



Title	Efficient Creation of Ultra-High-Energy-Density States by Magnetized Fast Isochoric Laser Heating Scheme
Author(s)	坂田, 匠平
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69335
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (坂田 匠平)	
論文題名	Efficient Creation of Ultra-High-Density-States by Magnetized Fast Isochoric Laser Heating Scheme (外部磁場導入レーザー高速加熱法による効率的な超高エネルギー密度状態の生成)
論文内容の要旨 太陽内部の圧力[$> 1 \text{ Gbar}$]に匹敵する高エネルギー密度状態を実験室で実現することが出来れば、高エネルギー密度天体中での状態方程式やエネルギーの輸送過程等の詳細を実験室内で調べることが可能になる。更に、高エネルギー密度プラズマ中では熱核融合が起こるため、エネルギー源としての応用も期待されている。 高エネルギー密度状態を生成する方法の一つとして、レーザー高速加熱法がある。この方法では、レーザー爆縮で形成した直径数10ミクロン程度の微小な高密度プラズマを、高強度レーザーで加速した相対論的電子ビームで瞬間的に加熱することで、高エネルギー密度状態を実現する。プラズマの圧縮と加熱を分離することで、目的に応じ多様な温度・密度を有する高エネルギー密度状態の生成が可能である。しかしながら、高強度レーザーで発生する電子ビームの大きな発散角が、高密度プラズマへの効率的なエネルギー結合を妨げていた。 本研究の目的は、キロテスラ級の磁場を電子ビームの伝播方向に平行に印加することで、相対論的電子ビームを高密度プラズマに誘導し、効率的な高エネルギー密度状態の生成を実現することである。予備実験では、電子ビームの誘導に必要なキロテスラ級強磁場発生とその磁場の物質への拡散過程を調べた。プロトン屈曲法を用いて、レーザー駆動キャパシター・コイルで発生した磁場強度の絶対値を計測し、磁気プローブを用いて時間発展を明らかにした。また、電子ビームを誘導するパルス磁場の拡散時間を、誘導加熱による電気伝導率の変化を考慮したモデルで計算した。これらの結果から、レーザー高速加熱実験における、磁場の印加開始時刻、プラズマの圧縮開始時刻、及び加熱レーザー入射時刻を決定した。 実証実験において、エネルギー付与領域を可視化し、磁力線に沿って電子ビームが誘導される様子を観測した。外部磁場を印加しない場合と比べ、2 - 3倍高いエネルギー結合効率で1Gbarのエネルギー密度を実現することに成功した。加熱レーザーの集光強度を変化させることで発生する圧力を制御できることを実験的に明らかにした。更に高いエネルギー密度を実現するには、加熱レーザーのパルス幅を伸ばしてエネルギーを増大し、集光強度を一定にする必要があることを示した。本手法は、核融合プラズマの効率的な生成への応用に加えて、白色矮星のような強磁場が存在する高エネルギー密度天体の研究にも展開出来ると期待される。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (坂 田 匠 平)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 藤岡 慎介
	副 査	教授 岸本 忠史
	副 査	教授 千徳 靖彦
	副 査	教授 中井 光男
	副 査	准教授 坂和 洋一

論文審査の結果の要旨

高エネルギー密度状態を実験室内で実現出来れば、天体内部の物質の状態方程式及びエネルギー輸送過程等の詳細を地上で調べることが可能になる。高エネルギー密度プラズマ中では熱核融合反応も起こるため、エネルギー源としての利用も期待される。太陽内部の圧力(>1Gbar)に匹敵する高エネルギー密度状態を生成する方法の一つとして、レーザー高速加熱法がある。この方法においては、レーザー駆動爆縮によって形成した直径数 10 ミクロン程度の高密度プラズマを、高強度レーザーで加速した相対論的電子ビームで瞬間的に加熱することにより、高エネルギー密度状態を生成する。プラズマの圧縮と加熱を分離することで、目的に応じて多様な温度・密度を有する高エネルギー密度状態の生成が可能である。しかしながら、高強度レーザーで加速される相対論的電子ビームが広いエネルギー分布と空間分布を有しているために、加熱用の高強度レーザーから高密度プラズマへの効率的なエネルギー結合が妨げられていた。

本研究の前半部では、高強度レーザーで加速された電子ビーム内のエネルギー分布の計測と最適化を行った。電子のエネルギー分布は、プラズマ周囲に自発的に形成される電場及び磁場の影響を受けやすいため、それをプラズマ外から直接測定することは困難である。そこで、電子ビームをプラズマ内部で制動放射 X 線に変換し、光核反応を利用して計測した制動放射 X 線の絶対スペクトルから電子のエネルギー分布を推定した。高強度レーザーパルスが含むフットパルス及びベデスタルが生成するスケール長の長い低密度のプラズマと、高強度レーザーが相互作用することで、加熱に寄与しないほど高エネルギーな電子が生成されることを明らかにした。高強度レーザー装置の改良により上記のフットパルス及びベデスタルを低減し、レーザー高速加熱に最適なエネルギー分布を有する電子ビームの加速を実現した。

本研究の後半部では、外部磁場を印加することで、電子ビームの空間的広がりを低減した。キロテスラ級の磁場を電子ビームの伝播方向に沿って印加し、相対論的電子ビームを高密度プラズマに誘導することで、効率的なエネルギー結合を実現する。準備研究として、電子ビームの誘導に必要なキロテスラ級強磁場発生とその磁場の物質への拡散過程を調べた。プロトン屈曲法を用いて、レーザー駆動キャパシター・コイルで発生した磁場強度の絶対値を計測し、磁気プローブを用いて時間発展を計測した。また、電子ビームを誘導するパルス磁場の拡散時間を、誘導加熱による電気伝導率の変化を考慮したモデルで計算した。これらの結果から、レーザー高速加熱実験における、磁場の印加時刻、プラズマの圧縮時刻、及び加熱レーザー入射時刻を決定した。

外部磁場印加による効率的なレーザー高速加熱の実証実験において、エネルギー付与領域を可視化し、磁力線に沿って電子ビームが流れる様子を観測した。外部磁場を印加しない場合と比べ、2-3 倍高いエネルギー結合効率を達成し、過去最高の高効率で 1Gbar のエネルギー密度を実現した。本手法は、白色矮星のような強磁場が存在する高エネルギー密度天体の研究にも展開出来ると期待される。

レーザー駆動方式で実現したキロテスラ級の磁場をレーザー高速加熱法に導入することで、Gbar を超える高エネルギー密度状態の効率的な生成を実現し、エネルギー結合効率に対する加熱レーザーの集光強度依存性を実験的に明らかにし、本手法の外挿性を示すなど、高エネルギー密度科学に新たな知見を与える重要な研究成果である。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。