

# LASING OF FEL WITH THE BURST MODE BEAM AT LEBRA NIHON UNIVERSITY

Keisuke Nakao\*, Toshinari Tanaka, Ken Hayakawa,  
Yasushi Hayakawa, Kyoko Nogami, Manabu Inagaki

Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA), Nihon University  
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

## Abstract

Improvement of the electron beam injector system in the linac at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) of Nihon University made possible to accelerate the burst-mode beam extracted from the conventional DC triode electron gun. The electron beam with the pulse width less than 1ns and the period of 44.8ns, which corresponds to the round-trip time in the FEL optical resonator, has been extracted by using a high-speed grid pulser (Kentec Inc.). Taking into account of the electron beam pulse width, sequence of two or three FEL pulses with the accelerating RF period was possible. In the lasing experiment a single FEL pulse or a row of two FEL pulses was observed using a streak camera. By the adjustment of the timing of the high-speed grid pulse generated in synchronous with the accelerating RF, lasing of a single FEL pulse in the single short beam pulse has been observed at an FEL wavelength of approximately 1720nm.

## 日大LEBRAにおけるバーストモードビームを用いたFEL発振

### 1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 (LEBRA) では、2001 年から、赤外線自由電子レーザー (FEL: Free Electron Laser) およびパラメトリック X 線 (PXR: Parametric X-ray Radiation) を、主に医学、歯学、物性系のユーザに提供している。昨年度までは、学内利用が主だったが、今年度から学外利用も可能になった [1]。

2011 年 1 月に、電子銃高圧ターミナルの更新に伴い、Kenteck 社製の高速グリッドパルサーを導入し、バーストモードでのビーム加速が可能となり [2]、4 月にバーストモードビームを用いて、 $\lambda = 1720 \text{ nm}$  の FEL 発振に成功した。

本稿では、バーストモードビームによる FEL 発振について報告する。

### 2. 電子銃

LEBRA の電子銃は、カソードに EIMAC Y646B を使用した典型的な DC 電子銃であったが 2011 年 1 月に、図 1 のような構成に更新された。この電子銃システムは、カソード、カップラーグリッドパルサー、高速グリッドパルサー、DC バイアス電源から成り、DC バイアス、グリッドパルサー、および高速グリッドパルサーの出力は、カップラーによって図 2 のように重畳され、グリッドに入力される。

この二つのグリッドパルサーの出力をカップラーで重畳することにより、3つのモードでビーム加速が可能となった。すなわちフルバンチモード、バーストモードそして重畳モードである。フルバンチモードは、これまで更新前から使用していたモードで、マクログリッドパルサーのみで電子銃をドライブする。すなわち高速グリッドパルサーの出力が 0V の場合である。重畳モードは、

マクログリッドパルスによるエミッションと高速グリッドパルスによるエミッションが重畳されている場合であり、バーストモードは高速グリッドパルスのみでエミッションがとれる場合である。LEBRA で現在使用しているカソードでは、グリッドバイアス電圧が 60V で、マクログリッドパルスを 35V 以下にするとバーストモードになる。

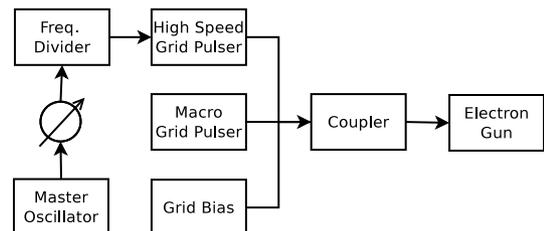


図 1: 電子銃システムの構成

LEBRA の電子銃の仕様を表 1 に示す。電子銃のマクログリッドパルス幅は、通常  $50\mu\text{s}$  で使用しているが、加速 RF のパルス幅が最大で  $20\mu\text{s}$  なので、加速する電子ビームのパルス幅は  $20\mu\text{s}$  である。

表 1: 電子銃の仕様

カソード	Y646B
引き出し電圧	100kV
マクロパルス幅	$50\mu\text{s}$
高速グリッドパルス幅	600ps (FWHM)
高速グリッドパルス間隔	22.2(64 分周) or 44.4ns(128 分周)
高速グリッドパルス電圧	100 ~ 160V

高速グリッドパルサーは、加速 RF を 32 分周した

\* nakao@lebra.nihon-u.ac.jp

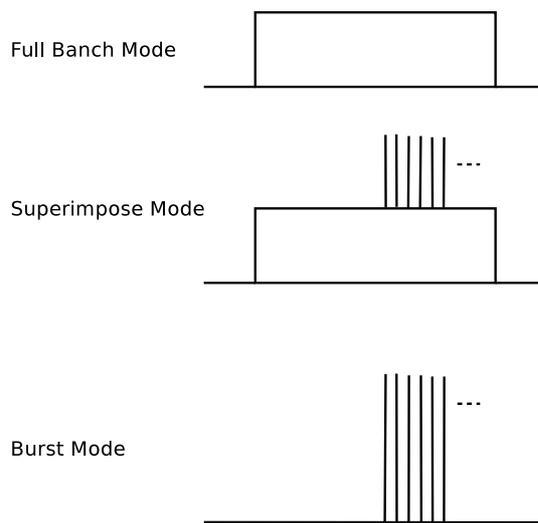


図 2: 3つのモード

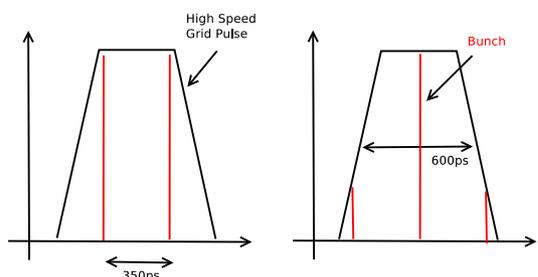


図 3: バーストパルスタイミングと加速バンチ

89.25MHzの正弦波を、グラビトン社製 89.25MHz Optical Transceiver を用いて光に変換し高圧ターミナルに送り、これをトリガとしてバーストパルスを出力する。この Optical Transceiver は、ジッターが RMS で 5ps 以下と非常に低ジッターの光モデムである。

高速グリッドパルスは、この正弦波を2分周、4分周してこれをトリガとし、600ps(FWHM)の短パルスを出力する。すなわち、加速周波数 2856MHz の64分周または128分周の間隔で、加速周波数と同期した短パルスが出力される。LEBRAの加速器の加速周波数は 2856MHz なので、フルバンチモードでは 350ps 間隔でバンチが並んでいる。電子銃のグリッドにパルス幅 600ps のパルス変調をかけると、加速 RF と高速グリッドパルスのタイミングによって図 2. のように、1 または 2 個のバンチを加速することができる。1バンチモードの場合は両隣のバンチがサテライトビームとして加速される。このトリガ信号のタイミングは、分周器の前段の移相器を用いて調整可能である。

### 3. バーストモードビームによる FEL 発振

2011年4月19日、まずフルバンチモードで FEL を発振させた後、バーストモードに変更し、徐々にグリッドパルス電圧を下げ、発振を維持するように調整を続けたところ、ビームエネルギー 100MeV、128分周、高速グリッドパルス電圧 160V、グリッドパルス電圧 30V で、FEL の発振に成功した。このときの、FEL 光共振

機の手前にある、CT の出力波形および、InAs 赤外線検出器の出力波形を図 4 に示す。図 4 から、FEL 発振は飽和に達しており FEL 光共振器に入力されたビームの 7 $\mu$ s 後方から立ち上がっておりマクロパルス幅のおよそ 70% で FEL が発振していることがわかる。この時の FEL の波長は、およそ 1760nm、パワーは 1 マクロパルスあたり 1.5mJ であった。

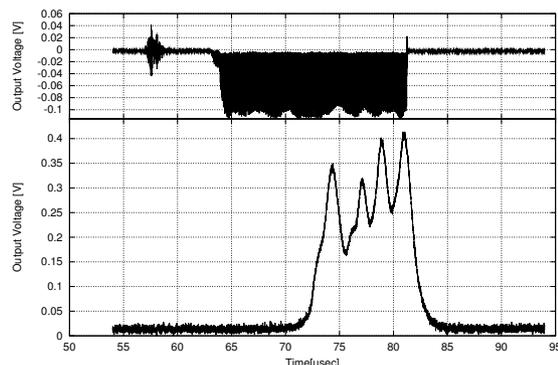


図 4: バーストモードにおける FEL 発振波形 (下) 及びビーム波形 (上)

次に、バーストモードで発振させた波長 2160nm の FEL の高調波のパルス構造を、ストリークカメラで観測した。このストリークカメラは波長が 400nm から 800nm の光に感度があり、発振した FEL の 3 次高調波のストリーク画像を観測した。このストリーク画像を図 5 に示す。図 5(a) は、フルバンチモードにおけるストリーク画像で、図 5(b) は、マクログリッドパルス電圧 69V に、160V の高速グリッドパルスを重畳した重畳モードでのストリーク画像で、図 5(c)、および図 5(d) は、バーストモードでのストリーク画像である。電子ビームは、2856MHz の RF で加速されるので、フルバンチモードでは、350ps 間隔で発振している。バーストモードでは、モード変更時はダブルバンチで発振していたが、分周器前段に設置した移相器を使って、高速グリッドパルスの出力タイミングを変更したところシングルバンチで発振するようになった。

重畳モードでの FEL ストリーク画像で、発振強度に変調がかかっているように見えている。マクログリッドパルス電圧を下げていくと変調が深くなり、十分にマクログリッドパルス電圧が低くなると、1 または 2 バンチでの発振になる。重畳モードではバーストパルスの間にも、350ps 間隔でバンチが並んでいるが、高速グリッドパルスの出力は、バーストパルスの中の電圧が図 6 に示すように変化している。バーストパルスの中にあるフルバンチモードのビームからみると、これはグリッドパルス電圧の変化に相当し、これらのバンチの電荷量に変化しているためと考えられる。

これらの事実から、高速グリッドパルサーは正常に短パルスを出力しており、またカップラーによってマクログリッドパルスと重畳されていることがわかる。

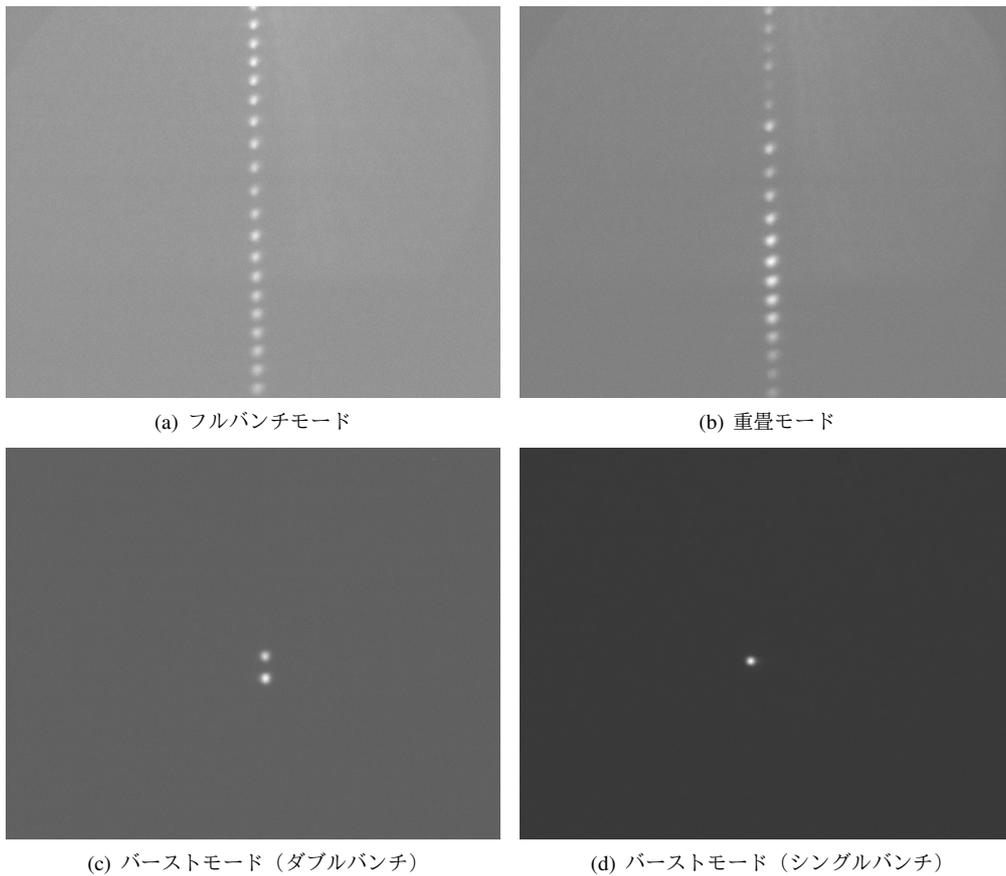


図 5: 各モードでの、FEL 高調波のパルス構造

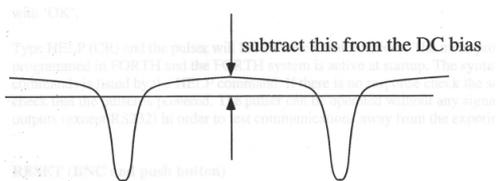


図 6: 高速グリッドパルサー出力電圧 [3]

[3] Kentech Instruments Ltd. "Notes on the use of Electron Gun Pulser"

#### 4. まとめ

電子銃高圧ターミナルに高速グリッドパルサを導入し、グリッドパルサーのパルスとカプラーで重畳し、電子銃のグリッドに印加することで、ノーマルモード、重畳モード、バーストモードの3つのモードの電子ビーム引き出しが可能となった。

各モードで FEL 発振に成功し、ストリークカメラを用いたパルス構造の測定により、バーストモードではシングルバンチ加速またはダブルバンチ加速が選択可能であることが確認された。

#### 参考文献

- [1] T.Tanaka, et al., "日本大学電子線利用研究施設の現状", TUPS001, Proceedings of this Conference.
- [2] T.Tanaka, et al., "日大電子リニアックのバーストモード加速特性", WEMH01, Proceedings of this Conference.