

| | |
|--------------|---|
| Title | レーザープラズマ中の高速電子輸送シミュレーションの研究 |
| Author(s) | 松本, 寿和 |
| Citation | 大阪大学, 2006, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/46974 |
| 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 | まつもととしかず 松本寿和 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 第 20339 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 18 年 3 月 24 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 | レーザープラズマ中の高速電子輸送シミュレーションの研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 三間 囃興 (副査) 教授 西原 功修 教授 児玉 了祐 教授 西川 雅弘 教授 飯田 敏行 教授 田中 和夫 教授 朝日 一 |

論文内容の要旨

本論文は、著者が大阪大学工学研究科電子情報エネルギー工学専攻博士課程において行った高速点火方式レーザー核融合において重要となる高密度プラズマ中での相対論的電子のエネルギー輸送に関する研究成果についてまとめたものである。本論文は以下の 6 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研究の現状と問題点について述べた。特に、高速点火方式での重要な問題となっている高密度プラズマ中での相対論的電子のエネルギー輸送の重要性と本研究の目的について述べた。

第 2 章では、相対論的電子輸送の研究の現状について述べた。これまでの研究で得られた成果と問題点を明らかにし、その問題点の解決方法について述べた。さらに、単一エネルギーのビームに対する飛程を計算し高速点火核融合において局所的な加熱に寄与しているのはサブ MeV 電子であることを示した。

第 3 章では、相対論的な流体方程式について述べた。相対論的なエネルギーを持つ流体は特殊相対論流体方程式に従う。さらに、本研究で用いた流体シミュレーションの手法等を紹介している。

第 4 章では、2 電子流体の分散関係から電子音波の存在を明らかにした。さらに相対論的流体シミュレーションコードを用いて高密度プラズマ中で相対論的電子がイオンを介さなくとも衝撃波を形成して伝播していく可能性のあることを明らかにした。

第 5 章では、相対論的電子ビームが Weibel instability によりフィラメント化し、その後マージしていく過程をモデル化した。また、その解析のために用いる流体-粒子ハイブリッドシミュレーションコードの概要を述べ、シミュレーションの結果によりビームのマージングの早さを評価し、結果をモデルと比較した。さらに、高速点火における高速電子のエネルギー輸送効率を求め、局所的に初期電流の 40% が保持されていることを明らかにした。

第 6 章は結論であり、以上の研究で得られた成果をまとめて、本論文の総括とする。

論文審査の結果の要旨

高速点火レーザー核融合はピコ秒の超高強度レーザー（ペタワットレーザー）技術の進展に伴って提案された新しい核融合方式であり、我国内外で多くの研究が進行中である。本論文は、高速点火核融合においてもっともクリティカルな物理課題であるペタワットレーザーとプラズマとの相互作用で発生する大電流の相対論電子の輸送に関する理論・シミュレーションの研究を行い、以下の結果を得ている。

- (1) 高密度プラズマ中の高エネルギー電子のダイナミクスに関し、相対論的な二電子流体シミュレーションコードの開発に成功している。
- (2) 二電子流体シミュレーションにより、電子音波モードが存在することを明らかにするとともに、大振幅の電子音波モードに対応する電子性衝撃波が発生することを明らかにしている。また、高エネルギー電子が高密度プラズマ中に進入する過程で電子性衝撃波をとまることが明らかにされている。
- (3) 相対論電子の運動論効果を取り入れるため、相対論電子を粒子コードで取り扱い、背景電子を流体的に取り扱う二次元「ハイブリッドコード」の開発に成功している。
- (4) 二次元ハイブリッドコードにより、大電流の相対論電子と高密度の背景プラズマとの相互作用により発生するワイベル不安定性と、その結果発生する相対論電子流のフィラメント化とそのマーキング過程をシミュレーションにより解析している。その結果、マーキング過程におけるフィラメントの個数の時間発展がイオンを固定の場合には $1/t$ に、イオンが動く場合には $1/t^{0.8}$ に比例することを明らかにしている。
- (5) マーキングのダイナミクスに関する上記のシミュレーション結果を解析するための理論モデルを提案し、シミュレーション結果の一般化に成功している。

以上のように、本論文は高速点火核融合のもっとも重要な研究課題であるペタワットレーザーにより生成された大電流電子ビームの輸送に関し、ハイブリッドコードを開発し、そのコードを用いて電子ビームの非線形発展を明らかにすることに成功している。さらに電子ビームのダイナミクスにおいてイオンの運動が重要な役割を演ずることを定量的に明らかにすることに成功している。これらの結果は、高速点火核融合研究の進歩への寄与が大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。