

Influence of Harmonics on the Output Signal of Beam Position Monitor Installed near the Slit

K.Ishiwata^{1,A)}, I.Sato^{B)}, K.Hayakawa^{B)}, T.Tanaka^{B)}, Y.Hayakawa^{B)}, K.Yokoyama^{B)}, A.Mori^{B)}, K.Nogami^{B)},
K.Kanno^{A)}, T.Sakai^{A)}, K.Nakao^{A)}, T.Suwada^{C)}

A) Graduate School of Science and Technology, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501

B) Laboratory for Electron Beam Research and Application, Institute of Quantum Science, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501

C) High Energy Accelerator Research Organization, KEK
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801

Abstract

Three Beam Position Monitors (BPMs) have been already inserted into the end of the linac and the entrance and the exit of the undulator beam line. The phenomena that interact of the signal from the BPMs installed near the slit is depended on the slit width are observed. Higher harmonics excited at the slit can propagate to the BPM through the beam duct and influence the signal. The change of this output signal was removed with the low-pass filters. Therefore, there was not influence to reading of the beam position.

ビーム位置モニターの出力信号への高調波の影響

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、2001年5月に1.5 μ m赤外線自由電子レーザー (FEL)の発振に成功し^[1]、2003年度後半から自由電子レーザー (FEL)の本格的な共同利用実験が開始している^[2]。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、後続の電子ビーム軌道と高精度で重ねあ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ビーム位置モニター (BPM)が重要な役割をはたす。また、2004年4月にパラメトリックX線放射 (PXR)によるX線の観測に成功している^[3]。PXRにおいては電子ビームの入射角度が非常に重要になってくるので、こちらもBPMが重要な役割をはたす。

最初に設置したBPM3台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^[4,5]、同等のBPMを2003年9月に加速器直線部に4台とFELビームラインの90°偏向系に2台の計6台増設した。さらに、2004年4月には加速器直線部、PXRビームラインの90°偏向系、PXR発生装置の入口と出口にそれぞれ1台の計4台増設した^[6]。

2004年3月にFELビームラインの90°偏向系にあるスリット上流部に設置したBPM6において、スリット幅を変化させるとBPMのからの信号が変化する現象がデジタルオシロスコープで観測された。この状態ではビーム位置の読み取りに影響があるので、スリット幅を変化させた際のBPM6・BPM7の出力信号およびビーム位置の測定を行った (BPMの設置

場所は図1に示す)。

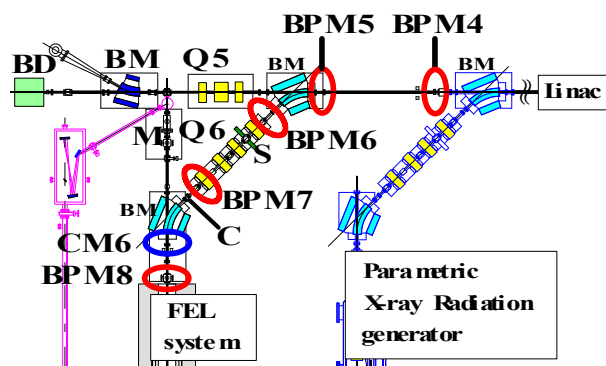


図1. FELビームラインの90°偏向系。

(BM : Bending Magnet, Q : Quadrupole Focus, S : Slit, C : Collimator, CM : Current Monitor, M : Mirror, BD : Beam Dump)

2. スリット近傍に設置したBPMの出力信号の測定

FELビームラインの90°偏向系は図1に示したとおり、45°偏向電磁石・BPM6・Q・スリット・Q・Q・Q・BPM7・コリメータ・45°偏向電磁石で形成されている。測定はビームエネルギー90MeV、パルス幅20 μ s、繰り返し2Hz、加速管出口のビーム電流140mAで、スリット幅を1mm間隔で開けながら (ただし初期値は0.5mmである) BPM6,7の電極出力信号

¹ E-mail: ishiwata@lebra.nihon-u.ac.jp

をクリスタル検波器 (Agilent Technologies 製, 423B, 0.01~12.4GHz) で検波しデジタルオシロスコープで検波電圧を測定した。ただしBPM6,7の電極は45°傾けて設置してあり、電極1,2,3,4の設置角度は順に $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ である。

この測定結果を図2に示す。検波電圧はパルス幅18 μ sの前後2 μ sを除いた14 μ sの平均をとったものをプロットしてある。BPM6はスリットの上流側に338mmの位置に設置してあるためスリットによる影響は考えていなかった。しかし、図2(a)に示すようにスリット幅により検波電圧が顕著に変化しており、スリット幅が4mmの時はあたかもビーム電流が2倍以上に増えたかのような振る舞いを示した。これをビーム位置に換算した結果を図3に示したが(ローパスフィルターなし)、BPM6, 7ともにビーム位置がランダムに飛んでおり、電子ビーム以外の信号を検波していると考えられる。BPM6はスリットによる影響であり、BPM7はスリットもしくはコリメータによる影響であることが明らかである。

BPMは電子ビームが誘起する加速周波数2856MHzのRFを電極で検波するストリップライン型である。円形導波管の基本モードはTE₁₁で遮断周波数は次式で求めることができ^[7]、

$$f_c = \frac{c}{2\pi a / 1.841}$$

(ただし、c: 光速、2a: ダクト内径である。) ビームダクトの内径は38.7mmなので、遮断周波数は4540MHzとなり電子ビームの加速周波数2856MHzは遮断されビームダクト内の伝播はしなくなることで、バンチされた電子ビームがスリットを通過するときに励振されるマイクロ波(基本波、及び高調波)がスリットチャンバーに同調したとき大きな信号となり、このマイクロ波がビームダクト内を伝播して、BPMの信号に影響を与えると考えられる。

3. ローパスフィルターを設置後の再測定

高調波が原因と考え、電極出力信号をクリスタル検波器で検波する直前にローパスフィルター(日本高周波(株)製、型式: FL-S-01B、特性を図4に示す。)を設置し同様に測定を行なった。この結果を図5に示す。BPM6は図2にみられたスリット幅により検波出力が著しく変化する現象はなくなり、BPM7の検波電圧も若干低くなった。またビーム位置に換算した結果を図3に重ねて示す(ローパスフィルターあり)。BPM6のビーム位置は、垂直方向の変動は0.1mm以内となり正常な値となったと考えられる。また、水平方向は1mm程度変動しているが、電子ビームのエネルギー変動によるものである。ただし、BPM7はスリットにより電子ビームが切られているため検波電圧が低い時のビーム位置は測定精度が悪いため、ばらつきがある。この結果より、ローパスフィルターを用いて、高調波を検波していた信号を除去できた。

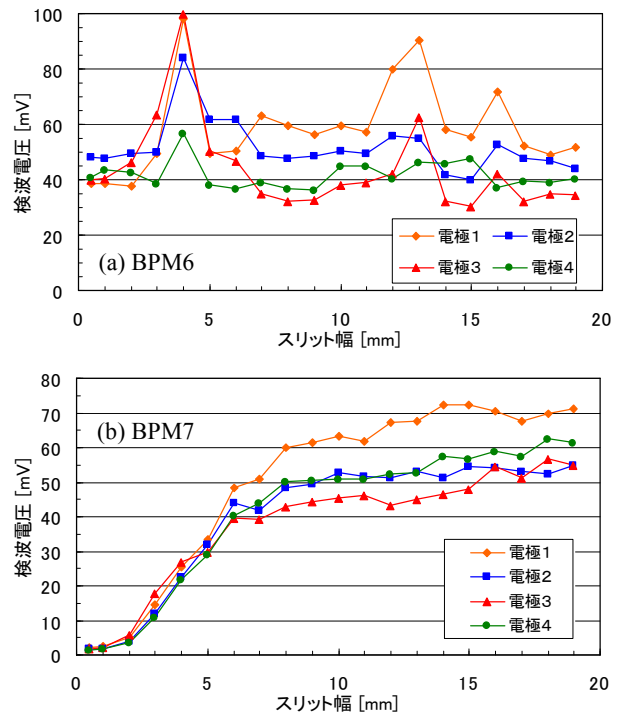


図2. スリット幅と検波電圧の関係。

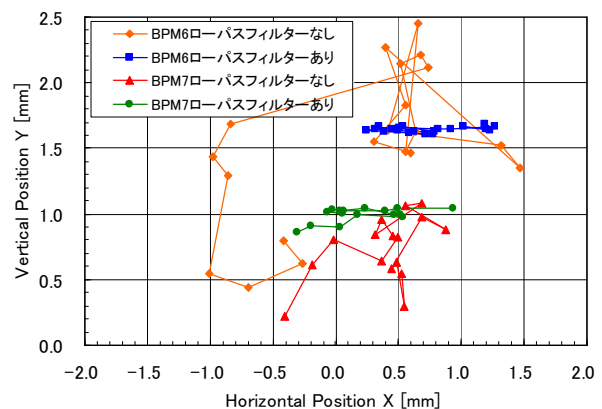


図3. ローパスフィルターを設置する前後のスリット幅を変化させた時のビーム位置。

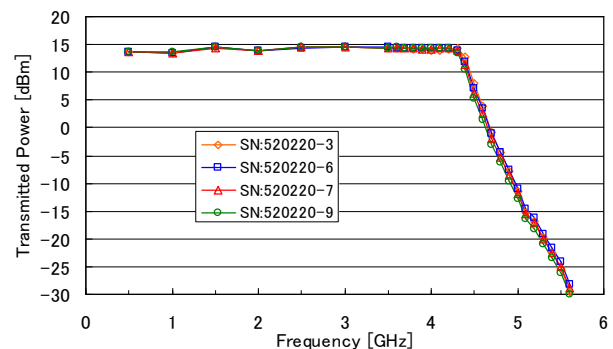


図4. ローパスフィルターの特性。

Signal Generatorから15dBmのRFをローパスフィルターに供給し、透過電力をPower Meterを用いて測定した。

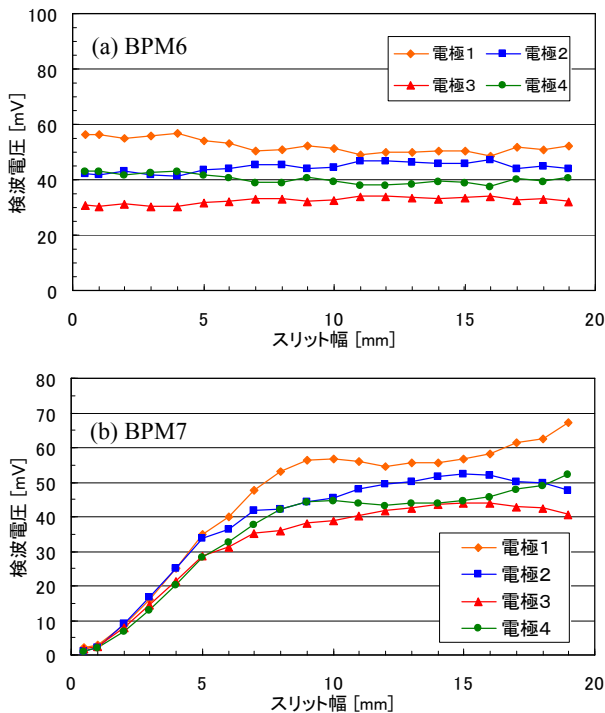


図5. ローパスフィルター設置後のスリット幅と検波電圧の関係。

4. 今後の課題

現在、LEBRAにおけるBPMは全13台設置されているが、他のBPMの出力信号に高調波による影響があるか確認していない。しかしPXRビームラインの90°偏向系に設置したBPMは同様の現象が起きるので、早急に必要箇所のBPMにはローパスフィルターの設置を考えている。

5. まとめ

FELビームラインの90°偏向系に設置したBPM6,7において、スリット幅を変化させるとBPMのからの信号が変化する現象が観測された。これはバンチされた電子ビームがスリットを通過するときに励振されるマイクロ波がスリットチェンバーに同調したとき大きな信号となり、このマイクロ波による高調波がビームダクト内を伝播して、BPMの信号に影響を与えたと考えられる。この出力信号の変化はローパスフィルターにより除去することができ、ビーム位置の読み取りへの影響がなくなった。

参考文献

- [1] Y.Hayakawa, et al., “First Lasing of LEBRA FEL in Nihon University at a wavelength of 1.5 μ m”, Nucl.Instr. and Meth. A(2002), Volume 483/1-2, pp.29-33(NIMA18811)
- [2] T.Tanaka, et al., “日大125MeVリニアックの稼働状況” Proceedings of this Meeting.
- [3] Y.Hayakawa, et al., “日大パラメトリックX線源の現状” 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, p178
- [5] K.Ishiwata, et al., “ストリップライン型ビームポジションモニターの研究” Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokai, July 30 – August 1, 2003, p431
- [6] K.Ishiwata, et al., “LEBRAにおけるビーム位置計測システムの開発” Proceedings of this Meeting.
- [7] 岡田文明, “マイクロ波工学—基礎と応用—”, 学献社, p171, 1993