

高エネルギー加速器研究機構
大型シミュレーション実施報告書

研究課題名：3D-PIC コードによるレーザープラズマ加速シミュレーション
課題グループ名：sclwfa

研究組織：

中島 一久（研究代表者）：KEK 加速器研究施設
益田 伸一：産業技術総合研究所
吉玉 仁：総合研究大学院大学
藤本 順平：KEK 素粒子原子核研究所
Baifei Shen：SIOM CAS

平成 21 年度の実施報告の詳細：

1. はじめに

近年の高強度短パルスレーザーの発展によって、レーザーパルスをプラズマに照射して大振幅プラズマ波を励起することが可能になった。プラズマ波の電場強度は 100GV/m に達するので、これを荷電粒子加速に使えば、従来の加速器の限界を打ち破ることが可能になる。また、近年ではコンパクトな放射光源への応用を目指した研究も精力的に行われている。本研究では 3 次元 Particles in Cell (PIC) コードを用いてレーザープラズマ加速による高品質電子ビーム生成条件に関する研究を行った。

2. 並列 3D-PIC コードの概要

PIC 法は、電磁場と荷電粒子の集団的な振る舞いを予測する方法の一つである。Maxwell 方程式を時間空間で差分化し、空間格子の各点の電磁場の時間発展を解く。プラズマ粒子は多数の荷電粒子が集まった超粒子として軌道を計算し、個々の超粒子が作る電流密度を空間格子上で積算する。粒子に作用する電磁場は、格子上の電磁場を補完して計算する。これを時間ステップ毎に繰り返すことにより、電磁場とプラズマの時間発展を自己無撞着に計算する。

また、計算時間を短縮するために、レーザーパルスの伝搬と共に計算領域を移動させる moving window を導入している。

3. 計算結果

今回行った計算では Tech-X 社製の汎用 PIC コード VORPAL-3.1.0 を使用し、プラズマ密度の動径方向分布が一様な場合と動径方向に密度勾配を持つ場合について高品質電子ビームの生成について調査した。高品質電子ビームに関するシミュレーション結果を以下に示す。

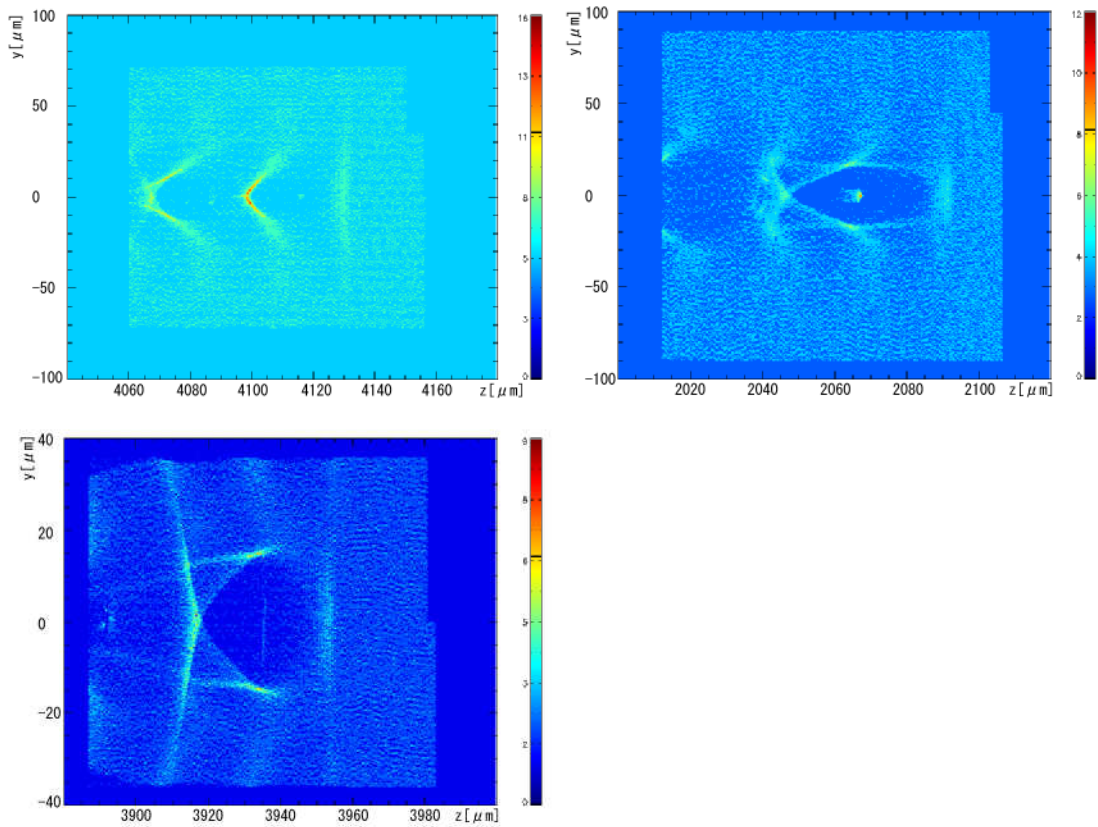


図 1 : レーザー及プラズマパラメーターを変化させたときの電子密度分布

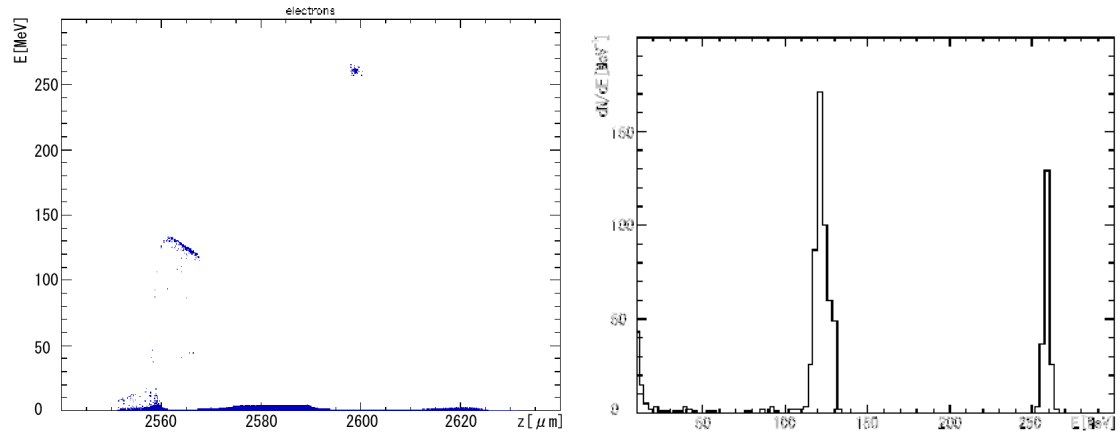
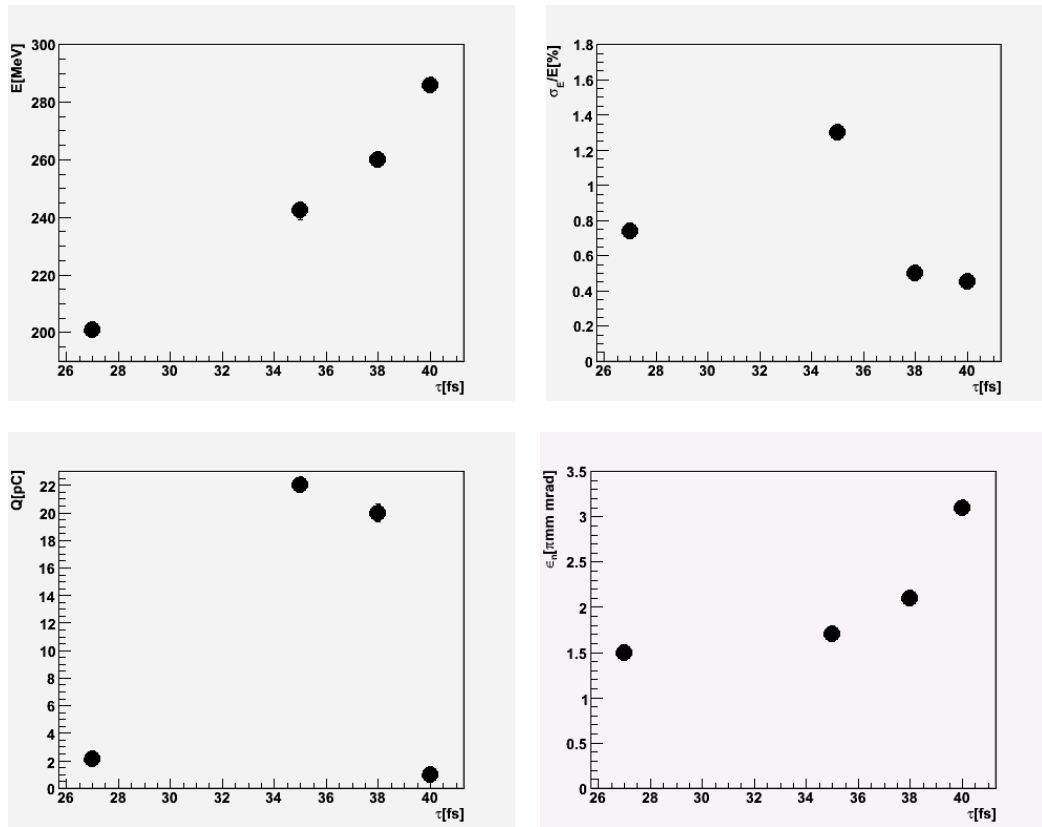


図 2：高品質電子ビームの位相平面分布とエネルギースペクトル



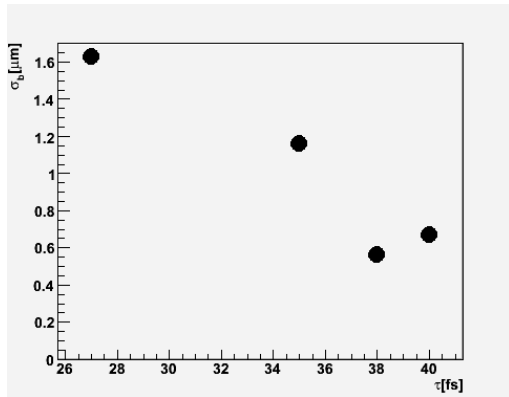


図 3: 動径方向に密度勾配を持つ場合にパルス幅を変化させたときのビームパラメーターの変化
 (左上)エネルギー、(右上)エネルギー広がり、(左中)電荷量、
 (右中)エミッタンス、(左下)バンチ長

4. まとめ

3D-PIC シミュレーションを用いて高品質電子ビームの発生について調査した。その結果、プラズマ密度の動径方向分布が一様な場合、レーザー及びプラズマパラメーターと生成される電子バンチのビームパラメーターとの関係が判った。また、プラズマ密度の動径方向分布が勾配を持つ場合、適切なレーザー及びプラズマパラメーターを選ぶことで軟 X 線 FEL に応用可能な電子ビームを生成できることが判った。