

BEAM BASED BPM ALIGNMENT AT SAGA LIGHT SOURCE

Yoshitaka Iwasaki^{1,A)}, Yuichi Takabayashi^{A)}, Shigeru Koda^{A)}, Katsuhide Yoshida^{A)}, Takio Tomimasu^{A)},
Hideaki Ohgaki^{B)}

^{A)} Kyushu Synchrotron Light Research Center
8-7 Yayoigaoka, Tosu, SAGA, 841-0005

^{B)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University
Gokanoshō, Uji, Kyoto, 611-0011

Abstract

The electron storage ring of SAGA Light Source has 24 beam position monitors for the orbit measurement and closed orbit correction. The measured response matrix is used to correct closed orbit, and the accuracy of the closed orbit correction to the reference orbit is less than $\pm 20\mu\text{m}$. In order to calibrate the BPM offset to the magnetic center of the nearest quadrupole magnet, beam based BPM alignment method was applied. At the beam based BPM alignment method, the quadrupole corrector coil in each quadrupole was used. It was found that the maximum BPM offsets are +2.2mm and +1.2mm in horizontal and vertical direction, respectively. After the beam based BPM alignment, the injection efficiency to the storage ring was improved.

SAGA Light SourceにおけるBeam Based BPM Alignment

1. はじめに

SAGA Light Source 電子蓄積リングは8回対称 Double Bend型のラティスで構成され、各セルに3箇所、合計24箇所のボタン電極型BPMが設置されている。各セル水平・垂直方向それぞれ5台のステアリング電磁石を用い、実測によるR-Matrixを用いたグローバルCOD補正を行っている。基準軌道に対するCOD補正の精度は $\pm 20\mu\text{m}$ 以下である。BPM中心の絶対値を評価するため、4極電磁石磁場中心に対するBPM中心のオフセット量をBeam Based Alignmentにより算出した。

観測されるBPM中心の4極電磁石磁場中心に対するオフセット量は、BPM回路およびケーブルの電気的な感度、4極電磁石磁場中心と基準座位置の相対誤差、電極の真空槽に対する設置誤差および固体差等の積み重ねであるため、トータルでのBPMの校正は難しいとされる。SAGA Light SourceではBeam Basedな方法によるBPMの校正を蓄積リングの設計時から想定し^[1]、4極電磁石の個別励磁調整用に全ての4極電磁石に定格の2%の補助コイルが設置されている。インストール時にBPM回路およびケーブルの電気的な校正を行っているが、BPMは4極電磁石架台に対して固定し、BPMが設置された真空槽の4極電磁石磁場中心に対する幾何学的なアライメントは行っていない。

蓄積リングへの入射はエミッタンスの緩いチューン(4.28, 3.18)150nm-radとエミッタンスの厳しいチューン(5.80, 1.83)25nm-radで行っている。エミッタンスの厳しいチューンでは、ミスアライメントおよび多極成分によってダイナミックアパーチャーが水平方向 $\pm 25\text{mm}$ 、垂直方向10mm程度に縮小するた

め、入射効率を上げるためには入射時からのCOD補正が必要である^[2]。エミッタンスの緩いチューンで蓄積されたビームを使ってBeam Based BPM Alignmentを行い、エミッタンスの厳しいチューンでの入射時COD補正を行った。

2. Beam Based BPM Alignment の方法

注目するBPM間近の4極電磁石を含む区間にローカルバンプを作成し、4極電磁石を個別に励磁する。4極電磁石磁場勾配を ΔK だけ個別に変化させたときのBPM読み値の変化量 ΔX から $\Delta X/\Delta K$ を求める。もしビームが4極電磁石の中心を通っていれば、4極電磁石の磁場勾配を変化させたことによるキック量はゼロであるので、 $\Delta X/\Delta K=0$ となるビーム位置が、4極電磁石磁場中心を通るビーム軌道である。 $\Delta X/\Delta K=0$ となるビーム位置は、ローカルバンプの高さに対する $\Delta X/\Delta K$ の関係を線形フィットして求める。校正するBPMをBPM(i)、4極電磁石の個別励磁によるビーム軌道の応答を観測するBPMをBPM(j)とすると、BPM(i)のオフセットはBPM(j)それぞれの応答から得られるが、精度を上げるため、各BPM(j)から得られるBPM(i)のオフセット量を平均してBPM(i)のオフセット量とする。

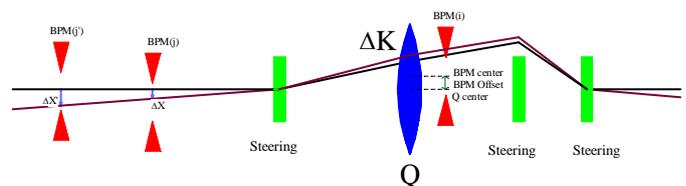


図1：4極電磁石磁場中心に対するBPMオフセット

¹ E-mail: iwasaki@saga-ls.jp

ローカルバンパの高さは±3mm、±2mm、±1mm、0mm、4極電磁石は±6%の範囲で6ステップの変化をさせた。Beam Based Alignmentに先立ち、ローカルバンパに必要なステアリングのキック量を磁場データ、デマルケスト・スクリーンモニタでのビーム変動量から算出し、実際に軌道を観測しながら決定した。また4極電磁石の個別変化量はできるだけ軌道変動が大きく、極端に寿命に影響を与えない範囲とした。4極電磁石による十分なキック量を得るため、一連のスタディーは入射エネルギー(260MeV)で行った。はじめに1台のBPMに対し手動で計測し、キック量・補正量が適切であることを確かめたのち、残りのBPMは自動制御で計測を行った。

3. BPMモニタおよび電磁石制御システム

ビーム軌道の読み取りにはBergoz社製BPMモジュールおよびNational Instruments社製FieldPointを使用している。FieldPointのA/Dコンバーター(AI110)の読取速度はノイズフィルターの設定にもよるが、8chで200ms以下である。Windows上でのEPICS環境としてActiveXCA^{[3][4]}を用い、サーバーによりEPICS CA(Process Variable)に変換されたBPM情報をクライアント側でモニタしている。電磁石制御系にはPLC(YOKOGAWA FA-M3)を使用し、偏向電磁石、4極電磁石等のメインの電源制御は16bitデジタル制御、ステアリング、4極補助コイル、偏向電磁石補助コイル電源の制御はアナログ制御である。BPM同様に電磁石電源もEPICS CAを介してクライアント側から制御している。PCのソフトウェアはLabviewで構築した。1台のBPMの校正を行うために、ローカルバンパ(7パターン)x4極補助コイル励磁(励磁しない場合も含めて7パターン) x BPMの個数(24台)=1176個のBPMデータを取得し解析した。1台のBPMの校正に要した時間は30分程度であった。

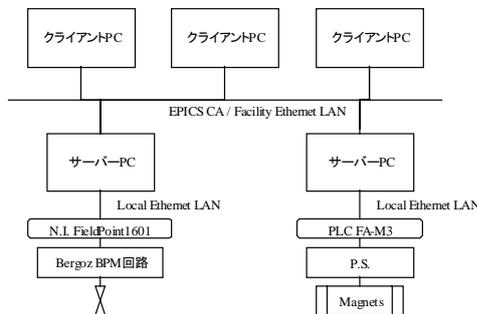


図2：BPMおよび電源制御系

4. 結果

図3に4極電磁石補正コイルを変化させたときのビーム軌道の変化例、図4にローカルバンパの大きさに対する $\Delta X/\Delta K$ の例を示す。

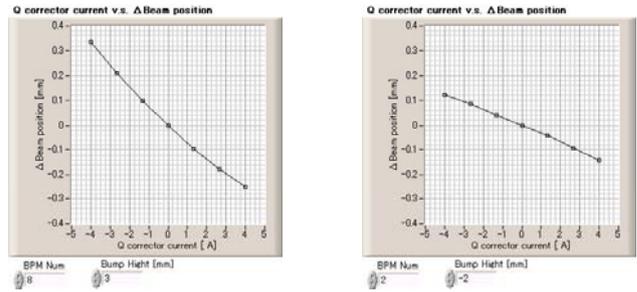


図3：左図はBPM2に近接する4極電磁石補正コイル(QF2C-1)を-4A~4Aまで6ステップで励磁したときのBPM8の水平方向応答。右図はBPM3に近接する4極電磁石補正コイル(QF1C-2)を励磁したときのBPM2の垂直方向応答を示す。

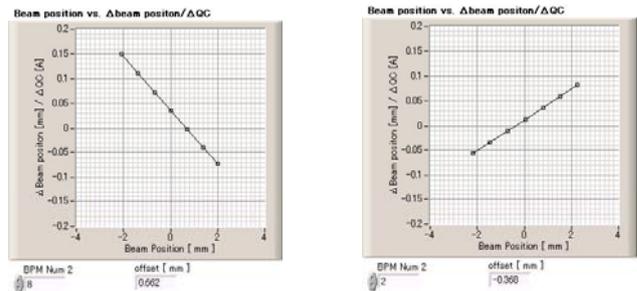


図4：左図はBPM2で観測する水平方向ローカルバンパの大きさに対するBPM8の $\Delta X/\Delta K$ を示す。 $\Delta X/\Delta K=0$ なる点からBPM2のオフセットは0.662mmである。右図はBPM3で観測する垂直方向ローカルバンパの大きさに対するBPM2の $\Delta X/\Delta K$ を示す。オフセットは-0.368mmである。

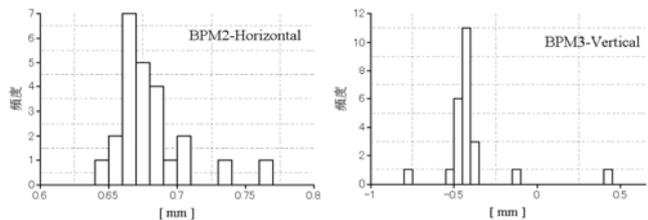


図5：左図は全てのBPMについて $\Delta X/\Delta K=0$ より得られるBPM2の水平方向オフセットの分布。平均は0.68mmで標準偏差は0.03mmである。右図は同様にBPM3の垂直方向オフセットの分布。平均は-0.40mmで標準偏差は0.21mmである。

図5の左図に見られるように $\Delta X/\Delta K=0$ より得られるBPMのオフセットには大きく分布から離れたものがある。例えばBPM3の垂直方向オフセットの分布で最も値が離れているものは、BPM20の応答によるものである。BPM3の近傍のQF1C-2によるキックはBPM20付近でほとんどCODを生じないため、 $\Delta X/\Delta K$ の傾きを求める際に大きな誤差が出るものと思われる。図6にBPM3で観測する垂直方向ビーム位置に対するBPM20の $\Delta X/\Delta K$ を示す。

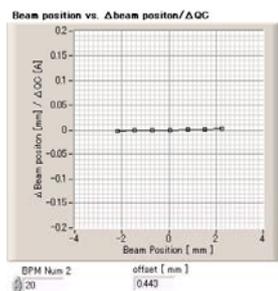


図6：BPM3で観測する垂直方向ローカルバンパの大きさに対するBPM20の $\Delta X/\Delta K$ を示す。オフセット量は+0.443mmとなるが誤差が大きい。

SAGA Light Sourceでは水平垂直方向それぞれ24台のBPMしかないため、統計的な標本数としては不十分であるので得られたオフセットデータから最大値と最小値を除いて平均値を求めた。図7に各BPMのオフセットを示す。図8に得られたオフセットの分布を示す。

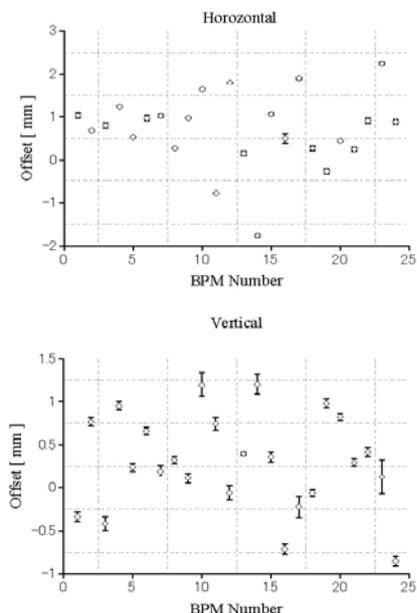


図7：水平方向・垂直方向のBPMオフセット。水平方向のプラス方向へのオフセットはBPM中心が4極電磁石磁場中心に対してリング内側にあることを示し、垂直方向のプラス方向へのオフセットはBPM中心が4極電磁石磁場中心に対して下側にあることを示す。

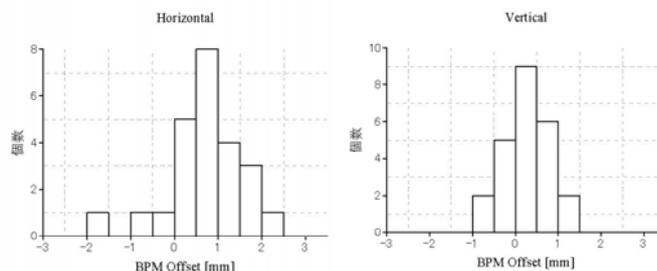


図8：BPMオフセット量の分布。水平方向平均値は+0.7mm、垂直方向平均は+0.3mm。最大値はそれぞれ+2.2mm、+1.2mmである。

Beam Based Alignmentののち、得られたBPMオフセット値を基準としたCOD補正をして入射を行った。入射系および蓄積リングのパラメータが同一条件のもと、COD補正なしでの入射では0.003mA/s(0.5mA蓄積で評価)、BPMの校正なしでCOD補正をした入射では0.19mA/s(30mA蓄積で評価)、BPMの校正をしたCOD補正では0.26mA/s(30mA蓄積で評価)程度の入射速度であった。

6. まとめ

4極電磁石に内蔵された補助コイルを用いて24台のBPMについてBeam Based Alignmentを行った。水平方向平均値は+0.7mm、垂直方向平均は+0.3mm、最大値はそれぞれ+2.2mm、+1.2mmであった。BPMが設置されている真空チェンバーが4極電磁石磁場中心に対して水平方向はややリング中心側に、垂直方向はやや下側にある傾向がある。得られたオフセット値を基準軌道とした入射時からのCOD補正を行い入射効率が改善した。

参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al., "SAGA Light Source DESIGN REPORT"
- [2] Y. Iwasaki, et al., "BEAM-DYNAMICS STUDY BASED ON MEASURED MAGNETS DATA OF SAGA LIGHT SOURCE", Proc. of 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan(2004) pp.414~416.
- [3] Kay-Uwe Kasemir, <http://lansce.lanl.gov/lansce8/Epics/ActiveXCAServer/default.htm>
- [4] H. Ohgaki et al., "DESIGN OF CONTROL SYSTEM FOR SAGA SHYNSCHROTRON LIGHT SOURCE", Proc. of PAC03, Portland(2003) pp.2387~2389.