

多次元輻射粒子シミュレーションによる
レーザー駆動重金属プラズマ形成の理論解析
Theoretical analysis of laser driven heavy metal plasma formation
by multi-dimensional PIC simulation

杉本 馨^{1,2}、砂原 淳³、岩田 夏弥²、佐野 孝好²、千徳 靖彦²
K. Sugimoto^{1,2}, A. Sunahara³, N. Iwata², T. Sano², Y. Sentoku²

阪大院理¹、阪大レーザー研²、パデュー大CMUXE³
Dept. of Phys., Grad. School of Sci., Osaka Univ.¹
ILE², CMUXE Purdue Univ.³

高強度レーザーを集光し物質に照射することで、ペタパスカル級の圧力をもつプラズマを作り出すことができる。特に重金属ターゲットに照射することで、高価数に電離し電子温度数keV(数千万度)の高温・高密度プラズマの生成が可能である。この高エネルギー密度プラズマは高価数重イオン源として[1]、また高輝度X線源としての応用が期待されている。一方で、大量のX線輻射によるエネルギーの散逸は、重金属プラズマの形成に影響を与えると考えられる。そのため、高強度レーザーによる重金属ターゲットの加熱物理の理解には輻射過程や電離過程などの原子過程を考慮する必要がある。

本研究の目的は、X線輻射過程を含め荷電粒子間の衝突・電離などの原子過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコードを開発し、レーザープラズマ相互作用における輻射によるエネルギー損失の影響を解明することである。これまでに、自己無撞着なレーザープラズマ相互作用シミュレーションを可能とするプラズマ粒子コードPICLSに輻射冷却計算過程を組み込み、1次元配位において、高強度レーザー(量研機構・関西光科学研究所 J-KAREN-Pレーザー相当)による銀薄膜ターゲットの加熱におけるX線輻射の影響とプラズマからの輻射スペクトルを明らかにした[2]。制動輻射・特性X線輻射・電子-イオン再結合輻射の3つの輻射過程を考慮したCRE(衝突輻射平衡)コードにより、それぞれの過程の輻射率を事前に計算し作成したデータベースをPICLSで参照している。

これまで行った1次元計算によって[2]、keV温度に加熱された銀ターゲットが輻射により冷却される時間スケールは数百フェムト秒以

上との結果を得ている。すなわち、加熱時間が数十フェムト秒の超高強度極短パルスレーザーによる加熱では、輻射冷却は無視でき、レーザー照射後、高温プラズマはピコ秒スケールでkeV以下に冷却される。一方、加熱時間がピコ秒以上の場合、レーザー強度次第では、プラズマとの相互作用が輻射冷却によって影響を受けることがわかっている。

今回は、2次元のPICLSコードにより、有限のレーザースポット径の影響などの多次元的效果を含め輻射冷却が重金属プラズマ形成に与える影響を調べた。シミュレーションは規格化ベクトルポテンシャル a_0 ・パルス幅 τ (半値全幅)について、(1) 極短パルスレーザー($a_0=20$ 、 $\tau=55$ fs)、(2) ピコ秒レーザー($a_0=3$ 、 $\tau=1.3$ ps)の2つのケースについて行った。いずれもパルスプロファイルはガウシアン、スポット径 $1\mu\text{m}$ として、厚さ $1\mu\text{m}$ の銀薄膜をターゲットとした。

ケース(1)の場合では、レーザーと銀薄膜の相互作用中における輻射の影響がなく、照射領域の電子温度が5keVに到達した。輻射冷却の時定数はピコ秒程度であった。ケース(2)の場合、相互作用中に輻射冷却によって銀プラズマの電子温度上昇が抑制されプラズマ圧力が下がることで、光子圧によるターゲットの強い圧縮が起こることが確認された。

本講演では、レーザーで加熱された高温銀プラズマの持続時間の理論的見積もりや、プラズマ圧縮のダイナミクスにおける輻射冷却の影響の詳細について報告する。

[1] M. Nishiuchi *et al.*, Phys. Rev. Research **2**, 033081 (2020).

[2] K. Sugimoto *et al.*, High Energy Density Phys., **36**, 100816 (2020).