



|              |                                                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Study of Gas Target Instability Effects on Laser Wakefield Acceleration                                                                               |
| Author(s)    | 雷, 臻哲                                                                                                                                                 |
| Citation     | 大阪大学, 2025, 博士論文                                                                                                                                      |
| Version Type |                                                                                                                                                       |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/101910">https://hdl.handle.net/11094/101910</a>                                                                 |
| rights       |                                                                                                                                                       |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name ( Zhenzhe Lei )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                             |
| Title                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Study of Gas Target Instability Effects on Laser Wakefield Acceleration<br>(レーザー航跡場加速におけるガス標的不安定性の影響に関する研究) |
| <p>Abstract of Thesis</p> <p>Laser wakefield acceleration (LWFA) is capable of accelerating electrons to high energy in a short distance due to the strong electric field inside plasma wave. This characteristic makes it feasible to develop compact free electron laser (FEL). Preparing high quality and reproducible electron beams for the undulator of FEL via LWFA remains a challenge. Quasi-monoenergetic electron beam can be produced by the shock injection method since the electron injection is well localized. However, the electron beam quality is sensitive to shock front properties.</p> <p>This work focuses on the development of plasma targets to deliver high quality electron beam suitable for extreme ultraviolet FEL. The experimental and numerical studies show that shock fluctuation has a strong relation to the stability of the upstream gas flow provided by the supersonic nozzle. By employing a stilling chamber and meshes into the gas flow, the effect of turbulence and vortex structures in the gas flow are significantly suppressed in both simulations and experimental measurement. The corresponding fluctuation of shock front can be reduced from 20 <math>\mu\text{m}</math> to 1.5 <math>\mu\text{m}</math>. Reproducible electron beams with charge of 20pC, peak energy of 370 MeV and energy spread less than 2% are achieved on the LAPLACIAN platform in RIKEN SPring-8 Center, Japan. The pointing fluctuation of the electron beams are 0.5 mrad. Such electron beams meet the requirements of future extreme ultraviolet FEL experiments.</p> |                                                                                                             |

論文審査の結果の要旨及び担当者

|                              |          |          |
|------------------------------|----------|----------|
| 氏 名 ( 雷 臻哲 ( Lei Zhenzhe ) ) |          |          |
| 論文審査担当者                      | (職)      | 氏 名      |
|                              | 主 査      | 教授 細貝 知直 |
|                              | 副 査      | 教授 藤岡 慎介 |
|                              | 副 査      | 教授 川畑 貴裕 |
|                              | 副 査      | 准教授 金 展  |
| 副 査                          | 准教授 顧 彦珩 |          |

**論文審査の結果の要旨**

論文題目：Study of Gas Target Instability Effects on Laser Wakefield Acceleration  
(レーザー航跡場加速におけるガス標的不安定性の影響に関する研究)

本研究はレーザー航跡場加速（Laser Wakefield Acceleration:LWFA）による電子ビームを駆動ビームとした極短紫外線（XUV）領域の自由電子レーザー（Free Electron Laser:FEL）の発振を目標に掲げたプロジェクト研究の下、この FEL 発振に要求される高品質の極短単色電子ビームを生成するためのガスジェットプラズマ標的を開発し、そのガスジェットプラズマ標的と LWFA 電子ビームの品質・安定性の相関を評価している。

LWFA は、超高強度レーザーとプラズマの相互作用で励起されるプラズマ波の強い電場により、電子を短距離で高エネルギーまで加速することが可能であるが FEL 発振に要求される高品質な高エネルギー電子ビームを安定に生成するには、標的プラズマの精密な制御など、未だ解決されていない課題がある。申請者は本研究において、密度分布の制御性の高い標的プラズマを生成するために数値流体シミュレーションを用いて標的内の超音速流の解析を実施し、これまで考慮されていなかったパルス駆動のガス導入に起因する超音速ガスジェット流内の過渡的な不安定性がプラズマ標的の衝撃波面の揺動に与える影響を明らかにした。そして、この問題を解決するための新しい標的ノズルを提案、設計製作、実験にこの新しい標的ノズルを導入、これによって LWFA 電子ビームの品質と安定性を飛躍的に向上させ、最終的には LWFA 実験において、XUV 領域の FEL 発振を確認するに至った。

申請者は、LWFA の物理の深い理解をベースに、独自のプラズマ標的を考案し、そのアイディアを数値計算によって確認、その知見を用いてこれまでにない新しいプラズマ標的装置を製作し高強度レーザー実験を実施、最終的に研究目標である LWFA ベースの XUVV-FEL の発振を確認するに至った。新しいプラズマ標的装置によって得られた電子ビームは世界の LWFA 研究の中でもトップクラスの品質と安定性の電子ビームとして評価される。申請者の発明した標的技術は、今後、世界の LWFA 研究に広く普及し大きく貢献することが期待される。これらの成果は三報の投稿論文が申請者を第一著者として出版（XUV 領域で FEL 発振の結果については執筆中）されている。これらの成果は大きな評価に値する。

以上より、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。