OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	High quality laser driven electron beams for undulator and free electron laser radiation
Author(s)	Oumbarek Espinos, Driss
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85390
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （OUMBAREK ESPINOS DRISS）	
Title	High quality laser driven electron beams for undulator and free electron laser radiation （自由電子レーザーならびにアンジュレーター放射光源のための高品質レーザー加速電子ビームに関する研究）

Abstract of Thesis

Particle accelerators are a cornerstone of today science for research and industrial applications. They are used for example for radiation sources such as undulator radiation and free electron laser (FEL), the brightest tunable x-ray sources available. FEL aiming at low wavelengths require of long accelerator facilities (up to km) to provide the electron energies needed.

The recent progress in Laser Plasma Acceleration (LPA) makes it attractive for FEL usage thanks to its capacity to produce femtosecond, GeV beams in cm scale distances. However, the LPA beams slice divergence, energy density and energy spread are not on par with the standard beams utilized for FELs. Moreover, LPA beams transport is still challenging due to the large initial divergence and energy spread. In view of a FEL application, the energy spread has to be adapted to reach the required small slice value while the beam divergence has to be controlled to avoid chromatic effects and emittance growth with strong focusing elements.

The COXINEL line aims to demonstrate LPA based FEL. The line transports the electron beam from the source to the undulator while compensating the initial divergence, manipulating and focusing the beam at the undulator using classic magnetic devices. Following the electron beam path, a triplet of specially designed variable gradient quadrupoles called QUAPEVA compensate the initial divergence. The beam is transported in a magnetic chicane for energy selection, followed by a set of four electro-magnet quadrupoles for proper focusing inside a cryo-ready undulator. After the undulator a dipole dump evacuates the electrons.

In this thesis, the qualification and evolution during transport of the LPA produced electron beams for FEL generation on the COXINEL experiment is explored. The experimental LPA source has been modeled via particle in cell simulations to find the setup performance and generated electron beam parameters dependance on the gas target characteristics. The simulation shows beams with mean RMS slice divergences of 2 mrad, energy spreads of 10 % and peak energies around 170 MeV in the best cases. The experiment was designed for a baseline electron beam parameters that are able to produce FEL radiation in simulations, but deviations from them cause a fast drop in FEL power or completely nullifies it. At each experimental campaign the LPA performance have improved steadily. But, during the multiple experimental campaigns, the beam parameters found at the source are still far from the baseline. Simulations exhibit a considerable degradation of the transport due to the high experimental divergence and pointing but the COXINEL line is still able to transport the reference energy slice without losses. Utilizing the diagnostics along the COXINEL line, the beam parameters evolution has been monitored. A strong beam worsening during experiment has been observed due to laser degradation with use. Thus, the beam arriving at the undulator during the FEL search experiments presents a higher emittance and lower charge than the measured at the spectrometer in the beginning of the experiment. The beam divergence, energy spread and initial pointing have been found to be the main causes of transport degradation. its effects have been quantified by simulations and confirmed experimentally. This thesis works shows that the electron beam characteristics can be measured along the line. From the beam transverse size measured at the middle of the chicane and transport equations the mean reference slice RMS vertical emittance has been found to be of 3.2 mm.mrad and the RMS divergence 2 mrad. The measurement of the beam at the dipole dump permitted to observe the reference energy slice charge that crossed the undulator. The best mean reference slice charge value was 0.27 pC. The simulation and calculations of radiation with such beam values confirm that no FEL can be reached. Further improvements of the LPA beam are still necessary to achieve FEL.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　（ OUMBAREK　ESPINOS　DRISS ）			
論文審査担当者		（職）	氏　　名
	主 査	教授	兒玉　了祐
	副 査	教授	上田　良夫
	副 査	教授	蔵満　康浩
	副 査	教授	白神　宏之
	副 査	教授	村上　匡且

論文審査の結果の要旨

本論文は、レーザープラズマ加速電子を用いた自由電子レーザー（FEL）ならびにアンジュレータ放射光源実現を目指して、必要とされる電子ビームの性能とビームラインの特性に関する研究成果をまとめたものであり、以下の８章から構成されている。

第１章は、序論であり、本研究の背景と現状ならびに関連する研究分野についてまとめ、本研究の目的とその位置づけを明確にしている。

第 2 章では、レーザープラズマ電子加速の原理ならびに世界最先端の成果をまとめるとともに、レーザープラズマ中で加速された電子ビームを制御しその性能を改善するビームラインの必要性を明らかにしている。

第３章では、レーザープラズマ加速電子ビームによる FEL 実証を目的とした専用ビームライン（COXINEL ビームライン）が、レーザープラズマ電子加速研究において高い性能を有した対向照射方式での電子ビームの特性を基本として設計されていることを紹介している。ここでは、初期の電子ビームの発散を補償しながら、これをアンジュレータに輸送し集中させるビーム制御に関する評価が行われている。

第４章では、レーザープラズマ電子加速において、プラズマのイオン化過程を利用した手法は、高い性能を有した対向照射方式に比べて、その構成は単純で FEL の実用化に適していることを示している。しかし、イオン化方式の当初の実験では、対向照射方式の性能を基本とした目標値には及ばなかった。一方で、レーザー強度などシステムの最適化と改良の結果、電荷量やビーム拡がりにおいて性能が向上することを示している。

第５章では、2 次元粒子シミュレーションコードを用いて、プラズマとなるガスターゲットの密度やレーザー強度を変えて最適化を行っている。低密度（$4.5 \times 10^{18}\ cm^{-3}$）と窒素 1 %を付加したターゲットにおいて、ビーム発散角が２mrad 程度、エネルギー広がりが 10%程度得られているが、FEL に必要で電子ビーム性能に至っていないことも示している。

第６章では、 実験の電子ビーム性能と四重極の調整誤差など幾つかの現実に即した初期条件で、電子源からアンジュレータまでの広範な追跡シミュレーションを行っている。その結果、COXINEL ビームラインの輸送とモニターの能力があることを示すと共に、実験中にビームの画像の測定からビームの不規則性を特定できる可能性があることを示している。

第 7 章では、ビームラインに沿って電子ビームの全電荷の変化を調べ、輸送シミュレーションと一致することを示している。また、アンジュレータでのエネルギー分布の測定で、実際の FEL に使われるスライス電荷が示されている。さらに初期ビームエミッタンスと新しい初期垂直ポインティング測定に成功している。

第８章は結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

本論文で得られた成果は次の通りである。

· 実験の電子ビーム性能と四重極の調整誤差など幾つかの現実に即した条件での横方向ビームダイナミックスを明らかにしている。その結果をもとに、横方向のビーム形状診断によりビーム性能ならびに下流でのビームダイナミックスの予測つながることを示している。

・電子ビームは、エミッタンスや、アンジュレータでの電荷密度ならびにビームポインティング測定など、ビームラインに沿って特徴づけられていることを明らかにしている。その結果をもとに、レーザープラズマ加速電子ビームの特性はビームラインによって改善されることに成功している。

本研究では、レーザープラズマ加速電子ビームを FEL に利用するうえでの電子ビーム輸送とビームモニターの重要性を示されている。さらに本研究成果は、レーザープラズマ加速電子ビームによるシンクロトロン放射や多段加速にも有用であり、レーザープラズマ加速電子ビームを現実的に利用する上でも極めて重要と考えられる。

以上のように、本論文はプラズマ科学、加速器科学の発展に寄与するところが極めて大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。