

相対論的レーザープラズマ相互作用における
線形Breit-Wheeler過程による電子・陽電子対生成
**Electron-positron pair production by linear Breit-Wheeler process in relativistic
laser-plasma interaction**

杉本 馨^{1,2)}, 岩田 夏弥^{2,3)}, 千徳 靖彦²⁾
K. Sugimoto^{1,2)}, N. Iwata^{2,3)}, Y. Sentoku²⁾

¹阪大院理, ²阪大レーザー研, ³阪大高等共創研究院
¹Dept. of Phys., Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ., ²ILE,
³Inst. for Advanced Co-Creation Studies, Osaka Univ.

線形Breit-Wheeler(BW)過程は光子が一对一で衝突することで電子・陽電子対が生成されるQEDプロセスであり、1900年代前半にG. BreitとJohn A. Wheelerによりその存在が予測された[1]。この現象は高エネルギー光子の存在が引き金となるため、宇宙空間での γ 線バーストや中性子星の高強度磁気圏周辺などの高エネルギー光子を伴う環境において、電子・陽電子対生成がプラズマダイナミクスやオパシティに影響を与えらされている。しかしながら、線形BW過程の衝突断面積は古典電子半径の2乗程度の大きさしかなく検出が非常に困難であるため、現在に至るまで光子同士の衝突による対生成は実験的に実証されていない。近年開発された超高強度レーザーとプラズマの相互作用では大量の γ 線が発生するため、レーザーを用いたBW過程の検証の可能性が議論されている[2,3]。

強度 10^{18}W/cm^2 を超える高強度レーザーを物体に照射するとターゲット内部の電子は相対論的な速度にまで加速され高エネルギー光子を輻射する。特に、密度が低いプラズマチャンネルを有する構造ターゲットの場合、チャンネル中を伝搬する高強度レーザーとプラズマの相互作用により強い指向性を持つ γ 線が発生する。これらの γ 線同士を衝突させることで高密度の電子・陽電子プラズマの生成も議論されている[3]。この先行研究によって生成される電子・陽電子ペアの数は計算されているが、生成された陽電子がどのように電磁場で加速されるかなどのダイナミクスの詳細は明らかとなっていない。線形BW過程の検出には電子・陽電子プラズマのダイナミクスの理解が不可欠である。

本研究の目的は、線形BW過程の実験実証を目指し、相対論的レーザープラズマ相互作用におけ

る線形BW過程により生成された電子・陽電子プラズマの発生数およびダイナミクスを明らかにすることである。

研究の手法としてParticle-in-Cell (PIC)シミュレーションを利用した。レーザープラズマ相互作用中での線形BW過程をシミュレーションするために、高速電子からの γ 線輻射過程を自己無撞着に計算できるPICコード、PICLS[4]にBW過程を組み込んだ。テスト計算ではレーザー強度 10^{22}W/cm^2 、パルス幅30fsの直線偏光レーザーをチャンネル付き構造ターゲットに照射した。プラズマの輻射過程として制動輻射・輻射減衰過程を考慮した。計算の結果、チャンネル内部を伝搬するレーザーが駆動する電子流によってチャンネル内壁にギガガウス級の準静磁場が形成された。この磁場と静電場にガイドされた高速電子が、前方方向に強い指向性を持つ γ 線を輻射する。支配的な輻射過程は輻射減衰過程であることを確認している。生成された電子・陽電子ペアの数($\sim 10^6$)は先行研究のシミュレーション結果と良い一致を示した。ペアが生成される空間はレーザー領域およびその近傍に強く集中し、レーザーがプラズマに完全に吸収されるまでペアの生成は継続する。さらに、発生した陽電子の運動量は γ 線と同じ方向に偏ることが確認された。本講演ではシミュレーションモデルと計算結果の詳細について報告する。

- [1] G. Breit and John A. Wheeler, Phys. Rev. **46**. 1087 (1934)
[2] X. Ribeyre *et al.*, Phys. Rev. E, **93**. 013201 (2016)
[3] Y. He *et al.*, Comms. Phys., **4**. 139 (2021)
[4] Y. Sentoku *et al.*, Phys. Rev. E, **90**. 051102(R) (2014)