

# 論文審査の結果の要旨

氏名 伊藤慎悟

本論文は「高 $\beta$ プラズマ加熱検証のための二次元電子温度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「序論」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複数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「実験装置概要」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「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概要」では、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。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、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。光ファイバー束は3計測点(将来的は5点)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4章「飛行時間差及び往復時間差を用いた二次元トムソン散乱計測」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行った。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、2つの波長チャンネルにおいてトムソン散乱光を計測した。最終的にSTプラズマの磁気軸付近の3x3の計測点において電子温度15[eV]、電子密度 $5 \times 10^{19}[\text{m}^{-3}]$ 程度の2次元分布を計測した。また、2次元トムソン散乱計測を、1) 合体加熱中のSTプラズマ、2) センターソレノイドコイルでオーム加熱中のSTプラズマに適用し、前者では電流シートにピークした2次元電子温度分布、後者では一様に加熱された2次元電子温度分布を観測し、理論に合致する旨を述べている。

第5章「連続合体法を用いた球状トカマク合体」ではTS-4球状トカマク実験装置に軸上の両端に小型ポロイダル(PF)コイルを設置し、その電流を連続的に振動させることにより、間欠的にSTを生成し、間欠的に電流駆動、加熱を行う新アイデアを検証した。PFコイル電流を振動させると、シャフランフの平衡を満たす極性の時だけ、STが生成される(自然の整流作用)ことを見出した。電源容量で決定される2回のST生成、合体に成功した。合体による連続的な電子加熱にめどをつけたものの、電源容量の上限から連続合体による電子加熱を実証するには至らなかった。

第6章では「結論」では、YAGレーザビームがプラズマ中を3度通過する3x3計測システムにより、提案した2次元トムソン散乱計測の有効性を実証し、現時点においても他の大型装置に適用が十

分に適用可能であることを述べると共に、合体による電流シートにピークした加熱とセンターソレノイドコイルによる一様な加熱を2次元計測によって明らかにした。また、PFコイル電流を振動させるだけでプラズマの自然の整流作用により、STが間欠的・連続的に生成・合体でき、電流駆動とプラズマ加熱の両面から有望であることを結論した。

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次元トムソン散乱計測手法、合体加熱・電流駆動を定常化する方法として連続合体を提案・実証したことは、核融合プラズマ分野において先駆的成果といえ、今後、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。

以上、1946字