

論文審査の結果の要旨

氏名：皆川 裕 貴

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：光渦を用いた新規ドップラー分光法に関する研究

審査委員：（主査） 教授 荒巻 光利

（副査） 教授 飯田 和昌

教授 石澤 淳

核融合科学研究所准教授 吉村 信次

プラズマは、材料生成、半導体プロセス等の様々な分野で現代の豊かな生活を支えている。また、次世代のエネルギー源としてフュージョンエネルギーの開発が活発に進められている。これらのプラズマの高度利用において、プラズマ中の粒子の速度分布を知ることは非常に重要である。波長可変レーザーを用いてプラズマ中の粒子のドップラースペクトルを観測するレーザードップラー分光法は、非接触・非破壊で速度分布関数の情報を得られるプラズマ診断法である。波長可変ダイオードレーザー吸収分光法(Tunable diode laser absorption spectroscopy: TDLAS)に代表されるドップラー分光法は、縦ドップラー効果を利用して、プラズマ中の粒子の速度分布を測定している。しかし、縦ドップラー効果は励起レーザーの波数ベクトルと測定対象の速度ベクトルの内積で与えられるため、通常の励起レーザーでは、光の伝播方向の速度成分しか測定できない。

本研究では、ドップラー分光法で測定可能な自由度を拡張するため、励起レーザーとしてらせん状の波面を持つ光渦を用いた光渦レーザー吸収分光法 (Optical vortex laser absorption spectroscopy: OVLAS)を開発している。これにより、従来は測定が不可能であったレーザーを横切る方向の速度を測定できる新たなドップラー分光法を確立している。さらに、光渦レーザー吸収分光法の高速度化についても検討が行われている。

本論文は、全7章から構成されており、以下に各章ごとの要旨を述べる。

第1章では序論として、レーザードップラー分光法の測定自由度の制限について示し、これを克服するために開発した光渦レーザー吸収分光法の概要を述べるとともに、本研究の目的を示している。

第2章では、光渦を用いたレーザードップラー分光法で観測される吸収スペクトルを理論的に導出するとともに、各パラメータに対する依存性が検討されている。

第3章では、角スペクトル法を用いたLGビームの解析プログラムを開発している。さらに、開発したプログラムを用いて、実際の実験条件でプラズマ中を伝搬する光渦を解析し、光渦ドップラー分光法の精度について明らかにしている。また、プラズマの流れに対して垂直方向から光渦ビームを入射した場合、非等方な吸収率の空間分布が生じることとそれが測定に与える影響について示されている。

第4章では、光渦分光に用いる高品質な高次ラゲール・ガウシアンビーム光源の開発について述べられている。

第5章では、光渦分光で必要となる高精度なレーザー周波数の校正システムなど測定系の詳細とそれを用いた横方向流速測定の原理実証実験の結果が述べられている。

第6章では、光渦レーザー吸収分光法の撮像素子を4分割ダイオードに変更することによる時間分解能の向上および測定に必要な計算資源の削減について理論的に検討するとともに、原理実証実験の結果が述べられている。

第7章では、本研究で得られた知見を総括し、今後の研究課題が指摘されている。

この成果は、生産工学、特に電気電子工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以上

令和 6 年 3 月 7 日