

# LEBRAにおけるBPMによるビーム位置測定

石渡 謙一郎<sup>1,A)</sup>、佐藤 勇<sup>B)</sup>、早川 建<sup>B)</sup>、田中 俊成<sup>B)</sup>、早川 恭史<sup>B)</sup>、横山 和枝<sup>B)</sup>、  
 諏訪田 剛<sup>C)</sup>、境 武志<sup>A)</sup>、菅野 浩一<sup>A)</sup>、中尾 圭佐<sup>A)</sup>、長谷川 崇<sup>A)</sup>

A) 日本大学大学院 理工学研究科 量子理工学専攻  
 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 日本大学理工学部船橋校舎 物理実験 B 棟  
 B) 日本大学 量子科学研究所  
 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 日本大学理工学部船橋校舎 物理実験 B 棟  
 C) 高エネルギー加速器研究機構  
 〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

## 概要

2003年1月に45°偏向電磁石のコイル破損による磁場設定の見直し、2003年4月に自由電子レーザー(FEL)ビームライン用90°偏向系の四極電磁石位置の修正、さらにモジュレーター電源の改良が行われた。加速器出口付近とアンジュレーターの入口と出口に設置した3台のビーム位置モニター(BPM)でビームパルス内におけるビーム位置を測定したところ、FELビームラインにおいてビームパルス内におけるビーム位置の変動は改善された。さらにBPMを利用して電子ビームをアクロマティックに通ず調整が容易になった。

## 1. はじめに

日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設(LEBRA)では、高エネルギー加速器研究機構(KEK)との共同研究により2001年5月に1.5 $\mu\text{m}$ 赤外線FELの発振に成功した<sup>[1]</sup>。波長領域0.8~5 $\mu\text{m}$ のFEL発振、

および共同利用実験にむけて125MeV電子線形加速器の高性能化を進めている<sup>[2]</sup>。FELを効率よく発生させるには高品質の電子ビームから放出された光を、後続電子ビーム軌道と高精度で重ね合わせることが絶対条件になる。そのため、ビーム軌道を知ることができるBPMが重要な役割をはたす。

2003年1月に45°偏向電磁石のコイル破損による磁場設定の見直しを行った。また、2003年4月にFELビームライン用の90°偏向系の四極電磁石列(Q5; 図1参照)において上下流の偏向電磁石フィールドクランプ外側面から直近の四極電磁石ヨークの対向面までの距離を調べたところ、上流側にはほぼ3.5mmずれていたため位置の修正を行った。さらに、モジュレーター電源の安定化<sup>[3]</sup>等により、BPMを用いてビーム位置の調整後、FELビームラインにおけるビームパルス内でのビーム位置の変動は改善され、パルス内においてビームが斜めになる現象<sup>[4]</sup>もなくなり、電子ビームをアクロマティックに通ず調整が容易になった。

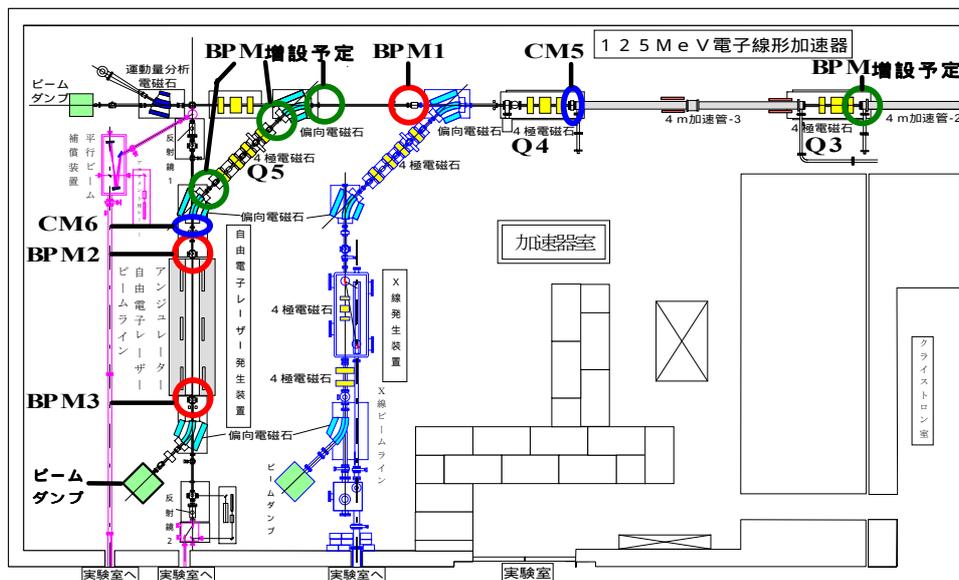


図1 . BPM1,2,3とCM5,6の設置個所及びBPM増設予定箇所

<sup>1</sup> E-mail: ishiwata@lebra.nihon-u.ac.jp

## 2. ビーム位置の測定

### 2.1 測定

測定はビームエネルギー86.8MeV、パルス幅20 $\mu$ s、繰り返し2HzでFEL発振時に行った。この時のオシロスコープで読み取ったBPM電極出力の検波波形を図2に示す。また、CM6のビーム電流の波形と赤外線検出器の波形（FELマクロパルス）の波形を図3に示す。各モニターを設置箇所は図1に示した。

図2において、(a)BPM1と(b)BPM2のX+側とX-側およびY+側とY-側の電極出力の検波波形、また(c)BPM3のX+側とX-側の電極出力の検波波形は重なっている。このような状態でのFEL発振は今回が初めてである。だが、(c)BPM3のY+側とY-側の電極出力の検波波形は一致していない。(b)BPM2のX方向の波形が重なっていることからアクロマティックにビームが通っていると思われる。

また、ビーム位置の導出方法は昨年プロシードディングを参照してもらいたい<sup>[5]</sup>。

### 2.2 ビーム位置の評価

得られたデータから80nsごとにデータ20個の平均を取り、S/N比が100倍程度にし、ノイズを除去後のパルス内における時間とビーム位置X,Yの変動の関係を図4に示す。どのBPMにもビーム位置で0.04mm程度のノイズの様な波形が現れているが、X,Y方向ともにパルス内におけるビーム位置の変動は、BPM3の垂直方向Y(図4-(c)BPM3-Y)を除き0.1mm以内でありFELの発振に十分なビームになった。

また、パルス内において80ns間隔でビーム位置X-Yをプロットしたものを図5に示す。(a)は図4をX-Y表示にしたものであり、(b)は昨年7月に測定したものである<sup>[4]</sup>。測定条件はほぼ同じだが、(a)は(b)よりビーム電流が少ない。ここで、(a)と(b)を比較すると、パルス内におけるビーム位置の変動は小さくなっていることがわかる。また、BPM2のビーム位置とBPM3のビーム位置を比べると、ビーム位置読み取り誤差は $\pm 0.1$ mm以内であることから、+Y方向に斜めにビームが通っていることがわかる。

## 3. BPMの信号読み取りシステム

現在PCIバス用10MHz,12ビットAD変換ボード(Interface社,PCI3525)を用いて、ビーム位置のモニタリングシステムを作っている。だがAD変換ボードではコストがかかるためこれとは別に信号処理回路の製作を考えている。

## 4. BPMの増設

設置したBPMがビーム軌道の制御に有効であることが確認されたので、同等のBPMを設置4m加速管3本の各上流側に1台ずつとFELビームラインの90°偏向系に3台(図1参照)の計6台をこの夏に増設する予定でBPMの較正後設置する。

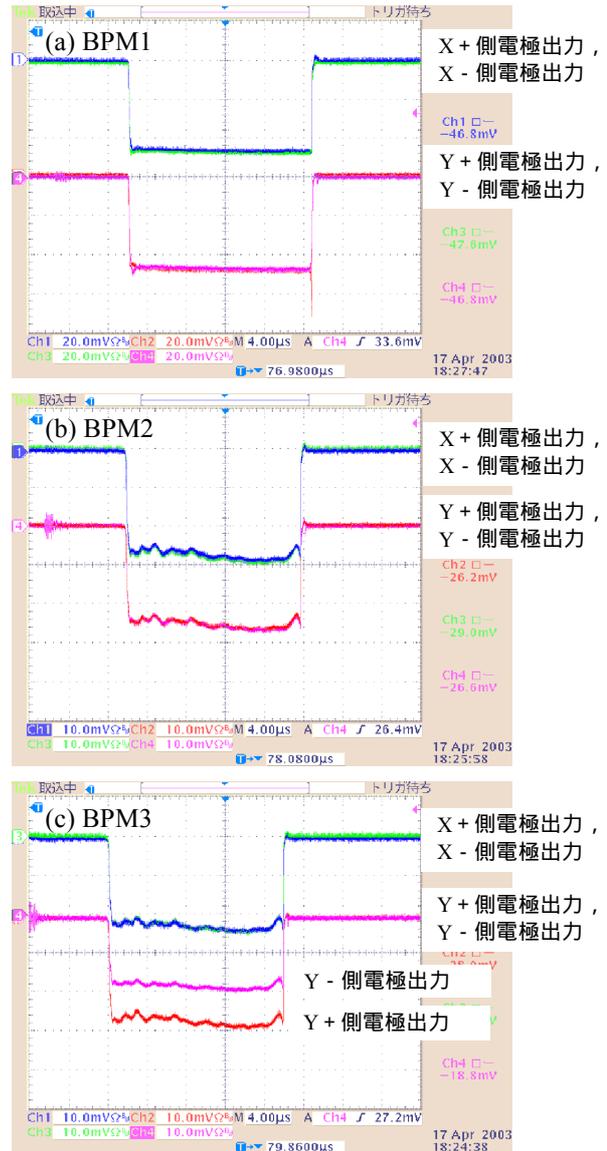


図2. BPMの電極出力の検波波形

(a)BPM1、縦軸：20mV/div 横軸：4 $\mu$ s/div

(b)BPM2,(c)BPM3、縦軸：10mV/div 横軸：4 $\mu$ s/div

(a)と(b)の“X+側とX-側”および“Y+側とY-側”の電極出力の検波波形は重なっている。また、“X+側とX-側”の電極出力の検波波形は重なっている。

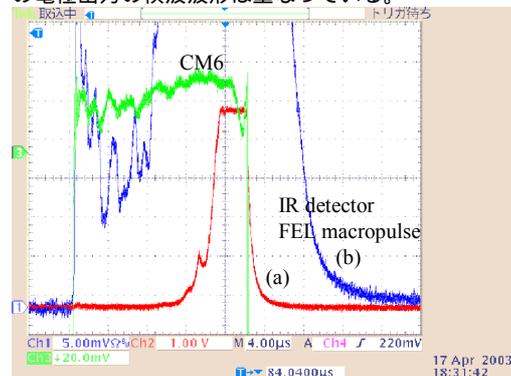


図3. 赤外線検出器の出力波形とCM6の出力波形

赤外線検出器：(a)1V/div,(b)5mV/div、4 $\mu$ s/div、

光強度が強くと検出器は飽和している。

CM6：20mV/div、4 $\mu$ s/div(ピーク部分の拡大)

これによりFELビームラインでは、加速器出口より下流のストレート部、90°偏向系の4極電磁石Q5の入口と出口、アンジュレーター入口と出口の各直線部においてBPMが各2台となりビーム軌道・ビームの傾きを確実にモニター可能となる。

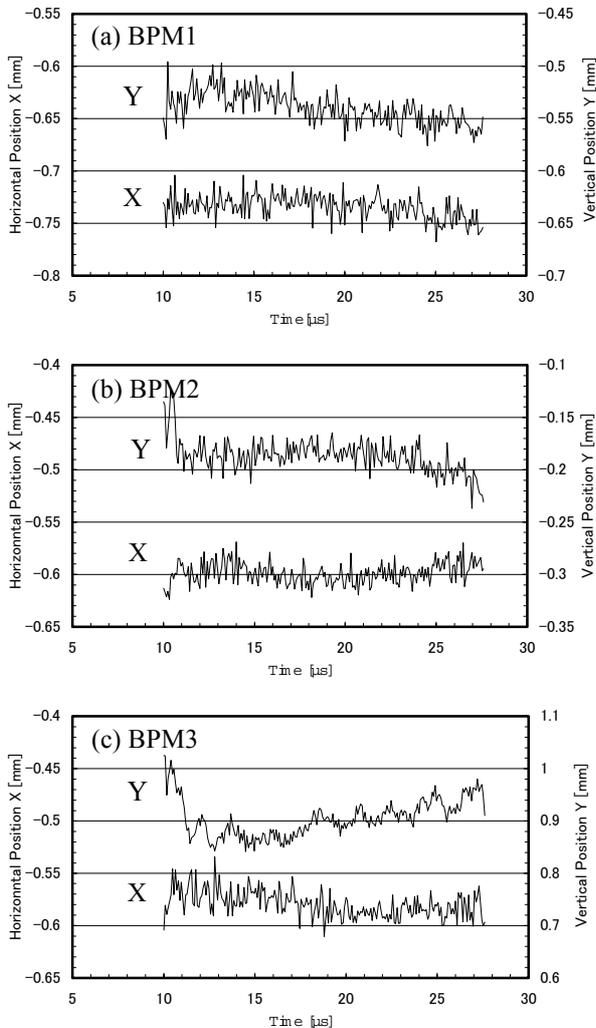


図4．パルス内におけるビーム位置の変動Time-X,Y。(a),(b),(c):BPM1,2,3のパルス幅18μsにおける時間とビーム位置X,Yの位置変動。

## 5．まとめと今後の課題

FELビームラインにおいてビームパルス内におけるビーム位置の変動は改善された。さらにアクロマティックに電子ビームを通すことが可能になった。今後の課題は、FELを波長可変光源として利用するには、共振器ミラーを金属コートミラーに交換する必要があり、これまでの誘電体多層膜ミラー時のアンジュレーター光によるビーム診断<sup>[6]</sup>が困難になり、FELビームラインにおけるビーム軌道のモニタリングは重要となるので、早急にビーム位置をリアルタイムにモニターできるシステムをつくりあげることである。

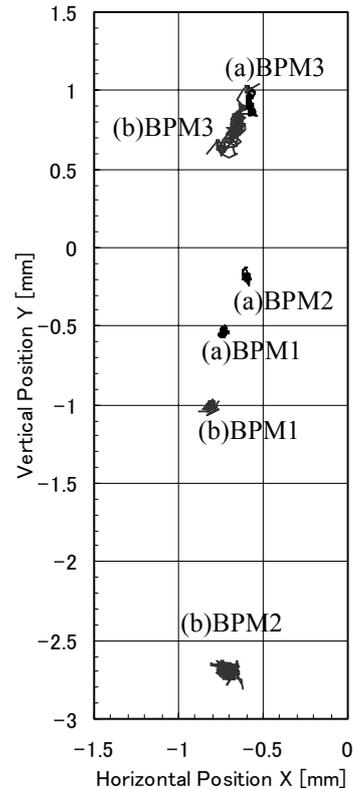


図5．パルス内におけるビーム位置の変動X-Y。パルス内において80ns間隔でビーム位置X-Yをプロットした。(a)2003/4/17測定、図4をX-Y表示にした図。(b)2002/7測定。

## 参考文献

- [1] Y.Hayakawa, et al., “First Lasing of LEBRA FEL in Nihon University at a wavelength of 1.5μm”, Nucl.Instr. and Meth. A(2002), Volume 483/1-2, pp.29-33(NIMA18811)
- [2] 佐藤勇 他, “日本大学電子線利用研究施設の現状” Proceedings of this Meeting.
- [3] 早川建 他, “商用電源変動とビーム不安定性II” Proceedings of this Meeting.
- [4] K.Ishiwata, et al., “Development of Strip-Line Type Beam Position Monitor” Proceedings of the 21st International Linear Accelerator Conference (LINAC2002, Gyeongju, Korea, August 19-23, 2002) ( to be published )
- [5] 石渡謙一郎 他, “ストリップライン型ビームポジションモニターの研究 - ビームパルス内におけるビーム位置変動 - ” Proceedings of the 27<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Kyoto, Aug. 7-9, 2002, p350-352.
- [6] 田中俊成 他, “アンジュレーター光によるFELビームラインビーム診断”, Proceedings of the 26<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, Aug. 1-3, 2001, p246-248.