

高強度フェムト秒レーザープラズマ相互作用の PIC シミュレーションによる解析

Analysis of high-intensity femtosecond laser plasma interaction using PIC simulation

化学研究所 先端ビームナノ科学センター レーザー物質科学研究領域 畑昌育

背景と目的

高強度フェムト秒レーザーと薄膜との相互作用により発生する電子線の放射特性は、ミリメートル以上の導電領域の影響を受けていることが実験により示唆されているが、電子線放射の詳細なメカニズムは明らかになっていない。高強度フェムト秒レーザープラズマ相互作用の解析には、Particle-In-Cell (PIC) シミュレーションが広く用いられているが、広域の計算には不向きであるため、前述のような実験の解析にはミリメートル以上の領域を適切に計算可能なシミュレーションコードが必要とされる。このような背景から、本研究では、高強度フェムト秒レーザーと薄膜との相互作用をフルスケールシミュレーションするための課題の整理を目的として、実験の PIC シミュレーションを行い、現状の PIC シミュレーションにより実験がどこまで再現されるかを明らかにした。

検討内容

電子密度 $10n_{cr}$ (n_{cr} は臨界密度)、幅 $100\ \mu\text{m}$ 、厚さ $9\ \mu\text{m}$ の平板プラズマにスケール長 $1\ \mu\text{m}$ のプリプラズマを付けたターゲットプラズマ (アルミニウム; $A = 27$, $Z = 10$) に、波長 $800\ \text{nm}$ 、強度 $3 \times 10^{18}\ \text{W}/\text{cm}^2$ 、スポット径 (FWHM) $5\ \mu\text{m}$ 、パルス幅 (FWHM) $50\ \text{fs}$ のガウシアンパルス波形のレーザーを入射角 15° で照射する。以上の条件で、 $500\ \text{fs}$ の二次元 PIC シミュレーションを行い、ターゲットから放出した $51\text{--}306$, $306\text{--}511\ \text{keV}$, $511\ \text{keV}$ 以上の電子の放射角度分布を取得し、実験との比較を行った。

結果と考察

図1にターゲットから放出した $51\text{--}306$, $306\text{--}511\ \text{keV}$, $511\ \text{keV}$ 以上の電子の放射角度分布を示す。図1から、生成された電子は、ターゲットの面方向に強く放射されていることがわかる。しかし、電子空間分布の時間発展を調べたところ、 $51\text{--}511\ \text{keV}$ の面方向伝播電子の大部分はターゲット内部を面方向に走り側面から飛び出した電子であることがわかった。実験において、これらの電子がターゲット内部を伝播し続けるとは考えられないため、シミュレーション結果は、 $511\ \text{keV}$ 以上の高エネルギー電子は面方向に伝播できるが、それ以下のエネルギーの電子は面方向に伝播できないことを示していることになる。一方、シミュレーションと同様な配置の実験 (但し、ターゲットの幅はミリメートル以上) では、シミュレーションにおいて確認できなかった低エネルギー

電子の面方向伝播を示唆する結果が得られている。したがって、本シミュレーションでは低エネルギー電子の放射角度分布において実験結果を再現できていないことがわかる。本シミュレーションでは、プリプラズマのスケール長やプロファイルは仮定であり、これらを正確に取り扱うことで上記の結果は変わり得る。しかし、別

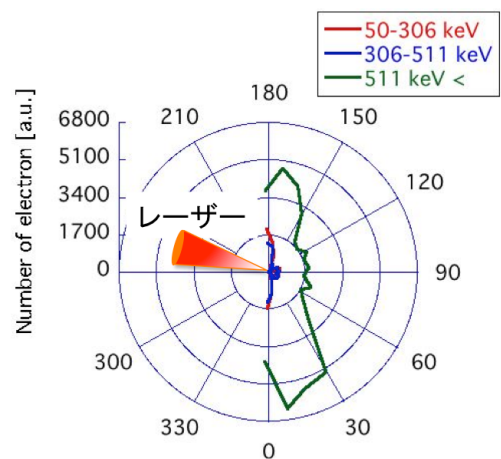


図1 $50\text{--}306$, $306\text{--}511\ \text{keV}$, $511\ \text{keV}$ 以上の電子の放射角度分布

に行ったプリプラズマのスケール長を大きくしたシミュレーションでは、電子放射角度分布に変化はあったものの、面方向伝播電子に対する実験との差異は変わらず存在した。この差異はシミュレーションと実験との空間規模の違いに起因すると考えられる。本研究では空間二次元のシミュレーションを実施したが、実験と同規模の大規模シミュレーションを行う場合には、次元の違いが大きく効いてくるため三次元シミュレーションが必須であると考えられる。従来の PIC コードにより、実験と同規模の三次元シミュレーションを行うことは不可能であるため、フルスケールシミュレーションを可能とする広域シミュレーションコードの開発がこれからの課題である。

発表論文

なし

参考論文

なし