

審査の結果の要旨

氏名 山崎 響

核融合研究における現在の主流はトカマク装置であり、中でも球状トカマク (ST) 装置は閉じ込め効率と安定性に優れているという特徴がある。ST 装置の実現には、プラズマ電流を非誘導的に立ち上げることが非常に重要であるが、そのシナリオは未だ確立されていない。

審査対象者は、ST 装置である TST-2 における低域混成波 (LHW) を用いたプラズマ電流立ち上げの実験と X 線計測および、核融合プラズマを対象とした CMOS 型軟 X 線検出器を用いたイメージング計測の設計を行った。本学位論文では、X 線計測システムの開発・設計と種々の実験を行うことで、プラズマの評価および性能向上に繋がる知見を得ることに大きく貢献した。

本論文は6章で構成され、各章の内容は以下の通りである。

第1章では、核融合、プラズマ閉じ込め、非誘導電流立ち上げの先行研究について概観し、X 線計測の重要性の説明とともに、本論文の目的を列挙している。

第2章では、TST-2におけるX線計測を目的とした計測器開発について記述している。本研究では二種のフィルタを組み合わせることで、真空容器から放射されるステンレス由来の特性X線を選択的に検出可能な軟X線計測器を開発した。また、硬X線に対しては新たにLYSO結晶を用いることで、エネルギーレンジが広く、時間分解能に優れた検出器の開発を行った。さらに、PEEK樹脂を用いた真空フランジを通した計測視線を導入したことで、従来測定が困難だった100 keV以下のエネルギーを検出可能な計測器を開発した。

第3章では、近年開発されたCMOS型軟X線検出器を用いたイメージング計測の設計について論じた。本検出器はピクセル毎に任意のエネルギー閾値でき、核融合プラズマに対する応用が期待されている一方、その設計にはプラズマから放射される不純物由来の輝線を含めた軟X線強度を正確に予測する必要がある。本章では、プラズマからの発光量の計算に関する理論的な説明と、この計算を用いた様々な装置に対する設計について紹介している。本計算の精度は、ウィスコンシン大学のMST装置における計測結果を用いて検証され、十分な精度でプラズマからのX線発光を計算できることが示された。これによって、任意の装置を対象とした本軟X線検出器を用いた計測システムの設計が可能となり、計測の実現に大きな貢献をした。

第4章では、TST-2におけるプラズマ実験と計測結果について記述している。二種類のフィルタを用いた軟X線の測定を行った結果、LHWを入射している時間帯のプラズマから放射は、ステンレスに由来する特性X線が支配的であることが明らかになった。また、プラズマから放射される硬X線の時間応答は、LHWのパワー変動に対して非常に速く、イオンとの衝突以外のプロセスによってエネルギーを放射していることがはじめて示唆された。

第5章では、プラズマ中で生成された高速電子のエネルギー損失機構について議論している。シミュレーションコードを用いた波動伝搬と、そこから放射されるX線放射は、実験結果との

間に大きな乖離がある一方、プラズマ中の高速電子が低域混成波によって加速されて軌道が装置の外側方向に変化した結果、真空容器壁のリミター構造物に衝突することで制動 X 線を放射するモデルを考え、計算を行った結果、実験結果を矛盾無く説明できることがわかった。計算から求められたエネルギー損失は入力エネルギーの 2/3 程度となり、本研究によって低域混成波における支配的な損失機構がはじめて明らかになった。

最後に第 6 章で論文を総括し、今後の課題に言及している。

以上のように、本論文は ST 装置での LHW を用いた電流駆動プラズマにおける X 線放射の計測から、高速電子の損失機構をはじめて明らかにし、電流駆動効果の評価、波動励起アンテナの設計を行う上で非常に重要な貢献を果たした。さらに、任意のプラズマからの X 線放射量を計算するコードを開発したことで、軟 X 線検出器を用いたイメージング計測システムの設計に大きく貢献した。以上の点を踏まえ本審査委員会は、本論文を博士号に十分値するものと判断した。

本論文は、江尻晶氏、高瀬雄一氏、辻井直人氏、渡邊理氏、L. F. Delgado-Aparicio氏、R. Groebner氏、B. Grierson氏、K. Hill氏、N. Pablant氏、B. Stratton氏、P. Efthimion氏、M. Ono氏、冨樫央氏、矢嶋悟氏、吉田裕亮氏、岩崎光太郎氏、彭翊氏、高竜太氏、青井優樹氏、松崎亨平氏、James Rice氏、大澤佑規氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となってシステムの開発やプラズマ実験を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

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 1,977 字