

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 5 年 4 月 1 日～令和 6 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（国立大学法人大阪大学 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

1. EUV-FEL 実験
2. 入射器の高度化(可変ガスジェット標的開発)
3. キャピラリー加速実験準備
4. キャピラリー加速実験
5. 数値シミュレーション
6. プラットホームレーザー(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）

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 量子技術基盤研究部門、
関西光量子科学研究所、副所長）

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

1. バンチ計測システムの開発
2. EUV/X 線計測器の開発
3. 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 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

レーザープラズマ場評価用線型加速器および周辺要素技術の研究開発

1. 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
2. 線型加速器要素整備・設置・試験
3. 線型加速器外部入射プラズマ加速研究
4. 低温加速管準備・試験
5. 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、教授）

② 研究項目

XFEL システムの小型化に向けた研究開発

1. EUV-FEL 実証用マイクロアンジュレータの開発
2. X-FEL 実証用マイクロアンジュレータの開発

3. 磁場増強マイクロアンジュレータ磁石の開発
4. 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
5. 新奇原理に基づくマイクロアンジュレータの開発
6. レーザーシステムの小型化
7. 尖頭電流向上とバンチ内密度変調の研究
8. 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）

- ③ 主たる共同研究者：近藤 公伯（量子科学技術研究開発機構 量子技術基盤研究部門、
関西光量子科学研究所、部長）
- ④ 研究項目
レーザー駆動イオン加速技術の研究開発
 1. 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
 2. 連続供給可能なターゲットシステムの開発
 3. 炭素ビーム輸送系並びに計測系の開発
 4. 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
 1. 直径 10cm 相当大口径連続接合装置の実用化
 2. 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
 1. 基本波出力 5J 級 DFC モジュールの開発
 2. TILA モジュールによる Ti:サファイアレーザー励起実験
 3. 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 レーザー科学研究所）

- ① 主たる共同研究者：宮永 憲明（大阪大学レーザー科学研究所、特任教授）
- 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

1. AM用大口径接合技術の開発
2. 新レーザー結晶の開発
3. 新しい広帯域増幅技術の開発

[I] 「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

レーザーのフィージビリティスタディ

1. 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
2. 深層学習を用いたレーザー制御の研究
3. 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

■ 「電子加速／小型 FEL」研究開発

レーザー加速電子ビームを磁力相殺型の小型アンジュレータに導入することにより、EUV 領域でのアンジュレータ光増幅を観測し、第2ステージの目標を達成した。この成果は、レーザー光学系やガス標的の改良と、電子ビーム輸送・計測・制御系の開発・整備によるものであり、レーザー加速プラットフォームが統合システムとして稼働することを確認した。レーザー加速電子ビームは相対論的エネルギー領域にあり生体組織に対して深達性が高いことから、体内深部のがん病巣のプロドラッグを局所的に活性化する低線量照射トリガーとして利用する「相対論的電子ビーム化学療法」を提案し、抗がん剤の生理活性や、マウスの局所部位で薬理効果が特異的に発現することを確認した。

■ 「重イオン小型入射器」研究開発

レーザーによる核子あたり MeV 級のイオン発生・加速、輸送、診断の入射器の一連の機能を確認し、第2ステージの目標を達成した。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、POC 達成には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、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の除去特性を評価し、より高度化した装置の提案を行った。シンクロト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。常温接合を活用した DFC チップによる Ti:サファイアレーザー励起実験、広帯域化のためのスペクトル合成等に於いて進捗を見るとともに、産業展開を推進した。アクティブミラーレーザーに関しては、長時間試験の準備を進めるとともに CaF₂透明セラミックスの試作・特性評価・改善を行った。超高耐力光学素子としてのオゾン密封型回折光学素子に関してはオゾンガス中の疎密波構造の解明による汎用化、UV 光アニーリングによるミラーの高耐力化の検討等を進めた。

【代表的な原著論文情報】

- [1] Zhen-Zhe Lei *et al.*, "Supersonic gas jet stabilization in laser-plasma acceleration," *High Power Laser Science and Engineering*, 11, e91, 1-8, <http://dx.doi.org/10.1017/hpl.2023.82>
- [2] K. Huang *et al.*, "Numerical study on femtosecond electro-optical spatial decoding of transition radiation from laser wakefield accelerated electron bunches," *Physical Review Accelerators and Beams*, 26, 112801, 1-22, <https://doi.org/10.1103/PhysRevAccelBeams.26.112801>.
- [3] Sadaoki Kojima, *et al.*, "Induction heating for desorption of surface contamination for high-repetition laser-driven carbon-ion acceleration", *Matter and Radiation at Extremes*, 8, 054002 (2023).