



Title	レーザープラズマ中における自発磁場発生のシミュレーションによる研究
Author(s)	秦, 彰朗
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46956
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名 ^{はた} 秦 ^{あき} 彰 ^{ろう} 朗

博士の専攻分野の名称 博 士 (工 学)

学 位 記 番 号 第 20337 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における自発磁場発生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 園 興

(副査)
教 授 西 原 功 修 教 授 田 中 和 夫 教 授 西 川 雅 弘
教 授 飯 田 敏 行 教 授 児 玉 了 祐 教 授 朝 日 一

論 文 内 容 の 要 旨

レーザー爆縮プラズマ中で発生する自発磁場について磁場の生成過程と相対論的電子の熱輸送に関してシミュレーションを行なった。自発磁場とはプラズマ中で互いに非平行な電子の温度勾配と密度勾配により発生するものである。磁場は電子やイオンの熱流やそれらの軌道を変化させるため、爆縮や高速電子によるコア加熱を左右させる恐れがある。従来よりレーザープラズマ中でメガガウスを超える自発磁場の存在は確認されているが、多くはアブレーション面近傍の磁場に対してであり、爆縮コアプラズマ中で発生している自発磁場の研究はまだ少ない。そこで本研究では(1)中心点火核融合での減速相における Rayleigh-Taylor (R-T) 不安定性にともなう自発磁場、(2)コーンシェル高速点火の爆縮過程で発生する自発磁場、という二つの状況を考え、磁場をより詳しく調べるための時間発展モデルを構築した。二次元流体シミュレーションコードを用いて磁場の時間発展を追うとともに電子熱伝導や熱輸送に関する研究を行なった。

(1)に関しては 50 kJ 爆縮を想定し、CH シェル (厚さ $2\mu\text{m}$)、燃料 (固体 DT: $100\mu\text{m}$ 、気体 DT: $795\mu\text{m}$) のターゲットを用いた。スタグネーション相での流体の初期条件として、速度擾乱 10%、モード 6 を与え R-T 不安定性の時間成長とともに発生する磁場の時間発展を調べた。自発磁場は R-T モード部で発生し、最大圧縮時にはターゲット中心部で 30 MG に達することが分かった。磁場はターゲット中心からおよそ $50\mu\text{m}$ の領域で発生しており、この領域では電子の熱伝導が低下することが確認された。

(2)に関してコーンシェル高速点火ではターゲット (CH シェル厚さ: $8\mu\text{m}$ 、DT ガス半径: $250\mu\text{m}$ 、Au コーン: 開き角 30°) の 4.5 kJ 爆縮の過程で、最大圧縮時にはコアプラズマ中心部で温度勾配の急激に変化する領域で 60 MG に達し、コーン先端部周辺でも数十 MG に達した。

これら温度勾配と密度勾配により発生した磁場はイオンの流体運動によって爆縮とともに増幅しながら圧縮される。上記(1)、(2)の場合のいずれも磁場の生成過程には流体運動が大きく影響しており、ネルンスト効果も磁場形成に多大な影響をもたらすことが明らかとなった。

高速点火では超高強度レーザーにより発生した高速電子でコアを効率的よく加熱する必要がある。

爆縮コアプラズマ内での磁場の存在はコア加熱の一様性を左右する。単色相対論的電子がコーン先端部より発生し

た場合、1 MeV 単色高速電子ではコアプラズマへ到達するまでに爆縮プラズマ中の磁場で大きく軌道を曲げられた。その結果、一部の高速電子はコーン先端より吐き出しが確認された。また、3 MeV を超える高エネルギー電子では磁場の影響は受けにくくなった。全体的には高速電子はコア中心へとピンチされた。それはコーン先端部での磁場の分布に依存する。本研究では、爆縮やコア加熱においては爆縮コアプラズマ中での自発磁場発生を考慮する必要性を示した。

論文審査の結果の要旨

高出力レーザーを用いて高温、高密度プラズマを爆縮により発生させ、核融合を先進的エネルギー源として開発する研究が進められている。本論文は、レーザー核融合プラズマの発生に関連して、爆縮過程や、ペタワットレーザーによる加熱過程における高強度磁場の自己誘導の物理の解明とその効果に関して研究したものであり、以下の結果を得ている。

- (1) 球状の核融合燃料ペレットの爆縮において生じる流体不安定性について多次元の流体シミュレーションを行い、流体不安定性に伴い 30 メガガウス超の磁場が発生することを明らかにしている。特に、超高強度磁場の発生機構として、流体運動と熱流に伴う磁力線の移流とそのスターグネーションが主たる原因となることを明らかにしている。また、この結果より、核融合燃焼における電子熱伝導に自発磁場の影響が無視できないことを指摘している。
- (2) 高速点火レーザー核融合用のターゲットとして研究が進められている金コーン付の燃料ペレットターゲットの場合について、2次元の爆縮シミュレーションを行い、その結果を用いて自発磁場の評価を行い、金コーンと爆縮プラズマとの界面で生じた磁場が爆縮にともない増幅され、10 メガガウスに達することが明らかにされている。
- (3) 高速点火ターゲットで生じる自発磁場がペタワットレーザーによる加熱過程におよぼす影響を高エネルギー電子の軌道解析をおこなうことで明らかにしている。特に、コーンターゲットに特有な磁場構造により、ペタワットレーザーにより生成された相対論的な電子はコアプラズマ前面に収束されることを発見している。また、コア内部には非常に強い磁界が局在し、エネルギー緩和過程への磁場の効果が重要であることを指摘している。

以上の様に、本論文は2次元流体シミュレーションをベースとして、自発磁場の生成を中心とするレーザー核融合プラズマの電磁流体现象の解析手法を提案するとともに、定量的な磁場分布を得ることに成功している。これらの結果は、レーザー核融合燃焼の研究や高速点火における爆縮プラズマの加熱過程に重要な知見を与えるものである。よって本論文は博士論文として価値のあるものと認める。