

論文審査の結果の要旨

氏名 新屋 貴浩

本論文は7章からなり、第1章には核融合、球状トカマク、非誘導電流駆動の紹介および論文の目的、第2章には低域混成波 (LHW) についての説明、第3章には本研究で用いた TST-2 装置および高周波装置についての説明、第4章には本研究で用いた静電結合型コムライン (CCC) アンテナの開発について述べられている。CCC アンテナを使ったプラズマ電流立ち上げ実験については第5章、結果についての議論は第6章、結論は第7章に述べられている。

本論文では、球状トカマク型核融合発電炉の実現に必要な、非誘導法によるプラズマ電流立ち上げ法の開発を LHW を用いて行った。これまで同装置で行われてきた実験では LHW の励起が効率よく行われていなかった。このため、TST-2 実験用に最適化された、新概念に基づく CCC アンテナを開発した。その結果、低い反射率、高い LHW 励起効率、シャープな波数スペクトル、高い伝搬方向性をもつアンテナが実現された。TST-2 における CCC アンテナを用いた実験の結果、LHW 励起効率が高すぎるため、アンテナを構成する 13 エレメントのうち、最初の数エレメントしか有効に使われていないことが明らかとなった。アンテナからプラズマへの結合を弱めるため、アンテナの両側に設置したリミターの位置を調節した。その結果、良好な波数スペクトルをもつ LHW の励起が RF 磁気プローブアレイを用いた測定より確認された。電流駆動効率は、別のアンテナを用いた以前の実験と比べ 2-3 倍高い値が実現され、これまで最高の約 20 kA までのプラズマ電流立ち上げに成功した。

CCC アンテナの開発が高プラズマ電流実験を可能にしたことで、プラズマ電流の上昇を制限する要因が明らかになった。プラズマ平衡を保つため、プラズマ電流は垂直磁場強度にひれいすることは以前から知られていたが、プラズマ電流の最大到達値はトロイダル磁場強度と比例関係にあることもわかった。さらにプラズマ電流の最大値はプラズマ密度にも制限されていることがわかった。2 種類の密度限界が観測され、それらは $z = \pm 0.45$ m に設置した上下リミターの有無で分類される。上下リミターが無い場合、密度がある一定値を超えるとプラズマ電流は減少し始めた。一方、上下リミターが有る場合、LHW の速波 (FW) へのモード変換密度と相関をもつ密度限界が観測された。これは上下リミターがスクレイプオフ層 (SOL) における LHW の損失が緩和されたからと解釈できる。上リミターに設置したラングミュアプローブを用いた電子密度計測から、上リミター位置における密度はカットオフ密度以上であることが判明し、RF 電場が整流された効果が浮遊電位に表れた。これらから、LHW は最外殻磁気面 (LCFS, $z = 0.3$ m) から 0.15 m も離れた上リミター ($z = 0.45$ m) まで伝播していることがわかった。

トムソン散乱による電子密度・温度計測から、プラズマ中心部における電子温度は

10-30 eV であることがわかった。これは入射した LHW の位相速度に対し、ランダウ減衰の条件を満たすには低すぎるため、入射された LHW の吸収は弱いと考えられる。また、プラズマの大半径内側周辺部の電子温度が 60-100 eV と、プラズマ中心部より高いこともわかった。その場合、この領域に達した LHW の波数がアップシフトされていることと重なり、ランダウ減衰の条件を満たすことができる。また SOL 領域に伝搬していた LHW の損失も無視できないと考えられる。従って、現状の入射方法では SOL 領域を含むプラズマ周辺部での吸収が支配的であると考えられる。これらの解釈は光線追跡法による波動伝搬・吸収計算結果と合致する。

より高い効率でプラズマ電流を立ち上げる方法を考察した。光線追跡コード GENRAY を用いた計算から、プラズマ中心部に LHW が到達しやすく、しかもプラズマ中心部で LHW を吸収するようになれば、より高い電流駆動効率を実現できることがわかった。そのためには、LHW を現状のトーラス外側からではなく、プラズマ上部から入射するとよいことがわかった。プラズマ上側から LHW を励起する場合、より高いトロイダル磁場の領域を伝搬することと、波数が直ちにアップシフトするため、より高い密度でもプラズマ中心部まで伝播することが可能となり、ランダウ減衰によりプラズマ中心部で完全に吸収され、再びプラズマ周辺部まで伝搬することによる損失を回避できるためである。

なお、本論文第 4 章は米国ジェネラルアトミックス社のモーラー博士との共同研究、第 5 章は高瀬・江尻研究室の構成員達との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発、実験実施、解析を行ったものであり、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（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1,983 字