

## Measurement of FEL output fluctuation at LEBRA

A.Mori<sup>1,A)</sup>, K.Hayakawa<sup>A)</sup>, I.Sato<sup>A)</sup>, T.Tanaka<sup>A)</sup>, Y.Hayakawa<sup>A)</sup>, K.Yokoyama<sup>A)</sup>, K.Nogami<sup>A)</sup>, T.Sakai<sup>B)</sup>,  
K.Kanno<sup>B)</sup>, K.Ishiwata<sup>B)</sup>, K.Nakao<sup>B)</sup>, A.Kidokoro<sup>B)</sup>, M.Inagaki<sup>B)</sup>, H.Takasaki<sup>B)</sup>

A) Laboratory for Electron Beam Research and Application, Nihon University  
Nihon University, 7-24-1 Narashinodai, Funabashi-Shi, Chiba 274-8501 Japan.

B) Collage of Science and Technology, Nihon University  
1-8-14 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan. 101-8308

### Abstract

It is one of the most important themes to supply the stable light when FEL is operated. However, the output of the FEL fluctuates in Laboratory for Electron Beam Research and Application. Therefore, we researched the source of fluctuations and stabilized the output. As the result of this research, we found that a dominant factor of the output fluctuation is the voltage fluctuation at the gun power supply. When the voltage fluctuation at the gun was decreased from 1.0% to 0.1%, the emission fluctuation was decreased from 1.5% to 0.2%.

## 電子線利用施設におけるFEL出力変動の測定

### 1. 緒言

自由電子レーザー(FEL)を運用するに当たって安定した光を実験者に常時供給することは最も重要なテーマの一つである。日本大学電子線利用施設(LEBRA)でも2001年5月に発振に成功して以来レーザー出力の増強とともに出力の安定化に努めてきた。しかし現段階に於いてもレーザーの出力が変動しておりオペレーターが制御しているものの変動幅が大きく装置そのものの安定化が未だに課題になっている。この原因は色々複雑に混在していると考えられる。そこで電子銃やクライストロンの出力などの変動を測定し、その相関より主たる変動の原因を調査し安定化を行うことを進めている。本稿ではレーザー出力及び電子線のエネルギーの変動からその主要因が電子銃からのエミッションに有ることを突き止めその変動の解消を行った結果について報告する。

### 2. 装置の構成

本施設のFELの概略図を図.1に示す。電子銃、125MeV S-band電子リニアック、運動量アナライザ、平面アンジュレータ、光共振器で構成されている。電子銃の概略は図.2に示す様にカソードから熱放出された電子はコック・クラフト電源により100kVに加速され取り出される。熱電子の取り出しのタイミングはグリッドに

印加するパルスにより制御している。

取り出された電子は2台のクライストロンにより駆動されるプレバンチャー、バンチャーと3台の加速管により100MeVに加速される。これを45° 偏向電磁石2台とスリットによる運動量アナライザ、そして50周期のアンジュレータを通りビームダンプに捨てられる。アンジュレータで放出された光は6718mmの光共振器で増幅され外部に取り出される。

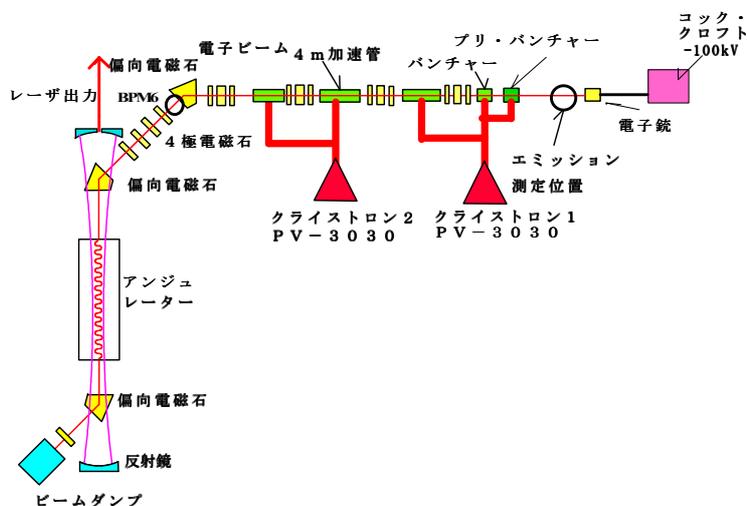


図.1 FELラインの構成

<sup>1</sup> E-Mail: amori@lebra.nihon-u.ac.jp

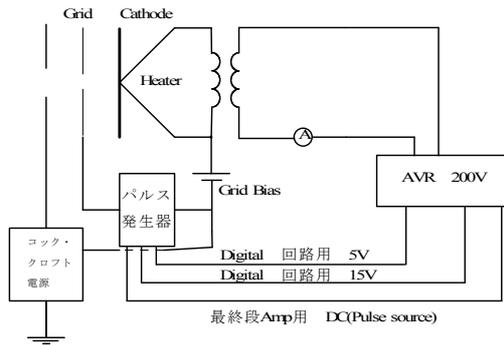
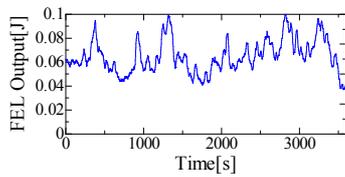
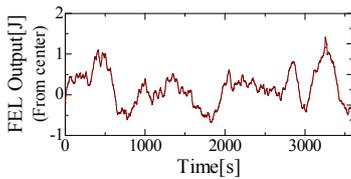


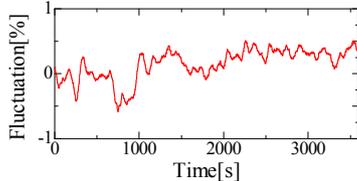
図.2 電子銃の概略



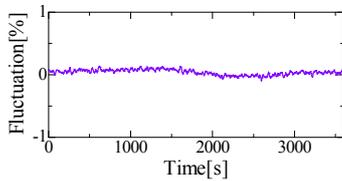
(a) FEL output



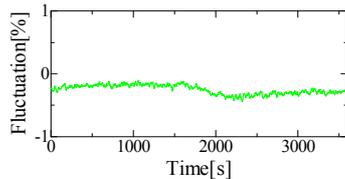
(b) Beam position at BPM6



(c) Emission

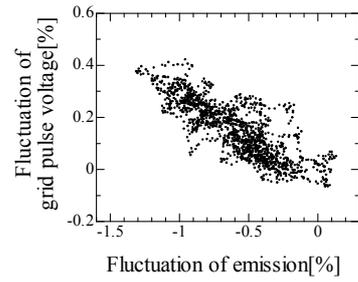


(d) Klystron#1 Output

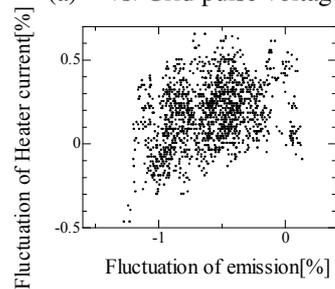


(e) Klystron#2 Output

図.3 FEL出力及び周辺の変動



(a) vs. Grid pulse voltage



(b) vs. Heater current

図.4 エミッション変動の要因

### 3. レーザ出力変動の要因の調査

#### 3.1 レーザ出力と加速器周辺の変動

図.3(a)にFELの出力変動の一例を示す。100MeVの電子ビームをギャップ間隔26mmのアンジュレータで $1.5\mu\text{m}$ の波長のFELを発振させた場合である。測定は熱電対式のパワーメータの出力をオシロスコープ(Tektronix製、TDS3014)に取り込み2秒おきにサンプリングを行った。出力の変動とともに見ているのは運動量アナライザ内の1台目の偏向電磁石直後(図1のBPM6地点)のビーム軌道の変動、エミッションの変動、及び2台のクライストロンの出力変動である。ビーム軌道の変動はエネルギーの影響を受ける水平方向の変動をビームポジションモニタにより測定した。エミッションの変動はCTで、クライストロンの出力は検波器で測定している。

FELの出力は時間とともに大きく変動し、最大出力に対して50%の変動が生じている。またFELの出力とビーム軌道の変動は相関係数が0.49と大きな相関を示した。最大1.7mmに及ぶビーム軌道の変動がFELに大きな影響を与えていると考えられる。

ビーム軌道の変動の原因をさらに上流に追求し、2台のクライストロンの出力変動に注目するとその相関係数は0.1以下で相関はほとんど無かった。それに対し、電子銃からのエミッションの変動に対しては0.4以上の相関を示し、エミッションの変化が大きな影響を与えていると考えられる。

### 3.2 電子銃の電源変動とエミッションの変動

エミッションの変動の原因を調べるために電子銃の回路の電圧変動を測定した結果を図.4に示す。測定はグリッドパルス電圧と陰極加熱用のヒーター電流を調べたがエミッションの変動はグリッドパルス電圧の変動に大きく依存していることが判明した。なおグリッドパルスの電圧変動はエミッションが始める電圧からさらに加わった電圧に対する比で求めている。グリッドパルス電圧は最大0.5%変動し、それによりエミッションは最大1.5%の変動になる影響を受けていることが判明した。

表1はグリッドパルス電圧の変動の要因をつかむためグリッド回路の各電圧を測定して相関係数を求めた結果である。グリッドのバイアス、デジタル回路の電源電圧、パルス発生回路の最終段の電源電圧を調べた。パルス発生回路の最終段の電源電圧の変動が非常に大きな相関を持っていた。この2つの相関図を図.5に示す。このときは全体的に変動が激しかったがパルス発生回路の最終段の電源電圧は最大1.5%変動しそれによりグリッドパルス電圧は最大0.25%変動していることが判明した。

## 4. 電子銃の電源の改良によるエミッションの安定化

パルス発生回路の最終段の増幅器の電源は変動幅が1.0%以下のAVRを用いて安定化させていたが安定度に限界があるためパルス発生回路の電源に変動幅0.1%の直流安定化電源を投入してさらなる安定化を図ることとした。電源を安定化させた後のパルス発生回路の最終段の電源電圧、グリッドパルス電圧、エミッションの変動の相関を測定した結果を図.6に示す。

パルス発生回路の最終段の電源電圧の変動幅が0.1%以内に収まり、それによってグリッドパルス電圧は0.08%、エミッションは0.2%の変動幅に変化した。改良前が0.25%、1.5%であったのでグリッドパルス電圧は1/3にエミッションは1/7以下に変動を抑えられることが判明した。

## 5. 結言及び今後の課題

以上の結果より日本大学電子線利用施設のFELにおいて現在までの出力変動の大きな要因はグリッドパルス電圧の変動であることが判明した。グリッドパルス電圧の変動がエミッションを変動させ、ビームのエネルギーを変化させレーザー出力の変動につながっている。

そこでグリッドパルス電圧の電源を従来の変動幅1.0%のものから0.1%のより安定な電源にすることでエミッションの変動を1.5%から0.2%まで抑えることができた。

今後はエミッションの変動を抑えたことがレーザー出力をどの程度安定化できるか調べていく必要がある。またビームのエネルギーやレーザー出力がエミッションとの相関が0.5程度であったことから他にも

表.1 グリッド回路の変動

	Digital 15V	pulse source Voltage	Grid bias voltage
Grid pulse	-0.007	-0.969	-0.398

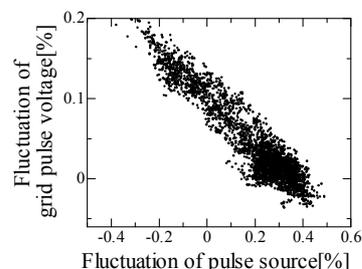
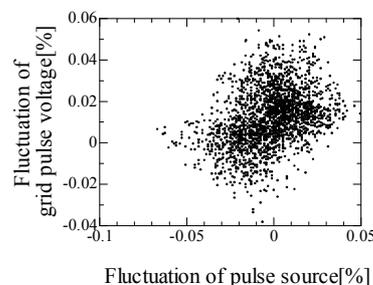
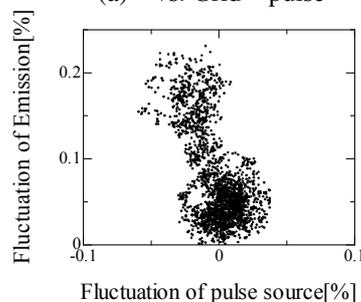


図.5グリッドパルスとパルス電源電圧相関



(a) vs. Grid pulse



(b) vs. Emission

図.6パルス電源電圧の変動を小さくした効果

大きな原因が潜んでいると考えられる。今後はエミッションの変動を抑えることで浮き上がってくるこれらの原因について追及していきたい。

## 6. 参考文献

- [1], K.Yokoyama et al., "Stability of the LEBRA infrared FEL", Nuclear instruments & methods in physics research A, 507, pp.357-361 (2003)
- [2] K.Yokoyama et al. Proceedings of the 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, pp287-289, 2002