

Title	超高強度レーザー生成プラズマのダイナミクスと不安定性の理論・シミュレーション研究
Author(s)	叶, 培勇
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/23452
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	叶 培 勇
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 22482 号
学位授与年月日	平成20年9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	超高強度レーザー生成プラズマのダイナミクスと不安定性の理論・シミュレーション研究
論文審査委員	(主査) 准教授 村上 匡且 (副査) 教授 田中 和夫 教授 三間 罔興 教授 上田 良夫 教授 兒玉 了祐 教授 飯田 敏行

論文内容の要旨

本論文は、超高強度レーザー生成プラズマのダイナミクスと不安定性について、特に高速点火方式レーザー核融合における高エネルギー電子の輸送とそれに伴う不安定性及び超短パルスレーザーによるイオン加速について解析的に、またシミュレーションを用いて行った研究の成果をまとめたものである。

高速点火方式レーザー核融合では、圧縮した高密度燃料に超高強度レーザーを照射し、燃料コアを追加熱し瞬時に核融合燃焼を点火する。しかしながらコロナプラズマで発生する高エネルギー電子の超臨界密度プラズマ中でのダイナミクスについては未だ解明できていない課題も多い。3次元PIC(Particle-In-Cell)シミュレーションを用いて、高エネルギー電子の超臨界密度プラズマ中でのエネルギー輸送を調べ、エネルギー束のレーザー強度依存性などを明らかにした。

高エネルギー電子と超臨界密度プラズマとの相互作用に伴う電磁不安定性がシミュレーションで観測された。プラズマ表面近傍で発生する電流フィラメンテーションとそのマーキングの原因であるワイベル(Weibel)不安定性、そしてバルクプラズマ中で高エネルギー電子の輸送が抑制される重要な原因である二流体不安定性を解明するため、高エネルギー電子ビームと高密度バックグラウンドプラズマにおける不安定性の分散関係を求め、不安定性の成長率とその不安定性の性質などを明らかにした。

超短パルスレーザーによるイオン加速機構には、レーザーの光子圧による直接的加速や高エネルギー電子が形成するシース電場による加速が知られている。本論文では、ドロップレットなど有限の質量ターゲットに超短パルスレーザーを照射した場合のイオン加速、特に価数の異なるイオン加速について、3次元PICシミュレーションを用いて加速エネルギーの価数依存性などを調べた。

本論文は、以下の構成をとる。

第1章は、序論であり、高速点火方式レーザー核融合など本研究の背景、目的を述べる。

第2章では、本研究で用いた3次元PICシミュレーションの手法などを紹介する。

第3章では、超高強度レーザーを超臨界密度プラズマに入射した時のレーザーとプラズマの相互作用、またそれにより発生する高エネルギー電子のプラズマ内部でのエネルギー輸送について3次元PICシミュレーションを用いて解明し、エネルギー束のレーザー強度依存性などを示す。

第4章では、相対論的熱速度広がりを持った電子ビームと高密度プラズマとの相互作用を考え、縦波と横波が混合

した一般的な理論モデルを構築し、不安定性の成長率の平均速度、熱速度広がり依存性などを明らかにする。

第5章では、ドロプレットターゲットなどの有限質量ターゲットのプラズマ膨張過程を調べ、最大イオンエネルギーの異なる価数依存性の存在とその物理機構を明らかにする。

第6章は、結論であり、本論文の総括を行う。

論文審査の結果の要旨

近年のレーザー技術の進展は著しく、レーザー電磁波内で運動する電子の速度が相対論的な領域に達する超高強度レーザー光が開発されている。その結果、例えば高速点火方式レーザー核融合、あるいは高エネルギーイオン加速などの研究が行われている。本論文では、超高強度レーザー生成プラズマのダイナミクスと不安定性について、特に高速点火方式レーザー核融合における高エネルギー電子の輸送とそれに伴う不安定性、及び超短パルスレーザーによるイオン加速について解析的に、また3次元粒子シミュレーションを用いた研究を行い、以下の結果を得ている。

- (1) 3次元粒子シミュレーションを用いて、超高強度レーザーと超臨界密度プラズマとの相互作用により発生する高エネルギー電子の高密度プラズマ内部でのエネルギー輸送を調べ、高エネルギー電子のエネルギー束が、レーザー強度に強く依存すること、エネルギー束が電子のエネルギーから期待される値に比べ抑制されていることなどを明らかにしている。また高エネルギー電子の速度分布を調べ、高エネルギー電子は、ビーム状になって伝播しているが熱速度広がりも相対論的であることを見出している。
- (2) 上記の観測結果を基に、相対論的な熱速度広がりを考慮したプラズマの不安定性、特に縦波と横波が混在する場合に拡張した一般的な解析モデルを提唱し、不安定性の成長率を求めている。相対論的な熱広がりを考慮することによって不安定性の成長率がこれまで求められていた結果より大きくなること、あるいは不安定性の伝播角度が熱広がりの大きさに依存することなどの新しい結果を導出している。また最も成長率の高い不安定性は縦波成分であることを明らかにしている。さらにこれらの不安定性の成長率は、電子—イオン衝突にあまり依存しないことを示している。これらの解析結果によりエネルギー束の抑制はこの不安定性に基づくものと推論している。
- (3) 超短パルスレーザーで加熱された有限質量ターゲットの膨張過程を模擬する3次元粒子シミュレーションを行い、プラズマの膨張過程で生じるシース電場によるイオン加速について、特に異なる価数のイオンからなるドロプレットターゲットについて、その最大エネルギーの価数依存性を明らかにしている。その結果、異なる価数のイオンの割合により各価数のイオンの最大エネルギーが、価数あるいは価数の2乗に比例する場合があることを見出している。

以上のように、本論文は、超高強度レーザー生成プラズマのダイナミクスと不安定性について、特に高速点火方式レーザー核融合、ならびにレーザーイオン加速の進展に寄与する多くの新しい知見を与えている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。