

## Status of IR-FEL research center of Tokyo University of Science

FEL-TUS; Free Electron Laser at Tokyo University of Science #A)

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

### Abstract

IR-FEL research center of Tokyo University of Science (FEL-TUS) is a facility for aiming at the development of high performance FEL device and promotion of photo-science using it. The main part of FEL-TUS is a mid-infrared FEL (MIR-FEL) which consists of an S-band linac and an undulator combined with an optical resonance cavity. MIR-FEL provides continuously tunable radiation in the range of 5-14  $\mu\text{m}$  and a variety of experiments by the use of this photon energy corresponding to the various vibrational modes of molecules are now underway. We also develop far-infrared FEL (FIR-FEL) installed an RF-gun with Disk-and-Washer accelerating cavity for high quality electron beam. We report the present status of FEL-TUS.

## 東京理科大学赤外自由電子レーザー研究センターの現状

### 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）は「ユーザー利用施設」として、赤外自由電子レーザー（IR-FEL）を用いた光科学研究の推進に重点を置きながら、FEL の高性能化に向け加速器の開発研究も並行して行っている<sup>[1-5]</sup>。研究センターの中心となるのは、発振波長が 5-14  $\mu\text{m}$  の中赤外自由電子レーザー（MIR-FEL）である。光利用については、東京理科大学のみならず学外（大学、研究所、企業等）にも開放しており、文部科学省「先端研究施設共用促進事業」に採択され、補助事業実施機関となっている。

加速器の開発研究については、光利用とは別の FEL 装置（遠赤外自由電子レーザー、FIR-FEL）ですすめている。Disk-and-Washer 空洞を用いた RF 電子銃を開発、ビームラインに導入し、ビーム生成・加速、ビームタンクまでの輸送、自発放射光の検出に成功している。

### 2. FEL-TUS について

FEL-TUS は、科研費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」（平成 11-15 年度）の拠点として、東京理科大学・千葉県野田キャンパスに平成 11 年 4 月に発足した。

プロジェクト期間、さらに終了後は、大学等の研究者を中心とした MIR-FEL 光利用の学術研究の推進を重点に活動を進めてきた。

また平成 19 年度には、文部科学省が新たに開始した事業「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】」<sup>[6]</sup>に採択された。その概要は「分野を限らず、産業利用のポテンシャルが高い国内有数の先端研究施設を採択し、産業界への共用を

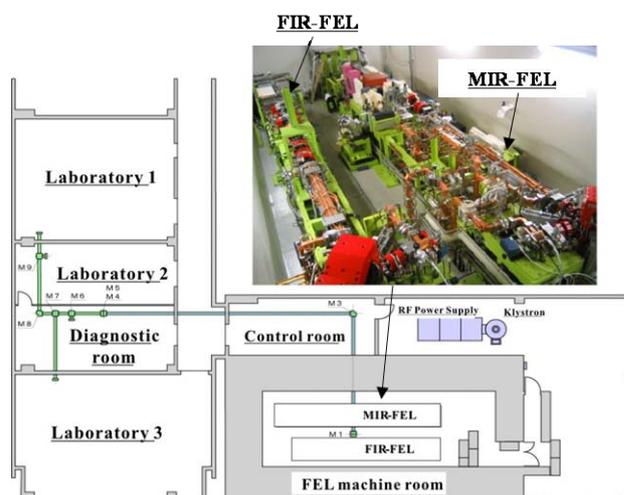


図 1 : FEL-TUS の全体図。装置室内に 2 台の FEL (MIR-FEL, FIR-FEL) が設置されているが、1 台の RF 電源を切り替えて運転するため、同時には稼働できない。Lab.1-3, Diagnostic room の 4 ヶ所に光提供が可能。

通じてイノベーションを創出することを目的として、産業界利用や産学官の共同研究利用による具体的な技術課題の解決のための研究環境を提供するもの<sup>[6]</sup>であり、この事業により企業による FEL-TUS の利用も始まった。

現在は、各機関の主体的取組及び弾力的運用を推進するため上記事業を廃止して平成 21 年度に創設された補助事業「先端研究施設共用促進事業」<sup>[6]</sup>の実施機関として、引き続き本学以外のユーザー（大学、研究所、企業等）にも光提供を行っている。

最近 3 ヶ年の装置稼働時間は、1672 時間（平成 19 年度）、1659 時間（平成 20 年度）、2096 時間（平成 21 年度）である。これは、ユーザー利用だけでなく、調整時間等を含むものであるが、装置に大きなトラブルもなく、順調に稼働している。

# fel-tus@rs.noda.tus.ac.jp

### 3. FEL 装置

FEL-TUS に設置されている MIR-FEL、FIR-FEL の 2 台は、詳細は異なるものの、S-band Linac と光共振器を組み合わせた装置構成は共通である。両者の比較を表 1 にまとめる。

表 1 : MIR-FEL と FIR-FEL の比較

	MIR-FEL	FIR-FEL	
Wavelength	5-14	300-1000	μm
		(design)	
e <sup>-</sup> beam energy	40	10	MeV
RF-gun cavity	On-axis coupled Structure (OCS)	Disk-and-Washer (DAW)	
Length of Acc. tube	3	1.5	m
<u>Undulator</u>			
Period	32	70	mm
No. of period	25	43	
<u>Optical Resonator</u>			
Mirror curvature	2.0/1.6	2.0	m
Mirror size	43	4.1×65	mm
Cavity length	3.36	2.5	m

図 2 に全体図を示した FIR-FEL で装置の概略を述べると、LaB<sub>6</sub> 単結晶の熱カソード RF 電子銃から生

成された電子ビームは α 電磁石通過後、加速管に入射し、ビーム加速される。その後、シケインを含むビーム輸送光学系を経て光共振器内に進み、アンジュレータで蛇行運動し、光を発生する。電子ビームはアンジュレータ通過後、鉛直下向きに 90 度偏向され、ビームダンプに導かれる。増幅され発振した FEL 光は下流側から出力される。

### 4. 光利用研究

MIR-FEL の発振波長である 5-14 μm の波長領域は、分子の差異によって吸収スペクトルが顕著に異なる「指紋領域」と呼ばれる興味深い領域と重なる。また波長領域を限定することで、一般的な放射光施設に比べ小型でありながら高い光子密度を有し、さらに広範囲で波長掃引できる一般的な光源も依然として限られるため、MIR-FEL を用いた光利用研究は特長あるものとなっている。近年の利用研究成果については、参考文献にまとめた<sup>[7-13]</sup>。

平成 22 年度の光利用研究の課題は以下の 7 課題である。上記 5 課題が既述の先端研究施設共用促進事業により実施、残り 2 課題は学内ユーザーである。

- FEL による有機機能材料の配向性評価技術の確立
- 中赤外パルスレーザー光照射による有機化合物の炭素-酸素結合の活性化
- 自由電子レーザー照射による分子構造の変化
- 高効率赤外放射材料の光学特性評価
- 赤外 FEL を用いた気相分子・クラスターの構造と振動励起状態ダイナミクス
- 赤外自由電子レーザーに励起による固体内局在中心可視発光
- 歯質への FEL 応用、分子クラスターの構造解析、高分子化合物への適用

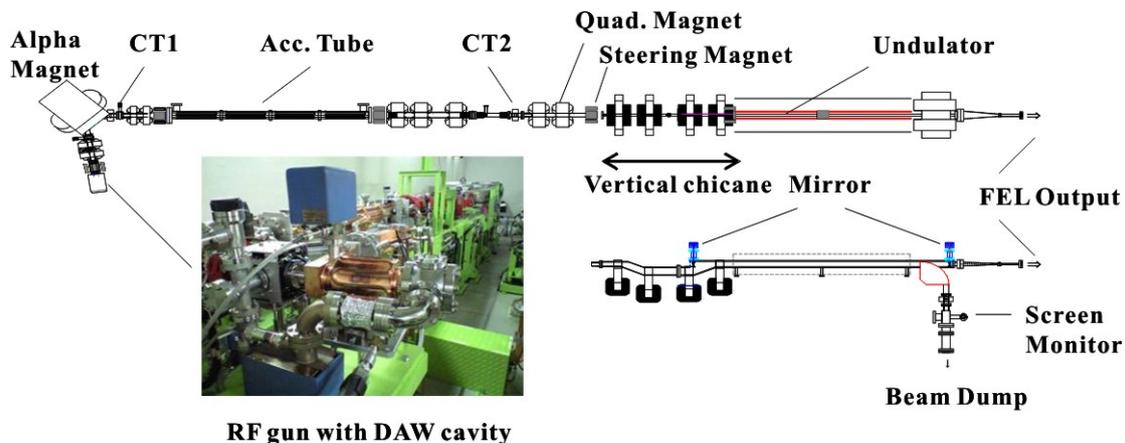


図 2 : FIR-FEL の全体図と電子源として導入された Disk-and-Washer (DAW) 空洞を用いた RF 電子銃の写真。

#### 4. 加速器開発研究

FEL-TUS では、光利用研究と並行して加速器開発研究を、発振に至っていない FIR-FEL 装置においてすすめている。これまで電子銃の放電が頻発する不具合があったため、開発した Disk-and-Washer (DAW) 空洞を用いた RF 電子銃<sup>[14-16]</sup>を導入した(図 2, 3)。

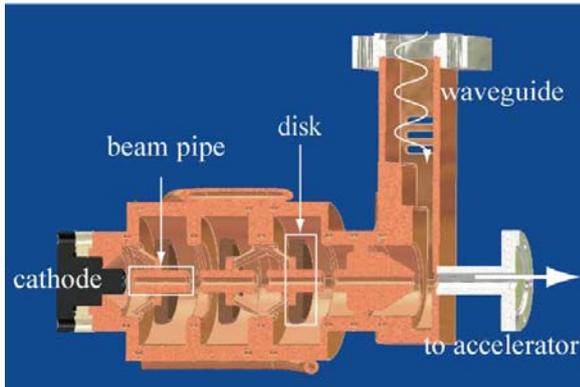


図 3 : DAW 型 RF 電子銃の断面図。

電子銃インストール後、電子ビームの加速、ビームダンプまでの輸送、さらには自発光の検出に成功した(図 4)。今後は、加速電子ビーム量を増やし、発振に向けた調整に着手する予定である。

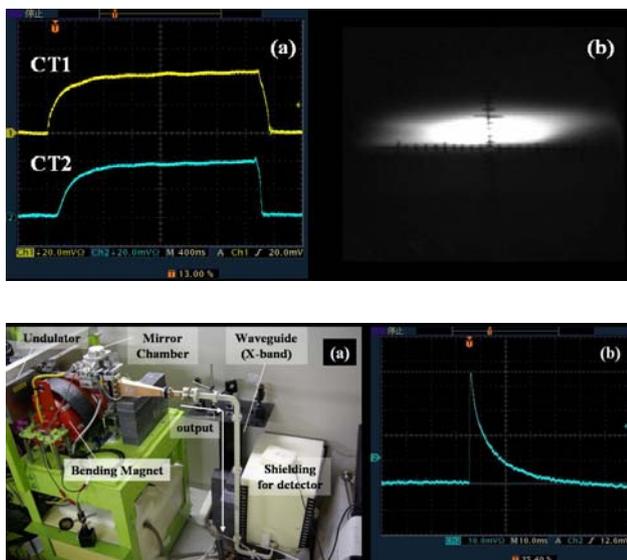


図 4 : 上段は、加速電子ビームの加速管前後の CT 波形 (a) とビームダンプ直前でのビームスポット (b)。下段は、自発光測定のためのセットアップ (a) と自発光を検出した焦電センサーの信号波形 (b)。

#### 謝辞

本研究センターの研究活動、特に FEL 装置の高度化について、KEK 入射器グループから多大な御支援、御協力を、また加速器の開発研究については、KEK・大学等連携支援事業により支援を受けている。さらに、三菱電機システムサービス株式会社により FEL 装置の運転・維持管理が行われている。関係各位に御礼申し上げます。

#### 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] 今井貴之・小城吉寛, “光利用研究に重点を置いた東京理科大学赤外自由電子レーザー”, 加速器 3, 51 (2006).
- [3] 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).
- [4] 登野 健介・今井 貴之・築山光一, “東京理科大学赤外自由電子レーザー研究センターにおける分子科学研究の現状”, 原子衝突研究協会誌 しょうとつ 4, 1 (2008).
- [5] 築山光一, “赤外自由電子レーザーの最近の動向”, 光技術コンタクト 46, 149 (2008).
- [6] 共用ナビ <http://kyoyonavi.mext.go.jp/>
- [7] "Visible Nonlinear Band-Edge Luminescence in ZnSe and CdS Excited by a Mid-Infrared Free-Electron Laser", E. Tokunaga, N. Sato, J. Korenaga, T. Imai, S. Sato, and H. Hamaguchi, Opt. Rev. 17, 1 (2010).
- [8] "Infrared-Induced Reaction on MoO<sub>3</sub> Using a Tunable Infrared Free Electron Laser", M. D. Moula, S. Sato, K. Irokawa, H. Niimi, S. Suzuki, K. Asakura, and H. Kuroda, Bull. Chem. Soc. Jpn. 81, 836 (2008).
- [9] "Infrared photodissociation spectroscopy and density-functional calculations of protonated methanol cluster ions: Solvation structures of an excess proton", K. Tono, J.-L. Kuo, M. Tada, K. Fukazawa, N. Fukushima, C. Kasai, and K. Tsukiyama, J. Chem. Phys. 129, 084304 (2008).
- [10] "Infrared photodissociation spectroscopy of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(NH<sub>3</sub>)<sub>n</sub> (n=3 and 4) by using infrared free electron laser", K. Tono, K. Fukazawa, M. Tada, N. Fukushima, and K. Tsukiyama, Chem. Phys. Lett. 442, 206 (2007).
- [11] "Infrared photodissociation spectroscopy of protonated ammonia cluster ions, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(NH<sub>3</sub>)<sub>n</sub> (n=5-8), by using infrared free electron laser", K. Tono, K. Bitto, H. Kondoh, T. Ohta, and K. Tsukiyama, J. Chem. Phys. 125, 224305 (2006).
- [12] "Infrared Multiphoton Dissociation Spectroscopic Analysis of Peptide and Oligosaccharides by Using Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry with a Midinfrared Free-Electron Laser", K. Fukui, Y. Takada, T. Sumiyoshi, T. Imai, and K. Takahashi, J. Phys. Chem. B 110, 16111 (2006).
- [13] "Vibrational excitation of the ν<sub>2</sub> mode of NH<sub>3</sub> by infrared free electron laser", Y. Ogi, M. Kawashita, and K. Tsukiyama, Chem. Phys. Lett. 421, 96 (2006).
- [14] 平松英崇 他. “DAW 型 RF 電子銃の設計”, 第 4 回 加速器学会年会・第 32 回 リニアック技術研究会. (FP04)
- [15] 今井貴之 他. “Disk-and-Washer 型空洞を用いた RF 電子銃の開発研究”, 第 21 回日本放射光学学会年会 (14P011).
- [16] 今井貴之 他. “Disk-and-Washer 型空洞を用いた RF 電子銃の開発研究(II)”, 第 22 回日本放射光学学会年会 (11P140).