

SPring-8線型加速器BPMを用いたビーム位置測定

柳田謙一¹⁾、安積隆夫、小林利明、鈴木伸介、谷内努、出羽英紀、富澤宏光、花木博文、水野明彦
(財)高輝度光科学研究センター

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都1丁目1-1

概要

SPring-8線型加速器では30台のBPM及びそれらの信号処理回路が設置された後、制御系を介してビーム位置情報等の収集が開始された。現在、全体の一部ではあるが、ビーム軌道の測定及び補正、ビームエネルギーの測定、ログデータ収集等のプログラムが使用可能である。

1. はじめに

SPring-8線型加速器ではシングルショットでデータ取得可能なBPMシステムの整備を継続して行なって来た。平成13年12月に信号処理回路30台分の較正及びユニット組み替えが終了し、クライストロンギャラリー、他に設置された(図1)。平成14年3月には光伝送VMEボード・光伝送リモートボード^[1]間の通信が可能となり、VME上のソフトウェア(Equipment Manager、EMと呼ぶ)を介してビーム位置情報等の収集が可能となった。

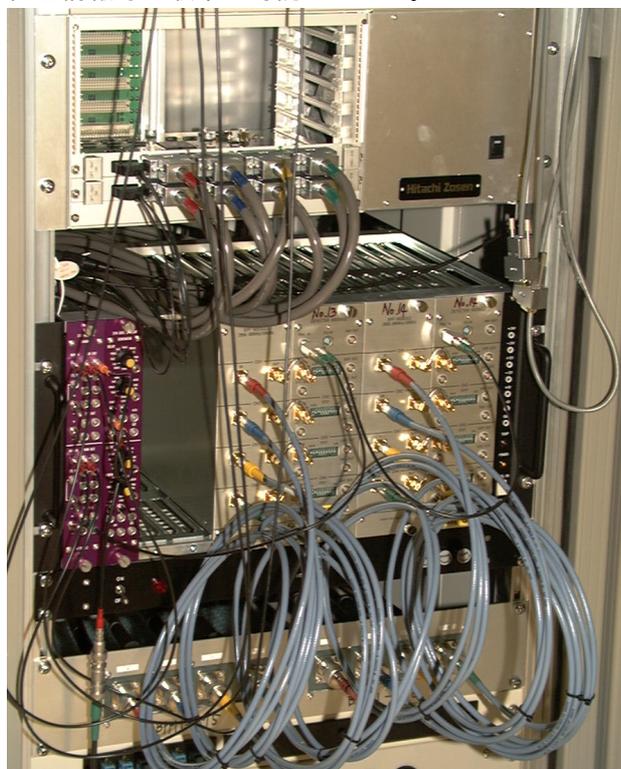


図1：設置されたBPM信号処理回路
下から端子板、信号処理回路、光伝送リモートボード

現在、VME上で動作するEMは二種類ある。一つは、ワークステーション上のビーム軌道やビームエネルギーを測定するプログラムから送られたコマンドに返答して、BPM信号データを送り返すタイプのEMである。

もう一つは、ビームと同期したトリガ(ガントリガ等)をイベントとし、イベント発生時にBPM信号データをファイルに書き込むEMである。このEMは、主にある一定時間のログデータを収集する場合に用いる。

将来、共有メモリを用いたデータ収集系の枠組みが完成した折には、上記EMは一本化される。即ち、イベント発生時にはBPM信号データが全て共有メモリを介してデータベース上に蓄積される。一方、ワークステーション上のプログラムはデータベース上の最新のデータを参照する事となる。

BPMシステム及び信号処理回路等に就いては、過去に研究会・国際会議等で発表されており^{[1]-[6]}、過去のプロシードィング等を参考にされたい。本研究会では、一部運用が開始されたビーム位置(軌道)測定の現状に就いて述べる。

2. 測定及び補正

2.1 ビーム軌道の測定

ビーム軌道の測定を行うためにGUI(Graphical User Interface)を作成した(図2、BPM制御GUI)。図中、横軸は電子銃からの距離である。表示されているビーム輸送方向はNewSUBARU(L4)方向で、境界点まで約220mある。一方、縦軸は位置X、位置Y及び電荷量である。カーソル位置(距離187m)での位置Xが大きくずれているが、これは唯一分散部中に存在するBPMでの測定位置であるため、エネルギーの変動(0.03%/mm)が見えているためである。

表示されている電荷量は理論値から計算されたもので、平均出力電圧を演算し、比例係数を掛けたものである。ビームのマクロパルス幅が10ns以下では比例係数は一定であるが、10ns以上ではマクロパルス幅に比例するため、マクロパルス幅(1ns、40ns、100ns等)をパラメータとして入力する必要がある。現在、電荷量が若干(20~30%)多めに表示されているが、その原因は調査中である。

ショット毎の変動(全幅、即ち 6σ)は、位置で0.1mm程度、電荷量で0.01nC程度である。LOG検波増幅器出力のノイズに因るものは、位置で0.1mm程度、電荷量で0.003nC程度と計算されている。位置

¹⁾E-mail:ken@spring8.or.jp

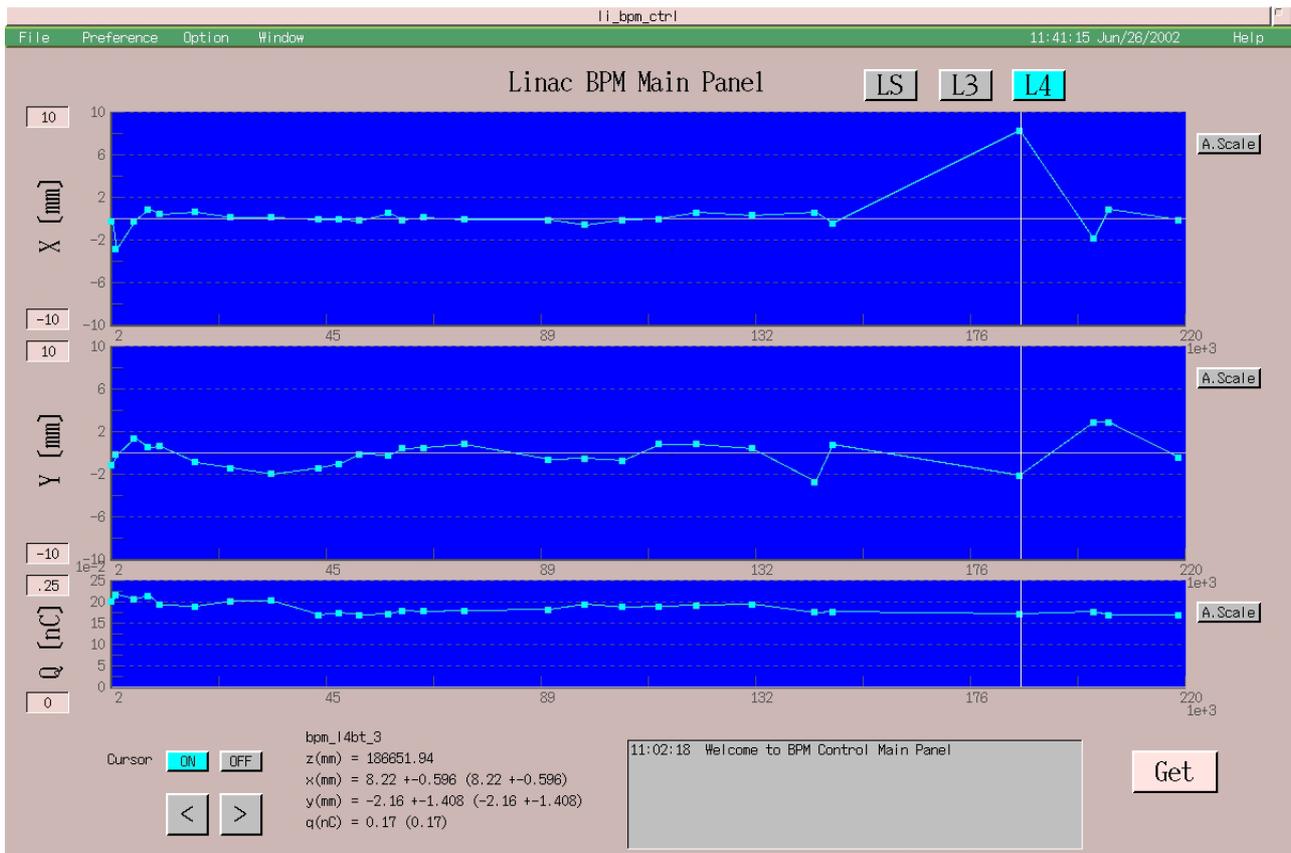


図 2 : BPM制御用のGUI

横軸は電子銃からの距離であり、縦軸は位置X、位置Y及び電荷量である。

では予想通りの変動値であるが、電荷量の変動は多めに測定されている。これは、ビームのマクロパルス幅が1nsであり、ショット毎に電荷量が実際に0.01nC程度変動していると思われる。

NewSUBARUへの輸送系に設置されているBPMのうち、測定電荷量の変動が0.06nC程度のものが2台ある。この2台は安定性等を比較するために製作された先行試作機であり、ストリップライン長が実機型の27mmと異なり、150mm（500MHz出力）のものである。信号処理回路も勿論、500MHz検波であるが、ビームのパンチ数がショット毎に2パンチ（0.7ns、700MHz）から3パンチ（1.0ns、500MHz）の間で変化するため、ビーム波形の基本周波数が大きく変化し、測定電荷量も安定しない。

2.2 ビーム軌道の補正

ビーム軌道の補正を行うためには、図2のBPM制御GUIから子パネルを呼び出して行う。補正の方法は1台のBPMで測定されたビーム位置を1台のステアリング電磁石でターゲット位置まで補正を行うものである。ターゲット位置は全て $0.0 \pm 0.1\text{mm}$ とした。図3はX方向の軌道に就いて、補正を行う前後の比較である。距離が5mより上流側、25m付近及び130mより下流側の地点で位置が0.0mmより大きくずれ

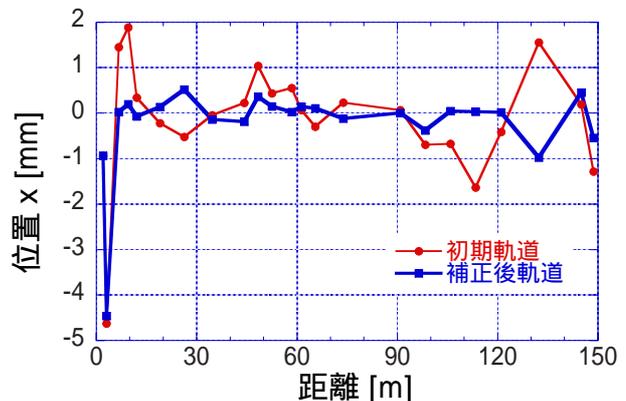


図 3 : X方向の初期軌道及び補正後軌道

ているように見える。これは、補正を行う電磁石が存在しなかったり、電磁石電流値がリミットに達した等、補正を行えなかったためである。その他の地点では、正確に補正が行われている様子で、プログラムの動作が正しいことが確認された。補正が行われなかった箇所は、補正が可能となるように対策を検討中である。

2.3 キックを与えた場合の軌道変化

図4は故意にキックを与えた場合のビーム軌道の

変化である。この場合、距離7.6m付近（エネルギーは50MeV程度）のY方向ステアリング電磁石電流を+0.2A増大させた。キックを与えたステアリング電磁石より下流側で、ビーム軌道のベータatron振動が見られる。全てのステアリング電磁石に就いて、同様な軌道レスポンスを測定することにより、ベータ関数等の光学系が正確に把握される。

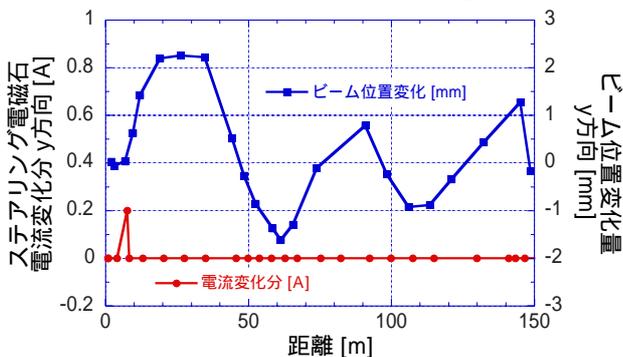


図4：故意にビームにキックを与えた場合の軌道変化

2.4 60pps運転時のデータ収集

VME上のログデータ収集用プログラムを用いて、60pps運転時に於ける全BPMの位置データ等を収集した。図5及び図6はシケイン下流側にあるBPMに於いて測定された位置X及び電荷量である。図中、100秒付近で位置及び電荷量が大きくずれているのは、距離20m付近の加速管が放電を起こし、ビームエネルギーが不足し、ビームがシケインを通過出来なかったためである。ここで、電荷量が0.0nCにならないのはLOG検波増幅器を用いているためである。図5中、540秒付近で位置がステップ状に変化しているのは最下流（M18）モジュレータに起因していると判った。

今回、殆どにデータは16.67ms（60ppsの逆数）間隔でデータ収集されていると思われるが、CPUの割り込み等に起因する取りこぼしが確認されている。SPring-8では60pps運転時に於いても、データ収集を確実に実行できるようシステムの改良を行うべく開発・試験を続けている。

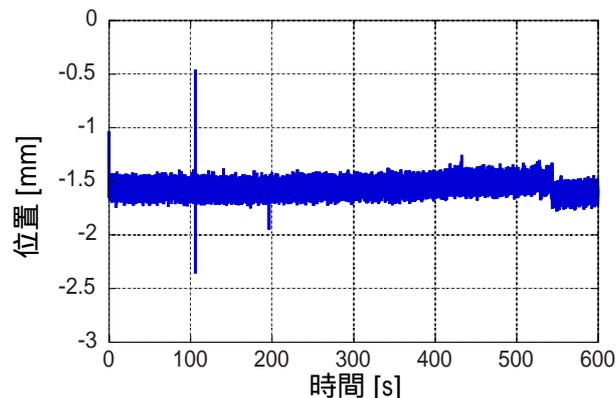


図5：シケイン下流側BPM位置Xのログデータ

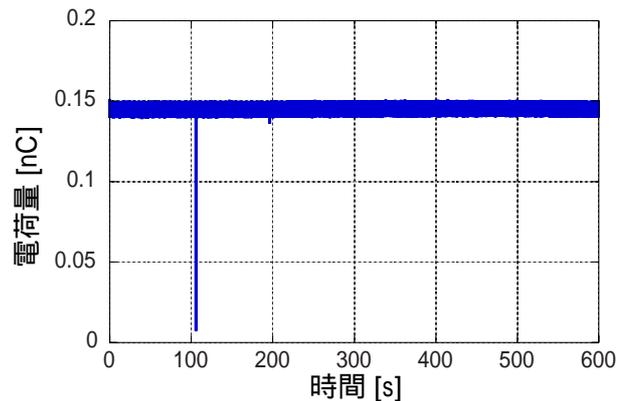


図6：シケイン下流側BPM電荷量のログデータ

3. まとめ

SPring-8線型加速器のBPMシステムは、完成した部分に就いては、設計通り、問題なく運用されている。現在、様々な応用プログラムを開発中である。最終的には、分散部にBPMを設置し、データベースでの60ppsデータ収集が可能なシステムの完成を目標としている。

謝辞

現存するBPMデータ収集系の設置及び将来設置する高速なBPMデータ収集系の設計・開発・試験に関して、SPring-8加速器部門制御グループの皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 柳田謙一、他、"SPring-8線型加速器のBPMシステム"、第26回リニアック技術研究会プロシーディング、つくば、2001年8月、pp.252-254.
- [2] 柳田謙一、他、"対数増幅検波回路を用いたBPM信号処理回路"、第25回リニアック技術研究会プロシーディング、姫路、2000年7月、pp.114-116.
- [3] K. Yanagida, et al., "A BPM SYSTEM FOR THE SPring-8 LINAC", Proc. of the 20th Int. Linac Conf., Monterey USA, Aug. 2000, pp. 190-192.
- [4] K. Yanagida, et al., "SIGNAL PROCESSOR FOR SPring-8 LINAC BPM", Proc. of the 5th European Workshop on Diagnostics and Beam Instr., Grenoble France, May 2001, pp. 162-164.
- [5] K. Yanagida, et al., "INSTALLATION OF THE SPring-8 LINAC BPM SYSTEM", Proc. of the 21th Int. Linac Conf., Gyeongju Korea, Aug. 2002.