

BEAM-ENERGY-SPREAD FEEDBACK USING NON-DESTRUCTIVE BEAM MONITOR WITH EIGHT ELECTRODES

M.Satoh^{1,A)}, T.Suwada^{A)}, T.Kudou^{B)}, K.Furukawa^{A)}

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} MITSUBISHI ELECTRIC SYSTEM & SERVICE CO., LTD.
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

In the KEK electron/positron linac, a non-destructive beam-energy-spread monitor using multi-stripline electrodes has been developed in order to measure the beam energy spread at an 180-degree arc and an end of the linac. A fast data-acquisition system has also been developed for the pulse-by-pulse measurement. The monitor system works well in the daily operation. Recently, we carried out the preliminary test of the beam-energy-spread feedback, and its result was sufficient for our purpose. In this paper, the result of the feedback test will be presented.

8電極非破壊型ビームモニタによるエネルギー広がりフィードバック

1. はじめに

KEK入射器は、KEKB電子(8GeV)・KEKB陽電子(3.5GeV)、PF(2.5GeV)、PF-AR(3GeV)の4つのリングへ定期的に入射を行っている。このうち、KEKBリングへの入射は、シングルパンチ(陽電子は約96nsec間隔の2パンチ)入射を行っている。ビームロスの抑制及び入射効率を向上させて積分ルミノシティの増加を図るためには、ビームを高品質(低エミッタンス・低エネルギー広がり)な状態に保つ必要がある。

この目的のために、ビームのエネルギー広がりを測定するための非破壊型ビームエネルギー広がりモニタ(ESM; Energy Spread Monitor)[1][2]を開発し、入射器のアーク部中央及びECS下流に設置した。アーク部では、水平方向にディスパージョン(0.76m)があるため、ビームのエネルギー広がりに応じた横方向ビームサイズの増大が生じる。ESMを用いて、ビームサイズの縦横比の変化を測定することにより、エネルギー広がり計測が可能となる。また、ESMからの信号を高速に処理するために、Linux/PC及び高速デジタルオシロスコープからなるデータ収集系も構築された[3]。本モニタを用いたビーム監視システムは安定に運用されており、エネルギー広がりフィードバックの試験運用が開始された。

2. ビームエネルギー広がり測定

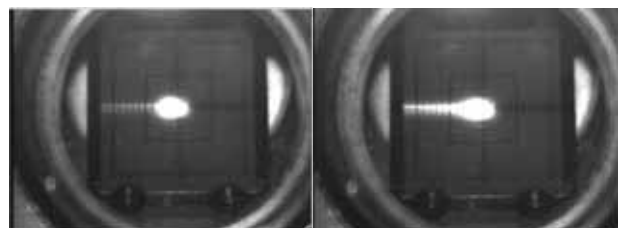
2.1 非破壊型エネルギー広がりモニタ

従来の入射器ビーム運転では、約一時間毎のKEKBリングへの入射をいっつつ、PFリング(一日一回)

及びPF-ARリング(一日二回)への定時入射を行ってきた。エネルギー広がり調整は、ディスパージョン関数の大きな場所(アーク部など)のスクリーンモニタを用いて、入射の空き時間を利用して行われてきた(図1)。

本年初頭より、KEKBリングでは連続入射運転を通常の運転モードとして確立し、積分ルミノシティの向上に大きく貢献している。しかしながら、連続入射中においては、スクリーンモニタのようなビーム破壊型モニタの利用は入射を妨げるため使用不可能である。さらに、エネルギー広がりフィードバックを行うためには、フィードバックの制御量であるエネルギー広がりを、定量的に測定することが求められる。

この目的のために、KEKで開発された非破壊型ESMが有効である。通常、4電極ビーム位置モニタ(BPM)を、水平方向ディスパージョンが大きなビームラインに設置した場合、電極配置を45度傾けて設置する。このような設置方法は、ビームや放射光がBPM電極を直撃し、大振幅信号がオシロスコープの電気回路を損傷する事態を避けるためである。しかしながら、直線部に置かれている水平・垂直方向に



(a) エネルギー広がり小 (b) エネルギー広がり大
図1: スクリーンモニタによるエネルギー広がり測定

¹ E-mail: masanori.satoh@kek.jp

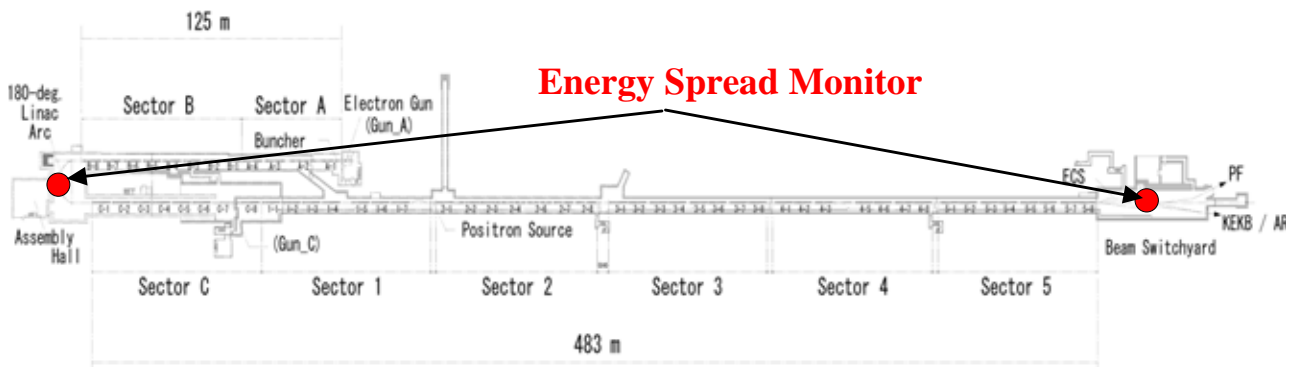


図2：KEK入射器のレイアウト及びエネルギー広がりモニタ設置場所

電極をもったBPMではその方向の2次モーメントを測定することができるが、アーク部に設置された45度BPMでは、ビームの水平・垂直方向の2次モーメント計測は原理的に不可能である。

ESMは、このような事態を避けるために、8つのストリップライン型電極から構成される。これにより、ビームの2次モーメントが消失する電極配置(45度、135度、225度、315度)を避けつつ、同時に、放射光やエネルギーのずれたビームが電極へ直撃する事を回避する。KEK入射器では、このESMをアーク部中央(E=1.7-GeV)及び第三スイッチヤード電子ビーム輸送ライン(E=8-GeV)の二箇所に設置し、常時ビーム監視を行っている(図2)。

2.2 データ収集システム

KEK入射器の制御システムでは、UNIX計算機がその基幹部分を占めている。これらとの親和性を考慮し、ESMのデータ収集系は、Linux/PC及び高速デジタルオシロスコープ(LeCroy Corp. Wavepro950; 周波数帯域1GHz, 16GS/s)から構成される。高速オシロスコープのA/D変換器は、8-bitの分解能であるため、測定回数を増やすことにより測定精度を向上させる必要がある。本データ収集系のオシロスコープは、入射器のビーム繰り返し(最大50Hz)において、全信号波形を捕捉可能である。さらに、KEKB陽電子蓄積リング入射時の2バンチビームを、バンチ毎に独立して測定可能である。

オシロスコープ波形の捕捉・高速データ転送及びログファイルへの書き出し部分は、C++を用いた制御ソフトウェアを開発した。C++言語を用いた理由は、下記の通りである。

- ・ 実行速度の速いコンパイラ言語
 - ・ 再利用性が高いオブジェクト指向言語
 - ・ STL(standard template library)等を利用可能
- 通常の運転モードでは、全ビームパルス(最大50Hz)の信号をサンプルし、ESMの8電極に対応した電圧振幅を算出し、各種演算処理(ビーム位置・エネルギー広がり及び電荷量の計算)を行う。50パルス毎の平均値を算出し、その標準偏差とともにログファイルに書き出している。

図3に、ESM履歴表示ソフトウェア画面の例を示す。本ソフトウェアは、入射器の制御ソフトウェア開発に多く利用されているTcl/Tkスクリプト言語に

て開発された[4]。本ソフトウェアは、ログファイルと連動して表示画面の更新を行い、測定データの常時監視を可能にした。



図3：エネルギー広がり履歴表示画面

3. エネルギー広がりフィードバック

エネルギー広がりを最小に保ち続けることは、ビーム調整上きわめて重要である。エネルギー広がりの変動は、主に、RFに対するビーム加速位相の変化によって引き起こされる。KEK入射器では、クライストロンギャラリー内に設置されている空調機不調により、エネルギー広がりが悪化する事態がまれに生じている。このようなエネルギー広がりの悪化は、入射器内でのビーム透過量の減少・入射効率悪化のみならず、KEKB Belle検出器へのノイズ源となる。このため、エネルギー広がりの常時監視及び調整は、必要不可欠である。

図4に、アーク部ESMによって計測された、水平方向のビーム位置・電荷量とエネルギー広がりの相関図を示す。ここでのエネルギー広がりを示す量は、水平及び垂直方向ビームサイズの自乗差である。こ

の図から、エネルギー広がりが大きくなるにつれ、ビームの電荷量が減少していく様子が分かる（図中線A）。本測定は、KEKB陽電子リング入射ビーム（10nC）の1パンチ目について行われたが、他のビームモードでも同様な結果が得られている。本ESM及び履歴表示ソフトウェアによるエネルギー広がり常時監視を行い、必要に応じてサブスタクリストロン位相の調整を行う。これにより、エネルギー広がりを常に最適化することが可能である。しかしながら、突発的なエネルギー広がり変化や、長期的かつ緩やかな変化については、履歴表示ソフトウェアでは気付きにくい場合がある。このような場合に対しても、迅速なビーム調整を行うためには、エネルギー広がり最適化フィードバックの導入が必要不可欠であった。

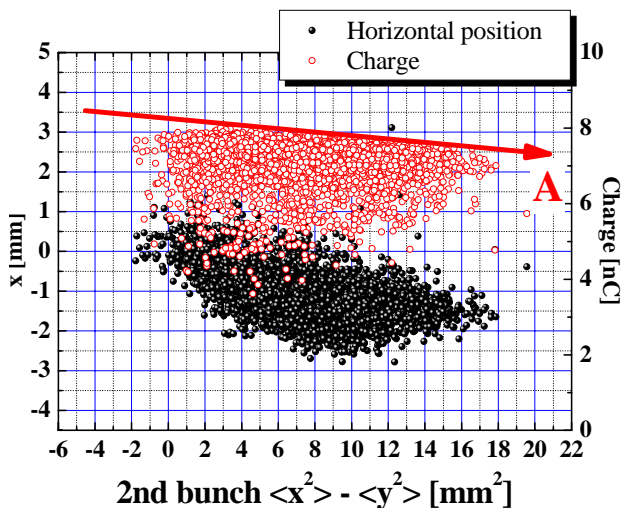


図4：アーク部ESMによる水平方向ビーム位置・電荷量とエネルギー広がりとの相関プロット(10nCモード)

本フィードバック試験では、アーク部ESMを用いて、1パンチ目ビーム(10nCモード)のエネルギー広がり目標値(本試験では5に設定)に固定するように行った。ここで、フィードバックの制御量はエネルギー広がり、操作量をサブスタクリストロンの位相設定値としたPI制御を行った。図5に、フィードバックON及びOFF時の結果を示す。本図は、2パンチ目と1パンチ目のエネルギー広がりとの相関を示している。

フィードバックを動作させた場合、1パンチ目のエネルギー広がり、ほぼ測定の際のばらつき程度の範囲内で目標値を保っていることが分かる。また、1パンチ目の広がりをフィードバックすると、2パンチ目の変動幅も抑制されることが見て取れる。これは、ビームのエネルギー広がりが、主に加速RF位相の変動に起因することを表している。この図から、2パンチ目のエネルギー広がりの変動幅は、1パンチ目の2倍程度であることが分かる。この現象は、1パンチ目ビームによるウェーク場が、2パンチ目のエミッタンスを増大させていることに起因すると考え

られる。

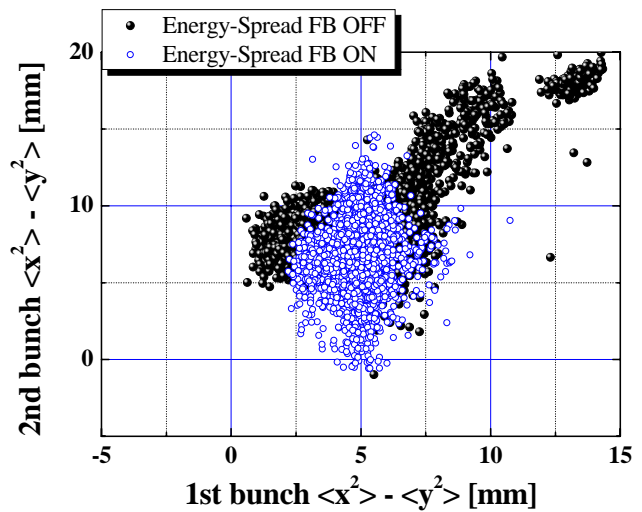


図5：アーク部ESMによるエネルギー広がりフィードバックの結果(10nCモード、1パンチ目のフィードバック目標値を5に設定した場合)

4. まとめと今後の課題

8電極非破壊型エネルギー広がりモニタを用いて、エネルギー広がり最適化フィードバック試験を初めて行った。その結果、10nCモードにおける1パンチ目ビームを、測定の際のばらつき程度の範囲で、目標値に抑えることが可能であった。現在、さらに効率的なフィードバックアルゴリズムについて検討中である。

2004年夏期メンテナンス中に、入射器下流の陽電子ビームラインへ、新たなESMを設置し、エネルギー広がりフィードバックを行う予定である。

謝辞

8電極非破壊型モニタを用いたエネルギー広がりフィードバックの試験運転に協力して頂き、有益な助言を頂きました。入射器オペレーターの皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 諏訪田剛, et al., “ストリップライン多電極を用いたビームサイズ計測への応用”, 第23回リニアック技術研究会予稿集 (2003).
- [2] T. Suwada, et al., “ Stripline-type beam-position-monitor system for single-bunch electron/positron beams”, Nucl. Instrum. & Methods. A 440 No.2 (2000) pp.307-319.
- [3] M. Satoh, T. Suwada and K. Furukawa “Fast Data-Acquisition System for the Beam-Energy-Spread-Monitor”, Proceeding of the IX International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control System 2003, 2000.
- [4] <URL: <http://www.tcl.tk/>>