

## 審査の結果の要旨

氏名 林 由記

本論文は「非定常効果による磁気リコネクションの高速化機構の実験的検証」と題し、東京大学で考案されたプラズマ合体法を用いて磁気中性点を形成し、磁気リコネクション現象の非定常効果をはじめて実験的に明らかにした。同現象は居所現象でありながら、宇宙プラズマから核融合プラズマまですべての磁場配位の構造変化を決める基礎現象である。その挙動はSweet-Parkerモデルを初めとする定常モデルで記載されてきたが、太陽や磁気圏、核融合プラズマの磁気リコネクションはダイナミックに変化しており、実験的にも理論的にも非定常リコネクションの解明は必要性・新規性が高い。

**第1章** は、「序論」であり、研究の背景となった磁気リコネクション研究の歴史を解説している。太陽コロナ、地球磁気圏プラズマを中心とする宇宙プラズマにおける磁気リコネクション現象の重要性を述べた後、核融合プラズマを急速加熱する反面、熱エネルギーの損失を引き起こして善玉にも悪玉にもなる同現象が全ての磁気プラズマの構造形成と加熱の解明に必要不可欠であり、定常性を暗黙に仮定した従来の磁気リコネクションの解釈を現実に合わせて非定常に拡張することが現象解明の飛躍につながることを述べている。

**第2章** は、「実験概要」と題し、トーラスプラズマ合体実験TS-4実験装置の詳細が述べられており、トーラスプラズマ合体法による磁気リコネクション実験手法をまとめるとともに、現状解明の鍵となる2次元計測として、磁気プローブ計測、イオンドップラー・トモグラフィー計測、CO<sub>2</sub>レーザ干渉計測、静電プローブ計測による、それぞれ磁界、イオン温度、電子密度、電子温度の計測について述べている。

**第3章** は、「トーラスプラズマ合体(プッシュモード)を用いた磁気リコネクション実験」と題し、真空容器内コイルによって2つのトーラスプラズマを生成して合体させて、プライベート磁束からコモン磁束への磁気リコネクションを発生させ、外部からのインフローの駆動およびガイド(トロイダル磁場)の加減がリコネクション速度へ与える影響を2次元計測によって明らかにしている。その結果、インフローが大きいと電流シート付近にパイルアップが発生して、リコネクション速度が高速化すること、さらにインフローを大きくするとパイルアップしたプラズマが電流シート外へ放出される電流シート(プラズモイド)放出現象が発生してリコネクションが間欠的に高速化される非定常効果が明らかにした。さらにリコネクション高速化はアウトフロー速度の増加を通じてプラズマ急速加熱につながることを証明した。最終的にこのアイデアを世界最大規模の英国MAST実験に適用し、それぞれ1.2keV、0.8keVに達する大きなイオン加熱、電子加熱を得ることに成功した。

**第4章** は、「トーラスプラズマ分離(プルモード)を用いた磁気リコネクション実験」と題し、TS-4実験装置で形成した合体途中の2個のトーラスプラズマを再び分離し、コモン磁束からプライベート磁束に変換する磁気リコネクションを検証した。長い電流シートを形成できる利点を生かした結果、高インフローでは閉じた

磁力線を持つプラズモイドが生成され、それが放出される際にリコネクションが高速化し、その高速化のタイミングはプラズモイドの加速度が最大になった時点であることを見出した。

**第5章** は、「**太陽模擬実験**」と題し、太陽コロナおよび彩層ライトブリッジを室内実験で模擬することに成功し、前者でリコネクションの非定常効果と区別すべきプラズマの平衡遷移現象が発生すること、後者では観測と一致するリコネクションジェットが発生することを明らかにし、合体実験を用いた実験室天文学の先駆けとなった。

**第6章** は、「**結論**」であり、トーラスプラズマの合体と分離を用いた2つの実験を有機的に結合して明らかにした非定常リコネクションの物理と核融合プラズマ加熱および実験室天文学への応用をまとめている。

以上要するに、本研究は、磁気リコネクションの解釈を定常から非定常に拡張する実験研究をはじめて行い、トーラスプラズマの合体と分離を用いて同現象の高速化を担う2つの非定常効果、即ち、電流シートにおけるプラズマパイルアップ効果、プラズモイドの放出効果を初めて見出し、さらにそれらを応用して、世界最大規模の英国MAST装置で磁気リコネクション急速加熱実験に成功するとともに、太陽コロナ・彩層の非定常磁気リコネクションを室内実験で模擬して実験室天文学の先駆けとなった研究であり、プラズマ理工学、核融合工学、天文学、電気電子工学への貢献は大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。