

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型
年次報告書

令和元年度 研究開発年次報告書

平成 29 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:熊谷 教孝]

[公益財団法人 高輝度光科学研究センター・名誉フェロー]

[研究開発課題名:レーザー駆動による量子ビーム加速器の開発と実証]

実施期間 : 平成 31 年 4 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日

§ 1. 研究実施体制

[A] 「JASRI 電子加速器等共通技術開発」グループ(公益財団法人高輝度光科学研究センター)

- ① 研究開発代表者: 熊谷 教孝 (公益財団法人高輝度光科学研究センター、名誉フェロー)
- ② 研究項目
 - ・ レーザープラズマ航跡場への同期入射用 $\sim 10\text{fs}$ 極超短パルス電子線型加速器の開発
 - ・ $\sim 10\text{fs}$ 極超短パルス電子幅の測定手法の開発
 - ・ フェムト秒領域のレーザー同期法の開発

[B] 「QST レーザー診断」グループ(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所)

- ① 主たる共同研究者: 神門 正城 (量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門 関西光科学研究所、グループリーダー)
- ② 研究項目
 - ・ 各種高精度高速ビーム診断技術の開発(パルス長・タイミング計測器の開発)
 - ・ ビーム制御技術の開発(イオン化入射法、衝撃波入射法、衝突入射法)

[C] 「QST イオン加速」グループ(国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)

- ① 主たる共同研究者: 白井 敏之 (量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門放射線医学研究所、部長)
- ② 研究項目
 - ・ 10 Hz 以上の高繰り返しレーザー駆動加速技術の開発
 - ・ 被加速粒子高純度化のための技術の開発
 - ・ レーザー、プラズマ、イオンに関するリアルタイム計測診断系の開発
 - ・ 4 MeV/u 重イオン加速スキームの最適化

[D] 「阪大電子加速」グループ(大阪大学 産業科学研究所)

- ① 主たる共同研究者: 細貝 知直 (大阪大学 産業科学研究所 量子ビーム物理研究分野 教授)
- ② 研究項目
 - ・ ラムダキューブ型電子入射器の開発
 - ・ 入射器の高度化
 - ・ 安定ブースターの開発

[E] 「分子研レーザー」グループ(大学共同利用機関法人 自然科学研究機構)

- ① 主たる共同研究者: 平等 拓範 (大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 分子科学研究所、特任教授)
- ② 研究項目
 - ・ 大口径連続接合装置の開発(直径数 cm 相当の DFC 構造製作用)
 - ・ TILA モジュールの産業展開の準備

[F]「理研レーザー」グループ(国立研究開発法人 理化学研究所)

① 主たる共同研究者：平等 拓範（理化学研究所 放射光科学総合研究センター、グループディレクター）

② 研究項目

- ・ 基本波出力 2J 級 DFC モジュールの開発
- ・ 第二高調波出力 1J 級波長変換素子の開発
- ・ TILA モジュールによる Ti:サファイアレーザー励起準備
- ・ スペクトル合成レーザーの基礎研究

[G]「阪大レーザー」グループ(国立大学法人大阪大学)

① 主たる共同研究者：河仲 準二（大阪大学レーザー科学研究所、教授）

② 研究項目

- ・ 大口径制御素子
- ・ 高強度・高繰り返しアクティブミラー型増幅器の開発
- ・ ジュール級二倍高調波(SHG)発生装置の開発
- ・ パラメトリック増幅試験
- ・ セラミックス母材新レーザー材料の開発
- ・ レーザーシステムの共用利用の促進
- ・ パワーレーザー用国内産業技術の結集と普及・産業展開

[H]「電通大レーザー」グループ(国立大学法人電気通信大学)

①主たる共同研究者：米田 仁紀（電気通信大学レーザー新世代研究センター、教授）

②研究項目

- ・ マルチコアファイバーを用いたコヒーレント加算
- ・ 超低損失高強度対応オゾン回折素子の開発とその応用
- ・ 低損失ミラーの損傷機構の解明と損傷データベース化

[I]「KEK アンジュレータ」グループ(大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構)

① 主たる共同研究者：足立 伸一（高エネルギー加速器研究機構、物質構造研究所、教授）

② 研究項目

- ・ 磁場増強マイクロアンジュレータ磁石の開発
- ・ マイクロアンジュレータ筐体の小型精密化
- ・ マイクロアンジュレータの開発

§ 2. 研究実施の概要

- 「小型 XFEL」研究開発

電子加速プラットフォームで 75MeV 準単色電子ビームの加速をアンジュレータ ($\lambda_u=10\text{mm}$, $L=500\text{mm}$) からの放射光で確認し、さらに、準単色ビームの追加速 ($\Delta E \sim 80\text{MeV}$) にも成功した。また、レーザープラズマ加速システムの社会実装に不可欠な、高品質で安定な電子ビームを実現するために、プラズマ加速場や電子ビームの特性の科学的理解を進めるための各種ビーム診断装置や fs 分解能のタイミングシステムの開発を実施した。

- 「重イオン小型入射器」研究開発

計算機シミュレーションで炭素イオンの生成に必要なレーザー特性等を策定した。これら計算値を実験的に評価するイオン加速プラットフォームレーザーシステムの整備が終了し、レーザースペクトルの安定化と高コントラスト化を実現、イオン生成等に関する予備実験を開始した。また、高純度炭素イオン生成用の高速薄膜ターゲットシステムについては駆動機構や高純度化手法の開発、および生成されたイオンの輸送系の軌道解析も実施した。

- 「高強度小型レーザーシステム」研究開発

Ti サファイア励起レーザーシステムとして、常温使用の DFC 構造の Nd:YAG と低温使用のアクティブミラー構造の Yr:YAG の励起レーザー先行器の開発を進め、実機に向けた技術開発に目処が着きつつある。また波長変換素子等についても開発を実施した。また、高強度短パルス Ti サファイアシステムの技術的検討を開始した。レーザー関連の要素技術開発として、機械学習を用いたレーザーの安定化、高耐力光学素子の開発および光学素子等の高信頼化評価用加速試験装置の開発を実施した。

- 主要な成果

- [1] Z. Jin *et al.*, “Coupling Effects in Multi-Stage Laser Wake-field Acceleration of Electrons”, Scientific Reports, 9, 20045, December 2019.
- [2] N. P. Dover *et al.*, “Effect of small focus on electron heating and proton acceleration in ultra-relativistic laser-solid interactions”, Physical Review Letters, 124, 084802, February, 2020.