

論文審査の結果の要旨

氏名 住川 隆

本論文は「レーザの飛行時間差と往復反射を用いたトムソン散乱計測システムの開発」と題し、レーザ光の飛行時間差と往復反射を用いた2次元トムソン散乱計測法の原理実証を2段階に分けて行った。トムソン散乱とはプラズマ中の荷電粒子が入射電磁波（レーザ）を散乱させる現象であり、現在最も信頼できるプラズマ電子温度・密度計測手法として核融合プラズマ研究に重要な役割を果たしている。

第1章では核融合開発におけるトムソン散乱計測の役割と原理その多点計測技術の進展を紹介し、従来の1次元分布計測装置を横に並べた数点かつ高コストな2次元計測例しかないので、本研究では低コスト2次元トムソン計測システムの提案・開発を目指すという研究目的を述べた。

第2章ではプラズマ合体実験装置 TS-4 について、今後の TS-4 プロジェクトでは1. 磁気再結合現象による電子加熱機構の解明、2. 球状トカマク (ST) のプラズマ圧力分布計測などでトムソン散乱の2次元空間分布計測が必要になる点を述べている。

第3章ではトムソン散乱現象の原理、トムソン散乱の全散乱断面積とトムソン散乱光スペクトルの導出について説明した。

第4章ではまず本研究の独創的な点である1. レーザ光の飛行時間差 (TOF) と2. 往復回反射を利用したトムソン散乱計測法を提案し、次に原理実証のための計測システムの詳細を述べた。プラズマ背景光の影響が少ない Nd:YAG レーザの基本波を用い、TS-4 装置の中心導体に沿う軸方向3点をレーザ光の TOF と往復反射を用いて計測し、50ns 分のレーザ光飛行時間差を稼ぐため、15m 以上のビーム経路長を第1, 2計測点間、第2, 3計測点間に設けた。トムソン散乱光が微弱であるため。集光レンズは JT-60U 装置並の大立体角 19.4msr を確保した。光ファイバー束は3計測点（将来的には5点に拡張）からの散乱光を1つのポリクロメーター（分光装置）に入射するため集光レンズ側は5本、ポリクロメーター側は1本に束ねられた5分岐光ファイバーバンドルを製作し、ポリクロメーターでは、種類の干渉フィルターにより散乱光を分光し、アバランシェ・フォトダイオード (APD) により検出している。

第5章ではレーザ光の TOF と往復反射を用いたトムソン散乱計測の原理実証を1. レーザ光の TOF と往復反射利用の実証、2. 本計測システムを用いたトムソン散乱計測の実証の2つに分けて行った。1. は3計測点からのラマン/レイリー散乱光信号が設計通り 50ns の時間間隔を持って計測されたことにより実証し、2. は2つの波長チャンネルにおいてトムソン散乱光を計測することにより実証した。2つの結果を合わせると、最終的にレーザ光の TOF と往復反射を用いたトムソン散乱計測が可能であることが実証されたと言える。

第6章では電子温度・密度の算出手法について解析し、計測システムの透過効率の絶対較正が必要であるため空気によるラマン散乱光の圧力依存性の計測を事前に行った。この手法により ST プラズマの磁気軸付近の計測点において電子温度 27[eV]、電子密度 $5.6 \times 10^{19} [\text{m}^{-3}]$ が算出された。

第7章ではレーザ光の TOF と往復回反射を用いた3計測点におけるトムソン散乱計測を行った。3計測点の電子温度が同時に1台の分光装置で計測され、半径 529[mm] の1次元電子温度分布が得られた。本研究の1次元空間分布計測システムを並べることによりレーザ装置を増やすことなく2次元トムソン散乱計測を行うことができるので、トムソン散乱計測の空間2次元化は1台のレーザ装置で、少ない台数の分光装置で実現可能であると結論づけた。

第8章では本計測システムの他装置への適用を考え本システムの工学的限界について検討を行った。

工学的限界を決定する要因を考え、光ファイバー束の太径化が工学的限界に影響を与えるが、より大型の受光面を持つ APD 素子が開発されることで緩和されることを述べた。以上の考察から提案した Nd:YAG レーザビームがプラズマ中を5度通過する計測システムは現時点においても他の大型装置に適用が十分に可能であることが判明した。

以上要するに、トムソン散乱計測を経済的に空間2次元に拡張する方法としてレーザー光の飛行時間差と往復回反射を利用した2次元化手法をはじめて提案し、原理実証を成功させたことは、プラズマ計測分野において先駆的成果といえ、今後の大型装置への適用が期待される。大型装置のトムソン散乱計測システムの多くは1次元の多点計測であるので本研究が提案する計測手法を取り入れることにより低コストで計測の2次元化を実現する可能性が大きく、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多い。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。