

Title	レーザー核融合におけるレイリー・テイラー不安定性のシミュレーションによる研究
Author(s)	坂上, 仁志
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/2964171
DOI	10.11501/2964171
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名・(本籍)	さか 坂	がみ 上	ひと 仁	し 志
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	9 4 1 3	号	
学位授与の日付	平成 2 年 11 月 28 日			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当			
学位論文題目	レーザー核融合におけるレイリー・テイラー不安定性の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 教授 横山 昌弘 教授 青木 亮三 教授 西原 功修 教授 石村 勉 教授 井澤 靖和 教授 中井 貞雄 教授 三宅 正宣 教授 権田 俊一			

論文内容の要旨

本論文は、レーザー核融合の爆縮過程で生じるレイリー・テイラー不安定性に関する研究の成果をまとめたもので、次の 7 章より構成されている。

第 1 章では、レーザー核融合における爆縮過程を概観して、本研究の重要性と目的を述べている。

第 2 章では、本研究を遂行するために開発した多次元流体コード「IMPACT-2D, 3D」について詳細を述べ、レイリー・テイラー不安定性によるタービュラント・ミキシングの実験結果をシミュレーション結果と比較している。あわせて 3 次元シミュレーションの結果の可視化をボリューム・レンダリングの一つであるマーチング・キューブ法を用いて行い、IMPACT-3D によるシミュレーション結果を評価している。

第 3 章では、2 次元円柱対称ターゲットのスタグネーションフェーズにおける燃料とプッシャーの接触面のレイリー・テイラー不安定性の線形、非線形時間発展を IMPACT-2D を用いたシミュレーションにより調べ、自己相似解を用いた固有値解析の結果とよい一致を得ている。また、レイリー・テイラー不安定性の線形、非線形段階の両方を含む簡単な時間発展モデルを考え、スタグネーションフェーズ開始時の初期振幅とモード数の関数として最大圧縮時におけるじょう乱の振幅を評価している。

第 4 章では、IMPACT-2D で解いている 2 次元流体方程式のエネルギー保存式に電子熱伝導項を付加することにより、電子熱伝導によるレイリー・テイラー不安定性の抑制効果をシミュレーションにより調べ、質量密度の有限勾配により不安定性が抑制されることを解析結果との比較により明らかにしている。

第5章では、第3章で述べた2次元円柱対称ターゲットを3次元球対称ターゲットに拡張して、IMPACT-3Dによるシミュレーションを行い、レイリー・テイラー不安定性の線形、非線形時間発展および3次元なふるまいを明らかにしている。

第6章では、超高エネルギー電子の生成、損失およびプラズマ密度の線形空間スケール長の変化によって引き起こされる誘導ラマン散乱の飽和、脈動のダイナミクスを1-1/2次元電磁粒子コードによるシミュレーションおよび簡単な理論モデルにより明らかにしている。

第7章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめて本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

レーザー核融合の爆縮過程では、加速時にはアブレーション面で、またスタグネーション時には燃料とプッシャーの接触面でレイリー・テイラー不安定性が生じる。燃料とプッシャーの接触面の不安定性は燃料とプッシャーの混合を起し、核融合出力を低下させる要因となり、高効率レーザー核融合の実現には、この不安定性の時間発展の詳細を正しく把握することが不可欠である。本論文は、接触面での不安定性を解析するのに有効な手段となる多次元流体シミュレーションコードを開発し、不安定性の線形および非線形時間発展の様子を明らかにしようとしたもので、主な成果は次のとおりである。

- (1) 2次元および3次元の流体シミュレーションコードを開発し、球面衝撃波の伝播及び接触面でのレイリー・テイラー不安定性の線形成長率について、理論値との比較を行い、不安定性の非線形発展については、ロケット実験の結果との比較を行って、シミュレーションコードの有効性を示している。
- (2) 重力加速度等が時間的に変化する2次元円柱ターゲットおよび3次元球ターゲットにおいて、スタグネーション過程のシミュレーションを行い、不安定性の線形成長率が相対論を用いた理論値と一致することを明らかにしている。
- (3) 2次元円柱ターゲットと3次元球ターゲットでの不安定性の非線形時間発展については、脈動の飽和振幅と波長との関係を定量的に明らかにしている。
- (4) 線形成長に続いて生じる自由落下的成長の速さについて、速さを表す係数の波数依存性を明らかにし、線形成長の飽和値と自由落下係数が幾何学的形状によって異なることを初めて示し、その原因がバブル・スパイクの構造によることを結論している。
- (5) 電子の熱伝導により、不安定性の成長が著しく抑制されることを見出し、抑制効果は波長と電子の平均自由行程との比で決まることを明らかにしている。
- (6) 以上のシミュレーション結果をもとにして、線形及び非線形成長を含む不安定性の時間発展モデルを提案し、レーザー爆縮のスタグネーション時におけるじょう乱の許容振幅を評価している。
- (7) 燃料の先行加熱の原因となる誘導ラマン散乱において、飽和・脈動が生じることを見出し、その機構を誘導ラマン散乱で生成される高エネルギー電子の生成と損失の時間変化、および密度の空間スケール長の変化により説明している。

以上のように、本論文は、2次元円柱ターゲットと3次元球ターゲットのスタグネーション時におけるレイリ・テイラー不安定性の非線形時間発展を統一的、定量的に明らかにしており、レーザー核融合研究に寄与するところ大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。