

Title	Research on the generation of high energy density plasma using X-ray diagnosis
Author(s)	李, 昇浩
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/73483
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (Seungho Lee)	
Title	Research on the generation of high energy density plasma using X-ray diagnosis (X線診断法を用いた高エネルギー密度プラズマ生成に関する研究)
Abstract of Thesis	
<p>高エネルギー密度プラズマを生成する方法の一つで高速(瞬間)等積加熱がある。この手法では、燃料を高密度(固体密度の1000倍以上)に圧縮し、高強度レーザーにより加速された相対論的電子による瞬間的な加熱により高温部を生成する(1億度)。</p> <p>従来のレーザー核融合で用いられている球殻燃料の圧縮では、加速場におかれた燃料が流体力学的に不安定であるため、初期擾乱が成長し、燃料形状が歪む。その結果燃料の圧縮率が低下する。球殻燃料の高密度圧縮のために燃料表面でのレーザー強度非一様性は、二乗平均平方根(root mean square : rms)で1%以下が求められている。本研究では、新しい核融合燃料の形状として中実燃料を提案した。中実燃料球の圧縮過程では衝撃波による瞬間的な加速を受けるのみであるため、流体力学的不安定性による歪みの増大が球殻燃料に比べて小さい。球殻燃料と中実燃料の流体不安定性に対する安定性を比較するために燃料表面上でrms 21%のレーザー強度非一様性を与えた圧縮実験を行った。圧縮された燃料のX線透過像を球面湾曲結晶により検出器上に結像することで密度分布を求めた。中実燃料圧縮実験の場合最大 $(8.7 \pm 2.6) \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2$ の密度半径積のプラズマが計測され、球殻燃料圧縮実験ではプラズマの影が観測できず、測定データノイズによる計測下限値から推定すると、その密度半径積は $4.5 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ 以下であると言える。このことから中実燃料が球殻燃料より流体不安定性に対して安定であることを実験的に示し、中実燃料を導入することで燃料圧縮に必要なレーザー空間一様性に対する条件を緩和させることができる。</p> <p>中実燃料は求心衝撃波により圧縮されるため、衝撃波の圧力を上昇させることが最大圧縮率の上昇に繋がる。レーザープラズマ不安定性により生成される高エネルギー電子は衝撃波の圧力を増強できることが先行研究で実証されている。この方法を積極的に利用するには、高エネルギー電子の電子温度を100 keV以下、レーザーから高エネルギー電子への変換効率を10%以上にすることが求められている。従来の高エネルギー電子生成研究では、レーザー強度を上昇させることで高エネルギー電子への変換効率を上げてきた。本研究では、波長が二倍異なる二色のレーザーを同時にプラズマに照射することで高エネルギー電子の温度や変換効率を制御できることを発見した。実験では、銅のターゲットに波長の異なるレーザーを同時に照射し、発生した高エネルギー電子の電子温度及び量を、銅からの特性X線を絶対値分光することで計測した。単一波長照射時は電子温度 $51 \pm 4 \text{ keV}$ の高エネルギー電子が $4.5 \pm 5\%$ の変換効率で生成され、二波長レーザー照射することで電子温度 $150 \pm 21 \text{ keV}$ の電子を $13.1 \pm 2.1\%$ の変換効率で生成された。電子温度は2つの波長のレーザー間の偏光方向に依存することが実験的に確認され、電子温度の最適化の可能性を示した。また、この実験結果は複数の電子プラズマ波による段階的な加熱によるものであることを理論的に示した。この手法はレーザープラズマ不安定性研究分野において新しい発見であり、中実燃料の圧縮だけでなく、衝撃点火など強い衝撃波利用する研究分野に貢献できる。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (李 昇 浩)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 藤岡 慎介
	副 査	教授 久野 良孝
	副 査	教授 中井 光男
	副 査	教授 千徳 靖彦
	副 査	助教 佐野 孝好

論文審査の結果の要旨

高エネルギー密度プラズマを生成する方法の一つとして、高速等積加熱がある。この方法では、物質を高エネルギー密度（固体密度の 1000 倍以上）に圧縮した後、高強度レーザーで加速した相対論的電子ビームによって、圧縮された物質を瞬間的に 1 億度まで加熱する。

従来型のレーザー核融合で用いられてきた球殻型の燃料の圧縮では、加速場におかれた燃料が流体力学的に不安定であるため、燃料形状の擾乱が時間に対して指数関数的に成長し、燃料形状が歪む。この歪みによって、燃料の圧縮率が低下することが、従来型のレーザー核融合の障壁であった。本研究では、新しい核融合燃料の形状として中実燃料を提案し、従来型の球殻燃料と比べて、流体不安定性の成長を低減でき、高密度にまで燃料を圧縮できることを実験にて証明した。

中実燃料は求心衝撃波により圧縮されるため、衝撃波の圧力を上昇させることが最大圧縮率の上昇に繋がる。レーザープラズマ不安定性により生成される高エネルギー電子は衝撃波の圧力を増強できることが先行研究で実証されている。この方法を積極的に利用するには、高エネルギー電子の電子温度を 100 keV 以下、レーザーから高エネルギー電子への変換効率を 10%以上にすることが求められている。従来の高エネルギー電子生成研究では、レーザー強度を上昇させることで高エネルギー電子への変換効率を上げてきた。

本研究では、波長が二倍異なる二色のレーザーを同時にプラズマに照射することで高エネルギー電子の温度や変換効率を制御できることを発見した。実験では、銅のターゲットに波長の異なるレーザーを同時に照射し、発生した高エネルギー電子の電子温度及び量を、銅からの特性 X 線を絶対値分光することで計測した。単一波長照射時は電子温度 51 ± 4 keV の高エネルギー電子が 4.5 ± 5 % の変換効率で生成され、二波長レーザー照射することで電子温度 150 ± 21 keV の電子を 13.1 ± 2.1 % の変換効率で生成された。電子温度は 2 つの波長のレーザー間の偏光方向に依存することが実験的に確認され、電子温度の最適化の可能性を示した。また、この実験結果は複数の電子プラズマ波による段階的な加熱によるものであることを理論的に示した。この手法はレーザープラズマ不安定性研究分野において新しい発見であり、中実燃料の圧縮だけでなく、衝撃点火など強い衝撃波利用する研究分野に貢献できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。