

## Status of IR-FEL Research Center at Tokyo University of Science

Takayuki Imai<sup>1,A)</sup>, Tetsuo Morotomi<sup>B)</sup>, Keiichi Hisazumi<sup>B)</sup>, Tetsuo Shidara<sup>C)</sup>, Mitsuhiro Yoshida<sup>C)</sup>, Takehiro Suganuma<sup>A)</sup> and Koichi Tsukiyama<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE

2641 Yamazaki, Noda, Chiba, 278-8510

<sup>B)</sup> MITSUBISHI ELECTRIC SYSTEM & SERVICE CO., LTD.

2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

<sup>C)</sup> HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION, KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

### Abstract

IR-FEL Research Center at Tokyo University of Science, FEL-TUS, was constructed with the aim to develop FEL technology and perform experiments in the infrared wavelength range. Mid-Infrared FEL, MIR-FEL, is operated as user facility, providing continuous tunable radiation in the range of 5 – 14  $\mu\text{m}$ . We also perform accelerator research and development. The RF electron gun with Disk and Washer cavity was developed for the electron source of FIR-FEL device. We present the status of FEL-TUS in this paper.

## 理科大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<sup>[1,2]</sup>では、赤外自由電子レーザーを用いた利用研究や自由電子レーザーの開発研究を推進している。光利用研究では、本学のみならず、他大学や企業の研究グループが、化学・物理分野、計測分析技術などの多岐にわたる実験に取り組んでいる。また、レーザーの高性能化を目指して、RF電子銃など加速器の開発研究も並行して行っている。本発表では、理科大・赤外自由電子レーザーのこれらの現状について報告する。

### 2. 赤外自由電子レーザー装置

理科大赤外自由電子レーザー研究センターには、二台の自由電子レーザー装置が設置されている。一台は中赤外波長領域のMIR-FEL(Middle-infrared Free Electron Laser)、もう一台は遠赤外波長領域のFIR-FEL(Far Infrared Free Electron Laser)である。MIR-FELは既に発振し、光利用研究を行って

いる。FIR-FELについては、既存の電子銃に不具合があり新たに電子銃を開発して研究を進めている。

表 1 :MIR-FELの光特性

Wave Length	5-14 $\mu\text{m}$
Micro-pulse time width	2 ps
Micro-pulse rep. rate	2856 MHz (350 ps interval)
Macro-pulse time width	$\sim 2 \mu\text{sec}$
Macro-pulse rep. rate	5 Hz

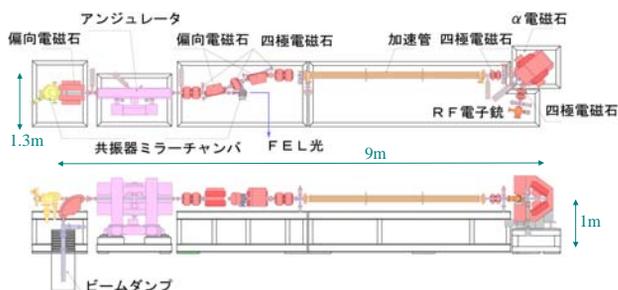


図 1 : MIR-FELの概略

図 1 にMIR-FEL装置の概略を示す。熱カソードRF電子銃と $\alpha$ 電磁石を入射部として、S-bandの加速管1本で最大40MeVまで電子ビームを加速し、共振器内に入射させアンジュレーターを通過後、90度下向きに偏向されビームダンプに導かれる。

FIR-FELは、MIR-FELに比べ発振波長が長く電子ビームの加速エネルギーが低いことから、加速管の長さが半分であること、またアンジュレーターへの入射前にシケイン部があること等の違いがあるが、基本的に装置の構成要素は同じである。装置室内に独立して二台設置されているが、RF源は共有しているため、同時に運転することはできない。

図 2 に自由電子レーザー装置の写真と研究センターの全体図を、また表1にMIR-FELの光特性について示す。

<sup>1</sup> E-mail: timai@rs.noda.tus.ac.jp

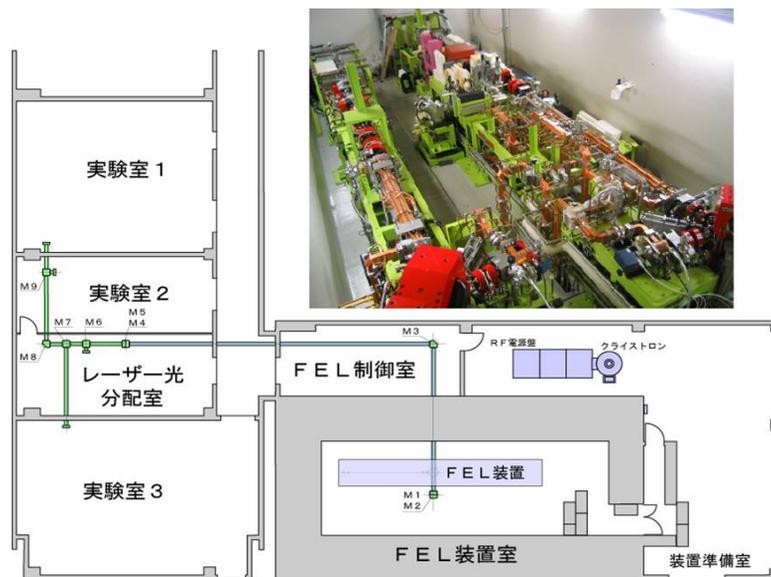


図2：理科大赤外自由電子レーザー研究センターの全体図

### 3. 光利用研究

本研究センターでは、MIR-FELを用いた光実験を中心に研究活動をすすめている。研究分野は多岐にわたり、利用グループは東京理科大学のみならず、他大学、企業等にも門戸を開いている。

近年特筆すべきは、平成19年度から文部科学省が開始した「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】に採択されたことである。この事業は、文部科学省が、産業利用のポテンシャルの高い先端研究施設に対して、体制の構築等の支援を行い、産業界に施設の共用を進めることにより、イノベーション創出の促進を図ることを目的としている<sup>[3]</sup>。

本研究センターでは、「赤外自由電子レーザー共用による先端計測分析技術研究拠点形成」事業として、赤外自由電子レーザーの安定的な供給と産業界の有するものづくりや先端計測に関する知識と技術の共有により、赤外自由電子レーザーを光源とする次世代分光手法を確立し、これを生体関連物質等の高感度構造解析、表面・界面等の構造・配向選択的非破壊解析へ適用できる分析システムへと発展させ、先導的赤外光利用計測分析技術研究拠点を形成することを目的としている。本事業で実施した利用研究は以下の通りである。

#### <戦略分野利用推進>

上述の目的を達成すべく、装置の開発および計測手法の確立等極めて基盤的な研究課題を包含し長期的な視野に立って実施す課題。以下の2分野とも平成19年度後期より2年間実施。

- ・戦略分野1（遺伝子・タンパク質等の分析・計測のための先端的技術開発）

「中赤外IRレーザーを用いた質量分析技術の開発」  
株式会社島津製作所

- ・戦略分野2（ものづくりのニーズに応える新しい計測分析技術・機器開発・精密加工技術）

「FELによる有機機能材料の溶液からの成膜プロセスダイナミクス計測」 大日本印刷株式会社

#### <新規利用拡大>

FELを赤外光源とした簡易的なあるいはトライアル的な実験、また現段階では挑戦的であっても新たな分野を開拓できるようなFEL利用。

- ・平成19年度

「自由電子レーザーによる赤外多光子分解および同位体効果」 ヒルリサーチ有限会社

「氷を用いるソフトイオン化法の開発」

株式会社三菱化学学生命科学研究所

- ・平成20年度

「赤外自由電子レーザー利用による安定同位体分離技術の検討」 大陽日酸株式会社

平成21年度からは、「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】から新たに「先端研究施設共用促進事業」となったが、変更点等詳細はここでは割愛する。引き続き、大学、研究機関、企業の光利用研究、赤外自由電子レーザーの共用を進めており、詳細についてはFELリエゾンのホームページ<sup>[4]</sup>を参照していただくことにし、ここでは、平成21年度の利用研究のテーマについてのみ示す。

- (1) 自由電子レーザーによる赤外多光子分解一同位体の実用的な分離・濃縮法の開発
- (2) 赤外自由電子レーザーを用いた分子クラス

ターの分光計測

- (3) 中赤外パルスレーザー照射による有機化合物の炭素-酸素結合の活性化
- (4) FEL誘起による高振動励起分子の動力学研究
- (5) 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
- (6) グラッシーカーボン上に形成された反射防止構造の赤外領域での反射率の測定と吸熱効果の測定
- (7) 先進材料の赤外光物性評価

なお、前述の戦略分野の二つのテーマも平成21年度前期まで実施期間となっている。

#### 4. 加速器開発研究

本研究センターでは、MIR-FELの光利用研究と並行して、加速器開発研究を行っている。ここでは、FIR-FELの電子源として開発したDAW型RF電子銃について述べる<sup>[5-7]</sup>。

FIR-FELについては、当初製作した電子銃を立ち上げていたが、放電が頻発するなど不具合が生じたため、新たに加速空洞に図3に示すようなDisk-and-Washer (DAW) 空洞を用いたRF電子銃を製作することにした。

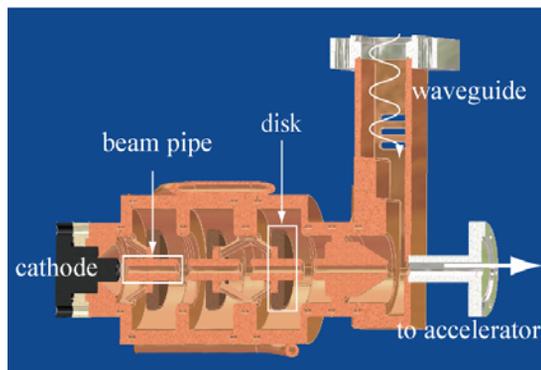


図3：DAW型RF電子銃の概略

DAW型空洞は電子ビーム軌道とRFが独立であることから派生して

- ・高いシャントインピーダンス  
小電力で高い加速電場。放電の抑制。
- ・Back-bombardmentの減少  
Disk電極間隔が狭く、位相反転の影響が小さい。
- ・設計、製作の簡素化  
couplingが大きく、セル間の周波数調整が容易。

などの利点があげられる。

詳細な電磁場シミュレーションによる設計、製作を行い、FIR-FELのビームラインに設置した(図4)。その後、RFエージングを開始し、電子ビームの生成も確認した(図5)。

本学会の別発表にて報告しているように<sup>[8]</sup>、シミュレーションによると、DAW型電子銃で生成される高密度電子ビームを用いた場合、SASE発振が見込めるので、今後それに向けて調整を進めていく予定である。



図4：FIR-FELにインストールされた電子銃

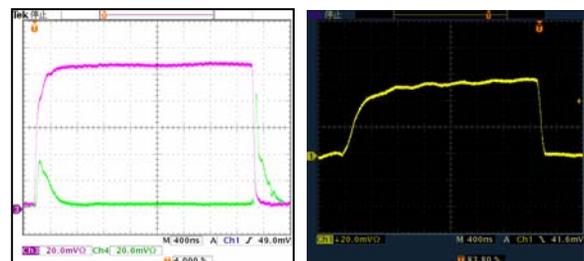


図5：エージング時(パルス幅 3.5  $\mu$ sec)のRF入射、反射波形(左)。生成した電子ビームを測定したCT波形(右)。

#### まとめ

本研究センターでは、MIR-FELによる光利用研究、さらに、DAW型RF電子銃の開発、FIR-FELの発振を目指した加速器研究に取り組んでいる。

#### 参考文献

- [1] 今井貴之、小城吉寛、日本加速器学会誌 Vol.3, No.1, 2006(51-56).
- [2] 加速器学会年会における理科大FELセンターの現状報告.第1回(4B06), 第2回(21P068), 第4回(WP08).
- [3] 共用ナビ <http://kyoyonavi.mext.go.jp/>
- [4] <http://www.rs.noda.tus.ac.jp/liaison/>
- [5] 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)
- [6] 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回日本放射光学会年会(14P011).
- [7] 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回日本放射光学会年会(11P140).
- [8] 菅沼丈寛 他. “SASE-FELによるTHz波発振の研究”, 本学会.