

LFEXペタワットレーザーの複数ビーム照射により生成される高速電子の特性 Characteristics of fast electrons generated by multi-beam irradiation of LFEX petawatt laser

畑 昌育, 坂上仁志¹, 城崎知至², 千徳靖彦³, 長友英夫

Masayasu Hata, Hitoshi Sakagami, Tomoyuki Johzaki², Yasuhiko Sentoku³, Hideo Nagatomo

阪大レーザー研, 核融合研¹, 広工大², ネバダ大リノ³
ILE Osaka Univ., NIFS¹, Hiroshima Univ.², Univ. Nevada³

高速点火実証実験 FIREX-I では, LFEX ペタワットレーザーの4ビーム化が完了し, 新奇実験が精力的に行われている. LFEX レーザーを用いた実験では, 時間的連続照射や空間的オーバーラップ照射が可能である. シミュレーションを用いた先行研究によれば, 空間的オーバーラップ照射はターゲットプラズマ表面に干渉パターン由来の構造を形成し, その後のレーザープラズマ相互作用に影響を与えることが明らかになった. しかしながら, 当該研究ではシミュレーション時間が最大 700 フェムト秒と短く, ピコ秒レーザーによる複数パルス照射の効果を明らかにするには, より長時間の計算が必要である. LFEX レーザーの特徴である, 高出力, 長パルス (ピコ秒), 回折限界の数十倍という大スポット径は, 超高強度ではあるが回折限界に近い小スポット径の短パルス (フェムト秒) レーザーによる多くの実験とは異なる結果をもたらす. Kemp らの報告によると, LFEX レーザーのような高出力長パルスレーザーは, 初期にプリプラズマが全く生じていないとしても, 最初の 1 ピコ秒程度で大規模低密度プラズマを形成し, それら自己生成低密度プラズマと後続のレーザーパルスとが相互作用するために, 発生高速電子のスペクトルが高温化する. これらの先行研究から, 実験に即したレーザーおよびターゲット条件を用いた大規模計算による実験予測・解析が強く求められている. そこで, 本研究では, LFEX 級レーザーによる複数ビーム照射の効果を明らかにするべく大規模計算を実施した.

レーザー条件は, LFEX レーザー級のレーザーを想定し, 1 ビームのパラメータを, ピーク強度 3.4×10^{18} W/cm², スポット径 (FWHM) 42 μ m, パルス幅 (FWHM) 1.5 ps に設定した. ターゲットプラズマは, Au の平板ターゲットを想定し, 厚み 20 μ m, 密度 40 n_{cr} (n_{cr} は臨界密度) の一様な密度のプラズマにスケール長 1 μ m の指数関数型プロファイルをもつプリプラズマを付けたものをおいた. 以上のパラメータで, 時間的連続照射では, ビーム間隔を 1 ps としてターゲットに垂直に 4 ビーム連続照射した. また, 空間的オーバーラップ照射では, 2 ビームを入射角 ± 2.86 度でターゲットに照射し, 干渉の影響をみた.

時間的連続照射の場合, パルス長が長くなるため自己生成低密度プラズマが生じ, 発生高速電子特性に影響を与える. コーン付きターゲットに 4 ビーム連続照射を行ったシミュレーションでは, 比較的低いレーザー強度 (ピーク強度 5.4×10^{18} W/cm²) であったにも関わらず, Kemp らの結果 (ピーク強度 10^{20} W/cm²) と同様に顕著な電子スペクトルの高温化がみられた.

空間的オーバーラップ照射では干渉効果が重要になる. 実施した角度をつけた 2 ビーム照射のシミュレーションでは, 先行研究と同様に干渉パターンによる構造が形成されたが, 比較的短時間で構造が壊れることが明らかになった. また, 干渉による局所的な高強度化と表面の密度構造形成とがレーザーの吸収率を高め, プラズマ膨張を促進し高エネルギー高速電子の発生数を増加させることがわかった.