



Title	超高強度レーザープラズマの計算機シミュレーションによる研究
Author(s)	千徳, 靖彦
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41452
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	せん 徳 靖 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 6 4 0 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	超高強度レーザープラズマの計算機シミュレーションによる研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三間 罔興 (副査) 教 授 西原 功修 教 授 飯田 敏行 教 授 中井 貞雄 教 授 西川 雅弘 教 授 権田 俊一 教 授 堀池 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、超高強度レーザーと高密度不均一プラズマの相互作用について、高速点火核融合に関連する諸現象を記述する粒子シミュレーションコードを開発して得られる研究の結果をまとめたもので、全 8 章より構成されている。

第 1 章は序論であり、超高強度超短パルスレーザー技術の進歩と高速点火核融合研究を概説している。

第 2 章は粒子シミュレーションコードの開発について述べ、固体密度プラズマで重要となる衝突についてシミュレーションモデルを導出している。特に、モンテカルロ法による硬 X 線輻射過程や重水素核反応中性子発生過程の解析コードを組み込み、超高強度レーザーと固体プラズマ相互作用実験における X 線や中性子の計測結果を直接解析できることを示している。

第 3 章では、薄膜ターゲットに超高強度レーザーを照射し生成する固体密度プラズマに対し、レーザーの吸収率及び硬 X 線の放射強度をシミュレーションにより調べている。

第 4 章は超臨界密度プラズマとレーザーとの相互作用で発生するワイベル不安定性について調べ、臨界密度近傍で電子が高エネルギーに加速され、高密度プラズマに侵入する過程でリターンカレントが励起され、非等方電子運動量分布によるワイベル不安定性について、2 次元粒子シミュレーションをおこない、物理機構を明らかにしている。

第 5 章は、高速点火に関連してロングスケール高密度不均一プラズマ中での超高強度レーザーの伝播を調べ、レーザー波長による伝播特性の相違を明らかにし、高速点火の重要な研究課題であるレーザーによるホールボーリングの条件を調べている。また、100 μm のスケール長を持つ不均一プラズマ中での相対論的超高強度レーザーのシミュレーションにより、フィラメンテーションとその合体の過程の物理機構について研究を行っている。

第 6 章は、斜め入射のレーザーとプラズマの相互作用における電子ジェット生成と、偏光に依存する電子の加速機構との関係を調べ、S 偏光レーザーでは自己変調による航跡場加速が支配し、P 偏光レーザーでは疑似共鳴吸収による加速が支配することを明らかにしている。

第 7 章は、PW モジュールレーザーシステムでの核反応中性子の発生に関する実験を踏まえ、高エネルギーイオンの加速機構を明らかにするため、モンテカルロシミュレーションコードと粒子シミュレーションコードを合わせて使用して重水素核反応中性子のエネルギースペクトル及び方向分布を調べて、イオン速度分布との関係を求めている。

第 8 章は結論であり、本論文で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

レーザー核融合において、超高強度レーザー生成プラズマの研究は新しい点火方式である高速点火の原理実証に向けて、もっとも重要な研究課題の一つである。本論文は、高速点火核融合における超高強度レーザーのプラズマ中の伝播と吸収及び高エネルギー電子やイオンの発生機構や輸送過程についての研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 高密度プラズマと超高強度レーザーの相互作用につき計算機シミュレーションを行い、実験結果の解析により新しい知見を得るため、荷電粒子間のクーロン衝突、相対論的制動放射による硬X線の発生過程及び重水素イオン間の核融合反応を取り扱えるようモンテカルロシミュレーションコードを開発し、粒子シミュレーションコードを拡張することに成功している。
- 2) 超高強度超短パルスレーザーと固体密度プラズマの相互作用を古典吸収と硬X線放射を含めてシミュレーションし、レーザー強度が 10^{10} W/cm^2 以下の場合にはレーザー吸収や高エネルギー電子の輸送には、電子・イオンのクーロン衝突が効果的であることを発見するとともに、 10^{10} W/cm^2 以上の照射強度では、強い指向性を持つ硬X線の放射や、MeVに達する高エネルギーX線が発生することを明らかにしている。この結果は、超高強度レーザープラズマからの硬X線放射が金属材料等の非破壊検査や高密度プラズマの診断に応用可能であることを示すものである。
- 3) 超臨界密度プラズマ中での強い高エネルギー電子流に伴うワイベル不安定性に関し、2次元粒子シミュレーション及び二流体モデルの線形解析をおこない、以下の結果を得ている。発生する磁場はレーザー照射面のプラズマ表皮長程度の領域に局在することを明らかにし、その成長率を線形解析で説明することに成功している。また、自己組織化により磁場構造が非線形領域では大きくなり、照射面のプラズマの挙動に影響することで、レーザーの吸収率が磁場の強度と構造に強く依存することを発見している。
- 4) スケール長が $100 \mu\text{m}$ の大規模レーザープラズマ中における相対論的超高強度レーザーの伝播を2次元粒子シミュレーションで解析し、フィラメント化がクォータークリティカル密度付近で顕著となり、その成長により電子加速と強い誘導磁場が発生することを明らかにするとともに、フィラメントが融合することにより自己組織化し、大規模磁場を形成することを明らかにしている。
- 5) 斜め照射された超高強度レーザーと不均一プラズマとの相互作用に関する2次元粒子シミュレーションにより、大スケールの電子ジェットが自発磁場によるガイトの結果生じることを発見している。また、ジェット形成の機構として、S偏光レーザーでは自己変調航跡場による電子の加速、P偏光では擬似共鳴吸収が支配的であることを明らかにしている。
- 6) 相対論的強度のレーザー照射によるMeVイオンの発生がレーザーの輻射圧による加速であることを明らかにし、高エネルギーイオンに起因する中性子のエネルギースペクトルの実験結果の説明に成功している。

以上の様に、本論文はレーザー核融合における新しい方式としての高速点火核融合に関連する超高強度レーザーとプラズマとの相互作用について多くの知見を得ており、核融合プラズマ理工学の発展に寄与するところが多い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。