

日本大学 LEBRA-FEL における Detuning Curve の測定

Measurement of Detuning Curve at LEBRA-FEL, Nihon University

○木村将記¹, 早川恭史², 境武志², 住友洋介²*Masaki Kimura¹, Yasushi Hayakawa², Takeshi Sakai², Yoske Sumitomo²

Abstract: The free electron laser (FEL) at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) in Nihon University generates continuously variable wavelength infrared light from 1.3 μm to 6 μm based on a 125 MeV electron beam and provides it to users. When the cavity length is slightly shorter than the complete synchronization length, the FEL power increases. Deviation from perfect synchronization length is an important parameter that affects FEL amplification such as power at saturation and pulse width. Therefore, we created a program using development environment for a visual programming language, LabVIEW, and measured at a FEL wavelength of about 3 μm .

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設 (LEBRA) では, 125 MeV 線形加速器から得られる電子ビームを用いて, 自由電子レーザー (FEL), パラメトリック X 線放射, テラヘルツ波を発生させユーザー利用に提供している. LEBRA における共振器型 FEL の概略図を Figure 1 に示す. 共振器型 FEL は, アンジュレーターを挟んで共振器ミラーがあり, アンジュレーターを通過する時に発生する光を共振器ミラーで蓄積する. そして, 後続する電子ビームと蓄積光が相互作用し, エネルギー変調による密度変調 (バンチング) を引き起こし, コヒーレント放射を発生させる. 電子ビームと光パルスと同時にアンジュレーターの入り口に入射させる場合, 電子ビームのマイクロパルス周期を f とすると, 共振器ミラー間の長さ l (共振器長) は $l = c/f$ である. ここで c は光速であり, この時の共振器長を完全同期長と

呼ぶ. しかし, 完全同期長で入射する場合, 電子ビームが光パルスに対して遅れるスリッページという現象が起こり, 光パルスの後方が強く増幅され, 群速度が光速より遅くなる. スリッページによるこの効果をレサジー効果^[1]といい, FEL 増幅率の低下の原因となる. このため, 共振器長を同期長より若干短くすることで光パルスと, 電子ビームを長い間相互作用させるという調整を行う. このとき, 完全同期長からの共振器長のずれをデチューニング長といい, 飽和時のパワー, 増幅利得などに関わる重要なパラメーターである.

これまでに LEBRA では, 共振器長に対する FEL 強度 (デチューニングカーブ) の測定が行われてきたが, データの取得に長時間を要するため, 精度の良い測定は行われてこなかった. しかし, 今後計画されている研究^[2]にはデチューニングカーブの効率的かつ, 精度の良い測定が必要となる.

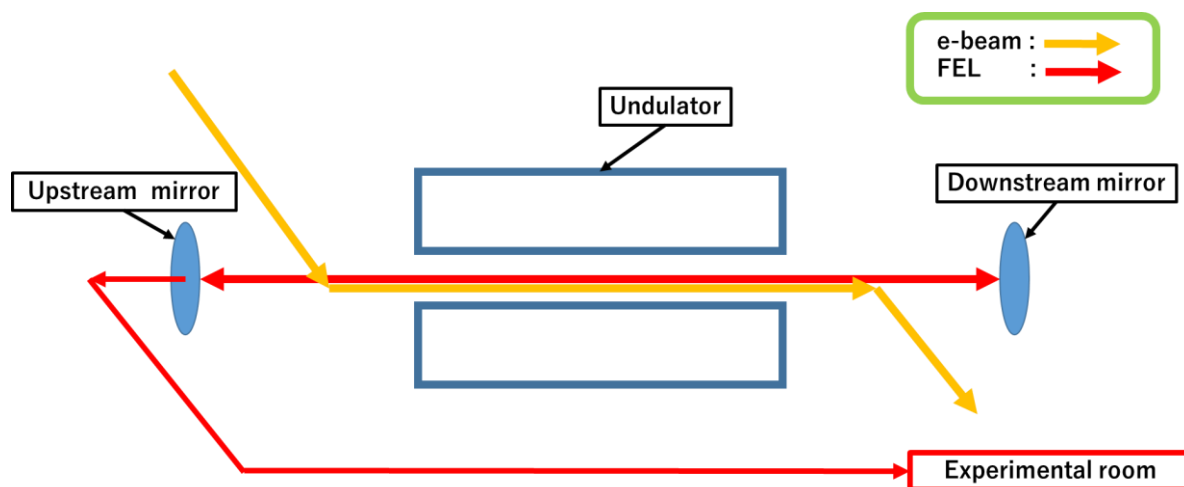


Figure 1. Schematic layout of the LEBRA FEL

そこで本研究では, National Instruments 社のシステム開発ソフトウェア LabVIEW^[2]を用いた測定プログラムを開発し, デチューニングカーブの測定を行った.

2. 測定方法

共振器ミラーの片側に設置されている piezo 素子 (Piezomechanik, PSt 150/4/20 VS9) は DC 電源 (TEXIO, PSW-360M160) によって駆動される. 共振器内で飽和に達した FEL の一部を上流側共振器ミラーから取り出し, 大実験室まで輸送した後, パワーメータを通して, オシロスコープ (Tektronix, TDS3034) で測定する.

LabVIEW のプログラムは主に, DC 電源とオシロスコープの API (Application Programming Interface) を使用して作成された. piezo 素子に掛ける印加電圧は, 0V から 100V まで 1V ずつ変化させた. このとき, 共振器ミラーは piezo 素子によって印加電圧 1 V あたり約 0.13 μm 共振器長が増加する方向へ移動する. また, オシロスコープからパルスごとに FEL 強度のピーク値を取得したが, 電子ビームのエネルギーや電流の変動により, FEL の出力が変化することを考慮し, 各印加電圧につき 8 パルス分の FEL 強度を LabVIEW で平均した.

3. 測定結果

Table 1 に LEBRA の主な FEL パラメータを示す. LEBRA の電子加速器では, 通常の運転モードであるフルバンチモードに加え, 電子バンチを間引き, 1 パルスあたりの電荷量を増やしたバーストモードによる運転が可能である^[4]. しかし, 加速器の運転上の都合上, 今回はバーストモードでの電子ビーム加速が行われた.

Table 1. Parameters of LEBRA-FEL

Resonant wavelength	1.3-6[μm]
Period number	50
Period length	48[mm]
Beam energy	74.5[MeV]
Cavity length	6.718[mm]

Figure 2 に測定した FEL 波長 3.075 μm でのデチューニングカーブを示す. 横軸は piezo 素子の印加電圧 0 V 時の共振器長を基準として, そこからの距離を相対共振器長とした. 測定の結果, 相対共振器長の 2 μm 付近から FEL の増幅が確認でき, そこから徐々に FEL 強度が増加し, 約 5 μm かけてピークに達している. その後

約 1 μm かけて急激に減少している. この形状は, 理論的に予想されるデチューニングカーブと概ね同様となっている^[5].

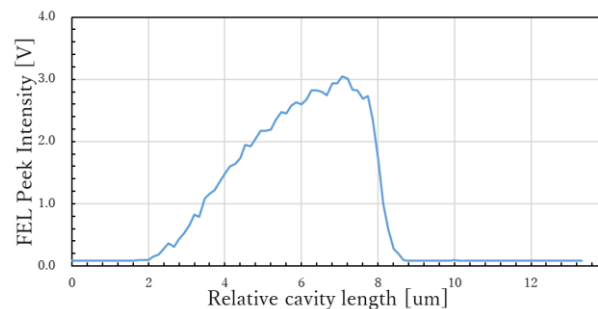


Figure 2. Detuning Curve

4. まとめ及び今後の展望

LabVIEW で作成した測定プログラムを用いて共振器型 FEL のデチューニングカーブを測定し, これまでに比べ精度良く測定することができた.

今後は, 測定範囲を FEL が増幅する部分に限定し, より詳細な測定を行う. また, 他の FEL 波長のフルバンチモード, バーストモードでの測定を行い, デチューニングカーブの比較を行う予定である.

5. 参考文献

- [1] W. B. Colson *et al.*, “Laser handbook”, Vol.6, pp176-180, 1990.
- [2] National Instruments “LabVIEW”; <https://www.ni.com/ja-jp/shop/labview.html>
- [3] Yoske Sumitomo *et al.*, “SIMULATION OF ZERO DETUNING OSCILLATION EXCITATION FROM DYNAMICAL PHASE MODULATION AT NIHON U. OSCILLATOR FEL”, Proc. of the 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp850-853, 2018.
- [4] Keisuke Nakao *et al.*, “LASING OF FEL WITH THE BURST MODE BEAM AT LEBRA NIHON UNIVERSITY”, Proc. of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, pp1051-1053, 2011.
- [5] Xiaojian Shu *et al.*, “SIMULATION INVESTIGATION OF THE DETUNING CURVE”, Proc. of the 26th Int. FEL Conference, pp57-59, 2004.