

I N F R A D E F R E E - E L E C T R O N L A S E R  
A M P L I F I E R A N D O S C I L L A T O R E X P E R I M E N T S  
W I T H T H E I S I R L I N E A R A C C E L E R A T O R

Shuichi OKUDA, Juzo OHKUMA, Norio KIMURA, Yoshihide HONDA, Tamotsu YAMAMOTO,  
Setsuo TAKAMUKU, Toichi OKADA and Takayoshi YAMAMOTO

Radiation Laboratory, The Institute of Scientific and Industrial Research,  
Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

ABSTRACT

Infrared free-electron laser (FEL) experiments have been performed with the 38-MeV L-band electron linear accelerator at The Institute of Scientific and Industrial Research in Osaka University. Self-amplified spontaneous emission from the high-brightness single-bunch beams has been observed at wavelengths of 20 and 40  $\mu\text{m}$ . The multi-bunch beams have been used for oscillator experiments made at 40  $\mu\text{m}$  and spontaneous emission has been observed.

産研ライナックによる赤外自由電子レーザー増幅・発振実験

1. はじめに

産業科学研究所附属放射線実験所では38MeV・Lバンド電子ライナックの特徴を生かして赤外自由電子レーザー (FEL) の開発研究を進めている。<sup>1,2)</sup> サブハーモニックプリバンチャー (SHPB) によって得られる高輝度の単バンチビーム、マルチバンチビームを用いてそれぞれ増幅実験および発振実験を行っている。1台のライナックによってこのような2種のFEL実験ができることが大きな特徴である。現在までに得られた実験の結果と研究の現状について報告する。

2. 実験装置と電子ビームの特性

FEL実験装置を図1に示す。増幅実験では、ウィグラー出口の共振器鏡をとりはずした。発振実験では光共振器中を光が往復する間に4個の電子バンチが通過する。真空中に設置した金コート凹面鏡は、あおりや共振器長を高精度で調整し、出口側を遠隔駆動する。部分透過鏡は中央に穴を設けた。赤外放射光は凹面鏡で反射させて加速器室外へ導き、その強度は波長10~20 $\mu\text{m}$ では液体窒素冷却HgCdTeを、また30~50 $\mu\text{m}$ では液体ヘリウム冷却GeBe検出器を用いて測定した。

高輝度の単バンチビームは従来から諸特性が調べられてきた。加速器システムは単バンチビームのために最適化されているが、空間電荷効果のより少ないマルチバンチビームについては、各加速器要素の調整によって条件の向上を図った。<sup>2)</sup> 得られた電子ビームの特性およびウィグラーの条件を表1に示す。B.M. はバーストモード電子銃パルサーを用いて得たビームを示す。<sup>3)</sup>

3. 増幅型FEL実験

レーザー光の入射無しに電子ビームをウィグラー中を1回だけ通過させて自己増幅された自発放射光 (Self-Amplified Spontaneous Emission, SASE) を得る実験には十分大きな増幅率が必要で、特殊な研究を除きサブミリ以上の波長を対象にインダクションライナックのビームによって実験が行

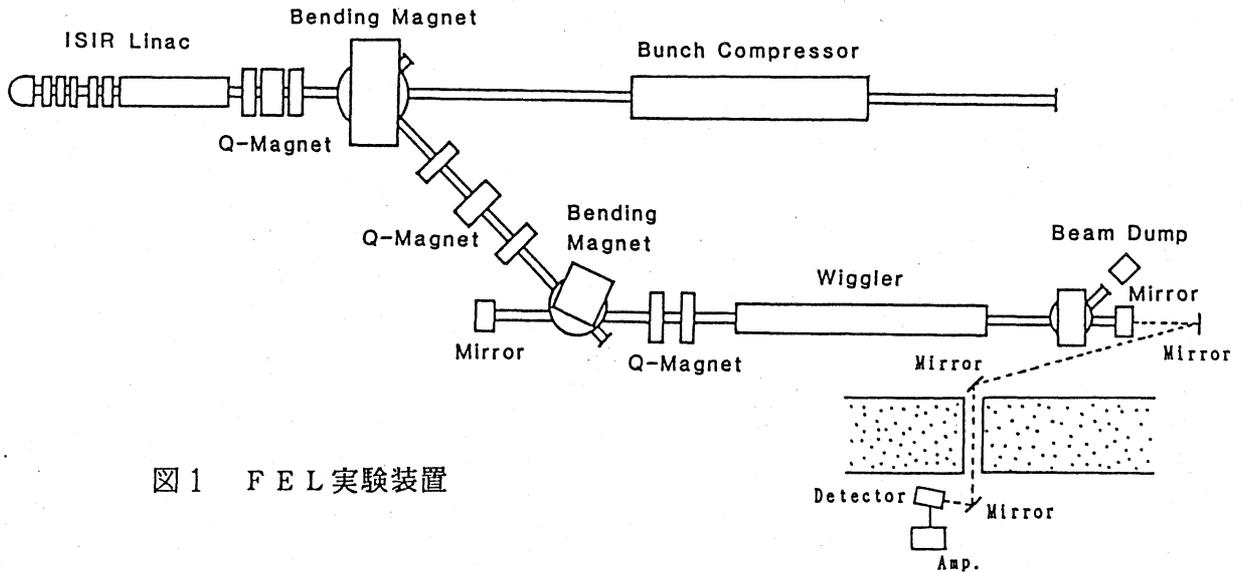


図1 FEL実験装置

われてきた。本研究の目的は、産研ライナックの高輝度単バンチビームを用いて波長 $20, 40 \mu\text{m}$ でSASEを実験的に確認することである。

本実験における電子ビームの条件を表2に示す。放射光の測定立体角は $10^{-5}\text{sr}$ である。共振波長 $20$ および $40 \mu\text{m}$ において電子ビームの1バンチ当りの電荷量を変えて放射光強度を測定した結果をそれぞれ図2(a), (b)に示す。低い電荷量では、十分な信号強度を得るためにマルチバンチビームを用いた。増幅光では自発放射光に比べて放射立体角が小さい。測定された放射光には、電荷量に比例するインコヒーレントな自発放射光と増幅過程によるコヒーレント光が含まれると考えられる。この図において波線で示された自発放射光強度の推定値に対する測定強度の増加は、SASEによるものと考えられる。波長 $40 \mu\text{m}$ ,  $28 \text{nC}$ でのスペクトルの測定結果を図3に示す。高調波は観測されなかった。このFELにはパルス幅 $10 \sim 30 \text{ps}$ 、単一波長単パルス光という特徴があり、光源としての確立をめざしている。またレーザーの増幅実験も計画している。

#### 4. 発振型FEL実験

第1段階での発振実験の波長を $40 \mu\text{m}$ と定めた。

この条件における利得は $0.3 \sim 0.4$ と計算され、共振器長には約 $50 \mu\text{m}$ の精度が必要である。光共振器鏡の2方向のあおりの初期設定は、共振器内に置いた物体の像を共振器鏡の穴を通して観測しながら

表1 電子ビームの特性とウィグラーパラメータ

Electron Beam		Single	Multi	(B.M.)
Beam Mode for Bunch				
Maximum Energy (MeV)		38		
Accelerator Freq. (GHz)		1.3		
Micropulse Spacing (ns)		--	9.2	37
Charge/Micropulse (nC)		$\leq 70$	$\geq 1$	1
Peak Cur./Micropulse(A)		$\leq 3000$	$\leq 100$	
Micropulse Length (ps)		$\geq 9.5$	20-30	
Macropulse Length ( $\mu\text{s}$ )		--	$\leq 2.5$	2.5
Energy Spread		1-3%	2-4%	2%
Norm. Emittance		200-700 $\pi \text{mm}\cdot\text{mrad}$		
Wiggler				
Length	1920 mm			
Period	60 mm			
K	1			

表2 増幅実験におけるビーム条件

Single-Bunch Beams			
Wavelength ( $\mu\text{m}$ )	20	40	
Energy (MeV)	24.2	17.1	
Energy Spread (%)	2	2	
Pulse Length (ps)	30	30	
Beam Diameter (mm)	5	5	
(at Wiggler Center)			

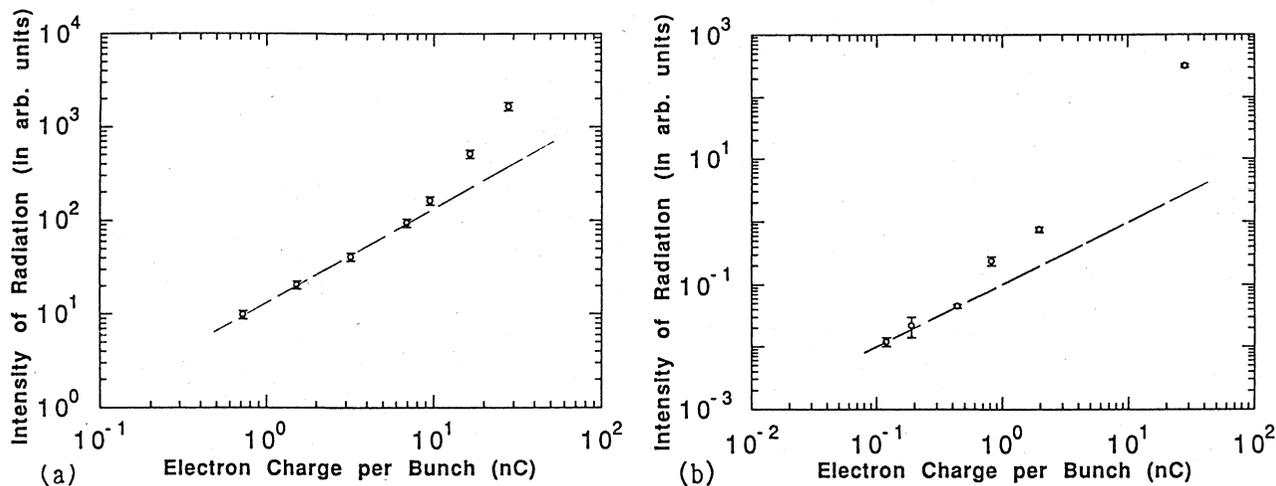


図2 波長 $20\mu\text{m}$ (a),  $40\mu\text{m}$ (b)における放射光強度の測定結果

ら行った。発振実験で用いるビームからの自発放射光を、ウィグラー出口の鏡を除いて測定した。この条件は図2(b)で電荷量 $2\text{nC}$ のものと同じである。この図からわかるようにSASE光は、自発放射光を上回って観測される。この増幅光は、出口の鏡を設置した場合にも観測された。発振実験では、ビーム条件(ビーム特性および輸送条件)を固定し、長い時間にわたって鏡の調整を行わなければならない。この間のビーム変動はリアルタイムでモニターできない。増幅光が検出されたことで、これをモニターしながらビーム輸送の最適化の微調整および鏡調整中のビーム条件を固定することが可能になる。現在この測定実験を継続中である。電子ビームのエミッタンス向上のために現電子銃、ARCO・Model-12に加え、EIMAC・Y-646Bを利用可能にする予定である。

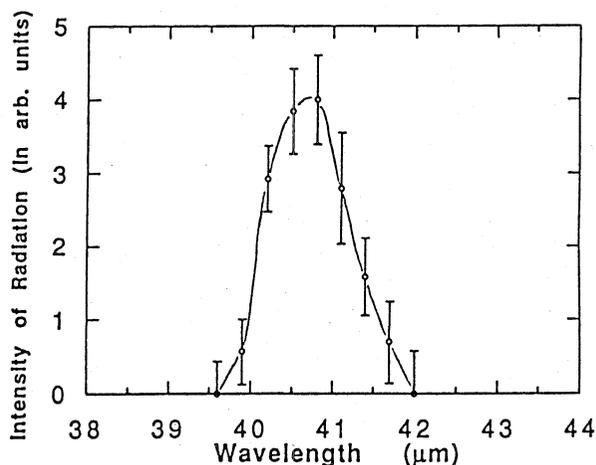


図3 波長 $40\mu\text{m}$ 、電荷量 $28\text{nC}$ における放射光のスペクトル

### 5. おわりに

単バンチビームによって波長 $20, 40\mu\text{m}$ におけるSASEが確認された。今後レーザーの増幅実験、光源開発を進める。発振実験では加速器システムの最適化および波長 $40\mu\text{m}$ での放射光測定と光共振器の調整が行われた。実験結果をもとに発振実験を行うと共に、装置開発による利得の増加を図る。本研究を行うにあたり実験にご協力いただいた末峰昌二氏に感謝致します。

### 参考文献

- 1) S. Okuda, K. Tsumori, J. Ohkuma, N. Kimura, T. Yamamoto, T. Hori and S. Takamuku, Nucl. Instrum. Meth. A318 (1992) 81.
- 2) T. Hori, K. Tsumori, J. Ohkuma, N. Kimura, S. Okuda, Y. Honda, T. Yamamoto, S. Suemine and S. Takamuku, Proc. of the 16th Linear Accelerator Meeting (1991) 25.
- 3) K. Tsumori, T. Yamamoto, S. Suemine, S. Takamuku, K. Mashiko and H. Matsumoto, Proc. of the 16th Linear Accelerator Meeting (1991) 227.