

Title	レーザー核融合における流体力学的不安定性の非線形発展に関する理論的研究
Author(s)	池川, 恭史
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44230
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	池川 恭史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 17838 号
学位授与年月日	平成 15 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	レーザー核融合における流体力学的不安定性の非線形発展に関する理論的研究
論文審査委員	(主査) 教授 西原 功修 (副査) 教授 三間 罔興 教授 畦地 宏 教授 朝日 一 教授 粟津 邦男 教授 飯田 敏行 教授 田中 和夫 教授 西川 雅弘 教授 堀池 寛

論文内容の要旨

本論文はレーザー核融合における流体力学的不安定性の非線形発展に関する理論的研究成果についてまとめたものである。本論文は、以下の5章で構成されている。

第1章は序論であり、レーザー核融合の原理、レーザー爆縮過程において誘発される流体力学的不安定について略述した。その中でも特に、Rayleigh-Taylor (RT) 不安定性が本質的でありその非線形解析の重要性と本研究の目的について述べた。

第2章では、断熱系における RT 不安定性の非線形理論をノーマルモードの方法を用いて構築した。非圧縮性・渦無し流体をポテンシャル場で記述し、3次の非線形性を考慮した連立微分方程式を導出した。また、解析結果を2次元圧縮性流体コードと比較し理論の妥当性を示した。非線形遷移振幅に対する擾乱モード数、モード間の位相、密度比の影響を評価し、非線形成長への遷移が局所的に起こることを明らかにした。

第3章では、アブレーション領域における RT 不安定性の非線形理論の構築を行なった。アブレーションは0次の流れを持つため境界面で生成された渦が対流する。このような系では場をポテンシャルで記述できず解析は一気に複雑化する。そこでアブレーション領域の RT 不安定性が準定常である事に着目し、擾乱を固有モードに展開して境界面で接合し3次の非線形性を含む境界面の発展方程式を導出した。この方程式を数値解析しアブレーション効果によって、飽和振幅、並びに非線形成長率が抑制されることを明らかにした。非線形効果として境界面の曲率が重要となり、アブレーションによる非線形成長を抑制する効果が一層強まることを明らかにした。実験結果との比較を行い、この理論モデルが実験結果を比較的よく再現することを確認した。更に、種々のターゲットで予測される飽和振幅、非線形成長率を定量的に評価した。

第4章では、アブレーション領域における RT 不安定性に対する圧縮性の影響について議論した。有限マッハ数を考慮すると密度擾乱が新たに加わり、音波モードの固有値が変形する。そして、フルード数が大きい場合、つまり重力項より流体の移流項が現象を支配する場合は、圧縮性の効果が重要となり不安定性の成長を助長することを明らかにした。

第5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た。

論文審査の結果の要旨

レーザー核融合の燃料圧縮過程ではレーリー・テラー不安定性が生じ燃料の一樣圧縮を妨げる要因となっている。その線形成長率については実験的にも理論的にもかなりの知見が得られている。しかしながら、レーザー核融合で高利得を達成するための最適なレーザー波形、あるいはターゲット構造を決定するには線形成長だけでなくレーリー・テラー不安定性の線形成長の飽和振幅、あるいは非線形成長率に対する知見が不可欠であり、これらを記述できる非線形理論モデルの構築が重要な研究課題となっている。

本論文は、有限スペクトル幅を持つ初期擾乱の3次の非線形理論を構築し、線形成長から非線形成長に遷移する飽和振幅の初期スペクトル幅依存性、非線形成長に対するアブレーション効果、圧縮性の依存性などを明らかにする研究を行い、その研究成果をまとめたものである。得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) レーリー・テラー不安定性について、レーザーアブレーション効果と圧縮性を取り入れ、有限スペクトル幅を持つ任意の擾乱に対して線形成長から弱い非線形成長までを記述する3次の非線形理論モデルを構築している。また、2次元シミュレーションと比較を行い、理論モデルの妥当性を示している。
- (2) 線形成長から非線形成長への遷移振幅は、スペクトル幅とモード間の位相には依存せず、局所的な振幅によって決定されることを明らかにしている。その結果を基にして、これまでの現象論的な理論の問題点を指摘している。
- (3) 弱い非線形成長率が、線形成長率と線形成長から非線形成長へ遷移する振幅との積で与えられることを明らかにしている。また、遷移振幅と非線形成長率の境界面での密度の跳びの依存性を明らかにしている。
- (4) 遷移振幅と非線形成長率のフルード数と波数依存性を調べ、遷移振幅、非線形成長率ともにレーザーアブレーション効果によって抑制されることを示し、その物理的機構を明らかにしている。また、実験結果と比較を行い非線形成長過程が理論モデルと良い一致が見られることを確認している。
- (5) アブレーションプラズマの圧縮性を考慮し、非線形成長のフルード数、およびマッハ数依存性を調べ非線形成長率が圧縮性によって増加することを明かにしている。また、その物理的機構を明らかにしている。
- (6) これらの成果を踏まえ、プラスチックターゲットと重水素・三重水素ターゲットについて線形成長の飽和振幅、および非線形成長率などの評価を行い、高利得レーザー核融合デザインに必要な知見を与えている。

以上のように本論文は、レーリー・テラー不安定性の非線形発展過程を記述できる理論モデルを構築し、アブレーションによる非線形成長の抑制効果などを明らかにしたもので、その成果は、レーザー核融合研究に寄与するだけでなく、レーリー・テラー不安定性が重要となる宇宙物理、エンジン燃焼など多くの理工学分野に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。