

氏 名	お ぐら かず お 小 椋 一 夫
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 1203 号
学位授与の日付	平 成 元 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	高周波電流駆動における高速電子の形成と速度分布関数

論文調査委員 (主査) 教授 田中茂利 教授 端 恒夫 教授 藏本由紀

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はトカマク装置 WT-3において高周波電力だけでトカマクのプラズマ電流を生成・保持して、電流を荷う高速電子流の速度分布を求め、高周波電流駆動に関する準線形理論との比較、検討を行ったものである。

通常のトカマクでは、変流器の電磁誘導によりプラズマ電流を発生し、ジュール加熱プラズマを生成する。これと異なって、申請者は初めに電子サイクロトロン共鳴によりトーラス形プラズマを発生し、次いで低域混成波 (LHW) を印加してプラズマ電流を発生し、その増加とともにトカマクプラズマを生成しうることを示した。このように高周波電力のみで形成した高周波トカマクからは強い硬 X 線が放出されており、数 100 keV に達する高速電子が発生して、これがプラズマ電流を運んでいることが示唆された。

この低域混成波電流駆動 (LHCD) プラズマにおける高速電子群の速度分布関数を直接的に求める方法はない。申請者は放射 X 線の計測データを使って電子の速度分布関数を求めることを試みた。プラズマから放射される硬 X 線を NaI シンチレータで検出し、波高分析器によってそのエネルギースペクトルを求めた。実験では再現性のよい、数10ショットの放電を重ねて1つの X 線スペクトルを得た。このような X 線スペクトルを電子のドリフト方向 (トロイダル磁場方向) と X 線放射方向とのなす角 θ を変えて測定した。($\theta=0-180$ 度)。かくて各エネルギー領域の X 線強度を θ の関数として求めた。

次に高速電子群の速度分布関数 $f(v)$ を仮定し、これの放射線 X スペクトルを角度 θ の関数として計算し、これが、実測データと最もよく合う $f(v)$ の関数形とパラメータを求めた。計算機による数値計算に当たっては、電子の放射断面積に相対論効果を取り入れ、またバルク及び高速電子の空間分布の影響も考慮した。得られた $f(v)$ は 3 温度モデルで近似し、ドリフト方向に温度 $T_F=400$ keV (但しエネルギー $E_C=125$ keV 以上は $f(v)=0$)、逆方向に $T_B=200$ keV、垂直方向に $T_{\perp}=40$ keV、かつ電子数の比は $n_B/n_F=0.2$ である。(バルク電子との比 $n_F/n_0=0.5\%$) 一方、理論によれば、高速電子は LHW の準線形ランダウ減衰により、 $E_C=140$ keV までの共鳴領域にプラトーが形成されることになるが、実験結果

は大筋において一致している。

申請者はさらに、電子サイクロトロン波電流駆動プラズマならびにジュール加熱逃走電子放電において、高速電子の速度分布関数を求め、LHCD のそれと比較検討した。前者では電子サイクロトロン加速から期待されるように T_{\perp} が高く、後者ではジュール電場から期待されるように、後方加速電子は無かった。これらは求められた高速電子の分布関数が妥当なことを裏づけるものである。

以上に述べたように、本論文は高周波トカマクの高速電子の形成とその速度分布関数を X 線計測とデータ解析により求め、準線形理論を支持する結果を得たものである。

参考論文21編は高周波電流駆動プラズマの生成、計測、並びに物理機構の解明を行ったものである。

論文審査の結果の要旨

トカマクはトーラス磁場に沿ってプラズマ電流を流し、それが作るポロイダル磁場によって、廻転変換を与え、高温プラズマを閉じ込める装置である。通常のジュール加熱プラズマでは、変流器の電磁誘導によってプラズマ電流を発生するので本質的にパルス動作となる。それ故、定常運転を目指して種々の非電磁誘導電流駆動の研究が進められ、とくに LHCD 実験は多くのトカマクで行われてきた。Fisch が提唱した理論によれば、プラズマに入射された LHW の準線形ランダウ減衰により、加速された共鳴電子が速度空間内に拡散してプラトーを形成し、これがプラズマ電流を発生する。かくて LHCD の研究は核融合研究にとって重要であるのみならず、プラズマ物理学にとって興味ある問題である。

申請者は、LHCD にとって本質的な高速電子の速度分布関数 $f(v)$ を求めることに挑戦し、成功を得たものである。 $f(v)$ を求める直接的な測定方法がないため、今までは推定の域をでなかった。申請者は、LHCD プラズマから放射される X 線スペクトルのデータを解析して $f(v)$ を求めた。この X 線計測は 1000 ショットに及ぶ放電プラズマからのデータを計算機処理したもので、放電の再現性と計測の信頼性に細心の注意が拂われている。

一方、仮定した $f(v)$ からの X 線スペクトルの計算においても X 線の放射断面積に相対論効果を導入し、バルクおよび高速電子の空間分布の影響を考慮し、広範囲のパラメータサーベイの上、実験と最もよく合う $f(v)$ を慎重に求めた。その結果、高速電子は LHW の伝播特性できまる共鳴領域において、プラトーに近い分布を持つことが示され、準線形理論を支持する結果を得た。放射 X 線から $f(v)$ を求める研究は、Shohet, England による 2 次元モデルの計算、また PLT でも行われたが、高エネルギー領域の実験データがなく、また相対論効果を入れていないなどで満足すべき結果は得られなかったものである。

申請者はさらに、電流駆動機構の異なるプラズマについても $f(v)$ を求め、LHCD プラズマのそれと比較検討を行った。ECCD プラズマでは T_{\perp} が大きいこと、逃走電子放電では、 T_{\parallel} が大きく、而も逆方向の高速電子が存在しないことは申請者の試みた $f(v)$ を求める方法と、その結果が妥当なことを示すもので高く評価できる。かくて求められた $f(v)$ は Fisch の提唱した準線形理論を支持する、初の実験結果と云える。

以上述べたように本論文は、高周波トカマクにおける高速電子流の形成、とくにその速度分布関数を求めて準線形理論と一致することを明らかにしたもので、トカマクにおける高周波電流駆動、並びにプラズ

マ物理学の研究に寄与するところが大きい。

参考論文21編は主論文と密接に関係する内容であり、主論文に対し重要な背景となる研究結果を与えている。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。