パワーは概ね流速から見積もられたファーストショック・粘性加熱効果に一致する。加熱効果は再結合する再結合磁場強度の二乗に比例して増大し、リコネクション平面に直行するガイド磁場の効果は比較的小さく、ほぼリコネクション磁場のみによるスケーリング直線にのせることが可能であることを明らかにした。

第7章「MAST装置を用いた大型プラズマ合体実験」では、プラズマ合体加熱法と開発したイオンドップラートモグラフィーシステムが世界最大の球状トカマク実験装置MASTに採用されたことから、本人の長期派遣により1年間の準備と同実験を行った結果、合体加熱法によってわずか10ミリ秒

程度時間でイオン温度 1.2keV, 電子温度 1keV までの加熱を達成したことを述べ, 核融合プラズマ加熱法としての合体加熱法の有用性を明らかにした. 物理的には, イオンのアウトフロー加熱と X 点近傍におけるシート電流による電子加熱, さらに下流領域のイオン加熱が電子・イオン緩和によるリング状の高電子温度領域を形成することを見出した.

第 8 章では「結論」である.

以上要するに, 本研究では, 視線積分された従来型のイオンドップラー計測にコンピュータトモグラフィの手法を組み合わせた新しい 2 次元局所イオン温度計測法を開発し, 球状トカマク実験 TS-3, TS-4 に加え, 世界最大の装置 MAST を用いてトーラスプラズマ合体法による球状トカマク急速加熱・高ベータ化実験の物理機構を解明した. その結果, その加熱メカニズムが磁気リコネクションを介したイオンのアウトフロー加熱と電子のオーム加熱であることを明らかにし, トーラスプラズマ合体の核融合プラズマ加熱法としての有用性を実証して, その応用に目処をつけた. 本研究のイオン温度計測手法は既に英国 MAST 装置を初め大型装置に取り入れられ, リコネクション加熱の物理機構解明と核融合炉への応用開拓に対する内外の評価は高く, 先端エネルギー工学, 特にプラズマ工学, 核融合工学に貢献するところが少なくない. よって本論文は博士 (科学) の学位請求論文として合格と認められる.

以上、1917 字