

プログラム名： ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名： レーザー加速XFEL実証

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成27年度

研究開発課題名：

レーザー加速要素技術開発

研究開発機関名：

大阪大学

研究開発責任者

細貝知直

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

40TW レーザーシステムと電子ビームライン（入射器と追加速ブースター）の検討を進め、より安定なステーjingレーザー航跡場加速装置を開発する。本年度は、振動対策等によるレーザー集光位置安定性の改善(①)、入射電子の単色性の改善と入射器の小型化（②）を行いつつ並行して2ビーム駆動2段レーザー航跡場加速実験を実施する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

①ステーjing加速技術（レーザー集光位置安定性の改善）

ステーjingレーザー航跡場加速によって安定かつ高品質な GeV 級の電子ビームを得るためには、追加速レーザー航跡場に入射電子を生成するレーザー航跡場を再現性良くオーバーラップさせることが必要不可欠であり、すなわち、それらのレーザー航跡場を駆動する2つのレーザーパルスの高精度な集光位置の制御が高品質電子ビーム発生の鍵となる。平成27年度はレーザー装置周囲や光学素子の温度変化、実験室の空気の揺らぎ、振動を発生する実験装置（真空ポンプ等）の影響を抑える対策を検討し対策を施した。まず、電子ビームのソースとなるプラズマ発生部の真空容器に振動対策を施しレーザー集光スポットのポインティングの安定化を計った。振動源は主にエアコンや真空ポンプ等のユーティリティーであることから、光学ステージとオプティクスホルダー類の見直しに加え、スクロールポンプを振動の少ないルーツポンプへ交換し、真空排気チューブに鉛ブロックを挟み込む、各種ユーティリティー機器に特殊防振ゴムを挿入するなどの振動対策を行った。これらの対策によりレーザーポインティングの振幅を従来の1/3~1/4に抑えたことにより（図1）、電子ビームのポインティングの安定性は平成26年度よりも向上し±0.25mrad以下を達成した。

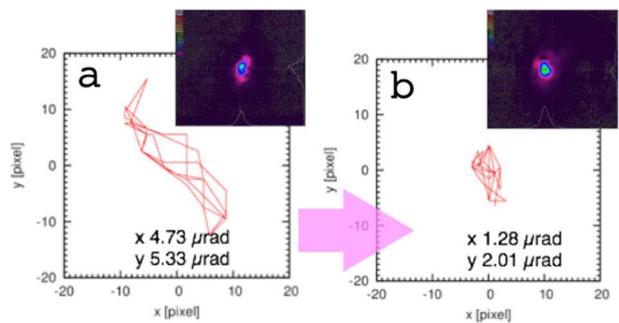


図1 レーザーポインティングの軌跡と電子ビームスポット（右上）

②ステーjing加速技術（入射電子の単色性の改善と入射器の小型化）

ステージングレーザー航跡場加速によって安定で高品質な GeV 級の電子ビームを得るためには、低密度の長尺追加速レーザー航跡場にエネルギーの揃った単色電子を集束して入射する必要がある(図2)。電子ビームのポインティング安定性の改善と同時に単色化についてもさらに技術開発を進めた。平成 26 年度までに直流電流

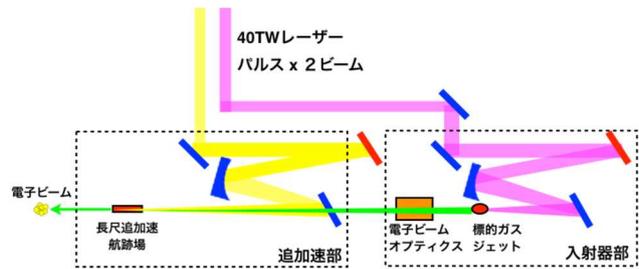


図 2. ステージングレーザー航跡場加速の概念図

駆動の四重極電磁石対とピンホールを用いたエネルギースライス機構を持つ 7.5m の電子ビームラインを電子入射器として整備し 10MeV 程度の電子ビームを準単色化し下流に輸送することに世界で始めて成功したが、平成 27 年度は準単色エネルギースペクトルのさらなる狭帯域化、電子ビームの大電流化、装置の劇的な小型化を同時に達成することを目指し、新方式のビームオプティクスを用いたエネルギースライスの技術開発に着手した。高速パワー半導体スイッチを採用した電源と小型ソレノイドを試作しビームラインに組み込みプラズマからの電子ビームの輸送テストを実施した。装置は未だ試作の段階ではあるものの、これまでにインジェクターからの電子ビームを、中心エネルギー100MeV程度までのエネルギーレンジでスペクトル広がり数~1% (図3)、電荷量(ショット当たり)~10ピコクーロンの品質を維持しつつ高い再現性で最下流まで集束させながら輸送できることを確認した。これにより、より低密度の長尺ブースター加速にも適応出来るインジェクターとなった。さらに従来の 7.5m の装置サイズを~1m 程度まで小型化する事にも成功した(図4)。

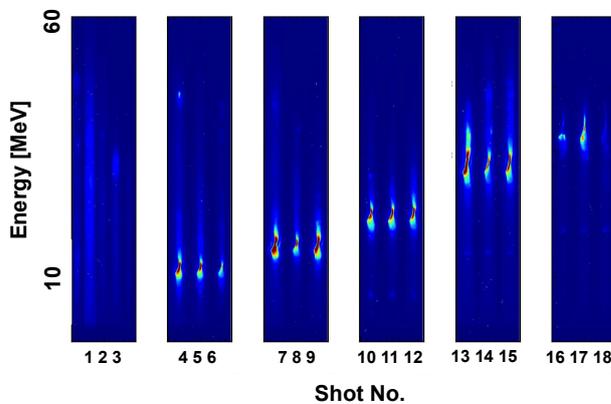


図 3 新規開発の電子ビームラインで輸送された入射電子ビームの典型的なエネルギースペクトル。同じエネルギースライス条件の連続3ショットを並べて表示。

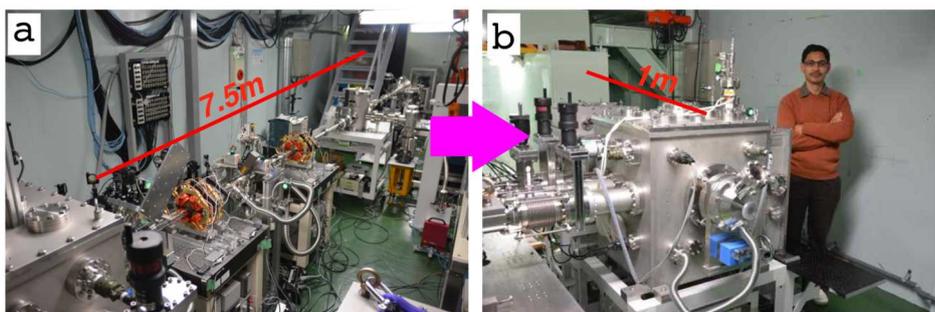


図 4 エネルギースライス機構付き電子入射器 a 改修前、b 改修後

2-2 成果

平成 27 年度はレーザー装置周囲や光学素子の温度変化，実験室の空気の揺らぎ，振動を発生する実験装置（真空ポンプ等）の影響を抑える対策を検討し対策を施した。これらによってポインティングスタビリティの向上を確認した。ステージング加速で 1GeV のエネルギー利得を得るには低密度の長尺ブースター加速に適応出来るインジェクターの開発が必要であり、その為に新方式の電子ビームオプティクスを用いたエネルギースライスの技術開発に着手し、エネルギースペクトルのさらなる狭帯化（広がり数～1%）と同時に装置の劇的な小型化（装置サイズを～1 m）を達成した。

2-3 新たな課題など

今年度から開発に着手したビームオプティクスがステージング加速に有効であることが明らかになったが、パラメータの最適化はまだ実施しておらず、今後も開発を継続する必要がある。その際、長尺ブースター用レーザー航跡場のパラメータとあわせて検討して行く必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し