

解説

東京理科大学の赤外自由電子レーザー

黒田 晴雄

東京理科大学総合研究所*

Infrared Free Electron Laser of the Science University of Tokyo

Haruo KURODA

Research Institute for Science and Technology, the Science university of Tokyo

IR FEL Research Center was established in the Noda Campus of the Science University of Tokyo on April 1, 1999, as a FEL user facility dedicated for the application of infrared free electron laser. The first observation of lasing emission from the mid-infrared free electron laser (MIR-FEL) was done on July 6, 2000 and the saturation emission was observed on September 27. The FEL machine is now stably providing light for various experiments. The infrared light from this FEL is tunable over the wavelength region from 5 to 16 microns, the time width of its micro-pulse being about 2 pico-seconds with peak power of a few MW. We report here the present status of the FEL machine, beam lines and experimental apparatus installed in the IR FEL Research Center.

1. はじめに

「赤外自由電子レーザー研究センター」は1999年4月に東京理科大学野田キャンパス内に設立された。その基幹設備である中赤外自由電子レーザー (MIR-FEL) の設置は同年秋には完了し、翌年春から試運転を開始したが、同年7月6日に lasing emission の初観測に成功、9月27日に出力飽和値を達成した。それ以来、順調にテスト運転が行われてきた。MIR-FEL 装置の立ち上げと並行して、ビーム・ラインの建設や光利用実験装置の製作が行われてきたが、本年4月末からは MIR-FEL の光を用いる研究が本格的に始まろうとしている。本稿では、研究センター設立の背景や MIR-FEL 装置の現状を紹介し、また、光利用実験の準備状況についても述べることにする¹⁾。

2. FEL-SUT 計画

米国の Stanford 大学で Maday ら²⁾が自由電子レーザー (Free Electron Laser, FEL) を開発してからすでに四半世紀が経過した。その間に FEL のハードウェアの研究は大きく進展し、可視や紫外領域の FEL が開発され、最近では、X線 FEL の開発研究も開始されている³⁾。FEL の研究を行っている研究機関を数え上げれば、世界中ではかなりの数にのぼる。しかし、そのほとんどは、FEL ハード

ウェアの研究が中心で、FEL からの光を科学研究に用いているところ、すなわち、“user facility”として機能している FEL 施設は全体で数ヶ所に過ぎない。わが国では、「株式会社 自由電子レーザー研究所」(昨年、大阪大学に移管されて、工学系研究科附属の自由電子レーザー研究施設になった)において赤外領域の光利用実験が行われた例があるだけである。

いろいろな波長の FEL の中で、光科学の立場から最も関心が高いのは、赤外ならびに遠赤外の FEL である。可視・紫外領域の光科学は各種のレーザー (FEL を除く) の登場によって新しい発展を遂げた。また、真空紫外・X線領域の科学は放射光施設の建設によって飛躍的に発展した。ところが、赤外領域では新しい光源の登場が遅れたまま今日に至っている。1990年代に入って、世界各地の放射光施設で赤外ビーム・ラインが建設されるようになったのは、上に述べた状況を打破することを目指している。しかし、放射光施設の赤外ビーム・ラインでえられる光強度には限界があり、多光子振動励起などの光源としては不十分である。そこで赤外 FEL に期待が寄せられるのであるが、FEL ハードウェアの研究を目的に建設された赤外 FEL 装置は、必ずしも光科学研究に使いやすくない。光科学研究のニーズを満たす赤外 FEL を作るには、設計段

* 東京理科大学総合研究所・赤外自由電子レーザー研究センター 〒278-8510 野田市山崎2641
TEL: 0471-23-9835 FAX: 0471-23-9839 E-mail: kurodask@rs.noda.sut.ac.jp

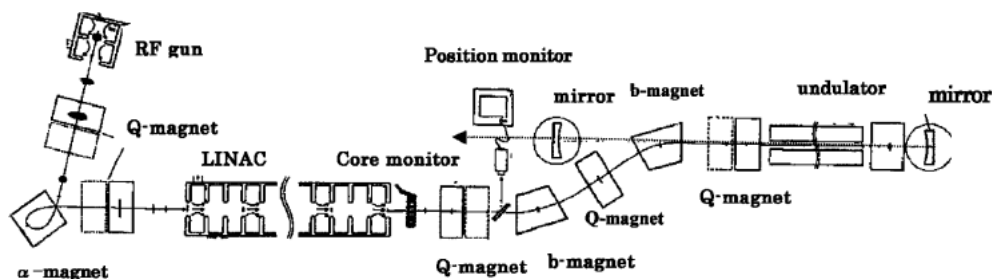


Figure 1. Schematics diagram of MIR-FEL apparatus.

階から FEL ハードウェア研究者と光科学研究者の密接な共同作業が不可欠と思われる。

われわれは、上に述べた観点から、赤外 FEL の user facility を建設する計画を数年前から始めたのであるが、その計画を「FEL-SUT 計画」と名づけている。「FEL-SUT」は、「Free Electron Laser of Science University of Tokyo」の頭文字をとったものである。FEL-SUT 計画は二つの柱の上に成り立っている。柱の一つは、東京理科大学と川崎重工業株式会社との赤外 FEL に関する研究協定である。この研究協定に基づいて、川崎重工業株式会社が、大学側研究者との討議結果をも踏まえて、中赤外領域の FEL 装置 (MIR-FEL) を製作し、その運転や性能向上のためのマシン・スタディを共同研究として実施している。もう一つの柱が、文部省の「学術の新しい展開のためのプログラム」(略称、「新プロ」) 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を用いた光科学」(研究期間：平成11～15年度，研究リーダー：黒田晴雄) である。この研究プロジェクトの研究分担者組織は、東京理科大学，東京大学，大阪大学，分子科学研究所等，複数の大学・研究所にまたがる研究者から構成されているが、分担者以外の多数の研究協力者からの協力もえながら、MIR-FEL を基幹研究設備にして、赤外 FEL の高性能化，赤外 FEL 利用の基盤技術の確立，赤外 FEL の特徴を使った新しい研究の探索などを行っている。

3. MIR-FEL 装置

川崎重工業株式会社によって製作された MIR-FEL 装置⁴⁾の構成を Fig. 1 に、研究センターの加速器室に設置されている状況の写真を Fig. 2 に示す。装置は全長 9 m 弱のもので、同程度の性能の赤外 FEL としては世界で最もコンパクトな装置である。MIR-FEL 装置の各コンポーネントは、4 個の架台上に配置されているが、工場で装置全体を組み上げて位置調整も行った後、架台ごと 4 分割して研究センターまで運搬して組み立てた。このような、「工場生産方式」で FEL 装置が作られたのは世界初である。

MIR-FEL 装置の電子源としては熱陰極型高周波電子銃 (RF ガン) を用い、Fig. 1 に示すように、まず、 α 電磁石で電子ビームのエネルギー分布幅を狭めるとともに電子

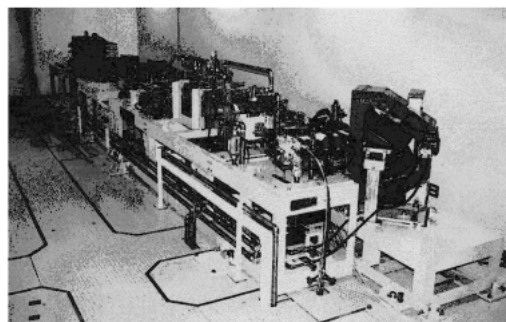


Figure 2. Photograph of MIR-FEL apparatus in the accelerator room of IR FEL Research Center. The RF gun and α -magnet are seen in the right center part the photograph.

マイクロバンチ長を短縮してから、線形加速器 (LINAC) に打ち込む方式を採用している。このような方式の採用が、装置のコンパクト化の重要なファクターとなっている。RF ガンのキャビティは、on-axis coupled structure (OCS) 構造であり⁵⁾、RF パワー 4.5 MW に対して最大電流 30 A、最大加速エネルギー 1.9 MeV を得ることができる設計になっている。RF ガンの熱陰極として当初は 6 mm ϕ の dispenser-type cathode を用いたが、実際に FEL を運転して見ると、back-bombardment の影響が予想外に大きいことが判明し、後に、LaB₆ 単結晶電極に置き換えた。

LINAC (s-band, 2856 MHz) の加速管は、全長 3 m の $2/3\pi$ モード CG 管で、最大加速エネルギーは 40 MeV である。RF ガンと LINAC には同一の RF 源 (東芝製クライストロン E3729) からのマイクロ波を、方向性結合器で 1:4 の比率で分岐して供給している。LINAC で加速された電子は、四極電磁石と偏向電磁石から構成されるシステムで、Fig. 1 に示すような軌道を書いて光共振器のアンジュレーターに打ち込まれ、アンジュレーターを通った後は、90° 下方に向きを変えてビーム・ダンプに落とされる。アンジュレーターは Halbach-type 水平型アンジュレーターで、厚さ 8 mm の NdFeB 永久磁石板を貼り合わせた磁石板を上下に配置したものである。磁場周期長は 32 mm、磁場周期数は 40 周期である。光共振器は hole-coupling mode で、アンジュレーター部の両外側に金コート銅製球面鏡を配置してアンジュレーター放射光を共振器内に蓄積し、上流側ミラー中心部の 1 mm ϕ の孔から光を

Table 1 Accelerator parameters of MIR-FEL

Electron beam source	RF gun of on-axis coupled structure (OCS)
Cathode	LaB ₆ single crystal cathode
Driver frequency	2856 MHz
Peak energy of output	1.9 MeV
Norm. rms. emittance	10 π mm mrad
Accelerator	3 m CG tube of 2/3 π mode
Electron energy	Max. 40 MeV
Micro-bunch peak current	30 A
Operating frequency	2856 MHz
Energy spread	0.3%
Normalized emittance	11 π mm mrad
Undulator	Halbach type
Undulator length	1.28 m
Undulator period	32 mm
Number of period	40 period
Magnetic field	Max. 0.83 T

Table 2 Characteristics of the light from MIR-FEL

Tunable wavelength region	5~16 μ m
Spectral band width	~0.5%
Micro-pulse time width	2 ps
Micro-pulse repetition frequency	2856 MHz
Micro-pulse energy	8~25 mJ
Macro-pulse peak power	2~5 MW
Macro-pulse time width	2 μ s
Macro-pulse energy	~150 mJ
Macro-pulse repetition rate	Max. 10 pps
Maximum average power	~1 W (for 10 pps operation)

外部に取り出す構造になっている。電子エネルギーを一定に保ったままアンジュレーターの上下の磁石板を機械駆動して、磁石板間のギャップを24 mm から 8 mm まで変えることで、発振波長を 5~16 μ m の範囲で変えることができる。全範囲を駆動するのに要する時間は30秒程度である。定常運転では、原則として電子エネルギーは固定して、アンジュレーター・ギャップの変更だけで波長を変えることにしている。発振波長の変更に要する時間は大変短く、波長スキャンが必要な実験にも容易に対応できる。Table 1 に MIR-FEL のパラメータを、また、Table 2 には MIR-FEL からの光ビームの特性をまとめて記す。Table 2 の数値は設計値であるが、後に述べるように、MIR-FEL の発振後行ったビーム診断の結果、マクロパルス出力以外はほぼ設計値が実現されていることが確かめられている。

4. MIR-FEL の運転状況

1999年12月から MIR-FEL 装置の aging を開始し、装置の所定の軌道に電子ビームを通す作業を翌年1月から

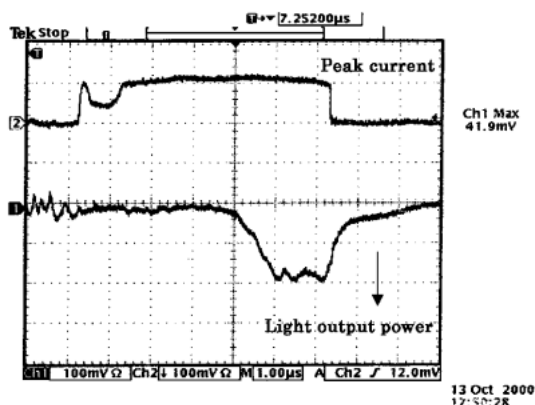


Figure 3. Profiles of peak current (top line) and light output at the saturation state (bottom line) observed on the display of oscilloscope. One division of the time axis is 1 micro second.

開始した。そして、2月下旬にはアンジュレーターからの自発放射光の観測に成功した。ここまでは大変順調に進んだので、早速、加速器パラメータや光共振器ミラーの調整によって lasing emission を観測しようと試みたが成功しなかった。optical transient radiation (OTR) の時間プロファイルをストリーク・カメラで観測するシステムを導入して、マイクロバunch長を測定したところ、設計値より大幅に長くなっていることがわかった。そこで、マイクロバunch長を調べつつ加速器パラメータを調整した結果、マイクロバunch長を2ピコ秒程度まで短縮することができ、7月6日に lasing emission が初観測された。しかし、この段階では電子ビーム強度を一定に保持したままマクロバunch長を2マイクロ秒以上にすることができず、発振光強度を飽和値まで到達させることができなかった。その原因が RF ガンにおける back-bombardment の影響であることが判明したので、8月から9月にかけて RF ガンの手直しにかかり、熱陰極を LaB₆ 単結晶電極で置き換えた結果、マクロバunch長を5マイクロ秒以上までのばすことができ、9月27日に初めて発振強度を飽和値まで到達させることができた。寿命が短いことが LaB₆ 単結晶電極の欠点といわれているが、同一の LaB₆ 単結晶電極のまま今日まですでに5ヶ月以上にわたって運転できている。

マクロバunch電流波形と光出力波形を同時表示したオシロスコープ画面のコピーを Fig. 3 に示す。時間軸のひと目盛りが1マイクロ秒である。図からもわかるように、電子マクロバunch長が5マイクロ秒程度、飽和発振状態の光パルス時間幅は約2マイクロ秒である。MIR-FEL から発生する光の一部を取り出して加速器室内に設置した回折格子分光器でスペクトルをリアルタイムでモニターしているが、波長8 μ m 近傍での FEL 光バンド幅は約0.6%であった。これらの値は、Table 2 に示した設計値にほぼ近い。しかし、出力について問題が残されている。光マクロパルス出力の実測データを Fig. 4 に示す。図の縦軸の数

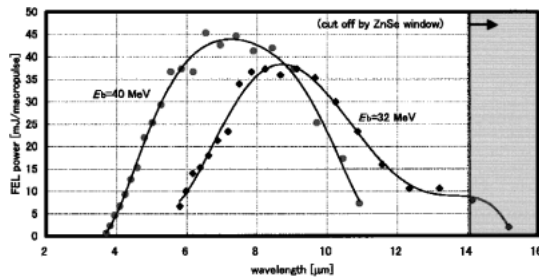


Figure 4. The light output power data observed for the electron energies of 32 MeV and 40 MeV as a function of wavelength. Because of the loss in the measuring system, the observed values shown here are about 75% of the real output from MIR-FEL.

値を1.5倍したものが FEL の出力に相当する。電子エネルギーが40 MeV のときには、波長 $7 \mu\text{m}$ 付近に出力極大点があるが、そのときの出力測定値が45 mJ であるから、現状における MIR-FEL の出力は最大で70 mJ 程度と考えなくてはならず、これは、設計値の約半分である。FEL 光の分光特性を調べた結果、予想以上に高調波成分が強いことが判明した。3次高調波の強度は1次光の1%程度もある。また、強度は低いものの、かなり高次の高調波スペクトルまで観測された。当面はこのような状態で光利用実験を始めるが、実験の目的によっては高調波をフィルターで除去する必要がある。その一方で、高調波を積極的に利用する方法も検討されている。MIR-FEL の運転はいつものところ手動であるが、制御装置のデジタル化を始めており、本年秋には運転のコンピューター化が完成する予定である。それが完了すれば、光実験からの要請に応じて発振光波長をステップ的に変化させるモードの運転も可能になるだけでなく、将来的には光利用実験室からユーザーが遠隔操作で波長設定を行うシステムも構築する予定である。

5. 実験ステーションとビーム・ライン

FEL の user facility としては、FEL からの光をできるだけ高品質に保ったまま実験ステーションまで搬送するシステムを構築すること、また、実験装置に FEL 光を容易に導入できるようにすることが重要な課題である。

本研究センターにおける加速器室と実験エアリアの配置を Fig. 5 に図示する。加速器室は厚さ2 m のコンクリートの壁で囲まれており、その部分だけが放射線管理区域である。FEL 光は加速器室の床ピット内に設置された真空ビーム・ダクトを通して加速器室外に出て光分配室に入り、そこで床上120 mm の高さに立ち上げられてから、各実験室に搬送される。Fig. 5 には、ビーム・ダクトが床ピット内に収まっている部分を点線で、ビーム・ダクトが床上に走っている部分を実線で示してある。また、同図で小さい灰色の四角で示したのが、ビーム・ラインの末端部で、その ZnSe 窓を通してビームが出てくる。

光共振器から発生する赤外光はある程度発散性を持って

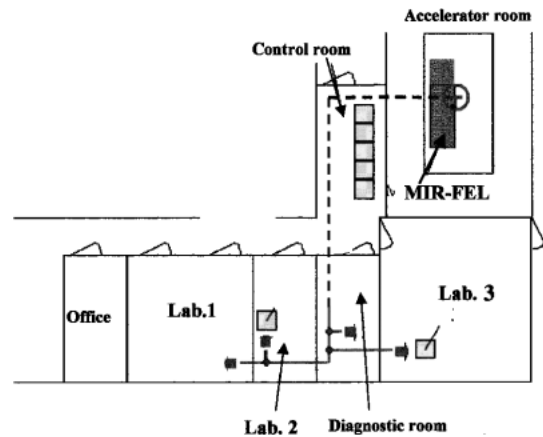


Figure 5. Plane view of IR FEL Research Center. A broken line indicates the part of beam line where the beam duct is running under the floor, and a solid line indicates the part where the beam duct is running at the height of 120 mm from the floor.

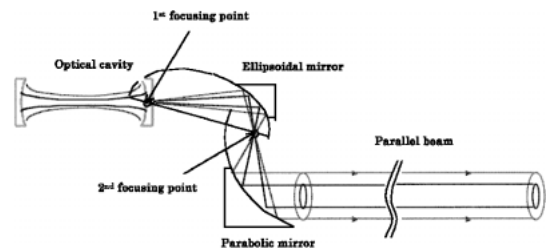


Figure 6. Illustration of the passive control optics. The light beam from the hole of the optical resonance cavity is converted to a parallel beam of the cross section of 1~3 cm by use of the passive control optics which is composed of an elliptical mirror and a parabolic mirror, and then transported to experimental stations through the beam line.

いるので、そのままでは FEL 装置から最長30 m 以上も離れた実験ステーションまで光を送ることができない。ほとんどの赤外 FEL 施設では、球面鏡を用いた光学系で、いずれか一つの実験ステーションに集光させる方法を採用している。しかし、この方式では、波長によって焦点位置がずれるうえに実験装置にビームを導入するための光学系の設計が複雑になる。われわれは、Fig. 6 に図解したような方法を採用した⁶⁾。すなわち、光共振器から出た発散性のビームを、楕円面鏡と放物面鏡を組み合わせた補償光学系 (passive optical system) で太い平行ビーム (ビーム径は10~30 mm) に変換してから真空ビーム・ダクトに送り込み、いくつかの平面鏡で光路を切り替えて実験ステーションに運ぶ。この方式をとると、どの実験ステーションにも、常に平行ビームが供給されるので、実験装置への光導入が極めて簡単になる。FEL の発振後、実際に FEL 光を使って上に述べた光搬送システムの特性を調べた結果、ほぼ設計どおり高品質を保ったままビームを搬送できていることが確認された。

レーザー分光学的実験を中心とする実験室1では、

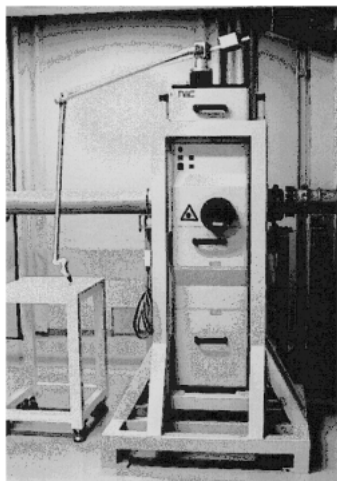


Figure 7. Photograph of multi-joint flexible arm optical system. The vertical box contains mirror optics which reduce the beam cross section to 1/3 of the original beam from the beam line, and sends to the flexible arm. The flexible arm can be rotated by 360° around its fulcrum.

ビーム・ダクト末端に設けられた ZnSe 窓からでる FEL 光を直接実験装置に導入する方式をとっているが、実験室 2 ならびに実験室 3 には、FEL 光の利用を容易にするために、多関節フレキシブル・アーム光学系を設置した。

Fig. 7 に多関節フレキシブル・アーム光学系の写真を示す。写真の中央部に見える縦長の箱の中に 5 枚の金コート反射鏡から構成された縮小光学系が収められており、ビーム・ダクトを通過してきた太い平行ビームは、径を 1/3 に縮小された平行ビームになり、多関節フレキシブル・アーム部に送り出される。アームの関節部には反射鏡が組み込まれており、アームは自由に方向を変えることが出来る。また、アーム全体は、縮小光学系の箱の上部に見える支点を中心に 360° 回転できる。後に具体例を示すが、かなり複雑な実験装置の場合にもアーム先端を装置の光導入部に固定するだけで、FEL 光を装置に導入できるので、多関節フレキシブル・アーム光学系の近傍に複数の実験装置を配置しておき、光利用実験を行うときに該当する装置にアーム先端部を結合することで、異なる光利用実験の切り替えが容易にできる。また、アーム先端部に ZnSe レンズを装着すると、FEL 光を径 1 mm 以下のスポットに絞ることができるので、簡単な照射実験の場合には、光学実験台上にアーム先端部を固定する機構と試料保持機構を配置するだけで照射実験ができる。なお、多関節フレキシブル・アーム光学系内部は窒素パージできるようになっている。

6. 光利用実験設備⁷⁾

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ういた光科学」では、赤外 FEL の応用として興味ある研究課題の調査検討を重ねてきた。MIR-FEL からえられる光ビームの特徴は、マイクロパルス時間幅が 2 ピコ

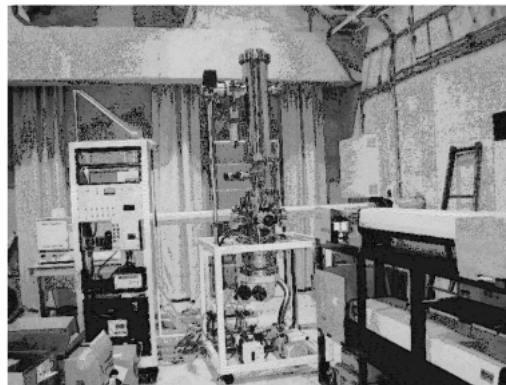


Figure 8. Apparatus for the multi-photon dissociation/ionization of gaseous molecules.

秒程度でその尖端出力が極めて高いこと、そして、赤外吸収スペクトルの指紋領域 ($5\sim 16\ \mu\text{m}$) 全域にわたって波長連続可変であることである。マイクロパルス尖端出力が高いため、FEL 光照射によって多光子振動励起がかなりの確率でおき、それによって分子内結合の切断や分子のイオン化が誘起される。多光子励起状態から特殊な化学反応が誘起される可能性もある。光強度が強く波長連続可変なので、波長選択レーザー・アブレーションや波長選択レーザー・アンニリングの光源にも適している。また、分子や固体の振動緩和時間がピコ秒からサブ・ピコ秒であるので、FEL 光の時間構造は振動励起状態ダイナミックスの研究にも適している。このようなことを考慮しつつ、研究プロジェクトでは光利用研究のための実験設備整備計画を立案し、装置ごとに担当チームを作って、実験装置の製作ならびに整備を行ってきた。個々の実験装置の詳しい説明は紙数の都合上割愛するが、以下、いくつかの実験装置についてその概要を紹介する。

6.1 多光子解離・イオン化実験装置 (担当チーム代表 東大 太田俊明)

本実験装置は、多光子励起過程によって起きる気体分子の分解 (化学結合切断) やイオン化現象を研究する目的で作られた。サンプル気体を超音速ジェット・パルスとして反応室に打ち込んで FEL 光で照射し、解離生成化学種や生成イオン種を飛行時間法質量分析器で同定する。**Fig. 8** に実験室 3 に上記の装置が設置された状態の写真を示す。装置の中央の部分に反応室があり、その上の部分に質量分析器がついている。反応室部に設けられた ZnSe 窓のところに多関節フレキシブル・アーム先端を固定して FEL 光を導入する。写真で装置の右手前に YAG レーザー励起色素レーザーが写っているが、この色素レーザーからの光を導入する窓もあり、FEL 光と色素レーザー光の同時照射効果も調べることができる。

6.2 同位体分離実験装置 (担当チーム代表 東京理大 黒田晴雄)

マイクロパルス尖端出力が高く波長可変であるので、MIR-FEL はレーザー同位体分離実験の最適な光源である。**Fig. 9** に実験室 3 に設置された同位体分離実験装置の写真を示す。この装置では、ビーム・ダクトを直接装置につないで FEL 光を導入する方式をとっている。**Fig. 9** の右上部にビーム・ダクトを取り外した穴が見える、ここにビーム・ダクトを接合して FEL 光を導入する。この装置では、ターゲット物質気体を装置に内蔵した循環反応系内を循環させつつ FEL 光で照射して、反応生成物を低温トラップに捕獲する方式を採用している。装置には反応気体を分析するために、四極子質量分析器と FT/IR 分光光度計が組み込まれている。また、補助照射光源として CO₂ レーザーも備えている。

6.3 ミクロ照射・顕微 FT/IR 装置 (担当チーム代表 東京理大 黒田晴雄)

赤外 FEL の一つの重要な応用分野と考えられるものに、細胞や生体組織における物質選択レーザー・アブレーションがある。

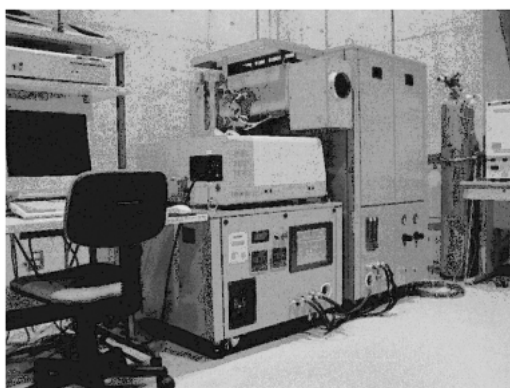


Figure 9. Apparatus for the isotope separation experiments.

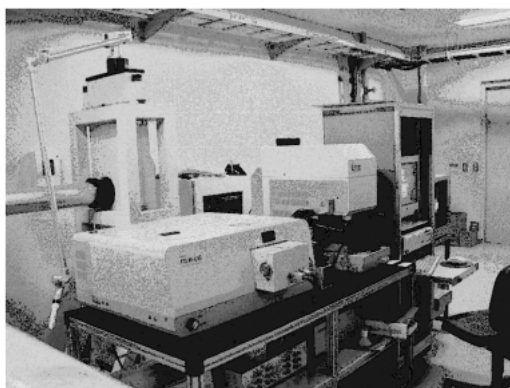


Figure 10. Apparatus for the micro-irradiation experiment combined with FT/IR spectrometer. FEL light is introduced into the IR microscope system through the multi-joint flexible arm optical system shown in the back of the apparatus.

この種の研究は医療への赤外 FEL 応用の基礎となるものである。生物学や医学の分野の研究者も関わったチームで実験計画を検討して製作したのがこの装置である。装置の写真を **Fig. 10** に示す。写真中央部にあるのが赤外顕微鏡システムで、その左手にあるのが FT/IR 分光器である。写真では見えないが両者をつなぐ部分に、FEL 光照射とスペクトル測定を切り替える機構がついている。その ZnSe 窓に多関節フレキシブル・アーム先端をネジで固定することで、FEL 光が導入できる。FEL 光は赤外顕微鏡光学系の対物レンズを通して試料に径 10 μm 程度のスポットとなって落射する。照射とスペクトル測定の切り替えは、FEL のマイクロパルスと同期するようになっている。

6.4 赤外近接場走査顕微鏡装置 (担当チーム代表 阪大 河田 聡)

近接場走査顕微鏡法では、通常の光学顕微鏡と異なり、光の波長には依存しない高空間分解能が実現できる。可視領域の近接場走査顕微鏡についてはすでに市販の装置も出回っている。赤外領域の近接場走査顕微鏡法の可能性については多くの期待が寄せられてはいるが、適当な赤外光源がなく、未開拓の状態である。そこで、MIR-FEL を光源にして赤外近接場走査顕微鏡法の可能性を探索することを目的に本装置が設計・製作された。FEL 光をプローブを介して試料に近接場照射し、反射または透過光を検出するようになっている。また、AFM と組み合わせるプローブの位置を制御する機構も組み込まれている。**Fig. 11** の写真で左手にあるのが赤外顕微鏡部分で、その右手に見えるのが FEL 光導入用光学系である。台の右端のロッドにフレキシブル・アームの先端が固定されている。装置全体は除振機能がついた光学実験台上に組み上げられている。

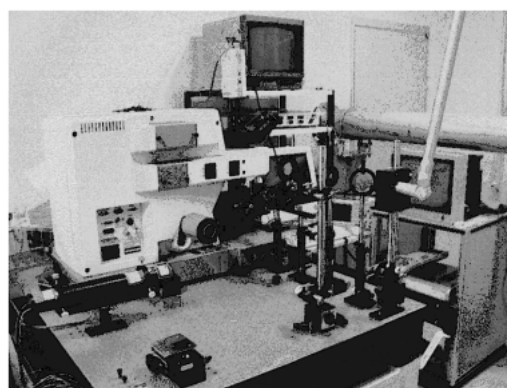


Figure 11. IR scanning near-field microscope. The right part of the photograph shows the optical system for introducing FEL light through the multi-joint flexible arm optical system.

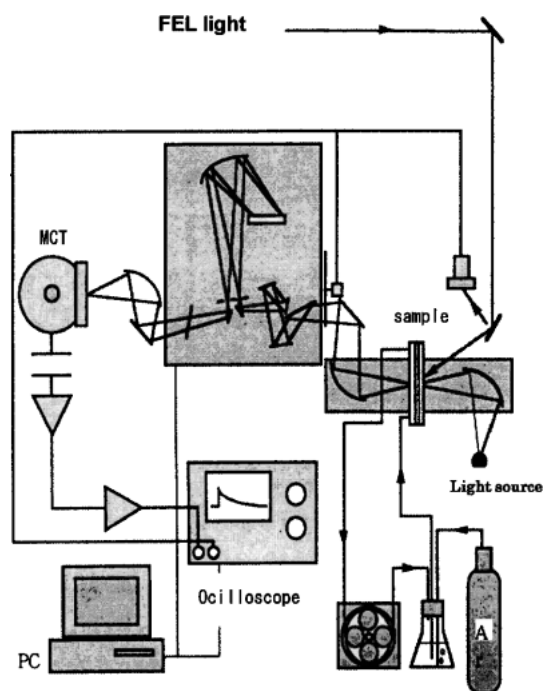


Figure 12. Schematic diagram of the apparatus for time-resolved IR spectroscopy.

6.5 赤外時間分解分光実験装置 (担当チーム代表 東大 濱口宏夫)

本装置は、液体や溶液を FEL 光で照射したことによって誘起された状態変化を赤外吸収スペクトルの変化として検出する時間分解赤外分光システムである。装置の構成を Fig. 12 に示す。この装置の最大の特徴は、複光束光学系を持っていて、FEL 照射部と非照射部とを分けて同時観測することによって、吸光度にして 10^{-6} 程度の極めて僅かな差も検出できるように設計されていることである。この実験装置は、溶液試料における FEL 照射効果を調べるのに有力な研究手段になるものと期待されている。なお、この装置は実験室 1 に設置されており、ビーム・ダクトから出た光を直接、光学架台上に配置したミラーで受けて装置の光学系に導く方式を採用している。

6.6 その他の装置

その他の実験設備の中で特に大きなものとしては、実験室 1 に設置された Pump/Probe 実験システムがある。これは、FEL 光をビーム・スプリッターで二つに分岐して、その一方を pump 光に他方を probe 光に用いてピコ秒 Pump/Probe 実験を行うほか、フェムト秒モードロック・チタンサファイア・レーザー、再生増幅器、OPA などで構成されるレーザー・システムも備えており、後者を probe 光とする Pump/Probe 実験も行うことができるようにしてある。上記のレーザー・システムは、固体分光実験やその他の実験にも用いる予定である。この他、固体試

料のレーザー・アブレーション実験のための設備も近く設置される予定である。

7. おわりに

以上、東京理科大学の赤外自由電子レーザー研究センターの FEL 装置 (MIR-FEL) の現状や光利用実験設備の準備状況について述べたが、MIR-FEL テスト運転・性能テストも完了し、また、光利用実験のための設備もかなり整ったので、本年春から光利用実験を本格的に開始するが、出来るだけ早い機会に赤外 FEL の user facility として十分に機能する形に持ってゆきたいと考えている。欧米の赤外 FEL 施設ではすでに物理・化学の研究で成果をあげており、また、米国の Vanderbilt 大学の FEL 施設では医療への赤外 FEL の応用も始められている。後発ではあるが、われわれのところの MIR-FEL 装置ならびにビーム・ライン設備は、それらの FEL 施設に比較して光利用実験のための配慮という点ではいくつかの優れた特徴を持っているのであり、その特徴を生かした研究をこれから大いに推進したいと思っている。本研究センターは「大学共同利用施設」として設立されたものではないが、国内でただ一つの FEL user facility であるので、面白い研究課題や優れた研究提案には、学内外を問わず、積極的に対応して行きたいと考えているので、MIR-FEL の光を用いる研究に関心をお持ちの方は研究センターに連絡されるように希望する次第である。

最後になったが、本稿の作成については、FEL-SUT 計画の共同研究者の方からいろいろな資料やデータの提供を受け使用させて頂いたことを記し、感謝申しあげる次第である。なお、本稿で述べた研究は、文部省 (現、文部科学省) の科学研究費補助金創成的基礎研究費 (平成13年度から「学術創成研究費」と改称) によって行われた。

参考文献

- 1) 詳細については、「FEL-SUT レポート」No. 1 (1999)、ならびに、同 No. 2 (2000) を参照されたい。また、下記のホームページにも関連した情報がある：
<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/~felsut/>
- 2) D. A. G. Deacon et al.: *Phys. Rev. Lett.* **38**, 982 (1977).
- 3) H. Nuhn and J. Rossbach: *Synchrotron Radiation News* **13**, 18 (2000).
- 4) M. Yokoyama, F. Oda, A. Nakayama, K. Nomaru, H. Koike, M. Kawai and H. Kuroda: "Free Electron Lasers 1999" (*Proc. 22nd Free Electron Laser Conference*), ed. by J. Feldhaus and H. Weise, Elsevier Science B.V. 2000, p. II-67.
- 5) F. Oda, M. Yokoyama, A. Nakayama, H. Koike and E. Tanabe: *Nuclear Inst. Meth. A* **445**, 404 (2000).
- 6) K. Nomaru, M. Kawai, M. Yokoyama, F. Oda, A. Nakayama, H. Koike and H. Kuroda: *Nuclear Inst. Meth. A* **445**, 379 (2000).
- 7) 各実験装置に関するさらに詳しい情報は文献 1) を参照されたい。