



Title	レーザー核融合高速点火方式におけるレーザーチャンネリングに関する研究
Author(s)	高橋, 謙次郎
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41429
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	高 橋 謙 次 郎
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 6 4 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	レーザー核融合高速点火方式におけるレーザーチャンネリングに関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中井 貞雄
	(副査) 教 授 西川 雅弘 教 授 飯田 敏行 教 授 堀池 寛 教 授 三間 圭興 教 授 西原 功修 教 授 権田 俊一 助教授 田中 和夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、レーザー核融合高速点火方式における高密度プラズマ中のレーザーチャンネリングに関する実験研究をまとめたものであり、以下に示す 6 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、レーザー核融合と高速点火方式の概略について述べている。そして、高強度レーザーの光子圧力によるレーザーチャンネリングと高速点火方式におけるレーザーチャンネリング研究の必要性およびその現状について述べ、本研究の意義を明らかにしている。

第 2 章では、レーザーの光子圧力によってレーザーチャンネリングを発生させるために必要となるレーザー条件、その際に考えられるレーザープラズマ相互作用などについて概説している。それらのレーザープラズマ相互作用も含めて実際に高密度プラズマ中にレーザーチャンネルを生成し観測するための実験概要と、使用された各種の計測器の配置、それぞれの役割など、レーザーチャンネリング実験研究の全体構成を概説している。

第 3 章では、レーザーチャンネリング観測のために開発、使用された計測器で、特に重要な観測手段となる後方散乱光スペクトルの時間分解計測器と X 線レーザープローブ計測器の技術的詳細について述べている。

第 4 章では、高密度プラズマ中のチャンネル生成とその形状・構造の観測に関する実験結果とその解析結果を紹介している。本章では、臨界密度以上の高密度プラズマ領域でのレーザーチャンネリング生成を実証している。また、レーザー焦点位置によりレーザーチャンネリングの形状が大きく 3 つのモードに分かれることを示し、レーザーチャンネリングにはレーザー焦点位置が重要な条件であることを明らかにしている。これらの実験結果より、チャンネル生成レーザーの自己集束効果とそれに伴う高密度領域への異常進入の存在について考察している。

第 5 章では、チャンネル中のレーザー光の伝搬特性に関する実験について述べている。レーザーとプラズマの相互作用により発生する高速粒子のエネルギーを観測し、高速粒子エネルギーのレーザー強度依存性に関する計算結果と比較している。それにより、どのような強度のレーザーがチャンネル中を通過し、プラズマと相互作用しているかを評価している。高速粒子の計測結果は、自己集束により強度が上昇したレーザーにより高速粒子が生成されていること、つまり自己集束により強度が上昇したレーザーがチャンネル内を通過していることを示唆している。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた知見を総括している。

論文審査の結果の要旨

レーザー核融合研究において、近年の短パルス超高強度レーザーの技術的な発展とともに、高速点火方式の概念が提案された。高速点火方式とは、この超高強度レーザーを用いて高密度爆縮プラズマを外部から加熱し点火を起すことにより、高度の球対称性を実現しなくても高い核融合利得がえられるという新しい点火方式である。また、高速点火方式に関する研究は、超高強度レーザーと物質の相互作用など新しい物理分野の開拓にもつながり、現在精力的に研究が進められている。この高速点火方式の研究において追加熱レーザーを効率よく燃料コアに伝搬させる方法として、高密度プラズマ中へのレーザーチャンネリングの生成の詳細とその物理機構解明が求められている。本論文は、レーザーチャンネリング解明の為に行った研究についてとりまとめたものであり、主な成果は以下のようになる。

- (1) 高強度レーザーの光子圧力により大スケールプラズマ中の高密度領域でのレーザーチャンネルを生成するためにはどのようなレーザー強度が必要となるかを、スノープローモデルにより評価した。その結果、レーザーエネルギーを一定とした場合、パルス幅100ps程度の比較的長いパルス幅のレーザーが長距離のチャンネル生成に適していることを明らかにした。
- (2) 高密度プラズマ中のレーザーチャンネル生成とその構造の観測のために開発、使用された計測器で、特に重要な後方散乱光計測器とX線レーザープローブ計測器の技術的詳細について詳述した。後方散乱光スペクトルの時間分解計測は、入射レーザー光の基本波長の後方散乱光と、臨界密度面で発生する第2高調波光の後方散乱光の両方の波長シフトを計測することにより、実際に観測された入射レーザー波長に対する後方散乱光の波長シフトが、ドップラーシフトによるものか、誘導ブリルアン散乱や誘導ラマン散乱などのレーザープラズマ非線形相互作用によって生じたものかを検証した。その結果、両方の波長の後方散乱光計測結果ともドップラーシフトとして評価でき、臨界密度面の移動速度を反映していることを明らかにした。
- (3) 高密度プラズマ中のレーザーチャンネル生成とその形状を直接観測するために、波長19.6nmの軟X線レーザーをプローブ光とした計測器の開発を行った。このX線レーザーをプローブ光としたプラズマ画像計測の中でも、レーザーチャンネリングの観測には屈折法が適していることを設計計算によって明らかにして、格子像の歪みによってプローブ光のプラズマ中での屈折を計測するGIR法（格子イメージ屈折法）との組み合わせによる画像計測システムを開発した。このX線レーザープローブGIR計測器を使用して、実際にレーザー生成プラズマの電子密度 $10^{20} - 10^{22}/\text{cm}^3$ における2次元電子密度分布を明らかにした。
- (4) チャンネル中のレーザー光の伝搬特性について実験的に検証した。高速点火方式におけるレーザーチャンネリングの役割は追加熱レーザーを効率よく高密度プラズマ中を通過させることにある。このことを考慮すると、高密度プラズマ中で生成されたチャンネル内をどのようにレーザー光が伝搬しているかを明らかにすることは重要なことである。レーザーとプラズマの相互作用により発生する高速イオンと高速電子を観測することにより、どのような強度のレーザーがチャンネル内を通過し、プラズマと相互作用しているかを明らかにした。

以上のように、本論文では、高密度領域でのレーザーチャンネリングに関する様々な計測結果を通して、高強度レーザーの光子圧力でプラズマを高密度領域へ押し込むことが実際に可能で、その押し込む量は高強度レーザーの光子圧力とプラズマ質量の運動量保存で説明できることを明らかにした。この結果は、高速点火方式による点火実証にむけたシナリオ設計に基本的かつ重要な知見を与えていた。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。