

**LEBRA-FEL マクロパルス波形の共振器長デチューニング依存性**  
**Dependence of FEL Macropulse-Waveform on Optical-Resonator Detuning in LEBRA-FEL**

○長瀬敦<sup>1</sup>, 境武志<sup>2</sup>, 早川恭史<sup>2</sup>

\*Atsushi Nagase<sup>1</sup>, Takeshi Sakai<sup>2</sup>, Yasushi Hayakawa<sup>2</sup>

Abstract: In a resonator-type Free Electron Laser (FEL), the FEL gain and the saturation level depend strongly on the resonator length of the optical cavity. In the LEBRA FEL system, the resonator length is 6718 mm, which is synchronized with the acceleration frequency, and the resonator length can be controlled by using a piezoelectric element. The FEL macropulse waveforms for each detuning length were acquired using an infrared detector, and detuning curve were measured for the macropulse energies.

1. 序論

日本大学電子線利用研究施設(Laboratory for Electron Beam Research and Application : LEBRA)では、125MeVの常伝導電子線形加速器とアンジュレーター、光共振器を用いて共振器型自由電子レーザー(FEL)を運用し、ユーザー利用に提供している。LEBRAの加速器とビームラインの概要図を Figure 1 に示した。

共振器型 FEL において光共振器はマイクロパルスの蓄積光と新たな電子バンチのタイミングを合わせる役割を担っている。そのため、共振器長は FEL 発振において重要なパラメータとなっている。LEBRA では高効率発振の維持や、リアルタイムでの FEL データ取得のプログラムなどが導入されてきた。これにより FEL マクロパルスエネルギーの共振器長に対する依存性を示すデチューニングカーブの測定や空洞内での共振器損失の測定などがリアルタイムで行えるようになってきた。デチューニングカーブの測定において、従来は FEL マクロパルスの波高のみサンプリングしていたため、各デチューニング長に対するマクロパルス波形を取得できるように改良した。これにより、より多くの情報を持ったデチューニングカーブの測定ができるようになった。

そこで、LEBRA において 2534nm, 6255nm の各発振波長における各デチューニング長のマクロパルス波形を測定し、デチューニングカーブを得た。

また、各発振波長においてはクライストロンの加速周波数に従うフルバンチモードと電子銃の高速グリッドパルサーにより、電子ビームを間引いてバンチ当たりの電荷量を増やしたバーストモードで行った。

2. 実験結果および考察

FEL 波長 2534 nm, 6255 nm において、各電子ビーム運転モードにおいて各下流側のミラーの位置を関数としてマクロパルス波形を測定した。測定した下流側ミラー位置ごとのマクロパルス波形を積分し、デチューニングカーブを得た。フルバンチモードにおいてはピエゾ素子に印加する電圧を 1 V の変化に対する移動量である 130 nm を共振器長の移動ステップ幅とし、バーストモードではステップ幅 400 nm デチューニングカーブ測定を実施した。マクロパルスの測定には InSb 光導電素子の赤外線検出器 (浜松ホトニクス, P6606-310) を、マクロパルスエネルギーの測定にはパワーメーター (Coherent, Field-MaxII-T0) を用いた。各波長、各電子ビーム運転モードは電子のエネルギーとアンジュレーターのギャップ長変えることにより波長を変化させた。波長 2534 nm の各電子ビーム運転モードにおけるデチューニングカーブを Fig. 2 に、波長 6255 nm の各電子ビーム運転モードにおけるデチューニングカーブを Fig. 5 に示した。また、各波長、各電子ビーム運転モードにおけるマクロパルス波形を Fig. 3, 4, 6, 7 に示した。

常伝導型の電子線形加速器においては共振器長が電子ビームバンチの周期とちょうど同期するゼロデチューニングと呼ばれる状態から、1 波長程度共振器長が短いところでマクロパルス積算エネルギーが最大とな

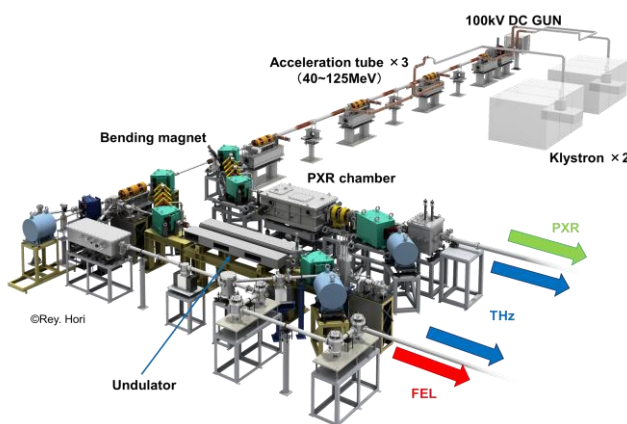


Figure 1, Schematic drawing of LEBRA

1 : 日大理工・院 (前)・量子 2 : 日大・教員・量科研

る傾向があることから、測定したマクロパルス積算エネルギーが最大となる下流側ミラーの位置をデチューニング長-1波長として基準に用いることにした。

デチューニングカーブの結果より各波長においてフルバunchモードよりバーストモードの方がデチューニングカーブの幅が長いテールを引いていることがわかる。これはバーストモードにおいては電子ビームを間引いてバunch当たりの電荷量を多くしているため、バunch長が長くなり発振の様子が異なるためと考えられる。また、各デチューニング長におけるマクロパルス波形に関して、 $d \leq -1$ の範囲においては波形の幅は変化せず最大値が変化しており、 $d > -1$ の範囲に関しては、波形の立ち上がり、つまり FEL 利得が変化し飽和に達する時間の違いがみられる。

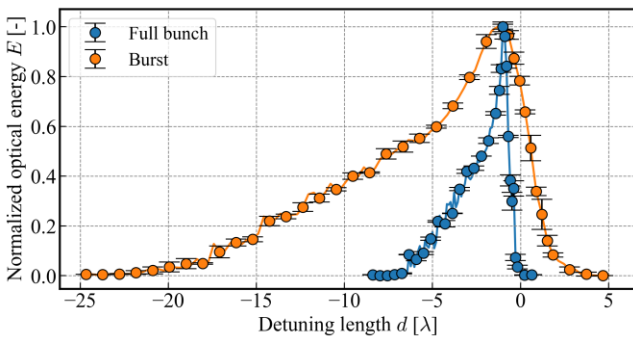


Figure 2, Detuning curves for each mode at 2534 nm wavelength

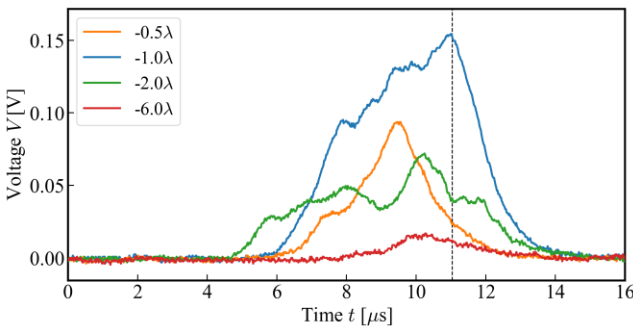


Figure 3, Macropulse waveforms for each detuning length in full bunch mode at 2534 nm wavelength

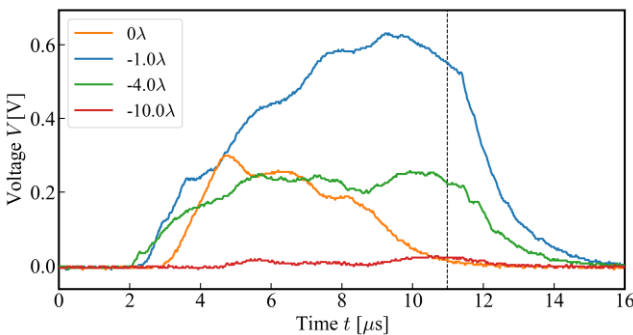


Figure 4, Macropulse waveforms for each detuning length in burst mode at 2534 nm wavelength

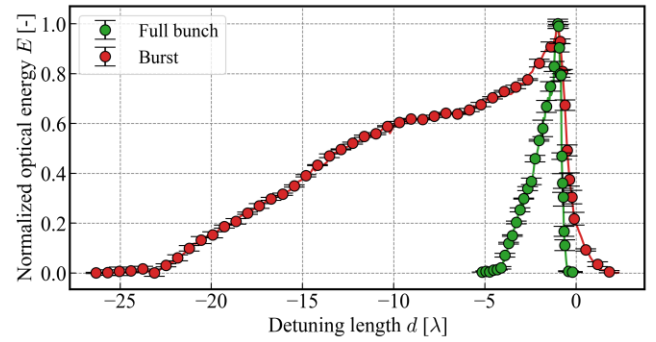


Figure 5, Detuning curves for each mode at 6255 nm wavelength

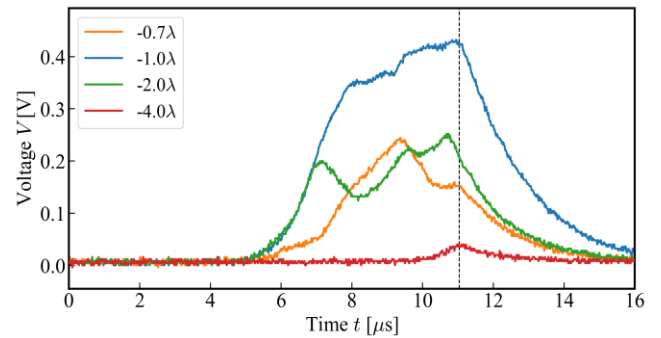


Figure 6, Macropulse waveforms for each detuning length in full bunch mode at 6255 nm wavelength

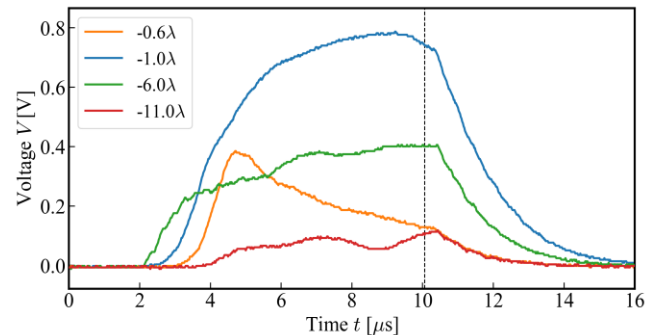


Figure 7, Macropulse waveforms for each detuning length in burst mode at 6255 nm wavelength

### 3. 参考文献

- [1] Y. Hayakawa *et al* : GENESIS による日大 FEL の利得飽和の分析, Proceeding of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp.652-654, 2004
- [2] 木村将記: 日本大学 LEBRA-FEL におけるデチューニングカーブの測定, 2019 年度修士論文, 日本大学大学院
- [3] 廣原匠: 日本大学 LEBRA 赤外自由電子レーザーにおける共振器損失の測定, 2021 年度修士論文, 日本大学大学院