

京都大学中赤外自由電子レーザー研究施設

Present Status of Kyoto University MIR-FEL Facility

大垣英明^{#,A)}、紀井俊輝^{A)}、増田開^{A)}、園部太郎^{A)}、金城良太^{A)}、M.A.Bakr^{A)}、Yong-Woon Choi^{A)}、
上田智史^{A)}、高崎正人^{A)}、吉田恭平^{A)}、石田啓一^{A)}、木村尚樹^{A)}

Hideaki Ohgaki^{#,A)}、Toshiteru Kii^{A)}、Kai Masuda^{A)}、Taro Sonobe^{A)}、Ryota Kinjo^{A)}、M.A.Bakr^{A)}、Yong-Woon Choi^{A)}
Satoshi Ueda^{A)}、Masato Takasaki^{A)}、Kyohei Yoshida^{A)}、Keiichi Ishida^{A)}、Naoki Kimura^{A)}

^{A)} 京都大学エネルギー理工学研究所

611-0011 宇治市五ヶ庄

^{A)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University

Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011

Abstract

A linac based Mid Infrared Free electron Laser (MIR-FEL) facility has been developed in Institute of Advanced Energy, Kyoto University. The linac consists of 4.5-cell thermionic RF gun and S-band accelerator tube generates up to 40 MeV electron beam whose macro-pulse duration is 5.5 μ s. Up to now 12-14 μ m FEL beam has been generated by use of this electron beam and continuous studies are carried out to extend the FEL wavelength as well as to generate stabilized lasing. For MIR-FEL application researches an MIR-FEL transport line has been installed and an application room is under preparation. The KU-FEL facility is open for users through “The Collaboration Program of the Laboratory for Complex Energy Processes, Institute of Advanced Energy, Kyoto University”.

<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/>

1. はじめに

京都大学エネルギー理工学研究所では、比較的小規模の中赤外域自由電子レーザー (MIR-FEL) の発生とその利用を目標に、小型量子放射発生装置 (KU-FEL) の建設を行ってきている。特に中赤外域 (5-20 μ m、波数 2000-500 cm^{-1}) は、分子振動の殆どがこの領域に出現するために、波長可変で高パルス出力、短パルスという従来の光源にない特性を有する MIR-FEL を用いることで、化学結合の選択的な切断や多光子吸収等を利用した、新しいエネルギー材料開発等が可能である。

KU-FEL 装置の構成は 4.5 空洞の熱陰極型高周波電子銃、3 m の加速管 1 本、ビーム輸送部、1.6 m Halbach 型アンジュレータと光共振器からなる^[1]。

(図 1) 現在、定常的に最大ビームエネルギー 40 MeV までで、ビーム電流 120 mA、最大パルス幅 6 μ s でエミッタンス 10 π mm-mrad、エネルギー広がり 0.5% の電子ビームを発生している。この電子ビームを用いて 2008 年 3 月には、波長 13.2 μ m において、出力の飽和を達成した^[2]。この時の FEL のビーム特性は、ピークパワー 5 MW、マイクロパルス幅 700 fs であり、現在、5-14 μ m での安定したレーザー発振を実現するための研究を行っている。

一方、FEL を利用した研究を進めるために、ユーザー利用実験室の整備と MIR-FEL ビームラインの建設を行っている。本施設はエネルギー理工学研究所複合機能エネルギー研究センターの施設であり、毎年、センター共同研究の枠組みで、学内外の研究者に公開されており、2009 年度には 10 件のセンター共同研究を行った。

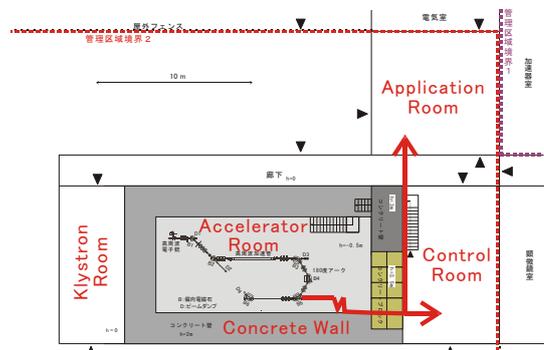


図 1 : Overview of the KU-FEL facility

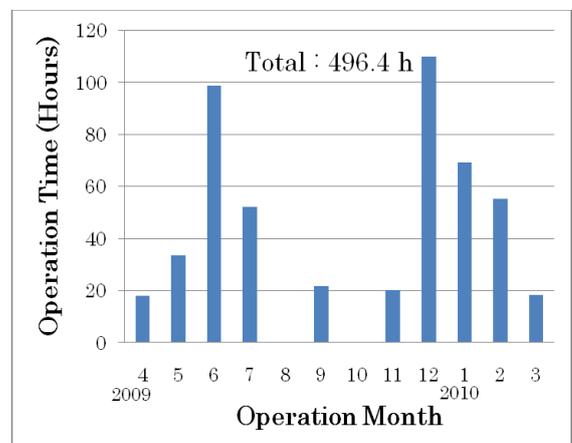


図 2 : 平成 21 年度電子直線加速器稼働状況

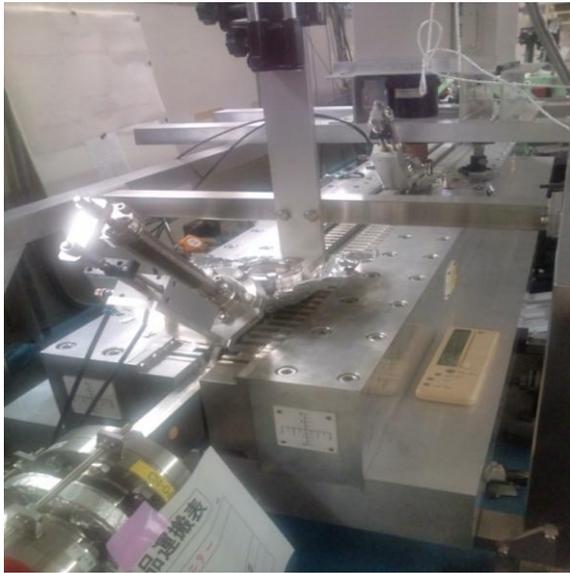


図 4 : JAEA 1.8 m アンジュレータ

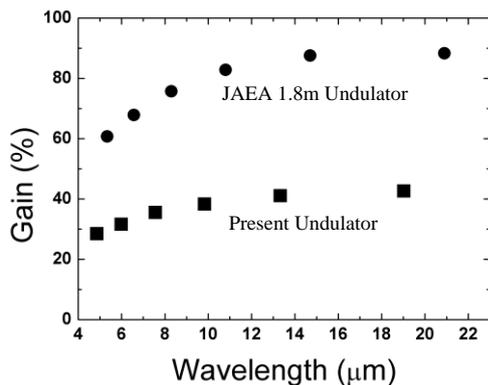


図 5 : FEL ゲインの波長依存性

表 1 : アンジュレータパラメータ

	現行	JAEA アンジュレータ
全長 (m)	1.6	1.8
周期数	40	52
周期長 (mm)	40	33
最小ギャップ長 (mm)	25.5	15
最大磁場 (T)	0.26	0.5
最大 K 値	0.99	1.54

図 4 及び表 1 に導入予定の JAEA アンジュレータの概観及びその主パラメータを示す。本改造により得られる FEL ゲイン並びに発振可能波長域の見積もりのためにシミュレーション計算を行った。この FEL シミュレーションでは、電子ビームパラメータに Parmela からの出力を用い、共振器長 4.52 m、上流ミラーの曲率半径 3.03 m、下流ミラーの曲率半径 1.87 m、FEL 出力ホール直径 2 mm の現行の光共振器を用いて試算した。計算によって得られた予想ゲインと、現行の 1.6 m アンジュレータによる FEL ゲインをそれぞれ図 5 に示す。このときの計算条件は、電子ビームはビーム半径が x 方向で 0.6 mm、y 方向で 0.4 mm、規格化エミッタンス $3.5 \pi \text{ mm mrad}$ 、ピーク電流 17 A、エネルギー幅 0.5 %、マクロパルス長 6.7 μs としている。FEL 出力計算は時間依存の計算を共振器型 FEL に対応させて我々のグループで拡張した GENESIS により行い、発振波長 14.7 μm においてピーク出力 50 MW 程度の FEL が得られることが確認された。現在、Photocathode RF gun の導入について、マルチバンチレーザーの設計を行っており、その繰り返し周波数から、FEL 共振器長を 5 m に延長し、共振器パラメータの最適化を行っている。

参考文献

- [1] 山崎鉄夫: 加速器, 2 (2005) 251.
- [2] H. Ohgaki, T. Kii, K. Masuda, H. Zen, S. Sasaki, T. Shiiyama, R. Kinjo, K. Yoshikawa, T. Yamazaki, "Lasing at 12 μm Mid Infrared Free Electron Laser in Kyoto University", Jap. Jour. of Appli. Phys., Vol.47, No.10, pp.8091-8094(2008).
- [3] T. Kii, Y. Nakai, T. Fukui, H. Zen, K. Kusukame, N. Okawachi, M. Nakano, K. Masuda, H. Ohgaki, K. Yoshikawa, T. Yamazaki, "Reducing energy degradation due to back-bombardment effect with modulated rf input in S-band thermionic rf gun", AIP, Synchrotron Radiation Instrumentation, pp.248-251(2006).
- [4] H. Zen, T. Kii, K. Masuda, R. Kinjo, K. Higashimura, K. Nagasaki, H. Ohgaki, "Beam Energy Compensation in a Thermionic RF Gun by Cavity Detuning", IEEE transaction on nuclear science, Vol. 56, No. 3, pp.1487-1491(2009).
- [5] K. Masuda, T. Shiiyama, T. Kii, H. Ohgaki, K. Kanno, E. Tanabe, "Development of a Thermionic Triode RF Gun", Proc. of FEL2009, pp.281-284 (2009).
- [6] M.A. Bakr, K. Yoshida, K. Higashimura, S. Ueda, M. Takasaki, R. Kinjo, H. Zen, T. Sonobe, T. Kii, K. Masuda, H. Ohgaki, "Comparison between the hexaboride materials as thermionic cathode in the RF guns for a compact MIR-FEL driver", Zero-Carbon Energy Kyoto 2009, pp.202-210(2010).
- [7] T. Sonobe, M. Bakr, K. Yoshida, K. Higashimura, R. Kinjo, K. Hachiya, T. Kii, K. Masuda, and H. Ohgaki, "Investigation of the Effects of MIR-FEL Irradiation on the PL of Titanium Dioxides", AIP Conf. Proc. WIRMS 2009, p. 23 (2009).
- [8] H. Ohgaki, T. Kii, K. Masuda, M. A. Bakr, K. Higashimura, R. Kinjo, K. Yoshida, S. Ueda, T. Sonobe, H. Zen, and Y. U. Jeong, "Status of the MIR-FEL Facility in Kyoto University", Proc. of FEL2009, pp.572-575 (2009)