

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とフラクタル構造に関する研究
Author(s)	長谷川, 進
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39729
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	は せ がわ 長 谷 川 進
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 2 5 1 4 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電磁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とフラクタル構造に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 西原 功修 教授 三宅 裕 教授 中井 貞雄 教授 青木 亮三 教授 中塚 正大 教授 井澤 靖和 教授 西川 雅弘 教授 岡田 成文 教授 桂 正弘 教授 三間 罔興 教授 権田 俊一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、レーザー核融合における燃料爆縮過程で重要となるレーリー・テラー不安定性の非線形発展に関する研究成果をまとめたものであり、6章から構成されている。

第1章では、レーザー爆縮とレーリー・テラー不安定性との関係を述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、レーザーアブレーション面でのレーリー・テラー不安定性の弱い非線形発展を記述するモデル方程式を導出している。すなわち、電子熱伝導を含む流体方程式を2次まで摂動展開を行いモード結合を記述する方程式を求めている。また、レーザーアブレーション構造の定常解と、アブレーション面での不安定性の成長率と固有モードの構造を求め、通常の接触面との違いを明らかにしている。さらに、シミュレーションに必要な新しい高精度数値解法を提案している。

第3章では、異なる波数の2つの不安定モードのモード結合で生じるレーリー・テラー不安定性の弱い非線形発展を明らかにしている。例えば、モード結合の結果生じる2次のモードは固有モードとは異なる渦構造を有すること、2次摂動の一部はアブレーションによって外部へ運び去られること等を明らかにしている。また、モード結合の結果生じる2次の質量流速は、古典的なレーリー・テラー不安定性と異なりアブレーション速度の増加に伴い減少することを示している。

第4章では、燃料とプッシャーとの接触面で生じるレーリー・テラー不安定性の強い非線形発展を流体シミュレーションを用いて明らかにしている。シミュレーションの手法と初期条件での工夫などを述べ、不安定性の強い非線形発展の乱流状態での境界面の振る舞いを明らかにしている。

第5章では、乱流状態での境界面がフラクタルになることを示し、マルチフラクタル理論を用いてその性質を明らかにしている。境界面の一般化フラクタル次元を求め、その時間変化が不安定面での密度の跳びによらないこと、また、初期には比較的広いスペクトルを持つがしだいに狭くなり、フラクタル次元は一定値に緩和すること等を明らかにした。

第6章は結論であり、得られた結果をまとめ、本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

レーザー核融合における燃料の爆縮過程においては、加速時にはアブレーション面が、また減衰時には燃料とプッシャーの接触面がレーリー・テラー不安定性に対して不安定となる。これまでレーリー・テラー不安定性の線形過程については実験的にも理論的にも比較的詳しく調べられ、アブレーション効果による線形成長の抑制などが明らかになっている。しかしながら、非線形発展でのアブレーション効果や乱流状態に関する研究は残された課題である。

本論文は、アブレーション面での不安定性については、摂動論によりモード結合による弱い非線形発展を研究し、燃料とプッシャーとの接触面の不安定性については、マルチフラクタル理論により強い非線形発展の状態を解析したものであり、その主な成果を要約すると次の通りである。

(1)レーザーアブレーション構造を考慮した2次の摂動理論を構築し、不安定系でのモード結合を記述する方程式を導出している。また、その数値解法について双曲型方程式の特性曲線を用いる新しい高精度数値解法を提案している。

(2)アブレーション面でのモード結合を初めて明らかにし、古典的な接触面でのモード結合と異なり、モード結合で励起されたじょう乱の一部は渦とともに放出されること、その結果アブレーション速度の増加に伴い、質量流速のじょう乱振幅が減少することを見出ししている。また、渦構造の詳細について調べ、アブレーション面での不安定性の性質を明らかにしている。

(3)レーリー・テラー不安定性の強い非線形発展においては、モード結合と外部からの重力エネルギー注入により不安定面がフラクタルになることを見出ししている。フラクタルの一般化次元の初期じょう乱スペクトル依存性、密度の跳びの依存性、時間変化を解析し、そのフラクタル次元はほぼ一定な値を持つことを明らかにしている。また、その値は乱流と層流との境界層のフラクタル次元より高いことを指摘している。

以上のように本論文は、レーザーアブレーション面での弱い非線形発展を研究し、非線形発展においてもアブレーション効果が存在すること、また、接触面での強い非線形発展についてはフラクタル構造という新しい観点から不安定性を解析し、その一般化次元を明らかにするなど、レーザー爆縮の流体力学的不安定性の非線形発展について新しい知見を与えており、複雑系非線形物理、およびレーザー核融合の発展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。