

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：1A レーザー加速要素技術

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 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

ステージングレーザー航跡場加速において、安定な GeV 級の電子ビーム生成および制御技術の確立を目指し開発を進める。レーザー波面の補償光学系を導入、レーザーポインティングの安定化を継続、レーザー航跡場の直接観測のためのフェムト秒プローブレザーを整備する。さらに、ブースター用長尺プラズマチャネル（チャネルガイドレーザー航跡場）と GeV 級電子ビームのパルス駆動電子輸送ビームラインの開発を開始する。加えて、ブースターを想定した低密度領域で GeV 級の高効率電子加速に挑戦する。これらにより、プラットフォームでの組み合わせ試験の実施に備えた加速要素技術を確立する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

①ステージング加速技術

（コンポーネント開発）

レーザー波面の補償光学系、フェムト秒プローブ、ブースター用長尺プラズマチャネルなどの新たな技術を導入して安定な GeV 級のステージングレーザー加速に必要なコンポーネント開発を実施する為に、阪大光科学センターの 40TW レーザー実験室を改修/整備し、真空容器類も一新した（図 1）。



図 1 改修したレーザー加速実験室の鳥瞰図と地下部実験室写真（左）

レーザー集光エネルギーの充填率の向上と歪みのないレーザー航跡場の励起を目的とし、補償光学系（ディフォーダブルミラー）をパルス圧縮器の前に導入した。これにより、レーザーパルスの波面の歪はピーク to ピーク 6.6λ から 0.5λ （図 2（上））へ大きく改善し、これにより課題となっていた長焦点放物面鏡の集光スポット形状も図 2（下）に示す通り大きく改善し、エネルギー充填率が劇的に向上した。

レーザー航跡場の直接観測のためのフェムト秒プローブレザーを導入し整備した。パルス幅 5.5fs(FWHM), パルスエネルギー1.5mJ, 繰り返し 100Hz, CEP ジッター 170 mrad を達成した。これによりレーザー航跡場の直接観測の準備が整った。

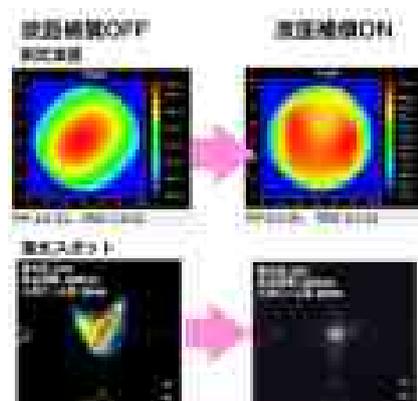


図 2 レーザーパルスの測定波面（上）

電子ビームの GeV 級加速のためにブースター用長尺プラズマチャンネル（チャンネルガイドレーザー航跡場）の開発を開始した。チャンネルは LCR パルス放電回路による放電プラズマで作ることとし電源と放電管負荷を設計製作した（図 3）。プラズマの流体不安定性を抑えながら長尺の安定なチャンネルを形成する為に予備放電とレーザーパルスを組み合わせたプレチャンネル形成を実施し、再現性の高いチャンネル形成に成功した。特に GeV 級の加速に重要となる低密度領域でのチャンネル形成の最適化を継続する。



図 3. ブースター放電管の写真

ステージング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た後に、アンジュレータまで電子ビームを正確に輸送することが必要である。また、システムをコンパクトにする為にパルス駆動の四重極電磁石(60 T/m)を導入することとし（図 4（右））、KEK の吉田光宏准教授にご協力いただきビームラインを設計しコンポーネントを準備した。1 GeV の電子源からビームライン出口までおよそ 4 m とするビームラインとした（図 4（左））。



図 4. 電子ビーム輸送の設計（左）と実際の 60 T/m のパルス駆動電磁石（右）

②ステージング加速技術（加速実験）

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、低密度の長尺チャンネルの中で追加速レーザー航跡場を励起する必要がある（図 2）。開発中の放電プラズマのブースター用長尺チャンネルを用いる前に、これまでの実験と同様にガスジェットを用いて模擬実験を実施した。 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ の密度のガスジェット中にレーザーパルスの調整により 4 ミリのチャンネルを形成した。これを初期条件として、6 TW 程度のレーザーパルスで加速実験を行った。駆動パルスは 6TW (300mJ, 50fs) 程度にも関わらず、500MeV 級の準単色電子ビームを生成し、そのテールは 600MeV に達した（図 5）。一般にサブ GeV 級の電子発生には最低数～10J 級のレーザーパルスが必要であることから、チャンネルの形成が高効率の加速に寄与したと考えられる。

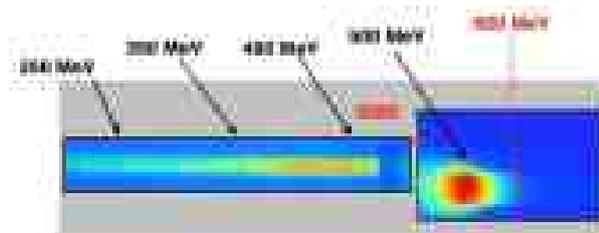


図 5. チャンネル加速模擬実験で得られた電子ビームのエネルギースペクトル

2-2 成果

平成 28 年度はプラットホームで必要不可欠となるレーザー加速要素技術として補償光学系、フェムト秒プローブ、追加速用長尺ブースターチャンネルの開発を実施した。これに先立ち、これらの研究実施に必要な実験室（レーザーーム、地下ビームライン）の大改修を行った。また、GeV 級ビームの発生後に必要なビームオプティクスをパルス駆動で提案し、設計整備した。プラットホームでの実験に先立ち、低密度チャンネル加速の模擬実験を実施し、これまで報告されていない高効率（入力エネルギー vs 電子の最大加速エネルギー）での加速を確認した。

2-3 新たな課題など

今年度から開発に着手した低密度の長尺チャンネルが高効率の加速に有効であることが明らかになった。チャンネル形成、加速、マッチング、等、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。また、ブースター航跡場の照射系の設計を検討する必要がある。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し