

BEAM ENERGY MEASUREMENT SYSTEM BY USING LabVIEW AT RIBF

Tamaki Watanabe #, Nobuhisa Fukunishi, Masayuki Kase, Masanori Wakasugi, Masaki Fujimaki, Kazunari Yamada, Naruhiko Sakamoto, Kenji Suda, Hiroshi Imao, Misaki Komiyama, Osamu Kamigaito
RIKEN, Nishina Center for Accelerator-Based Science, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

Abstract

Plastic scintillation monitors (scintillation monitors) have been fabricated to evaluate the energy and longitudinal profiles of heavy-ion beams at the RIKEN RI beam factory (RIBF). Five sets of scintillation monitors (10 monitors) were installed in the transport lines to measure the time of flight (TOF), namely the acceleration energy, of the heavy-ion beams. Furthermore, a total of six scintillation monitors have been installed to optimize the phase between the RF cavities and the beam. The improvements of the scintillation monitor system are reported in this article.

RI-BF における LabVIEW を用いたビームエネルギー測定システム

1. はじめに

理研の RI ビームファクトリー (RIBF) において、加速された重イオンビームのエネルギー、位相、及び、縦方向のプロファイルを診断することは、サイクロトロンの入射調整において重要な役割を果たしている[1]。真空チェンバー内のホルダーに固定されたプラスチックシンチレーターは、圧空式回転導入端子を 90° 回転駆動させることにより、ビームに照射される。ビームの照射によって発生した光は、光電子増倍管に導かれ光電子が増倍される。シンチレーションモニターで得られるビームシグナルと、RF のクロックとのタイムラグを、Time-to-digital converter (TDC) によってデジタル化し、そのヒス

トグラムを取る事により、ビームの縦方向のプロファイルが得られる。さらに、あらかじめ 2 台のモニター間距離を正確に測定しておくことにより、ビームの飛行時間 (TOF) が得られ、即ちビームのエネルギーが正確に得られる事になる。今回、Compact PCI 規格の TDC を導入する事により、新しいシステムを構築した。CAMAC 規格を用いた旧システムでは、最大データ収集率が 1 k cps であったが、新システムでは 10 M cps までデータを収集する事が可能となり、即ち 1 万倍速度を改善することができた。特に、プログラミングには LabVIEW を用いており、マンマシンインターフェイスの機能が大幅に改善された。

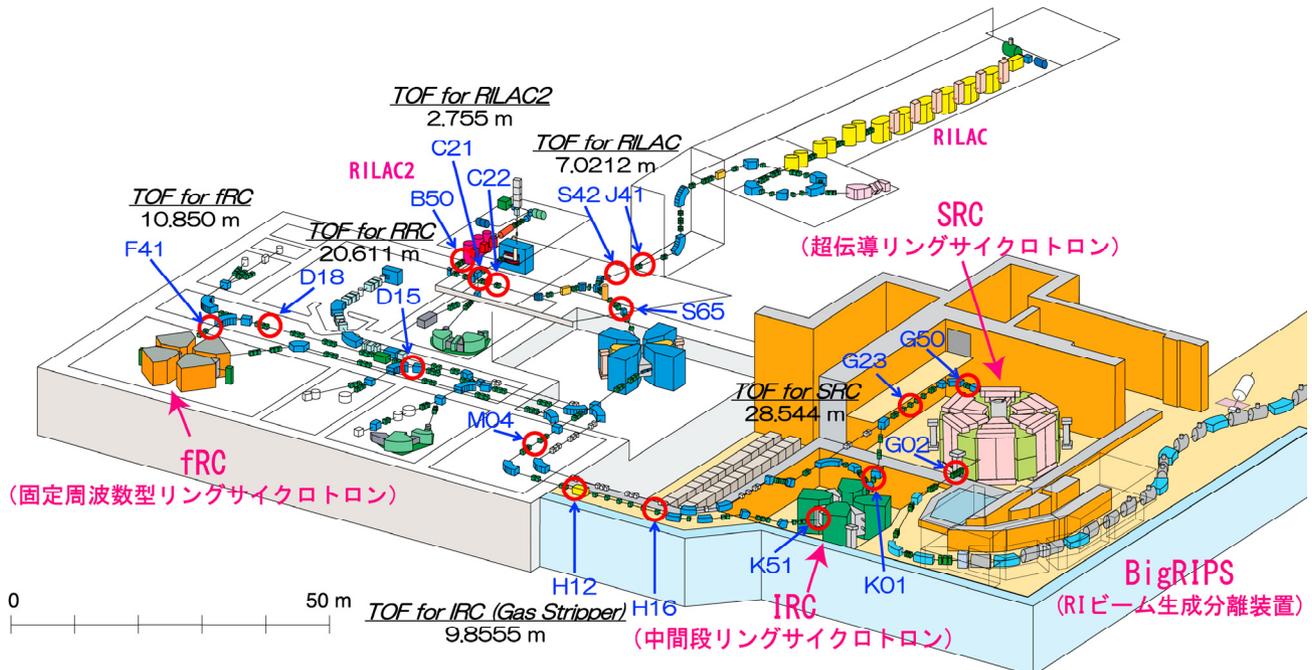


図 1 : RIBF の鳥瞰図とプラスチックシンチレーションモニターの設置位置。

wtamaki@riken.jp

2. プラスチックシンチレーションモニターの設置位置とその役割

RIBF の鳥瞰図とプラスチックシンチレーションモニターの設置位置を図 1 に示す。各加速器のビーム入射前、もしくはビーム取り出し後に、エネルギーを測定するために、5 セット 10 台のモニターが、C21-C22、J41-S42、D15-D18、H12-H16、K01-G23 間にそれぞれ設置されている。特に、新入射器 RILAC2 が新設され、コミッションが今年から開始した。RILAC2 で加速されたビームのエネルギー測定と、ビームの縦方向のプロファイル測定は、RRC の入射調整に重要な役割を果たしている。また、最適な入射条件を探すために、ビーム位相と入射バンチャーや加速器の RF キャビティの位相の調節が必要である。ビームの縦方向プロファイル測定しながら位相の測定が行えるように、S65 (RRC)、F41 (fRC)、K51 (IRC)、G50 (SRC) に 4 台のモニターが設置されている。現在、合計 16 台のプラスチックシンチレーションモニターが使用されている。

RIBF では、重イオンビーム（特にウランビーム）に対しては、イオンの価数を上げるために、ストリッパーが用いられているが、特に、ビームの大強度化に向けて、ガスストリッパーの開発研究が行われている[2]。マシンスタディーでは、(1)エネルギー損失、(2)ビームの縦方向の広がり、等の測定において、IRC 上流 (H12-H16) のプラスチックシン

チレーションモニターが用いられた。

3. スリットとアルミ蒸着したライトガイドの導入

TOF の測定精度を上げるために、以下の方法を考案し試験を行った。即ち、(1) 不要な光を遮光するためにスリットを装備し、(2) 光が乱反射しないようにアルミを約 1000 Å 蒸着したライトガイドを導入した。図 2 にスリットとライトガイド（アルミ蒸着前）の写真を、図 3 にアルミ蒸着を施したライトガイドの写真を示す。

IRC 上流の H12 (図 1 参照) に、スリットとアルミ蒸着を施したライトガイドを用いたタイプと、何も施していない従来タイプのシンチレーションモニターを二台設置し、マシンスタディー時にその効果を調べた。ビームは、fRC で加速され、ガスストリップされた、エネルギー 45.6 MeV/u の $^{124}\text{Xe}^{52+}$ ビームを用いた。ビームが当たる事により、シンチレーターで発せられた光が、光電子増倍管によって増幅された信号の測定結果を図 4 に示す。スリットとアルミ蒸着を施したライトガイドを用いたタイプの測定結果を(a)に、何も施していない従来タイプの測定結果を(b)に示す。両者とも同じ条件のもとで測定を行った。スリットとアルミ蒸着を施したライトガイドを用いることにより、波高は 3 倍近く改善され、一つ一つのビーム信号のばらつきを減少させていることが解った。

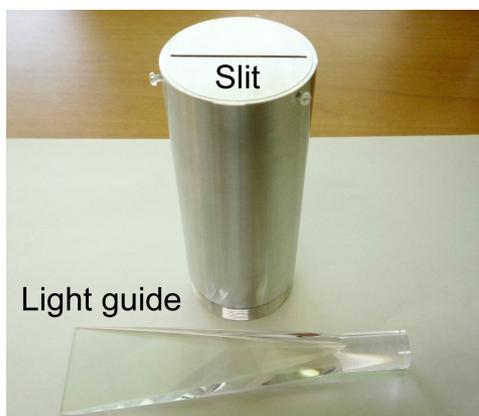


図 2 : スリットとライトガイド。



図 3 : アルミを約 1000 Å 蒸着したライトガイド。

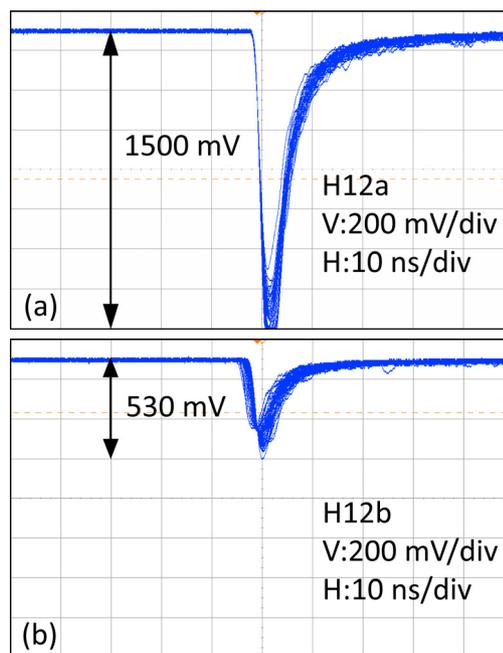


図 4 : ビーム信号の測定結果。(a) : スリットとアルミ蒸着を施したライトガイドを用いたタイプ。(b) :何も施していない従来タイプ。

4. LabVIEW を用いた新システムの構築

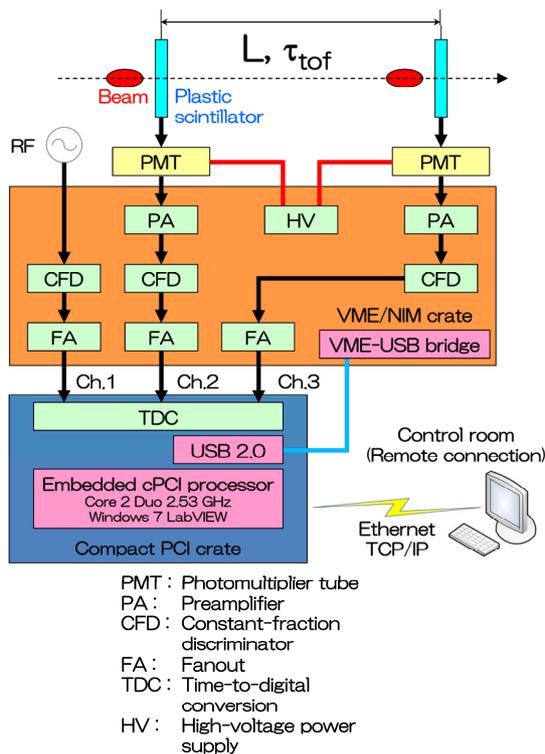


図5：新システムのブロックダイアグラム。

プログラミングソフトウェア LabVIEW を用いた、新しい制御・データ収集システムを構築した。OS は Windows7 を使用している。新システムのブロックダイアグラムを図5に示す。光電子増倍管によって増幅された信号を、さらにプリアンプで増幅し、コンスタント・フラクション・ディスクリミネータによって閾値以上の信号のみ選別し、ノイズを除去する。従来は、シグナルをスタートパルスとし、RF のクロック（ストップパルス）とのタイムラグ

表1：新旧システムの比較

	旧システム	新システム
バス	CAMAC	Compact OCI
TDC	富士ダイヤモンド	Agilent (Acqiris) TC890
最大データ収集速度	1 k cps	10 M cps
バッファ	なし	2 M data x 2
時間レンジ	200 ns	10.48 ms
時間分解能	50ps	50 ps (ジッタ 3 ps)
他		Internal calibration

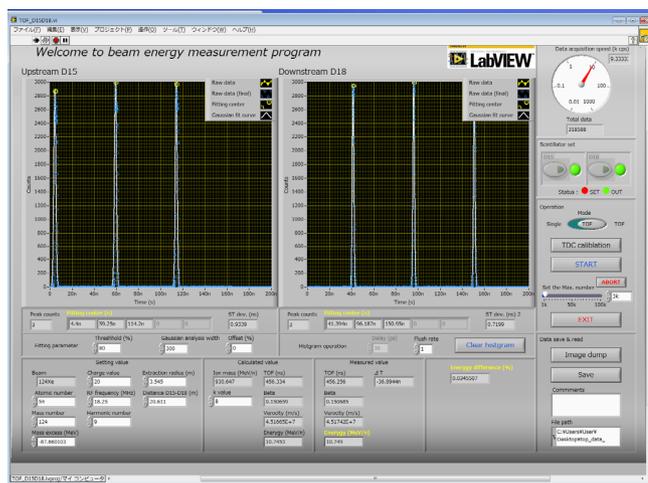


図6：LabVIEW を用いたフロントパネルと測定結果の一例（D15、D18 で測定した RRC で加速された 124Xe ビーム）。

が TDC によってデジタル化され、ビームの縦方向のプロファイルを得ていた。しかし、Compact PCI 規格の高性能の TDC を導入することにより、バッファに測定データをため込み、高速の転送レートで、コントローラ側にデータを転送する事が可能となった。この TDC には、2M データの容量を持つ 2 台のバッファが内蔵されており、データ収集とデータ転送を交互に行っているため、デッドタイムがない事が大きな利点となっている。この利点を活かし、光電子増倍管からの信号と RF クロックを別々のチャンネルに入力し、任意のタイミングで一斉にデータを収集するプログラムを構築した。LabVIEW を用いたユーザーインターフェイスと測定結果の一例（D15、D18 で測定した RRC で加速された 124Xe ビーム）を図6に示す。また、新旧システムの比較を表1に示す。

理研の制御系は、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) によって構築されている。LabVIEW から EPICS を通した制御が可能になると、ビームエネルギー測定システムの操作性がさらに良くなり、正確さ・信頼性が増すことが期待される。現在、LabVIEW 側がクライアントとなり、EPICS の IOCs (Input/output controllers) で定義されている機器を、制御するプログラムを構築中である。

このシステムの開発にあたって、住重加速器サービス株式会社のオペレーターの方々、日本ナショナルインスツルメンツ社の長久 文彦氏、幾田 直樹氏に、感謝の意を表する。

参考文献

- [1] T. Watanabe, et al., “RI-BF におけるビームエネルギーと縦方向のビームプロファイル測定システムの改良”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010 p.1029
- [2] 今尾 浩士他, “大強度ウランビーム加速に向けたガス荷電ストリッパの研究”, in this proceedings.