

Title	高速点火プラズマ診断におけるX線分光画像法の開発
Author(s)	田辺, 稔
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23480
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	田 ^な 辺 ^べ 稔 ^{みのる}
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 23850 号
学位授与年月日	平成22年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	高速点火プラズマ診断におけるX線分光画像法の開発
論文審査委員	(主査) 教授 西村 博明 (副査) 教授 伊藤 利道 教授 宮永 憲明 教授 森 勇介 教授 片山 光浩 教授 杉野 隆 教授 尾崎 雅則 教授 柘原 敏明 教授 谷口 研二 教授 森田 清三 教授 八木 哲也

論文内容の要旨

本論文は、高速点火プラズマ診断におけるX線分光画像法の開発に関する研究成果をまとめたもので、6章で構成されている。

第1章では、レーザー核融合の原理、点火方式、核融合研究の現状、および、これまでの爆縮コアプラズマの診断法についてまとめ、本研究の意義について述べた。

第2章では、レーザー生成プラズマから放射されるX線の特性、プラズマモデリング、X線を用いたレーザー生成プラズマの診断法について述べた。

第3章では、高時間・高空間・高エネルギー同時分解X線計測が可能な単色X線サンプリング画像法の原理について述べた。この計測法の原理実証実験を行い、単色で時間的に連続なX線画像撮像できる計測器の開発に成功し、爆縮コアプラズマの時間分解二次元電子温度履歴を観測できる計測技術を確立した。

第4章では、単色X線サンプリング画像法を用いた爆縮コアプラズマの電子温度診断法の開発について述べた。塩素を電子温度診断用のトレーサーに選択し、塩素化合物ガス封入ターゲットの開発を行った。このターゲットと単色X線サンプリング画像法を用いて爆縮実験を行い、爆縮コアプラズマの二次元電子温度時間履歴を観測した。得られた電子温度の時間履歴とX線スペクトルから導出した電子密度を一次元流体シミュレーションと比較し、レーザー爆縮コアプラズマの動的過程を解明した。さらに、高速点火核融合の原理実証実験にむけたトレーサーの決定、単色X線サンプリング画像法の設計を行った。

第5章では、爆縮コアプラズマの密度計測に必要なX線バックライト光源の開発について述べた。爆縮コアプラズマの密度計測に必要なX線源の大きさ、X線エネルギー、および、X線変換効率について定量的に評価した結果、低密度ターゲットを用いたレーザー生成プラズマX線源を有用であることを確認した。よって、密度3.3 mg/ccのエアロジェルターゲットと27 mg/ccのナノファイバーターゲットを用いてX線発生実験を行い、従来のX線発生方式と比較して一桁以上高いX線変換効率の向上に成功した。いずれの低密度ターゲットを用いたレーザー駆動X線源は、爆縮コアプラズマの電子密度計測用のバックライト光源として利用できることを実験的に示した。

第6章は、結論であり、本論文で明らかとなった研究成果をまとめ、総括を行った。

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、学位申請者である田辺稔が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士後期課程在学中において行った「高速点火プラズマ診断におけるX線分光画像法の開発」に関する研究成果をまとめたものである。

主な成果は以下の通りである。

第1章は序論であり、レーザー核融合における各種点火方式の特徴、ならびにレーザー爆縮コアプラズマの診断法の現状がまとめられており、本論文に記載された研究の背景と目的を述べている。

第2章では、レーザー生成プラズマのX線診断において基礎となるプラズマモデルと原子過程、高密度プラズマからの放射X線の特徴を整理した上で、研究対象と研究手法を明確にしている。

第3章では、爆縮コアプラズマの二次元電子温度の時間履歴を観測することを目的として提案された単色X線サンプリングストリークカメラの原理を説明している。また、空間分解能 $25\mu\text{m}$ 、時間分解能 20ps 、エネルギー分解能 $E/\Delta E = 300$ (E はX線エネルギー) が同時に達成され、しかも、時間的に連続な画像が撮像できることを実証している。これらの成果は、時間、空間分解能の到達値のみならず、従来法では欠点であった「画像の撮りこぼし」を無くしており、加熱時間が 100ps 程度と推定される高速点火核融合プラズマの診断において画期的な診断法を与えている。

第4章では、単色X線サンプリングストリークカメラを用いた爆縮コアプラズマの電子温度診断実験を述べている。流体力学的不安定性に起因するX線分光トレーサーの先行発光を回避するため、まず、トレーサーガス封入ターゲットの開発を行なっている。次に、爆縮で高温となったコアプラズマから放射される2本の共鳴X線輝線の2次元画像を同時取得し、電子温度の時間変化マッピングを導くとともに、爆縮シミュレーションとの比較から爆縮減速相における流体混合を解析している。

第5章では、コアプラズマ密度計測用X線バックライト光源の開発について述べている。駆動レーザーの臨界密度より低い初期密度をもったターゲットを使用することにより、超音速一様加熱が可能であることを定量的に議論した上で、高速点火コアプラズマの密度計測に適した 5keV のX線を放射するチタンに着目し、これを含有した低密度エアロジェルを用いた加熱波の観測実験を行っている。二次元放射流体シミュレーションを用い、レーザー照射配位を最適化することで、エアロジェルを封入したシリンダー壁面からの密度波がシリンダー軸上で衝突しプラズマ温度を再上昇させることを明らかにするとともに、実験的に従来手法の3倍のX線変換効率の改善に成功している。さらに、チタンの含有量を増したチタン含有ナノファイバーコットンを提案し、これを用いたX線発生実験も行い、従来方式と比較して一桁以上高いX線変換効率を得られることを示し、爆縮コア密度計測に適した高効率で一様性の高いバックライト光源として有用であることを明らかにしている。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめ、本論文を総括している。

以上のように、本論文は高出力レーザー駆動高速点火方式における高密度燃料プラズマの生成ならびに追加熱過程を定量的に観測する上で必要となる新しいプラズマ分光画像法を提案し、原理実証を行っている。これらはプラズマ診断学を拡充する上で重要な成果であり、高速点火核融合研究においての実用的価値も高く、関連分野における今後の発展も期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。