

STATUS REPORT OF IR-FELS AT TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

Takayuki Imai ^{#,A)}, Tetsuo Morotomi^{B)}, Keiichi Hisazumi^{B)}, Tetsuo Shidara^{C)}, Mitsuhiro Yoshida^{C)}, Keisuke Komiya^{D)}
and Koichi Tsukiyama^{A)}

^{A)} IR-FEL research center, Research Institute for science and Technology, Tokyo University of Science
2641 Yamazaki, Noda, Chiba, 278-8510

^{B)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd.
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

^{C)} High Energy Accelerator Research Organization, KEK
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{D)} Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science
2641 Yamazaki, Noda, Chiba, 278-8510

Abstract

FEL-TUS, IR-FEL research center of Tokyo University of Science, is a research facility for mainly aiming at the promotion of photo-science using IR-FEL. It is equipped with a mid-infrared FEL which provides continuously tunable radiation in the range of 5-14 μm as well as a far-infrared FEL designed to lase in the terahertz region. We report the present status of IR-FELs at FEL-TUS.

東京理科大学・赤外自由電子レーザーの現状報告

1. はじめに

東京理科大学総合研究機構・赤外自由電子レーザー研究センター（略称 FEL-TUS; Free Electron Laser at Tokyo University of Science）^[1-3]は、赤外自由電子レーザー（IR-FEL）の光利用研究施設として、大学内外のユーザー利用を推進している。FEL-TUSのこれまでの主な活動状況は以下の通りである。

・平成 11 年度～15 年度

（平成 11 年 4 月 研究センター発足）

文部科学省科学研究費補助金学術創成研究費による研究プロジェクト「赤外自由電子レーザーの高性能化とそれを用いた光科学」実施。自由電子レーザー装置の製作、発振、及び光利用研究の開始。

・平成 16 年度～18 年度

自由電子レーザー装置の安定化・高出力化と基礎研究（主に分子科学）に重点を置いた光利用の推進。

・平成 19 年度～20 年度

文部科学省「先端研究施設共用イノベーション創出事業【産業戦略利用】」実施。外部利用ユーザーとして企業利用の開始。

・平成 21 年度～

文部科学省「先端研究施設共用促進事業」（上記「先端研究施設共用イノベーション創出事業」を廃止して、創設された事業）実施。平成 21 年度末に共用体制整備状況評価を受け、事業継続（3 年）。

2. FEL 装置と稼働状況

2.1 FEL 装置

FEL-TUS は、図 1 にあるように 2 台の FEL 装置を有している。中心となっているのは中赤外自由電子レーザー（MIR-FEL）で、5-14 μm で発振しユーザー利用されている。もう 1 台は、遠赤外自由電子レーザー（FIR-FEL）であり、テラヘルツ領域で発振するよう装置設計されている。両 FEL とも S-band Linac と光共振器を組み合わせた基本構成であるが、それぞれのパラメータについては、表 1 で比較する。

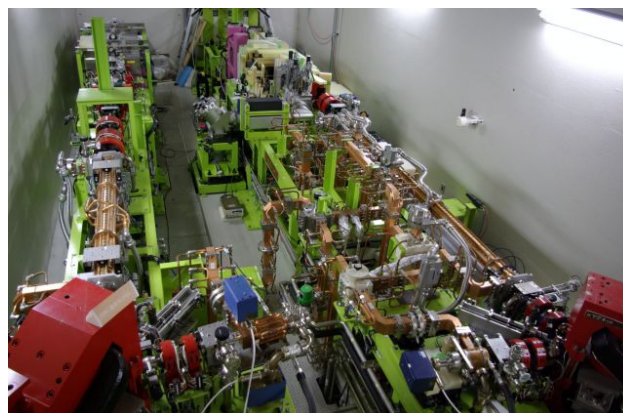


図 1 : FEL-TUS 装置室内にある 2 台の FEL 装置。右側が MIR-FEL、左側が FIR-FEL。

[#]timai@rs.noda.tus.ac.jp

表 1 : MIR-FEL と FIR-FEL の比較

	MIR-FEL	FIR-FEL	
Wavelength	5-14	300-1000	μm
		(design)	
e ⁻ beam energy	40	10	MeV
Length of Acc. tube	3	1.5	m
<u>Undulator</u>			
Period	32	70	mm
No. of period	25	43	
<u>Optical Resonator</u>			
	Fabry-Perot	Hybrid	
Mirror curvature	2.0/1.6	2.0	m
Mirror size	43	4.1×65	mm
Cavity length	3.36	2.5	m

2.2 装置の稼働状況

装置の稼働状況については、図 2 に過去 5 年度分（平成 18～22 年度）の実績と平成 22 年度の月別稼働時間を示す。なお、時間数は、ユーザー利用時間だけでなく、調整時間等を含んだ RF 電源運転総時間である。

放射光施設と異なり、1 ビームタイムに 1 ユーザーが利用する体制となっている。24 時間運転は実施しておらず、原則 9 時に装置を立ち上げ、最長 22 時までの運転、ユーザーが実験終了時点で装置を停止している。近年装置側に特に大きなトラブルはなく順調に稼働している。（年度毎のばらつきはあるが、これはユーザー利用の状況を反映したものとと言える。）また、夏季を装置メンテナンス期間としており、寿命が約 1 年程度であるので、電子銃のカソード交換、Aging に充てている。

2.3 東北地方太平洋沖地震の影響

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（FEL-TUS のある千葉県野田市は震度 5 強）が発生した際、ユーザー実験中で MIR-FEL を運転していたため、すぐに手動で停止した。幸い、FEL 装置本体のみならず、制御室、実験室の実験機器の破損等はなかった。その後、計画停電実施予定のため装置の再立上ができずにいたが、地震発生から 2 週間後には大がかりな装置調整することなく、発振を確認することができた。

その後も含め計画停電は実施されなかったが、実施に備え頻りに電子銃カソードのヒーター ON/OFF を繰り返したためカソード寿命が短くなり、例年より早く夏季メンテナンスを実施することになったが、それ以外は地震・震災の影響はなかった。

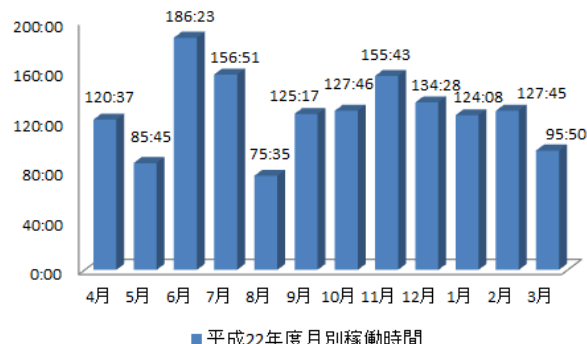
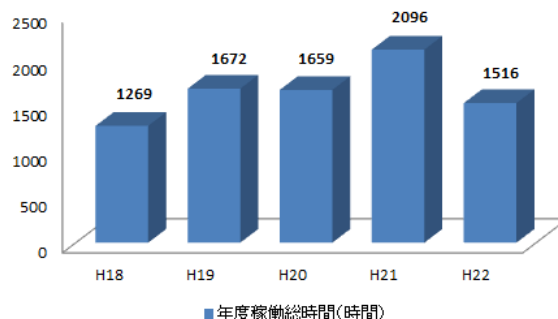


図 2 : FEL 装置の稼働実績。平成 18～22 年度の年度別稼働時間（上段）と平成 22 年度の月別稼働時間（下段）。

3. FEL 光利用研究

FEL-TUS では、学内外を問わず、MIR-FEL の特長を生かした光利用研究に取り組むグループにビームタイムを開放しており、成果も発表されている^[1,4]。平成 23 年度採択された課題については、表 2 に示す。

表 2 : 平成 23 年度 FEL 光利用研究課題

- 1 自由電子レーザー照射による分子構造の変化
- 2 中赤外パルスレーザー光照射によるシラシクロブタンの分子変換
- 3 歯質への FEL 応用
- 4 赤外自由電子レーザー励起による固体内局在中心可視発光
- 5 自由電子レーザーによる有機化合物の赤外多光子分解を利用した炭素、窒素、ケイ素などの同位体の分離・濃縮法の開発
- 6 FEL を用いた in situ 積層薄膜解析技術の開発
- 7 赤外自由電子レーザー照射による光学材料の挙動観察

上記は今年度始めの課題募集への応募で採択されたものであるが、FEL の利用に関しては、随時相談を受け付けている。詳細に関しては FEL リエゾンホームページに情報を掲載している^[5]。

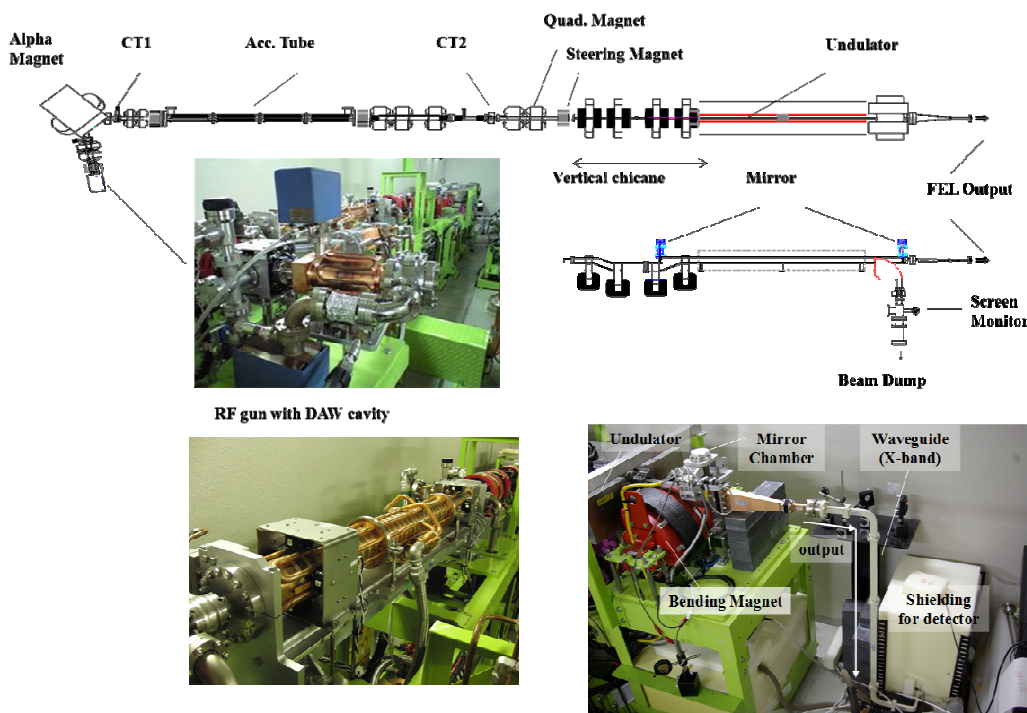


図3 : FIR-FEL の Layout と各部の写真。

4. 加速器開発研究

FEL-TUS は上述の通り、光利用研究施設であるが、発振に向け調整を行っている FIR-FEL (図 3) において加速器の開発研究にも取り組んでいる。これまでに、KEK、理科大学院グループと共同開発した加速空洞に DAW (Disk-and-Washer) 型空洞を用いた熱カソード RF 電子銃を導入し、電子ビーム生成、加速、自発放射光検出まで成功している。

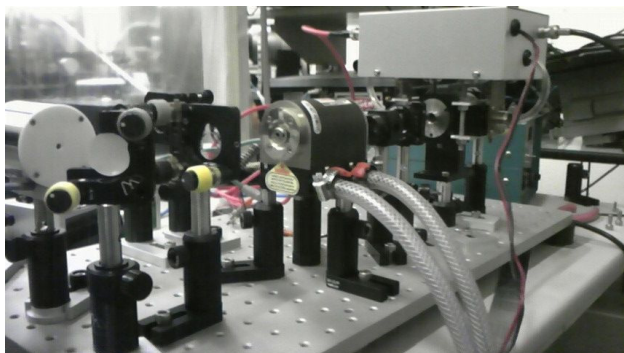


図 4 : 立上調整中の FIR-FEL の電子銃照射用 YAG レーザー。

しかし、今後発振に向けた共振器調整を行っていく上では、現状より高いピーク電子ビーム電流量、放射光強度が好ましい。そこで、電子銃カソードにレーザー照射 (レーザー変調熱カソード) することを検討、準備を進めている。すなわち、レーザー照射により、マルチバンチの先頭バンチを通常バンチより電流量を大幅に増やし (ビックバンチ)、大強度の放射光を種光として用い飽和までの時間を短

縮し、共振器内で後続する通常のバンチと相互作用させ、出力を持続的に飽和する、安定、高効率の発振が期待できる。またビックバンチによる大強度放射光は、光検出が容易となり、共振器調整において有用であることも特長である。現在カソード照射用の YAG レーザーを立上、調整中 (図 4) であり、FIR-FEL が設置されている装置室内に近々導入予定である。

謝辞

FEL-TUS には、KEK 入射器グループからご支援、ご協力をいただいております。FEL の安定運転が実現し、光利用研究をすすめることができている。また、加速器の開発研究では、KEK・大学等連携支援事業により支援を受けている。関係各位に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] "Infra-red free electron laser at Tokyo University of Science", T. Imai, K. Tsukiyama, T. Shidara, M. Yoshida, T. Morotomi, and K. Hisazumi, Proceeding of IPAC'10, 2188 (2010).
- [2] 加速器学会年会における現状報告. 第 1 回(4B06), 第 2 回(21P068), 第 4 回(WP08), 第 6 回(TPOPA24), 第 7 回(FSRP18).
- [3] <http://www.rs.noda.tus.ac.jp/fel-tus/>
- [4] "¹³C-selective infrared multiple photon dissociation of b-propiolacton by a free electron laser", Y. Miyamoto, T. Majima, S. Arai, K. Katusmata, H. Akagi, A. Maeada, H. Hata, K. Karamochi, Y. Kato and K. Tsukiyama, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 269(2011)180-184.
- [5] <http://www.rs.noda.tus.ac.jp/liaison/>