

あいち SR ビーム輸送系におけるビーム位置モニタリングシステムの構築 DEVELOPMENT OF BEAM POSITION MONITORING SYSTEM FOR TRANSFER LINES OF AICHI SR ACCELERATORS

高野琢^{#,A)}, 山本尚人^{A)}, 保坂将人^{A)}, 真野篤志^{A)}, 高嶋圭史^{A)}, 加藤政博^{A,B)}
Takumi Takano^{#,A)}, Naoto Yamamoto^{A)}, Masato Hosaka^{A)}, Atsushi Mano^{A)}, Yoshihumi Takashima^{A)}, Masahiro Katoh^{A,B)}

^{A)} Nagoya University Synchrotron Radiation Research Center

^{B)} Institute for Molecular Science

Abstract

Real time monitoring of beam position at transfer lines is crucial for tuning of the optical parameters and for improvement of the injection efficiency of electrons to the storage ring. In this report, we introduce the development of beam position monitoring system for transfer lines of Aichi SR accelerators. Monitoring of single pass beam position was performed by Libera (Single Pass, Instrumentation Technologies), and the output data is to be stored into database system via EPICS network protocol. The optical parameters of transfer lines are efficiently optimized by the system resulting in the quick launch of commercial operation of Aichi SR.

1. はじめに

あいち SR では 2013 年 4 月よりユーザ供用が開始され、現在 300mA トップアップでの営業運転が行われている。^[1]本施設の光源加速器は、初段の直線加速器とブースターシンクロトロンを接続する低エネルギービーム輸送路(LBTL)、及びブースターシンクロトロンと蓄積リングを接続する高エネルギービーム輸送路(HBTL)の 2 本のビーム輸送系を備えている。(Figure 1)^[2]

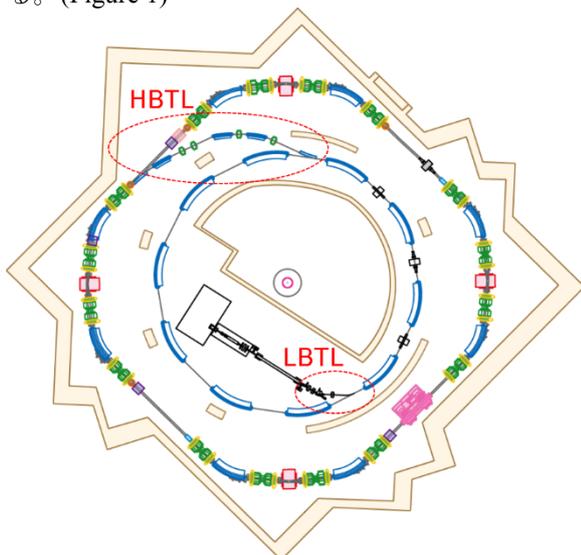


Figure 1: あいち SR 加速器の構成図

本施設では 2012 年 3 月に加速器コミッションングが開始されて以降、ブースターシンクロトロンならびに蓄積リングへのビーム入射効率の向上が最重要課題の 1 つとして掲げられており、ビーム輸送系

の特に入射セプタム付近におけるビームの形状及び位置のモニタリングシステムの構築は必須のものであった。

本システムでは、ビーム形状のモニタリングにはビーム軌道上にスクリーンモニターと観測用の CCD カメラを設置し、ショット毎のビーム形状を解析し記録を行うことができる。また、ビーム位置のモニタリングには、ボタン電極から取り出したショット毎のパルス波形を Libera を用いて解析し、加速器装置制御システム(EPICS)及びデータベースサーバへの記録を行っている。このシステムをもとにライナック加速エネルギーの最適化や光学系の調整を進め、現在約 15 分程度で 300mA までの入射が可能となっている。^[3]

本発表では、あいち SR のビーム輸送系におけるビーム位置モニタリングシステムの構築と、このシステムをもとにした加速器調整の詳細について報告する。

2. ビーム輸送路におけるビーム位置検出

図 2 に、ビーム輸送路におけるビーム位置測定システムの概略図を示す。ビーム位置の検出は輸送路上に設置されたボタン電極からの信号を Libera(Single Pass, Instrumentation Technologies)を利用して解析している。これに電子銃の出射トリガ(1Hz)に遅延回路を挟んで同期させることによりショット毎のビーム位置をリアルタイムにモニターすることができる。ここで、4つの BPM(A, B, C, D)電極からの信号を下記の式に従い処理を行い X および Y 方向の位置を計算している。

$$X = K_x \ln \left(\frac{V_A}{V_C} \right) - X_{OFFSET}$$

[#] t.takano@nusr.nagoya-u.ac.jp

$$Y = K_y \ln \left(\frac{V_B}{V_D} \right) - Y_{OFFSET}$$

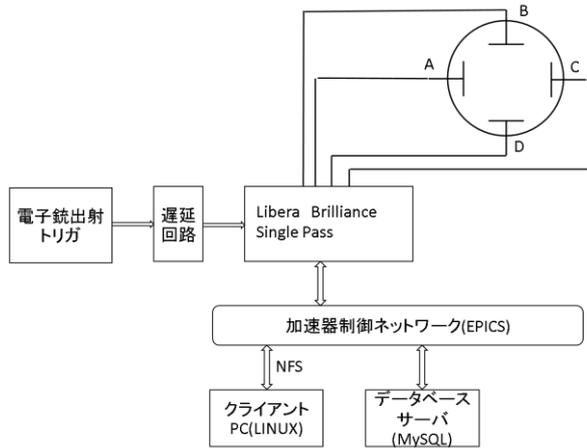


Figure 2: ビーム位置測定システムの構成図

処理されたデータを即時値としてリモートから取得するために、Libera に EPICS システムをインストールし、これを LAN ネットワークを介してクライアント PC に NFS マウントすることにより読み込んでいる。読み込まれたデータは各種グラフの描画および後日の参照のためデータベースサーバ(MySQL)への蓄積を行っている。

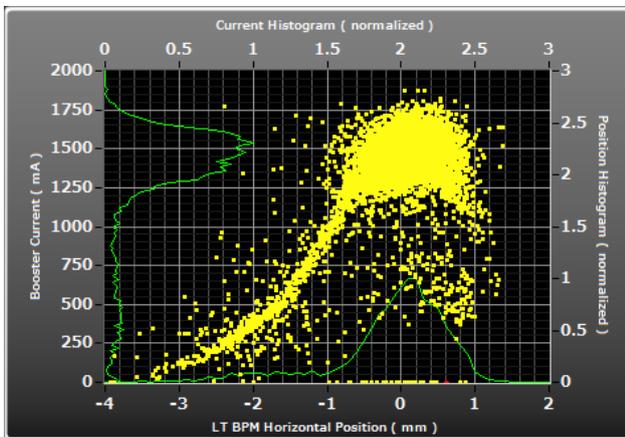


Figure 3: LBTL における横方向ビーム位置とブースターシンクロトロンリングにおける加速電荷量の関係 (黄色)。緑線は横軸及び縦軸のヒストグラムを示している。

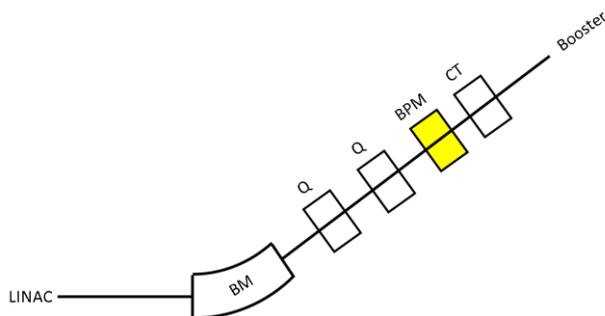


Figure 4: 低エネルギー輸送路(LBTL)の概略図

図 3 に LBTL におけるビーム位置モニターを利用した実際の入射調整の様子を示す。図 4 に示すとおり、直線加速器から LBTL への接続は 30° の偏向角を持つ偏向電磁石により行っており、LBTL における横方向のビーム位置は下式に従ってライナックにおける加速エネルギーと Dispersion に依存する。

$$dx = \eta \frac{dE}{E}$$

図 3 では、ライナックでの加速エネルギーに変動に伴いブースターシンクロトロンにおける加速効率が大きく変動し、最適なエネルギー値にピークを持つ様子が確認される。実際の加速器運転の際には、この測定データを参照しながらライナックの加速エネルギーの最適化を随時行うことにより、ブースターへの電子入射効率の維持を行っている。

3. ビーム輸送路におけるビーム形状観測

各種光学定数の調整及びそれらの再現性の確認のためには実際のビーム位置及び形状を把握する手段が必要である。あいち SR では、ビーム軌道上に遠隔から出し入れ可能なスクリーンモニターを設置し、LAN ネットワークを介して CCD カメラにより画像データの取得を行っている。モニターを設置箇所としては、直線加速器部分に 4 箇所、LBTL に 1 箇所、ブースター加速リングに 2 箇所、HBTL に 4 箇所となっている。なお、蓄積リングにはスクリーンモニターは設置していない。

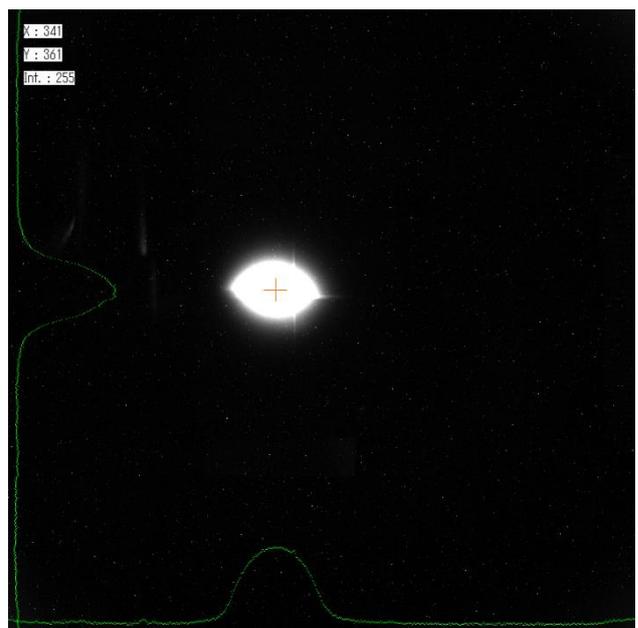


Figure 4: HBTL 最下流の蓄積リング入射セパタムにおけるビーム形状。

図4に、HBTL から蓄積リングへの入射セプタム部におけるビーム形状観察の様子を示す。ブースターシンクロトロンから出射タイミングと同期することにより、ショット毎のビームを観測することができ、自動的に画像処理を行い各ショットでのビーム位置、ガウス分布を仮定した時のビームサイズ等をロギングしている。

以上のビーム位置及び形状の観測システムにより、各マグネットの再現性の確認や4極収束電磁石の中心を通すためのステアリング調整などを行い、ビーム入射効率の改善を行っている。

4. まとめ

あいち SR における入射系加速器の調整と蓄積リングへのビーム入射効率改善のためにビーム輸送路におけるビーム位置および形状のモニタリングシステムを開発した。その結果、BPM の観測結果から直線加速器における加速エネルギーにばらつきがあることと、それに依存して入射効率が大きく変化していることがわかった。実際の営業運転時には随時この加速エネルギーを調整することにより必要な入射効率を保っている。また、CCD カメラによるビーム観測によりビーム輸送路の光学系の調整を進め、現在約15分程度で300mAの蓄積リング入射速度を達成している。

参考文献

- [1] <http://www.astf.or.jp/>
- [2] N. Yamamoto, Y. Takashima, M. Hosaka, H. Morimoto, K. Takami, Y. Hori, S. Sasaki, S. Koda, and M. Katoh. Accelerators of the Central Japan Synchrotron Radiation Facility Project. In Proceedings of IPAC10, pages 2567–2569, 2010.
- [3] Naoto Yamamoto, Masahito Hosaka, Kiyoshi Takami, Takumi Takano, Atsushi Mano, Hiroyuki Morimoto, Yoshifumi Takashima, and Masahiro Katoh. Beam commissioning of central japan synchrotron radiation facility. 加速器, 9(4):223-228, 2012.