

# First lasings at IR-and FIR range using the FELI FEL facility 4

T.Takii, E.Oshita, S.Okuma, K.Wakita, A.Zako, Y.Kanazawa, A.Koga, K.Ohase<sup>A</sup>,  
and T.Tomimasu

Free Electron Laser Research Institute, Inc. (FELI)  
2-9-5-, Tsuda-Yamate, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

<sup>A</sup>ShinEtsu Chemical Co., Ltd.

2-1-5, Kitafu, Takeo, Fukui 915, Japan

**Abstract**

A 2.4-m long halbach type undulator (Undulator 4) for far-infrared FELs was installed at the beam transport line (BT4) of the downstream of a 2-m long undulator (Undulator 1) in November 1996. Now, we are challenging at two-color FEL oscillation in IR-and FIR range using the FELI FEL facilities 1 and 4. This paper describes first lasings at FIR range using the undulator 4 and a 33-MeV, 40-A beam passed through the undulator 1 without lasing.

## FEL研 FEL装置4による赤外～遠赤外域でのFEL発振

**1. はじめに**

(株)自由電子レーザー研究 (FEL研) では、1994年10月に FEL装置1 ( $\lambda u=3.4\text{cm}$ ,  $5\sim 22\mu\text{m}$ ) で中赤外域 FEL 発振以来、1995年2月には FEL装置2 ( $\lambda u=3.8\text{cm}$ ,  $1\sim 6\mu\text{m}$ ) で可視～近赤外域 FEL 発振、同年12月には FEL装置3 ( $\lambda u=4.0\text{cm}$ ,  $0.278\sim 1.2\mu\text{m}$ ) で紫外～可視域 FEL 発振に成功している。

1996年4月には FEL装置1の下流に遠赤外域用 FEL装置4を設置し、FEL装置1で一度発振に使われた電子ビームを FEL装置4で再度発振に使用する。図1に FEL研の電子リニアック、ビーム輸送系、FEL装置1～4の配置を示す。

当初 FEL装置4には電磁石と永久磁石で構成されたハイブリッド型アンジュレータを設置して1996年10月24日に  $18\mu\text{m}$  での発振に成功したが、電磁石部での残留磁場が電子ビームに影響し十分に性能が発揮できず、同年11月にハルバ

ッハ型アンジュレータ ( $\lambda u=8.0\text{cm}$ ,  $20\sim 80\mu\text{m}$ ) に再設置した。

本報告は、2台のアンジュレータを用いた、赤外～遠赤外での2色同時発振のための予備実験に関するもので、FEL装置1では発振させずに通り抜けた電子ビームを FEL装置4に通し、FEL装置4単独での発振に成功した結果について報告する。

**2. 遠赤外用アンジュレータ4の特性**

FEL装置4は、2.4-m長ハルバッハ型アンジュレータと6.72-m光共振器から構成され、FEL装置1の下流の33MeVビームラインに設置されている。FEL装置4の自発放射光やFEL光は光共振器下流側出力ミラーの2.5mmのミラー穴を通りFEL装置2の光伝送系を通してレーザーモニタ室と利用実験室に伝送される。表1にハルバッハ型アンジュレータのパラメータを示す。

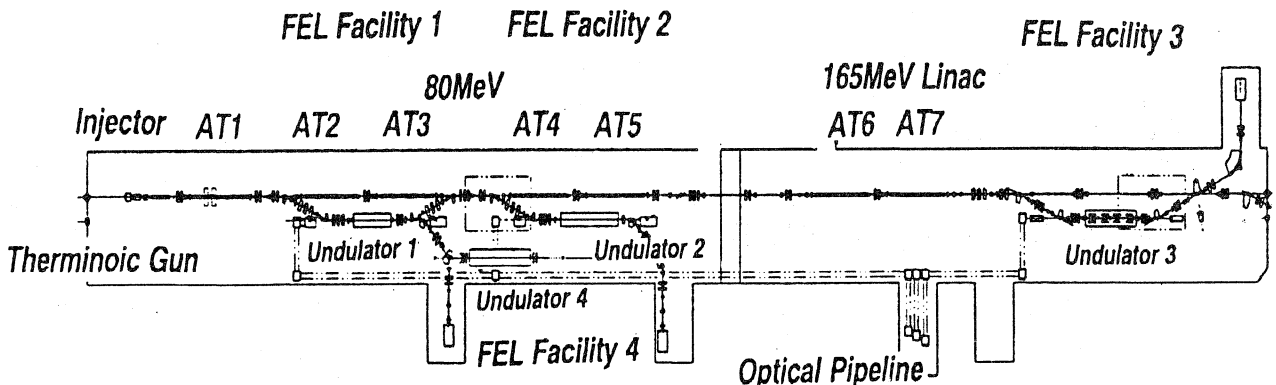


図1. FEL研電子リニアックとFEL装置1, 2, 3及び4の配置

表 1. アンジュレータ 4 のパラメータ

Period Length	$\lambda u$	8.0mm
Period Number	Nu	30
Gap Length	g	30- 55mm
K-value	K	3.37- 1.26
Material of permanent magnet		Sm-Co

図 2 にはアンジュレータギャップによる波長特性、図 3 にはアンジュレータギャップによる磁場強度のパラメータ  $K=93.4B(T)\lambda u(m)$  の変化を示す。ここで、 $B(T)$  はアンジュレータ磁極間隔のピーク磁場、 $\lambda u(m)$  はアンジュレータの周期長である。

図 4 は電子ビームのエネルギー、エネルギー幅、エミッタンス (表 2) をパラメータにしたアンジュレータの遠赤外域波長での小信号・単パルス利得を示す。

表 2. 小信号・単パルス利得計算パラメータ

Energy	25 - 35MeV
Micropulse duration	10pps
Peak Current	40A
Emittance(Normalized)	$26\pi \text{ mm}\cdot\text{mrad}$
Energy Spread(FWHM)	1.5%

利得算出に用いた計算式[1]は、電子ビームのパルス長効果、エネルギー幅、エミッタンスによる効果が考慮されている。ただし、光共振器内での光ビームと電子ビームとの filling factor に対する考慮はなされていない。

### 3. 発振実験

最初に、FEL 装置 1 のアンジュレータギャップを 50mm に広げ磁場の影響を少なくして FEL 装置 4 に電子ビームを通し調整を行った。アンジュレータ 4 にはアンジュレータの入口、中央、出口に電子ビームの位置モニタ用スクリーンモニタが設置されており電子ビームの収束の

様子を観測できる。図 5 は MAGIC により電子ビームの収束状態を計算したものである。

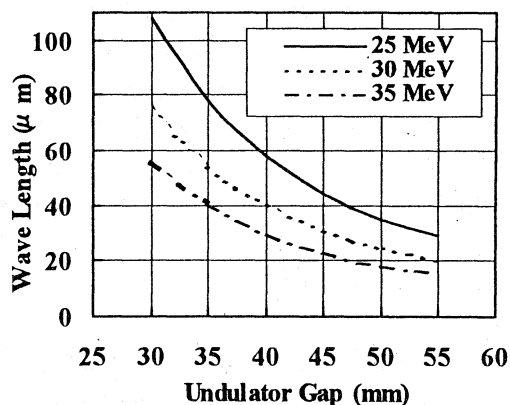


図 2. アンジュレータギャップと波長特性

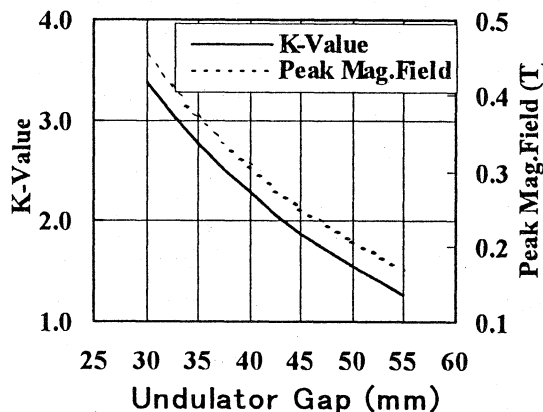


図 3. アンジュレータ 4 の磁場強度

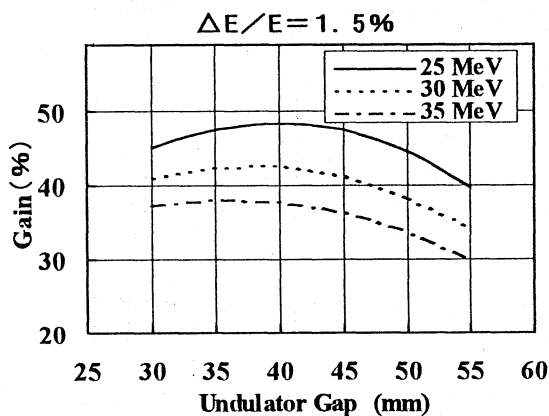


図 4. アンジュレータ 4 の小信号・単パルス利得

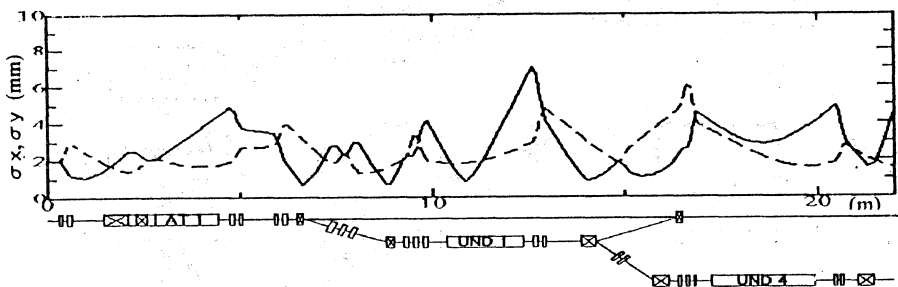


図 5. MAGIC による電子ビーム収束状態の計算結果

図6に示すのが、1996年12月26日に発振に成功した時の波長  $18.6\mu\text{m}$  の FEL マクロパルス波形である。この時の電子ビーム加速エネルギーは  $33\text{MeV}$ 、アンジュレータギャップは  $53\text{mm}$  であった。この時の電子ビームに対する FEL マクロパルスの立ち上がり時間から利得は約 30%程度と考えられる。また図7は電子ビーム加速エネルギー  $33\text{MeV}$ 、アンジュレータギャップ  $37\text{mm}$  で  $34.5\mu\text{m}$  の FEL を発振させたときの FEL スペクトルであり半値全幅 (FWHM) は約 0.5% であった。

図8には、発振波長  $40.0\mu\text{m}$  時の共振器長をディチューニングした時の平均出力特性を示す。

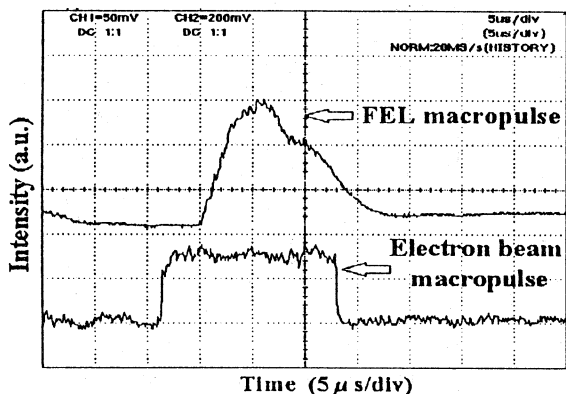


図6.  $18.6\text{-}\mu\text{m}$  FEL のマクロパルス

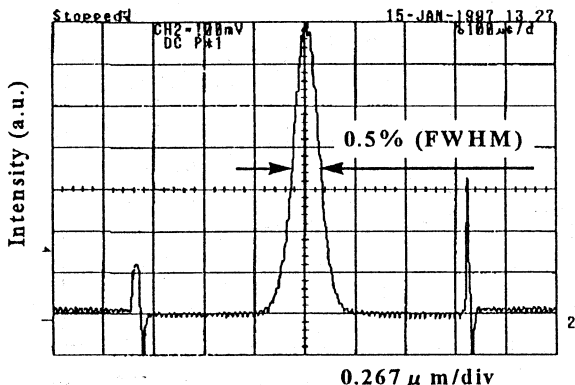


図7.  $34.5\text{-}\mu\text{m}$  FEL のスペクトル

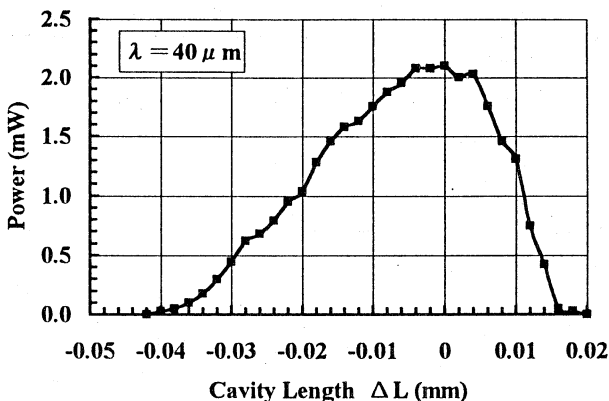


図8. 発振波長  $40\mu\text{m}$  時の共振器長ディチューニング特性

現在、FEL 研では FEL 装置 1 および FEL 装置 4 を用いた赤外域～遠赤外域 FEL の 2 色同時発振を試みており、その過程の一つとして FEL 装置 4 単独での遠赤外域 FEL の発振に成功した。

今後は、アンジュレータ 1 のギャップを発振可能な程度まで縮め FEL 装置 1 および装置 4 共に発振するようにビーム調整を行っていく。但し、FEL 装置 1 で完全に発振に使用された電子ビームはエナジースプレッド等電子ビームの質が劣化し装置 4 で発振に至らない可能性がある。そこで電子ビームのマクロパルス幅が  $24\mu\text{s}$  という特徴を生かして電子ビームの後半部分を用いてアンジュレータ 1 での FEL の発振を行い、同じ電子ビームの前半部分を用いてアンジュレータ 4 で再び FEL の発振を試みる。(図9)

#### References

- [1] P.W. van Amersfoort, et al., The FELIX Project Status Report (FOM, April 1988) p.3

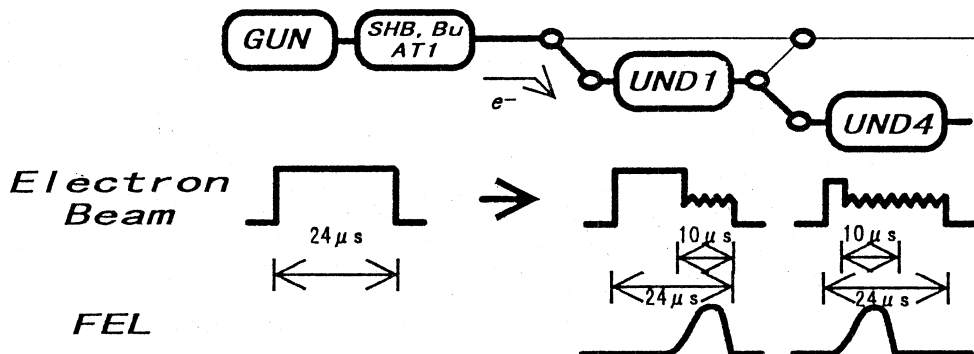


図9. FEL 装置 1 および 4 による 2 色同時発振の概念