

# 論文審査の結果の要旨

氏名 角田 英俊

球状トカマクは磁場閉じ込め型核融合炉トカマクの派生形であり、通常のトカマクに比べて弱い磁場で効率的にプラズマを閉じ込められるのが特徴である。プラズマを定常的に加熱するには高周波を用いてプラズマ電流を駆動する方法が有望であり、いくつかの高周波の中でもプラズマ放電の初期段階で高い駆動効率を示す低域混成波(LHW)が有力な候補となる。しかし球状トカマクでのLHWによる電流駆動は開発が始められたばかりで現在の駆動効率は低く、さらなる改良が必要である。改良のためにはLHWの強度や波数を直接計測することでLHWがプラズマ中をどのように伝播するかを把握し、電流駆動の物理機構の理解を深めることが重要となる。

そこで本研究ではTST-2球状トカマク装置においてLHWによる電流駆動を行い波数の計測を行った。LHWは主にプラズマの静電ポテンシャルの振動として現れるため、その波動を直接計測するために静電プローブを採用し、高精度の計測を実現するため高抵抗を内蔵したプローブを新たに製作した。球状トカマク内部でアンテナから高周波を放射し、離れた点のプローブで波数計測を行い、LHWのプラズマ中の伝播について物理的考察を行った。

まず第1章で研究の背景と目的を述べ、第2章と第3章でプラズマを伝播する波動と静電プローブの原理について記し、第4章で本研究で用いたTST-2球状トカマク装置と高周波システムについて説明した。

第5章と第6章では高抵抗内蔵型の静電プローブの理論と製作について記述した。この静電プローブは電極直後に高抵抗を配置し、高周波に対しても高いインピーダンスを持ち、より正確にプラズマ電位を計測できる。製作された計測装置は高抵抗内蔵型静電プローブ3つと従来の静電プローブ、磁気プローブから構成され、装置の角度を90度ずつ回転させることにより計測の再現性を検証することができる。第7章では同軸管を用いて電磁波に対するプローブの感度試験を行い、静電プローブと磁気プローブの信号振幅比をあらかじめ求めた。

そして第8章で球状トカマク装置におけるLHWの波数計測の方法と結果について記述した。球状トカマク装置内部でアンテナと比べてトロイダル方向に120度離れた位置にプローブを設置した。まずプラズマを入れない真空状態で放電を行い、アンテナから放出された200MHzの高周波の波数を直接計測し、ピークの位置が $40\text{m}^{-1}$ となる波数スペクトルを得た。次にプラズマを注入して放電を行い計測を行った。5種類のプローブ角度で各3回のプラズマ放電を行い、いずれもアンテナから放出された高周波と矛盾のない向きの波数が計測され、波数の平均値 $20\text{m}^{-1}$ が得られた。本実験の条件ではプローブで検出される波動の候補と

して、プラズマ中を伝播するLHWと速波、プラズマ周辺の真空を伝わる電磁波の3種類の可能性がある。計測された静電プローブと磁気プローブの信号振幅の比較により速波と電磁波の可能性は否定され、LHWが計測されたことが示された。

第9章では計測結果に対する議論を行った。アンテナからピーク波数 $40\text{m}^{-1}$ の高周波が放出されているのに、プローブで計測されたLHWの波数は $20\text{m}^{-1}$ となった原因について物理的に考察し、特にLHWがアンテナからプローブまでに達する間の波動エネルギーの減衰の評価を行った。アンテナからの高周波によって電子が一方向に加速されることを考慮し、電子の速度分布関数として非対称な非マックスウェル分布を仮定すると、 $40\text{m}^{-1}$ 近くの波数成分が大きく減衰される一方、 $20\text{m}^{-1}$ 以下の波数成分は減衰されず、計測された波数スペクトルを矛盾なく説明できることを示した。第10章では結論と今後の研究の方針がまとめられた。

以上本論文では高抵抗内蔵型の静電プローブを用いて球状トカマクのLHWの波数を計測し、LHWの伝播の物理、特にプラズマ中を伝播する波動エネルギーの減衰について考察を行った。球状トカマクにおいて静電プローブを用いてLHWの波数を計測したのは本研究が初めてであり、効率的なプラズマ電流駆動の開発に対して有用である。これらの成果は球状トカマクによる核融合炉の開発に役に立ちプラズマ物理学の進展に貢献するものである。

なお、本論文の主要部分は高瀬雄一、他17名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計測と解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。