

[A18a04]

## FEL BEAM QUALITIES OF THE FELI LINAC-BASED FEL FACILITIES

T. Tomimasu, A. Zako, Y. Kanazawa, A. Nagai

Free Electron Laser Research Institute, Inc.

2-9-5 Tsuda-yamate, Hirakata, 573-0128

### Abstract

Recent status of FELI FEL facilities (FEL-1, FEL-2, FEL-3, FEL-4) and their FEL beam qualities are reported. Usual micro-pulse FEL energy is  $30\mu\text{J}$  at FEL-1 and the maximum macro-pulse average power is  $3\text{kW}$ . FEL-3 (UV-FEL facility) keeps the world record of  $278\text{ nm}$  for the shortest wavelength oscillation of linac-based FELs since June 1996. Electron macro-pulse beam induced instabilities of FEL macro-pulse and of FEL spectrum have been measured with an IR-FEL diagnostic system. Electron macro-pulse instability is of the order of  $+3\%$  per five min. and FEL macro-pulse instability is of the order of  $+10\%$ . Stability of the FEL spectrum is however less than  $0.05\%$  and stability of the spectrum spread is less than  $0.1\%$ .

### FEL研のFELビーム特性—特にFEL出力の安定度について

#### 1. はじめに

榊自由電子レーザー研究所 (FELI) は、1991年3月28日に基盤技術研究促進センター(70%)と民間企業(30%)の出資で設立され、1993年11月15日に研究所建屋を完成した。1994年1月から自由電子レーザー (FEL) 装置を組立て、10月31日に FEL 装置 1 ( $5\sim 22\mu\text{m}$ ) で、1995年2月26日に FEL 装置 2 ( $1\sim 6\mu\text{m}$ ) で、12月26日に FEL 装置 3 ( $0.22\sim 1.2\mu\text{m}$ ) で、1996年12月26日に FEL 装置 4 ( $20\sim 80\mu\text{m}$ ) で、それぞれ MW レベルの FEL 発振に成功した[1]。FEL 装置 3 による  $278\text{ nm}$  の linac-based FEL の世界最短波長記録は 1996年6月以来保持されている[2]。

さらに 1998年4月には、 $33\text{MeV}$  電子ビームによる FEL-1 と FEL-4 を用いた  $5.5\mu\text{m}$  と  $18.5\mu\text{m}$  での発振にも成功している。

FEL 利用研究は 1995年10月から始められ、国からの出資が終了した 1997年4月後も民間出資で継続されている。

本報告では、(1) 紫外～遠赤域をカバーする 4 台の FEL 装置のマイクロパルスピーク出力(最大  $10\text{MW}$ )、マクロパルス平均出力(最大  $3\text{kW}$ )、スペクトル幅の波長特性の現状について、また (2) 電子リニアックからの電子ビームマクロパルス波形の安定度と FEL マクロパルス波形、FEL スペクトル位置とスペクトル幅の安定度の相関について述べる。

#### 2. 紫外～遠赤外域 FEL の出力特性

図 1 に FEL 研電子リニアック、4 台の FEL 装置、光伝送系、モニター室と 4 つの利用実験室を示す。

FEL 装置 1, 2, 4 それぞれの光共振器ミラー孔(それぞれ  $1.5\phi\text{mm}$ ,  $0.5\phi\text{mm}$ ,  $2.5\phi\text{mm}$ ) から取り出されたビーム(光共振器内パワーの  $0.5\%$ ) は回折効果で拡がるが、金コートした集光ミラーでビーム径が数 cm 以下になるように利用実験室まで伝送される。途中で最多 9 枚の金コートミラー ZnSe

か KRS-5 の窓を通るので出力は 6 割に減る

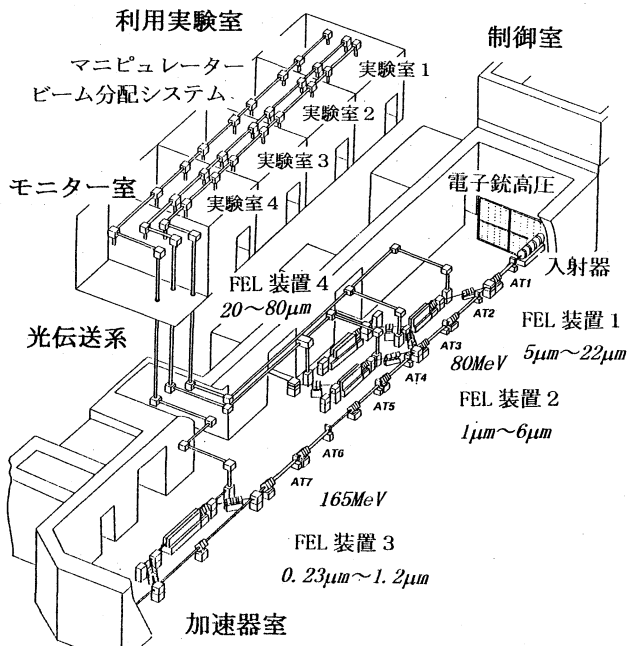


図1 FEL 研 FEL 装置の全景

図2はモニター室に設置された赤外線用 FEL ビーム診断装置で FEL スペクトル、平均パワー、マクロパルス波形が常時測定されている。マイクロパルス長はストリークカメラなどを用いて測定される。

モニター室では 90° 扇形ミラーで FEL ビームの 1/4 が分配され、残りは実験室に伝送される。1/4 ビームは診断やレーザーアブレーションの閾値測定などに使われる。このように扇形ミラーによる FEL ビーム分配で複数ユーザーによる

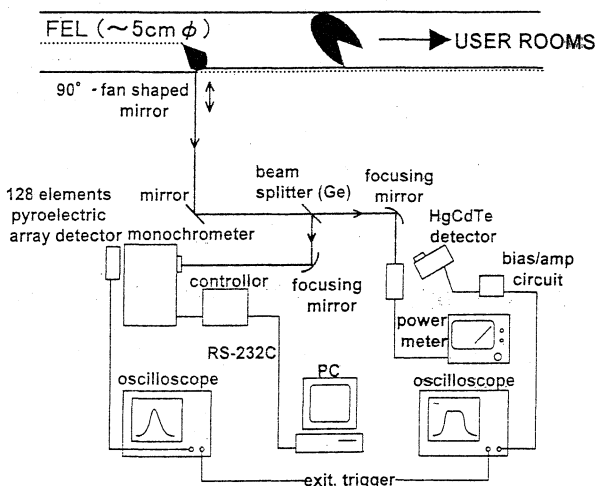


図2 赤外線用 FEL ビーム診断装置

FEL の同時使用が可能である。正確なマイクロパルスのピークパワーは、FEL の平均出力、マイクロパルスの数とパルス長から求められる。マイクロパルス数は HgCdTe 検出器 (赤外～遠赤外域) または Si-APD (可視～紫外域) でマクロパルス長を検出して求められ、中赤外域 FEL のマイクロパルス長は GaAs/AlGaAs 多重超格子構造 (MQW) を用いた pump-probe 法で 3.2ps と、また可視～紫外域のパルス長は 2.7~0.8ps と測定された。図3に紫外～遠赤外域 FEL のマイクロパルスのピーク出力を、図4にマクロパルスの平均出力を示す。

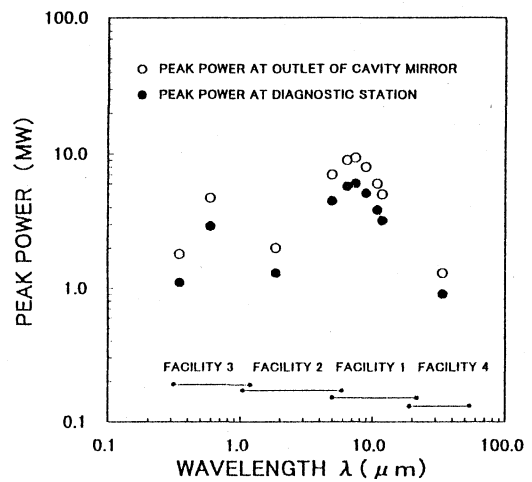


図3 FEL ミクロパルス・ピーク出力

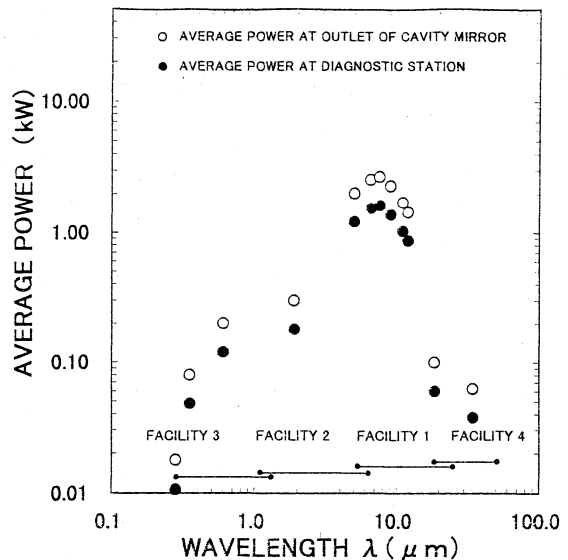


図4 FEL マクロパルス平均出力

発振スペクトル幅 ( $\Delta\lambda/\lambda$ , FWHM) の実験値 (計算値) は、可視～紫外域で 0.08% (0.064%), 6μm で 0.5% (0.95%) で、括弧内の計算値は次式で求めら

れた。

$$(\Delta\lambda/\lambda)_L = (1/\pi) \cdot (\lambda/N\sigma_z)^{1/2}$$

ここで、 $\lambda$ は波長、 $N$ はアンジュレーターの周期数、 $\sigma_z$ は電子バンチ長(標準偏差)である。

### 3. 中赤外域FEL装置の出力安定度

図5は7.1 $\mu\text{m}$  FELのマクロパルス波形と29.0MeV電子ビームのマクロパルス波形をオシロスコープの蓄積モードで5min.記録したものである。FEL波形はHgCdTe検出器から、電子ビーム波形はボタンモニターからえられた[3]。

電子ビームのマクロパルス長は24 $\mu\text{s}$ で、立ち上がりから6 $\mu\text{s}$ の所にリップルが見られる。これは1分に1度程生ずるが、これに応じてFELのマクロパルス波形には数 $\mu\text{s}$ にわたって僅かな下がりが見られる。

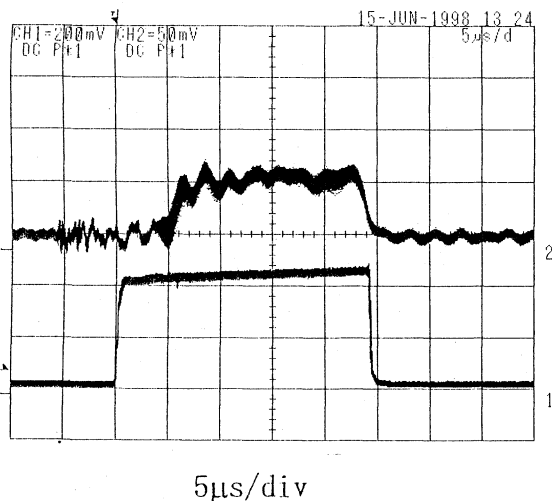


図5 7.1 $\mu\text{m}$  FELのマクロパルス波形Iと29.0MeV電子ビームのマクロパルス波形I

図6はその後6分間に観測されたもので、電子ビームのリップルの外に80%波高のものと100%に回復したマクロパルスが見られる。これに応じてFELマクロパルス波形に変化が見られる。

図7は同時に記録された7.1 $\mu\text{m}$ のスペクトルで、電子ビームの変動に応じたスペクトルの変化が見られる。

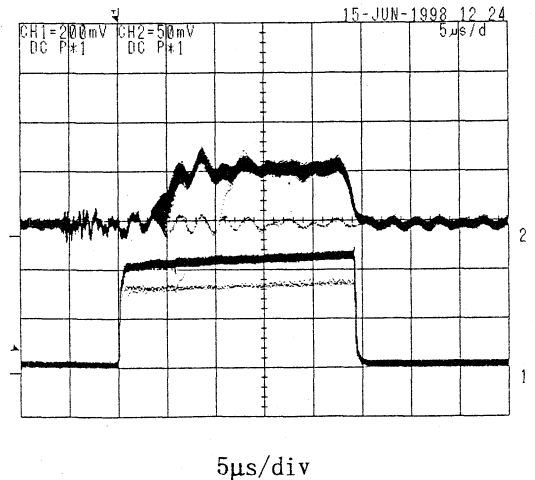


図6 7.1 $\mu\text{m}$  FELのマクロパルス波形2と29.0MeV電子ビームのマクロパルス波形2

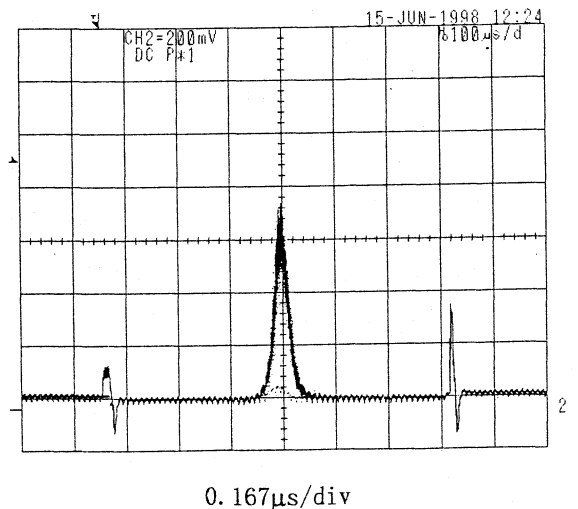


図7 7.1 $\mu\text{m}$  FEL スペクトルの変動

### 4. 結論

電子ビームマクロパルスの変動は5分間で3%、FELマクロパルスの変動は5分間で10%、FELスペクトル中心の変動は5分間で0.05%以下である。

### 参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al., CP413, *Towards X-Ray Free Electron Lasers* edited by R. Bonifacio and W. A. Barletta, AIP(1997)pp.127-141.
- [2] T. Tomimasu, et al., Nucl. Instr. Meth. A393 (1997)188
- [3] A. Zako, et al., *Proc. 2<sup>nd</sup> Asian Symposium on FEL*(Novosibirsk, June 13-16, 1995)pp.57-60