

Title	高速点火核融合における高密度プラズマ中でのMeV電子による加熱機構に関する研究
Author(s)	岡林, 篤紀
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59941
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

【152】

氏名	岡 林 篤 紀
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 26218 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	高速点火核融合における高密度プラズマ中での MeV 電子による加熱機構に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 田中 和夫 (副査) 教授 上田 良夫 教授 兒玉 了祐 教授 飯田 敏行 教授 村上 匡且 教授 中井 光男

論文内容の要旨

高速点火核融合では、多数の高エネルギーレーザーを燃料球に照射することで爆縮された高密度プラズマが、超高強度レーザーによって生成された高速電子により強制的に追加加熱され、点火に至る。この高速電子の生成過程及び高密度プラズマ中の輸送過程は、続く高密度プラズマの加熱物理に深く影響すると考えられる。また、高密度プラズマ領域におけるエネルギー輸送に関しては、電磁場の集団的な効果に比べ衝突散乱過程による効果が大きいと報告されている。

一方で、電子磁気流体モデルを用いた理論解析から、電子流による自発磁場と不均一で急峻な密度勾配によって印加されるドリフトに伴ってその電子流は半径内側にピンチされ電磁ショック構造を持つと考えられる。

このような背景の下、著者は、(1)粒子コード及びモンテカルロコードの構築、(2)モンテカルロコードを用いた、高密度プラズマを抜けてきた高速電子のエネルギースペクトル及び高密度プラズマに対する高速電子のエネルギー付与を見積もる数値シミュレーション、そして、(3)電子磁気流体モデルによるエネルギー散逸構造の形成の理解及び粒子コードを用いた10MeVの電子流による自発磁場と不均一で急峻な密度勾配によって印加されるドリフトの効果の検証を通じて、高速電子の高密度プラズマ中における輸送過程を明らかにすることを目的とし、研究を行った。

まず、高速電子を高密度物質に対して入射し、物質中の粒子輸送過程をモンテカルロコードによって模擬した。この結果、既存の実験で得られたエネルギースペクトルやコアの温度上昇を説明するには十数MeV程度の電子がエネルギーを散逸するような機構を衝突過程以外で考える必要があることを示した。

次に、電子磁気流体モデルを用いた不均一プラズマ中における電子流のエネルギー散逸構造について、磁場発展方程式から説明し、明らかにした。これより、不均一なプラズマ中におけるエネルギー散逸機構が、そのプラズマの密度スケール長に依存することを示した。

さらに、密度勾配を持つ場合と持たない場合のプラズマに対し、10MeVの電子ビームを入射し、電子ビームの挙動を2次元の粒子シミュレーションにより模擬した。この結果、勾配を持つ場合はピンチされたまま電子ビームが進むのに対し、勾配が無い場合はピンチ効果が弱く磁場の弱まる電子ビーム後方から電流の径方向に広がっていくことが明らかになった。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高エネルギー密度科学のうち、超高強度レーザーにより加速された電子のエネルギー輸送に関して理論シミュレーション手法を用いた研究としてまとめられている。本論文は、以下の5章から構成されている。

第1章は序論であり、高速点火核融合の概要、高強度レーザーによる高速電子生成・伝搬の物理機構について述べ、本研究の位置づけについて説明している。本研究で、高速電子の高密度プラズマ中における輸送過程について議論を行ったことが述べられている。

第2章では、荷電粒子の相互作用とシミュレーションについて説明している。レーザー・プラズマ相互作用に伴い発生する高速電子のエネルギースペクトルを粒子法によって算出し、高密度プラズマコアを想定した高密度物質に対して高速電子を入射し、粒子輸送過程をモンテカルロ法によってシミュレーションを行い、高密度プラズマコアを抜けてきた高速電子のエネルギースペクトルと高密度プラズマコアに対する高速電子によるエネルギー付与に関する結

果を定量的に示している。この結果、高速電子による高密度プラズマコアの加熱はその密度が $10^{24}/\text{cm}^3$ にさしかかる表面で主に起こっており、入射端からコアの中心に向かって入射軸周りも一部加熱されていることが説明されている。このシミュレーション結果を基に、実験で得られたエネルギースペクトルの背景プラズマの圧縮の有無による十数 MeV の電子数の減少やコアの温度上昇を説明するには十数 MeV 程度の大きなエネルギーの電子がエネルギーを散逸するような機構を衝突過程以外で考える必要があると議論されている。

第3章では、電子磁気流体 (EMHD) モデルについて説明している。電子磁気流体モデルを用いた不均一プラズマ中における電子流のエネルギー散逸構造について、電子の流体方程式から磁場発展方程式を導出することで説明している。このモデルに着目し、不均一なプラズマ中におけるエネルギー散逸機構がプラズマの密度スケール長に依存することが示されている。

第4章では、電子磁気流体モデルの運動論的効果について説明されている。電子磁気流体モデルによる物理機構について運動論的効果を含んで取り扱うために必要な2次元および3次元の粒子シミュレーションコードのスキームとシミュレーション結果について述べられている。2次元の粒子シミュレーションコードを用いて、密度勾配を持つ場合と持たない場合のプラズマに対し10 MeV の電子ビームを入射することで、電子ビームによる自発磁場と不均一で急峻な密度勾配によって印加されるドリフトが電子ビームの挙動にもたらす効果について定性的に議論している。この結果、勾配を持つ場合はピンチされたまま電子ビームが進むのに対し、勾配が無い場合はピンチ効果が弱く磁場の弱まる電子ビーム後方から電流の径方向に広がっていくことを示している。

第5章は結論であり、各章のまとめが箇条書きにて示されている。

以上のように、本論文は超高強度レーザーにより加速された電子が、レーザー核融合で発生するような高密度プラズマにおいてどのように、エネルギー散逸をするかを、モンテカルロシミュレーション及び、粒子コードシミュレーションを用いて明らかにしている。エネルギー散逸過程の新しい研究提案及び、シミュレーション計算の新しい研究提案が成されており、高エネルギー密度科学の発展に多大な貢献を為した。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。