

Title	Experimental studies on thermal transport in magnetized high energy density plasma for fast ignition inertial confinement fusion
Author(s)	松尾, 一輝
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.18910/76373
DOI	10.18910/76373
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (松尾 一輝)

論文題名

Experimental studies on thermal transport in magnetized high energy density plasma for fast ignition inertial confinement fusion
 (レーザー核融合高速点火の為の高エネルギー密度磁化プラズマ中での熱輸送に関する実験的研究)

論文内容の要旨

核融合点火の実現に向けて、従来の高速点火方式に、キロ・テスラ級の強磁場を組み合わせた新しいプラズマ加熱方式Magnetized Fast Ignition (MFI)の研究が進められている。核融合燃料の圧縮前に外部から100 T程度の磁場を加えることによって、高温の点火部から、低温の燃料部への熱輸送が低減され、点火部の温度が上がり易くなると予測されている。しかし高エネルギー密度プラズマに影響を及ぼしうほどの強磁場を発生させる手法が確立されていなかったために、これらの現象を実験的に実証するための研究は道半ばである。

近年キャパシター・コイルターゲットという円盤型のターゲットをレーザーで駆動することで、キロ・テスラ級の強磁場を再現よく実現する手法が確立された。本研究ではこのターゲットを用いてまず、強磁場がプラズマの運動に与える影響を実験的に解明した。プラズマ中での電子熱輸送が、磁場の作用を受け抑制されることで、レーザーで直接加熱されたプラズマの温度が上昇して圧力も上昇し、高密度プラズマが効率的に加速されることを明らかにした。また磁力線がプラズマの微細な擾乱の運動によって圧縮、引き延ばしを受けることで、熱伝導の分布が不均一になり、この不均一性が圧力の不均一を生じさせることで擾乱の成長が促進される新しい流体不安定性現象も実験的に明らかにした。

さらに、高強度レーザーが強磁場中のプラズマ内部に作る急峻な温度勾配による熱輸送によって、効率的に核融合燃料を加熱する加熱方式を実験的に検証し、合計4.6kJのレーザーエネルギーで、200億気圧に相当する高圧力プラズマの生成に成功した。これは従来の方式の5倍程度の効率に相当する。

これらの研究は高速点火核融合実現に貢献し、将来の点火デザインに資するものと考えられる。本論文では実験結果の詳細等について述べる。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (松 尾 一 輝)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 藤岡 慎介
	副 査	教授 萩原 政幸
	副 査	教授 中井 光男
	副 査	教授 千徳 靖彦
	副 査	講師 有川 安信

論文審査の結果の要旨

パワーレーザーを用いたキロテスラ級のパルス磁場発生法の発明によって、従来の実験とは異なるパラメーター領域でのプラズマと磁場の相互作用実験が可能になり、相対論領域での磁気リコネクション、非線形ゼーマン効果等の物理が実験室内で研究されている。

申請者は、キロテスラ級のパルス磁場を用いたレーザー核融合プラズマ物理の研究を行い、外部から強磁場を印加した状態での、燃料圧縮過程で流体運動ならびに、加熱過程における加熱効率の向上を実験的に検証することによって、外部から印加した磁場がエネルギー輸送に及ぼす過程を明らかにした。レーザー核融合による核融合点火の実現に向けて、従来の高速点火方式に、キロ・テスラ級の強磁場を組み合わせた新しいプラズマ加熱方式 Magnetized Fast Ignition (MFI)の研究がすすめられている。この方式では磁場中で物質を高密度に圧縮した後に、高強度レーザーで圧縮された物質を瞬間的に加熱する。

レーザー核融合では対象とするプラズマの密度が高いため磁気圧はプラズマの圧力に対して無視できるほど小さい。申請者はこのような場合であっても、磁場が熱伝導の非等方性を介してプラズマの流体運動に与えることを実験的に実証した。具体的には、プラズマ中での電子熱輸送が、磁場の作用を受け抑制されることで、レーザーで直接加熱されたプラズマの温度が上昇して圧力も上昇し、レーザーによって加速されたターゲットの速度が増加することを明らかにした。また磁力線がプラズマの微細な擾乱の運動によって圧縮、引き延ばしを受けることで、熱伝導の分布が不均一になり、この不均一性が圧力の不均一を生じさせることで擾乱の成長が促進される新しい流体现象も実験的に明らかにした。申請者の研究によって、物質を高密度に圧縮する際に、印加された外部磁場が球対称な圧縮を阻害することが明らかになった。その対策として、申請者は流体不安定性に強い新しいターゲット形状として、中実球を提案した。

研究の後半では、中実球ターゲットをナノ秒のレーザーで 11.3 g/cc まで圧縮しコアを形成し、高強度ピコ秒レーザーでこの高密度コアを加熱した。高強度レーザーが強磁場中のプラズマ内部に作る急峻な温度勾配からの熱輸送によって、効率的にターゲットを加熱する加熱方式を実験的に検証し、コアを 2000 万度まで加熱した。コアの密度と温度から算出される圧力は太陽内部の圧力に相当する 200 億気圧に達した。この実験では合計 4.6kJ(圧縮に 1.5 kJ, 加熱に 1.4 kJ, 磁場の生成に 1.7kJ)のレーザーエネルギーで 200 億気圧の高圧力状態を達成したことになり、これは従来の方式の 5 倍以上の効率に相当する。また申請者はこの加熱機構のモデルを示し、加熱レーザーのパルス幅を伸長することで、より高密度のプラズマも同様に加熱できることを示した。

以上のことから、これらの研究は高速点火核融合実現に貢献し、将来の点火デザインに資するものであると考えられる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。