

非破壊型ビームエネルギー広がりモニタの高速データ収集システム

佐藤 政則¹、諏訪田 剛、古川 和朗
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

概要

KEK電子・陽電子ライナックでは、シングルバンチ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モニタを開発した。このモニタは、8つのストリップライン電極から構成され、クライストロンの位相変動に起因するビームエネルギー広がりの変動監視或いは、フィードバックによる補正を行うことを目的とする。このモニタ用に、高速データ収集システムを構築し、性能評価のためのビーム試験を行った。本データ収集システムは、高速デジタルオシロスコープ及びPCから構成され、パルス毎（最大50Hz）のデータ収集が可能である。さらに、陽電子2バンチ運転モードの際に、各々のバンチを独立に測定することも可能である。本研究会では、この高速データ収集システムについて報告する。

1. はじめに

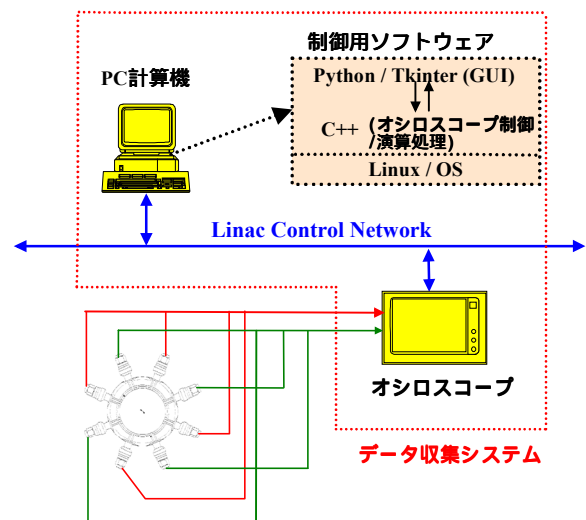
KEKライナックは、KEKB電子(8GeV)・陽電子(3.5GeV)、PF(2.5GeV)、PF-AR(3GeV)の4つのリングへ定期的に入射を行っている。このうち、KEKBリングへの入射は、シングルバンチ(陽電子リングへは96nsec間隔の2バンチ)入射を行っている。ビームロスの抑制及び入射時間の短縮を行い、入射効率を向上させて積分ミノシティーの増加を図るためには、ビームを高品質(低エミッタンス・低エネルギー広がり)な状態に保つ必要がある。このような目的のために、ビームのエネルギー広がりを測定するための非破壊型ビームモニタ(ESM; Energy Spread Monitor)[1][2]を開発し、KEKライナックのJ-Arc部中央に設置した。J-Arc部では、水平方向にディスプレイ(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測定により、エネルギー広がり測定が可能となる。この非破壊型ESMを用いて、常時ビームのエネルギー広がりを高精度で監視し、ビームを高品質に保つためには、安定した高速データ収集システムが必要不可欠となる。

2. データ収集システム

2.1 概要

KEKライナックでは、約90台の4電極ストリップライン型ビーム位置モニタ(BPM)が設置され、安定に

動作している[3]。これらのデータ収集系は、オシロスコープによる波形デジタル化の後、VME計算機を介してUNIX計算機(hp Tru64 UNIX)で構築されるデータサーバに送られる[4]。ESMのデータ収集システムも、従来のシステムに組み込むことが検討されていた。しかしながら、従来のシステムはデータ処理速度が比較的遅く、50Hzのビーム繰り返しでのデータ取得が不可能である。ESMは、エネルギー広がりフィードバックシステムへの適用を考慮しているため、速いサンプリング速度が必要である。このため、従来のデータ収集システムとは独立なシステムを構築することにした。図1に、今回構築したデータ収集システムの概略図を示す。



エネルギー広がりモニタ (ESM)

図1: データ収集システムの概略図。PC(Linux)及び高速オシロスコープからなるシンプルなシステム構成を示す。

2.2 ハードウェア

本データ収集システムは、デジタルオシロスコープ及びPCをその基本とし、その他のアナログ・デジタル回路類は一切使用していない。このように、システム構成がシンプルであるため、高信頼性が期待できる。オシロスコープは、高繰り返しデジタル化が可能であるWavePro950(LeCroy Corp.; 周波数帯域1GHz, 16GS/s/channel, 8bits)を選定した。VMEbusなどを用いた組み込み計算機を用いたシステムも検討されたが、ソフトウェアの開発性やタイミング調整の容易さなどを考慮し、本システム構成を

¹ E-mail: masanori.satoh@kek.jp

採用するに至った。また、KEKライナック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ため、これらとの親和性を考慮し、Linux/PCを選択した。

ESMからの8つのアナログ信号は、ケーブルによるディレイラインを経由することにより、2本の信号ラインへ合成される(2x4信号)。これら2本のケーブルは、オシロスコープの別々のチャンネルへ入力され、デジタル信号へ変換される。取得した波形データは、制御用ネットワークを介してPCに転送され、アナログ信号のパルス波高を演算した後にビーム位置・エネルギー広がり(1パルスあたり)の情報に換算される。通常の運転モードでは、100パルスのデータを平均し、それぞれの標準偏差の情報を付加した後に、ログファイルへ記録している。

オシロスコープからPCへのデータ転送能力を評価するために、速度の計測を行った(図2)。本測定は、オシロスコープの2チャンネルを同時サンプルし、データ点数を変化させたときの取り込み時間を計測したものである。2チャンネル同時計測を行ったため、チャンネル毎の時間分解能は、125psec(8GS/sec)である。シングルバンチ運転の場合、ESMからの信号列時間幅は約50nsecであるため、50Hz(20msec)のビーム繰り返しで計測することを考えると、信号をコンパイナ等で重畳すれば、1台のオシロスコープで約10台のESMの信号を取り扱えることが分かる。しかしながら、2バンチ運転モードの場合には、バンチ間隔が約100nsecであることを考慮すると、1パルスあたり200nsecの信号列時間幅が必要となる。この場合には、ESM2台毎に1台のオシロスコープが必要となる。

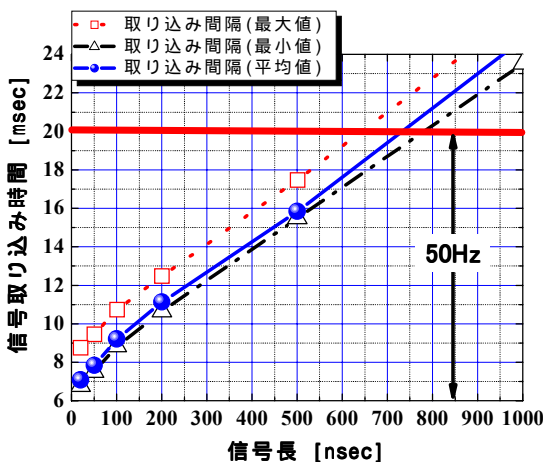


図2：信号取り込み時間。四角(赤)・三角(黒)・丸(青)は、それぞれ取り込み時間の最大・最小・平均値を示す。

2.3 ソフトウェア

本データ収集システム用のソフトウェアは、高速かつ高繰り返しでのデータ収集を安定に行うことと、将来的な機能拡張の利便性を考慮するために、

Linux/PC上で構築した。オシロスコープを制御し、波形のデジタイズ・高速データ転送及びログファイルへの書き出しの部分にはC++を用いた。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、全パルス(最大50Hz)の信号をデジタイズし、ESMの8電極に対応した電圧振幅を算出し、各種演算処理(ビーム位置及びエネルギー広がり(1パルスあたり)の計算)を行う。100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。また、GUI(Graphical User Interface)部分には、オブジェクト指向スクリプト言語であるPython[5]を利用した。Pythonは、Tkinterと呼ばれるモジュールを利用することにより、Tkの豊富なGUIインターフェースを使用することができる。また、PMW(Python Mega Widgets)[6]やTix(Tk Interface eXtension)[7]などの利用により、短時間で複雑なユーザーインターフェースの作成が可能である。さらに、数値計算のためのパッケージも利用可能なため、複雑な演算処理も比較的容易に実現可能である[8]。図3に、GUI画面の一例を示す。GUI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。これにより、エネルギー広がり(1パルス)が極端に悪化する前にビーム調整し、ビーム透過量減少を回避することが可能となった。

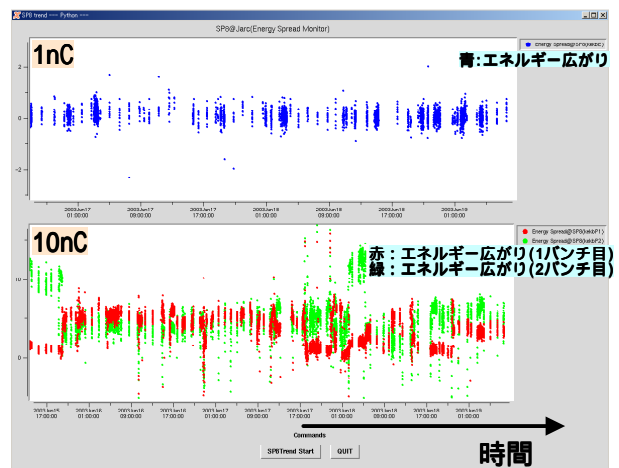


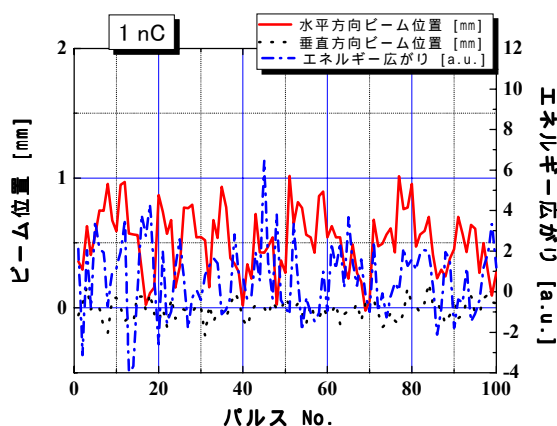
図3：GUI画面の例

3. ビーム試験

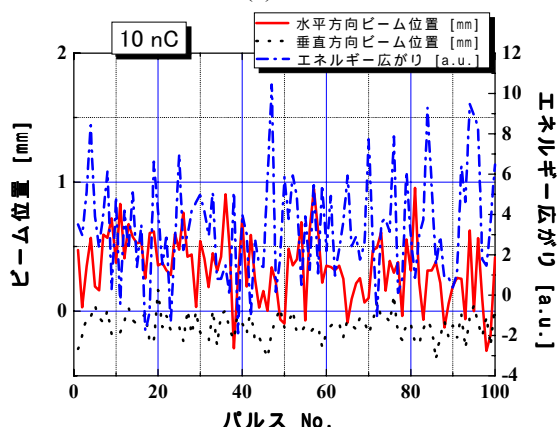
3.1 パルス毎変動の測定

本データ収集システムの最大の特徴は、KEKライナックの最大ビーム繰り返し(50Hz)においても、パルス毎の全データ取得が可能なことである。この特性をいかして、パルス毎のビームエネルギー広がり及び位置の変動測定を行った。本実験では、50Hzのビームを100パルス連続して測定した。図4-(a)及び(b)は、それぞれ1nC・10nCモードにおけるビーム

位置・エネルギー広がりの変動を示している。このデータをもとに、パルス毎のばらつきを標準偏差を算出し、各電荷量で比較した(表1)。この結果より、ビームの電荷量が増大すると、エネルギー広がりの変動が大きくなる。これは、同程度の加速RF位相変動を仮定すれば、電荷量が増大するにつれて、ビームローディングによるエネルギー広がりが大きくなることを示している。



(a) 1nC



(b) 10nC

図4：パルス毎変動の測定結果。(a)及び(b)は、それぞれ、1nC及び10nCモードの測定結果。実線(赤)・点線(黒)・一点鎖線(青)は、水平・垂直ビーム位置及びエネルギー広がりを示す。

表1：パルス毎の変動

標準偏差 電荷量	1nC	10nC	倍率 (10nC/1nC)
水平位置 [mm]	0.247	0.262	1.063
垂直位置 [mm]	0.077	0.101	1.32
エネルギー広がり [a.u.]	1.800	2.603	1.446

3.2 長期変動の測定

本データ収集システムは、2003年2月20日から日

常運転に使用し始めた。現在の運転では、100回平均したビーム位置・エネルギー広がり及びそれらの標準偏差の情報をログファイルに蓄積している。図5は、約20日間のエネルギー広がり変動を示している(10nC/2パンチ運転モード)。長期的な変動は、サブブースタ位相と相関があることも確認した[2]。従って、サブブースタの位相を制御することにより、エネルギー広がりを常に最適に保つフィードバックを行うことが可能である。

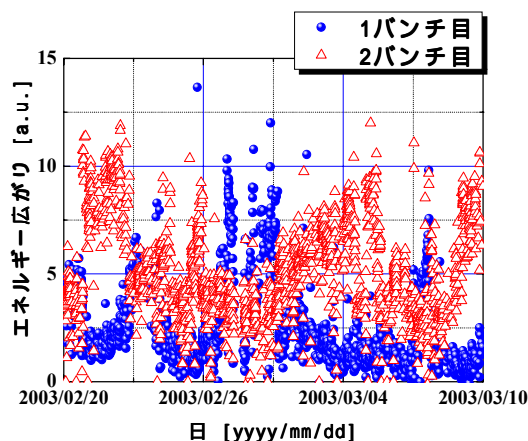


図5：長期変動の測定結果(10nC/2パンチ)。丸(青)・三角(赤)は、それぞれ1パンチ・2パンチ目のエネルギー広がりを示す。

4. まとめと今後の課題

非破壊型ビームエネルギー広がりモニタのために、高速データ収集システムを構築し、運転に使用している。本データ収集システムは、Linux/PC計算機及びオシロスコープからなる単純な構成により、高安定性を実現した。さらに、最大ビーム繰り返し運転(50Hz)において、2パンチビームの同時測定を実現した。現在、本モニタを用いたエネルギー広がりフィードバックシステムを構築中であり、別途報告する予定である。

参考文献

- [1] T. Suwada, et al., "Nondestructive beam energy-spread monitor using multi-strip-line electrodes", Phys. Rev. ST Accel. Beams **6**, 032801 (2003).
- [2] 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", 本予稿集.
- [3] 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.
- [4] N. Kamikubota, et al., "Data Acquisition of Beam-Position Monitors for the KEKB Injector-Linac", Proceedings of ICALEPCS'99, Trieste, Italy, October 4-8, pp.217-219 (1999).
- [5] <http://www.python.org/>
- [6] <http://pmw.sourceforge.net/>
- [7] <http://tix.sourceforge.net/>
- [8] <http://www.pfdubois.com/numpy/>