博士論文公聴会の公示（物理学専攻）

学位申請者：小島　完興

論 文 題 目 ： Generation mechanism of relativistic electron beams by high-intensity-laser-plasma interactions （高強度レーザープラズマ相互作用による相対論的電子ビームの生成機構の解明）

日時 ：2017年　2月　6日 （月）　18:00－19:30

場所 ： 理学研究科H棟7階7階セミナー室（H701号室）

主査 ：藤岡慎介

副査 ：下田正、疇地宏、中井光男、千徳靖彦

論文要旨：

速点火方式の慣性閉じ込めレーザー核融合では、予め圧縮した燃料球に加熱レーザーを照射し、レーザープラズマ相互作用によって加速した相対論的エネルギーを有する電子（以下、高速電子）で高密度燃料を加熱する。高速電子の飛程と燃料の面密度が等しいとき加熱効率は最大となる。そのため適切なレーザー集光強度を決定するために高速電子の平均エネルギーとレーザー集光強度の依存性が研究され、Ponderomotiveスケーリング則等が導出された。近年の大規模計算の結果、上記のスケーリング則では考慮されていない加熱レーザーのパルス幅に対する高速電子の平均エネルギーの依存性が示された。電子の平均エネルギーとパルス幅の依存性は、高速点火レーザー核融合に適する加熱レーザーのパラメーターの決定に影響する。本研究はこの電子の平均エネルギーのパルス幅の依存性を実験的に初めて調べたものである。本研究の遂行にあたり、2つの研究開発が必要であった。加熱レーザーの特性評価には、主パルスの強度とフットパルス、ペデスタル及びプリパルスの強度の比で定義される「パルスコントラスト比」が用いられている。10^{-9}程度のパルスコントラスト比のレーザーでは、プリプラズマの空間スケール長が、主パルスが生成するプラズマのスケール長よりも長く、主パルスのパルス幅が電子加速に与える影響のみを抽出することが出来ないため、プラズマミラーによるパルスコントラストの改善を行った。プラズマミラーの表面でのレーザーエネルギー面密度を最適化し、反射率・平面性及びパルスコントラストの改善率が高いプラズマミラーを実現した。プラズマミラーの導入により、メインパルスの1.3 ns前において10^{-11}の高いコントラスト比を実現し、望まないプリプラズマの抑制に成功した。

また、従来研究では、高速電子のエネルギー分布はプラズマから真空に飛び出した電子から観測していた。この方法ではプラズマ周囲の電磁場に補足される低エネルギーの電子を検出出来なかった。本研究では電子をプラズマ中で制動放射X線に変換し、制動放射X線スペクトルから電子のエネルギー分布を再構成する手法を確立した。制動放射X線スペクトル分光のために、コンプトン硬X線分光器を開発し、従来の制動放射X線分光器よりも高いスペクトル分解能を得た。

プラズマミラーによる高コントラスト光とX線分光による電子エネルギー分析法を用いることで、1-4 psの範囲で、加熱レーザーのパルス幅が電子加速に与える影響を実験的に観測することに成功し、実験結果を2次元Particle-in-cellシミュレーションにより解析した。長パルス化による電子の平均エネルギー上昇は、主パルス自身が生成する長スケールのプラズマのみならず、プラズマ中で自己生成する準静的電場・磁場が強く寄与することを明らかにした。準静的電場が存在すると電子はレーザー電場による加速をより長時間受け、磁場は一度加速された電子をもう一度加速場に戻す作用がある。レーザーパルス幅と準静的電場と磁場の成長の時間スケールの関係について考察を行い、高速点火レーザー核融合に最適なレーザーパラメーターを決定するための指針を得た。