

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型
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：佐野 雄二]

[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 社会連携研究部門・特命専門員]

[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：令和4年4月1日～令和5年3月31日

§1. 研究開発実施体制

[A] 「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

レーザー駆動電子加速技術開発

- ・ 入射器の高度化(可変ガスジェット標的開発)
- ・ キャピラリー加速実験準備
- ・ 数値シミュレーション
- ・ プラットフォームレーザー(BL3-10J)整備

[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

レーザープラズマ加速場の高速・高精度診断系の開発

- ・ バンチ計測システムの開発
- ・ EUV/X 線計測器の開発
- ・ ビーム制御技術の開発

[C] 「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 主たる共同研究者: 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

レーザープラズマ場評価用線型加速器および周辺要素技術の研究開発

- ・ 極超短パルス高性能電子ビーム生成用線型加速器開発・高度化研究
- ・ 線型加速器要素整備・設置・試験
- ・ 線型加速器外部入射プラズマ加速研究
- ・ 低温加速管準備・試験
- ・ EUV 領域用アンジュレータの製作と稼働

[D] 「KEK 小型システム」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: 吉田 光宏 (高エネルギー加速器研究機構、加速器研究施設、準教授)

② 研究項目

XFEL システムの小型化に向けた研究開発

- ・ EUV-FEL 実証用マイクロアンジュレータの開発
- ・ X-FEL 実証用マイクロアンジュレータの開発
- ・ 磁場増強マイクロアンジュレータ磁石の開発
- ・ 小型光源リングにおけるマイクロアンジュレータ利用の検討

- ・ 新奇原理に基づくマイクロアンジュレータの開発
- ・ レーザーシステムの小型化
- ・ 尖頭電流向上とバンチ内密度変調の研究
- ・ レーザープラズマ追加速

[E] 「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: 近藤 公伯 (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・光量子科学研究部、部長)
- ② 研究項目
レーザー駆動イオン加速技術の研究開発
 - ・ 実験とシミュレーションによるイオン加速スキーム並びにターゲット構造の決定
 - ・ 連続供給可能なターゲットシステムの開発
 - ・ 炭素ビーム輸送系並びに計測系の開発
 - ・ 実証機のためのイオン加速プラットホームレーザー増力

[F] 「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研究開発、及び TILA モジュールの産業展開
 - ・ 直径 10cm 相当大口径連続接合装置の実用化
 - ・ TILA モジュールの産業展開

[G] 「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
電子加速のためのパワーレーザーの研究開発
 - ・ 基本波出力 5J 級 DFC モジュールの開発
 - ・ TILA モジュールによる Ti:サファイアレーザー励起実験
 - ・ スペクトル合成レーザーの検証研究

[H] 「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) [2022 年 4 月まで]
宮永 憲明 (大阪大学レーザー科学研究所、特任教授) [2022 年 6 月から]
- ② 研究項目
レーザープラズマ加速のためのハイパワーレーザー研究開発
 - ・ AM 用大口径接合技術の開発

- ・ 新レーザー結晶の開発
- ・ 新しい広帯域増幅技術の開発

[] 「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

レーザーのフィジビリティスタディ

- ・ オゾン回折光学素子を用いた新しいレーザーシステムの開発
- ・ 深層学習を用いたレーザー制御の研究
- ・ 光学素子の長寿命化と高品質化の研究

§ 2. 研究開発成果の概要

■ 「小型 XFEL」研究開発

単色性に優れ高い電荷密度を持つ電子ビームを安定に生成するため電子入射器の開発に注力した。ガス標的を生成する超音速ノズル内部の非線形流体解析を行い、安定な電子入射が可能な新しいノズルを開発した。また、プラットホームレーザーにおいては、レーザーパラメータと電子ビームパラメータとの相関を正確に計測し、制御するシステムの構築を開始した。これらにより、ビームの単色性、ポインティングの安定性、電荷量等を大きく改善した。また、安定した高品質の電子ビームを生成するため、相対論的、無分散、自己無撞着な PIC (particle-in-cell) コードを用いて数値シミュレーションを行い、プラズマ密度分布のダウンランプ(急峻な密度勾配)を用いた電子の自己注入過程の制御と局在化について検討した。その結果は、実験装置の設計と実験パラメータを決定する際の指針として活用した。

■ 「重イオン小型入射器」研究開発

イオン加速プラットホームにおける炭素線発生実験やイオン化を考慮した PIC シミュレーションにより、レーザー装置の更なる集光性能および出力向上が必要なことを明らかにすると同時に、2023 年度の統合試験に向けたレーザー高度化の準備を開始した。また、ターゲット薄膜表面に付着する汚染層を連続的に除去する装置の特性を評価し、より高度化した装置の提案を行った。さらにイオンビームの制御に必要な加速器部品を準備することで、核子あたり MeV 級のイオンビームの捕集と伝送・評価の準備を進めた。シンクロトロン入射部分に関しては、シミュレーションによる検討を引き続き進めた。また、ビーム損失が十分抑制可能な真空度および真空度確保のための薄膜隔壁挿入効果の検討を行った。

■ 「高強度小型レーザーシステム」研究開発

将来の加速用レーザーシステムに必要な小型高出力レーザーの実現を目指した研究開発を推進した。DFC 構造の最適化による熱問題の解決、100J/100Hz に向けたアクティブミラー型の冷却構造の高度化およびフロントエンド・前置増幅器の改良、波長変換素子の開発、スペクトル合成による広帯域レーザー媒質の検討、新奇透明セラミックス材料の開発、超高耐力光学素子としてのオゾン密封型回折光学素子の開発、UV 光アニーリングによるミラーの高耐力化等において、多くの進捗があった。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Oumbarek Espinos Driss, *et al.*, "Electron beam energy slicing performance in laser wakefield acceleration", *Physics Letters A*, 453 (2022)
- [2] Zhenzhe Lei, *et al.*, "Controllable electron self-injection in laser wakefield acceleration with asymmetric gas-jet nozzle", *Prog. Theor. Exp. Phys.*, **2023**, 033J01 (2023)
- [3] Toshimasa Morita, "Characteristics of laminar ion beams accelerated via a few-joule laser pulse", *Phys. Rev. Research* 4, 043020,