

5-2 放射反作用を介したレーザーによる高出力 γ 線発生 —高強度レーザーによる新しい γ 線源の提案—

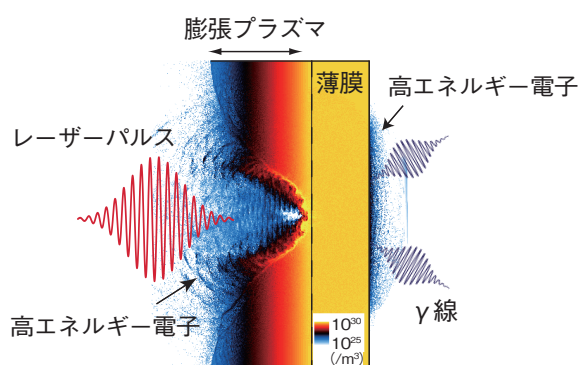


図5-5 炭素薄膜へ高強度レーザーを照射したときの電子密度分布を示すシミュレーション結果
薄膜の前面にはプリパルスの照射等により作られる膨張プラズマが分布しています。レーザー照射領域で発生した高エネルギー電子は前面及び裏面から外へ飛び出し、その一部はレーザーにより再度加速され γ 線が発生します。

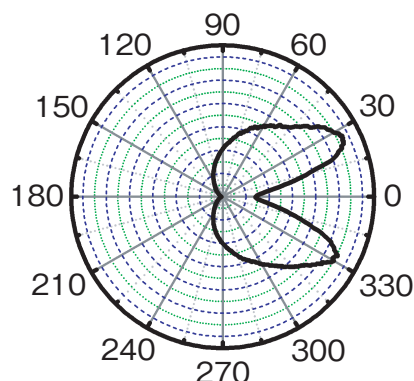


図5-6 γ 線の放射角度分布
発生する γ 線強度はレーザー照射方向から少しずれた方向で強く、指向性を持って放射されることが分かります（角度は図5-5と同じ空間配置で定義）。

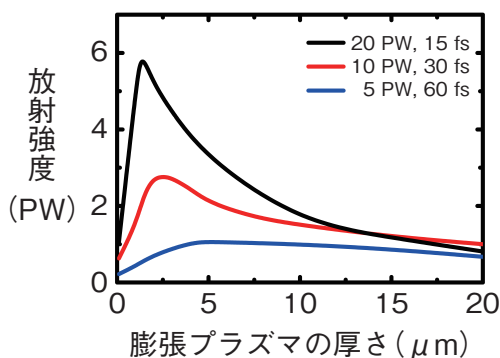


図5-7 γ 線発生の最適条件
膨張プラズマの厚さを変えたときの γ 線強度の変化です。3本の線は、レーザーエネルギーを変えずにレーザー出力を変えた場合を示します。プラズマの厚さがレーザーパルス長程度になる場合が最も強い γ 線が発生します。

近い将来、出力が10 PW ($=10^{16}$ W)、集光強度が 10^{24} W/cm²にも及ぶ高強度レーザーが実現しようとしています。このようなレーザーを物質に照射する場合、放射反作用の効果が無視できなくなると予想されます。放射反作用は、荷電粒子が加速度運動する際に電磁波を放出し、その反作用としてエネルギーを失う効果です。円形加速器中の電子のように単純な軌道を描く単一の電子に対してはその効果を比較的容易に見積もることができます。しかし高強度レーザーを物質に照射した場合、物質中では多数の電子が互いに相互作用しながら複雑な運動を行うため単一電子に対する見積もりとは大きく異なると予想されますが、まだ解明はされていませんでした。

今回、放射反作用を考慮したシミュレーションコードを新たに開発し、高強度レーザーと物質との相互作用における放射反作用効果の定量的解明を行いました。特に、放射反作用を考慮することで解明が可能となる電子を介したレーザーから放射へのエネルギー変換に着目することで、レーザーにより非常に出力の高い γ 線が発生できることを初めて明らかにしました。

図5-5は出力10 PWのレーザーを厚さ10 μ mの炭素

薄膜に照射したときの電子密度分布を示したシミュレーション結果です。加速された電子のエネルギーは最大400 MeVに及び薄膜前面及び裏面から放出されます。その一部は空間電荷効果によりレーザー場が分布する領域に戻ってきて、再度加速を受け γ 線を放出します。最適な条件下では、照射レーザーの約30%のエネルギーが γ 線に変換され、出力が3 PW、時間幅がレーザーと同程度(30 fs)と極めて高出力かつ短パルスの γ 線が発生することが明らかとなりました。発生する γ 線は図5-6に示すように、レーザー照射軸方向に指向性を持っていることも分かりました。また、 γ 線強度や光子数、光子エネルギー等がレーザー及びターゲット条件にどのように依存するかを解明することで(図5-7)、それらを調節することにより発生 γ 線の特性を制御できることを明らかにしました。

今回、放射反作用による超高出力 γ 線発生を見いだしたことでレーザー駆動の新しい γ 線源の可能性が拓けました。特に発生する γ 線出力は、ほかの γ 線発生装置から得られるものと比較して桁違いに大きく、新しい γ 線応用等への発展が期待されます。

●参考文献

Nakamura, T. et al., High-Power γ -ray Flash Generation in Ultraintense Laser-Plasma Interactions, Physical Review Letters, vol.108, issue 19, 2012, p.195001-1-195001-5.