

相対論的レーザー生成プラズマにおける電子の統計的振る舞いの理論モデル

## Theoretical modeling of statistical electron dynamics in relativistic laser-produced plasmas

岩田夏弥<sup>1,2</sup>, 林美里<sup>1,3</sup>, A. J. Kemp<sup>4</sup>, S. C. Wilks<sup>4</sup>, 三間罔興<sup>1</sup>, 千徳靖彦<sup>1</sup>

N. Iwata<sup>1,2</sup>, M. Hayashi<sup>1,3</sup>, A. J. Kemp<sup>4</sup>, S. C. Wilks<sup>4</sup>, K. Mima<sup>1</sup>, and Y. Sentoku<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学レーザー科学研究所, <sup>2</sup> 大阪大学高等共創研究院,  
<sup>3</sup> 大阪大学理学研究科, <sup>4</sup> Lawrence Livermore National Laboratory

<sup>1</sup> Institute of Laser Engineering, Osaka University

<sup>2</sup> Institute for Advanced Co-Creation Studies, Osaka University

<sup>3</sup> Graduate School of Science, Osaka University

<sup>4</sup> Lawrence Livermore National Laboratory

集光強度が $10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$ を超える相対論的強度のレーザーは、圧力ギガバール以上の高エネルギー密度プラズマを生成することができる。生成される高エネルギー密度プラズマは、高エネルギー電子や高フラックスイオンビーム源、高輝度X線輻射源としても応用されている。相対論的強度のレーザー光と固体密度など臨界密度以上のプラズマとの相互作用では、レーザー電磁場はプラズマ表面で電子を相対論的なエネルギーに加速する。加速された高速電子は、ターゲット内部にエネルギーを輸送しバルクプラズマの加熱に主要な役割を果たす。そのため、高効率な応用の実現には高速電子の生成と閉じ込め物理の理解が重要となる。

現在、LFEX、NIF-ARC、LMJ-PETALなどキロジュール級のエネルギーを有する相対論的強度のペタワットレーザー（以下、キロジュールレーザー）が利用可能になっている。キロジュールレーザーはスポット径が $50\mu\text{m}$ （レーザー波長の50倍）程度と大きく、パルス幅も1-10ピコ秒（レーザー周期の $10^{2-3}$ 倍）程度と長い。このような大規模な時空間領域でのレーザープラズマ相互作用は、粒子的領域と流体的領域の間のメソスケール現象であるとみなすことができる[1]。キロジュールレーザーを用いた実験では、フェムト秒単パルスレーザーのスケールリング則では説明できない高効率の電子およびイオン加速が観測されている。

本研究では、キロジュールレーザーと固体

薄膜の相互作用における高速電子のダイナミクスと加速過程についてプラズマ粒子（particle-in-cell, PIC）シミュレーションを用いて解析した。高速電子のレーザースポット径方向の運動は、薄膜プラズマ表面での揺動電磁場による多数回の散乱によってランダムウォークになる。ピコ秒の時間スケールでは、電子の空間分布は統計的な拡散モデルで記述できることがわかった[2]。ランダムウォークは高速電子のスポット領域外への損失を減少させる。この実効的な電子閉じ込め効果により、高速電子はより長時間レーザー場と相互作用し、高エネルギーに加速される。結果として形成される電子のエネルギースペクトルは準定常的なべき乗成分をもつ。べき乗成分を構成する電子は薄膜プラズマ内を循環しながらランダムに運動量を得たり失ったりする。PIC粒子データを用いて運動量変化の二乗平均値を多数の粒子について解析し、エネルギースペクトルのべき指数との関係性を明らかにした。このような電子分布形成の理解は、キロジュールレーザーを用いた多くの応用研究に重要である。

[1] N. Iwata et al., Nuclear Fusion **59**, 086035 (2019)

[2] N. Iwata et al., Phys. Rev. Research **3**, 023193 (2021)