The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	超高強度レーザー生成高速電子伝搬に及ぼす自己励起電場及び磁場の影響に関する研究
Author(s)	籔内, 俊毅
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48717
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

【５】

氏　　名	藪　内　俊　毅（やぶうち　としのり）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２１５３０　号
学 位 授 与 年 月 日	平成 19 年８月 31 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	**超高強度レーザー生成高速電子伝搬に及ぼす自己励起電場及び磁場の影響に関する研究**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　田中　和夫 （副査） 教　授　飯田　敏行　　教　授　上田　良夫　　教　授　兒玉　了祐 教　授　西原　功修　　教　授　三間　圀興

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は、申請者が大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻博士課程在学中に行った「超高強度レーザー生成高速電子伝搬に及ぼす自己励起電場及び磁場の影響に関する研究」の成果をまとめたものである。本論文は以下の６章で構成した。

第１章は序論であり、現在超高強度レーザーを用いて精力的に研究が行われているレーザー核融合高速点火方式を中心に、超高強度レーザー生成高速電子に関連する研究について述べ、これらの研究を通じて現在まで課題とされてきた事項と本研究との関連について説明した。

第２章では、超高強度レーザーによる高速電子生成と高速電子伝搬への自己励起場の作用について述べた。ターゲットを含む高密度領域から真空領域へ高速電子が伝搬する際に励起される強い電場及び磁場に関して述べ、それぞれの場が高速電子の伝搬にどのような影響を及ぼし得るかを検討した。その結果、現在幅広く行われている高速電子の直接計測法による計測結果はこれらの場の影響を受けている可能性があることを示した。

第３章では、本研究の遂行のために行った高速電子計測手法の開発と改善について述べた。高速電子検出に用いたイメージングプレートの感度較正について説明した。高速点火の追加熱に効率的に作用すると考えられるエネルギー帯の高速電子を 20%以下の誤差でエネルギー分解可能であり、且つ、100 MeV 級の高速電子まで計測可能な電子エネルギースペクトロメーターの開発について述べた。放出角度分布計測法の改善を説明し、高速電子放出数の絶対計測法について述べた。

第４章では、高速電子伝搬に及ぼす自己励起場の影響を明らかとするために、ターゲット裏面に予めプラズマを形成した場合の高速電子計測結果について述べた。裏面プリプラズマの存在する場合には放出高速電子数が増大した。粒子シミュレーションにより、裏面プラズマが静電ポテンシャルの時間発展に遅延を生じさせることが明らかとなった。高速電子は自身のエネルギーにポテンシャルが到達するまでの間放出可能であると考えられることを説明し、この遅延が放出電子数増大に寄与したと考えられることを述べた。実験条件で見積もられる遅延時間内の高速電子放出電子数の増大量を見積もり、その値と実験により得られた放出電子増大数とを比較し、高速電子はポテンシャルから見積もられる放出時間幅内においても自己励起磁場による放出制限を受けていると考えられることを示した。

第５章では、有限サイズターゲットにおける電場励起と高速電子伝搬について述べた。面積の異なる平板固体ターゲットに超高強度レーザーを照射して高速電子の放出角度分布を比較し、ターゲット寸法が電子放出数に影響を与えていることを示す結果を得た。粒子シミュレーションを用いて、自己励起電場の構造及び時間変化について調べ、電場及びポテンシャルの時間発展がターゲット寸法に依存することを示した。併せて陽子計測実験とその議論を行い、ターゲット裏面に励起される電場がターゲット面上を広がることを示し、ターゲット端部における電場集中について述べた。この面上の電場拡がりが高速電子放出数のターゲット寸法依存性を決定付けていることを示した。

第６章はまとめであり、本論文を統括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、超高強度レーザーを物質に集光照射した際発生する高エネルギー（＞1 MeV）電子の挙動に関してまとめられている。本論文は、以下の６章から構成されている。

第１章は序論であり、レーザー核融合高速点火方式における超高強度レーザー生成高速電子の役割について述べ、高速電子の特性を知ることの重要性について説明している。現在の高速電子計測の現状と課題についてまとめ、本研究の位置づけについて説明している。本研究で、高速電子が励起する電場及び磁場が高速電子に及ぼす影響について議論を行ったことが述べられている。

第２章では超高強度レーザーによる高速電子生成と、その高速電子が励起する電場及び磁場について説明している。シミュレーションを用いて、10^{18} W/cm^2 程度の強度を持つレーザーパルスを固体ターゲットに照射した場合に、ターゲット裏面に励起される電場及び磁場の強さがそれぞれ数 MV/μm、数十 MGauss に及ぶことを示し、これらの場が数 MeV のエネルギーを持つ高速電子の伝搬に影響を及ぼし得ることを示している。高速電子がこれらの場によって伝搬に影響を受けた場合に、そのエネルギースペクトルがどのように変わるのかを簡単なモデルを用いて議論し、特に低エネルギーの電子の放出が妨げられることを説明している。高速電子の放出数がレーザーエネルギーを変えても飽和しているような傾向を示す過去の実験結果を示している。

第３章では、実験において利用した高速電子の計測手法について説明している。高速電子の絶対量計測のための、イメージングプレートの感度較正と特性評価について述べている。イメージングプレートを用いた高速電子のエネルギースペクトルと放出角度分布の計測と解析手法について説明している。

第４章では、高速電子の固体ターゲットからの放出制限について、ターゲット裏面に予めプラズマを形成した実験で観測された放出電子数の増大という結果をもとに議論している。実験では、60 μm のスケール長を持つ裏面プラズマを生成したターゲットに 10^{18} W/cm^2 程度の超高強度レーザーを照射した場合に、通常のターゲットの場合に比べて２倍程度電子数が増大するという結果が得られている。一次元粒子シミュレーションを用いて裏面プラズマの電場励起への寄与を検討し、裏面プラズマ中での帰還電流の働きにより、ターゲット裏面における静電ポテンシャルの時間発展に、100-150 fs 程度の遅れが生じることを明らかにしている。高速電子の放出可能な時間幅は、ポテンシャルが高速電子のエネルギーに到達するまでの時間幅で決定されることを説明し、ポテンシャルの時間発展の遅れが高速電子の放出数増大につながることを指摘している。一方で、自己励起磁場の影響について議論し、ポテンシャルによって決定される高速電子の放出可能時間幅内において、単位時間当たりの高速電子放出数が Alfven Limit による制限を受けると述べている。実験で得られている高速電子増大数（10^{11} 個）が、裏面プラズマによる時間発展の遅れの時間幅（100-150 fs）内の Alfven Current に相当する値であることが示されている。

第５章では、高速電子の放出が固体平板ターゲットの面積に依存し得ることを、実験及びシミュレーションの結果

を用いて議論している。実験では、700 fs のパルス幅を持つ超高強度レーザーを、小型の三角平板ターゲット（一辺 300 μm）に照射した場合と、大型の三角平板ターゲット（一辺 3 mm）に照射した場合において、高速電子の放出強度が小型ターゲットの場合に約 70%低下するという結果が得られている。一方で、同時に行った高エネルギー陽子の計測結果では、ターゲット裏面上を電場が半径方向にひろがることを示唆している。この電場広がりがターゲット寸法に依存し、小型ターゲットの場合には裏面電場強度及びポテンシャルが長時間にわたって大きくなることを粒子シミュレーションで示し、ターゲットの寸法を変化させた場合の高速電子放出数の変化について説明している。シミュレーションでは、二種類のレーザーパルス幅（100 fs と 200 fs）について議論しており、レーザーパルス幅が長くなるほど、ターゲット寸法の違いに由来する電場強度及びポテンシャルの違いが顕著になることを示している。

第 6 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、レーザー核融合の高速点火手法における高速電子の挙動について、複数の新知見を含み、相対論領域におけるレーザー・プラズマ相互作用研究の親展に寄与するところ大であり、よって博士論文として価値あるものと認める。