

## IMPROVEMENT OF BEAM ENERGY AND LONGITUDINAL BEAM PROFILE MEASUREMENT SYSTEM AT RIBF

Tamaki Watanabe <sup>#A)</sup>, Nobuhisa Fukunishi <sup>A)</sup>, Masayuki Kase <sup>A)</sup>, Masanori Wakasugi <sup>A)</sup>, Masaki Fujimaki <sup>A)</sup>, Kazunari Yamada <sup>A)</sup>, Naruhiko Sakamoto <sup>A)</sup>, Yasuteru Kotaka <sup>A)B)</sup>, Ryo Koyama <sup>A)B)</sup>, Takeshi Nakamura <sup>A)B)</sup>, Osamu Kamigaito <sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> RIKEN, Nishina Center for Accelerator-Based Science, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

<sup>B)</sup> Sumitomo Heavy Industries Accelerator Service Ltd., 1-17-6 Osaki, Shinagawa, Tokyo, 141-0032

### 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). Four sets of scintillation monitors (8 monitors) were installed in the transport lines of the RIKEN heavy-ion linac (RILAC), RIKEN ring cyclotron (RRC), fixed-frequency ring cyclotron (fRC), intermediate-stage ring cyclotron (IRC) and superconducting ring cyclotron (SRC) to measure the time of flight (TOF), namely the acceleration energy, of the heavy-ion beams. Furthermore, a total of eight scintillation monitors have been installed in the transport line, upstream of the injection points and downstream of the extraction points of these accelerators, to optimize the phase between the RF cavities and the beam. The improvements made to the scintillation monitor system are reported in this article.

## 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

### 1. はじめに

理研の RI ビームファクトリー (RIBF) では、ウランなどの重イオンを加速する場合、1 台の線形加速器と 4 台のサイクロトロンでカスケード加速を行っている。それぞれの加速器で加速・取り出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、次の加速器での入射調整において非常に重要である。シンチレー

ターにビームを当てることによって発生した光を、フォトマルによって増幅する。その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) とのタイムラグを Time-to-digital converter (TDC) を用いることによってデジタル化し、ビームの縦方向のプロファイルを得てきた。モニター間距離が正確に測定されている 1 セット・2 台のモニターを使用すれば、ビームの飛行時間 (TOF) を測定することにより、ビームのエネルギー値が得られ

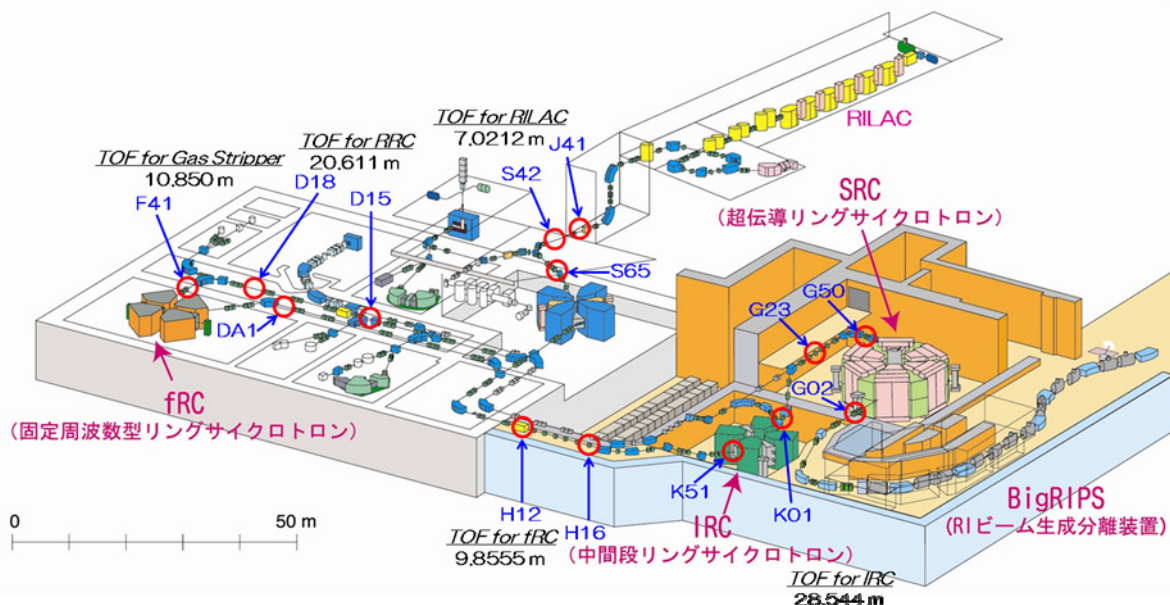


図 1 : プラスチックシンチレーションモニターの設置位置。

る。コミッショニング時においては、ビームの加速エネルギーの実測値が、設計値と良い一致が得られていることが確認された<sup>[1]</sup>。現在、このシステムの精度をあげるため、ハードウェアとソフトウェアの両面から改良を行っている。

## 2. 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 における、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。ビームエネルギー測定のために、線形加速器とサイクロトロン of ビーム取り出し後にそれぞれ、4 セット 8 台のモニターが、図 1 に示すように、J41-S42、D15-D18、H12-H16、K01-G23 に設置されている。モニター間の距離測定は、レーザー距離計 (Leica DISTO A6) を用いて行った。レーザー距離計の測定精度は、 $\pm 1.5 \text{ mm}$  である。さらに、入射バンチャー等の調節のために、ビームの縦方向プロファイルと位相を測定すべく 4 台のモニターが、それぞれ単独に RRC (S65)、fRC (F41)、IRC (K51)、SRC (G50) の上流に設置されている。他に、取り出したビームの測定のために、fRC (DA1)、SRC (G02) の下流に 2 台のモニターが設置されている。現状では合計 14 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。ガスストリッパーを用いた実験では、(1)エネルギー損失、(2)ビームの縦方向の広がり、を測定するため、fRC 上流 (D18-F41) のプラスチックシンチレーションモニターが用いられている<sup>[2]</sup>。さらに、新入射器 RILAC2 においても、線形加速器で加速された後の、ビームの縦方向プロファイルとビームエネルギー測定のために、新たに 3 台のプラスチックシンチレーションモニターが増設される予定である。

## 3. プラスチックシンチレーションモニターの改良

### 3.1 スリットとライトガイドの導入

プラスチックシンチレーションモニターの写真を図 2 に示す。真空チェンバー内のフォ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  $90^\circ$  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、シリンダー内を通り、光電子増倍管に導かれ光電子が増倍される。今回、TOF の測定精度を上げるために、チェンバー内を通過してきた不要な光を遮光するためにスリットを装備し、光が乱反射ないようにライトガイドを導入した。図 2 に全体の写真を、図 3 に、スリットとライトガイドの詳細を示す。この方式の採用により、同じビーム強度でも、カウント数が半分に減ったが、その分、分解能が上がっていることが期待される。定量的な比較は、今後行っていく予定である。

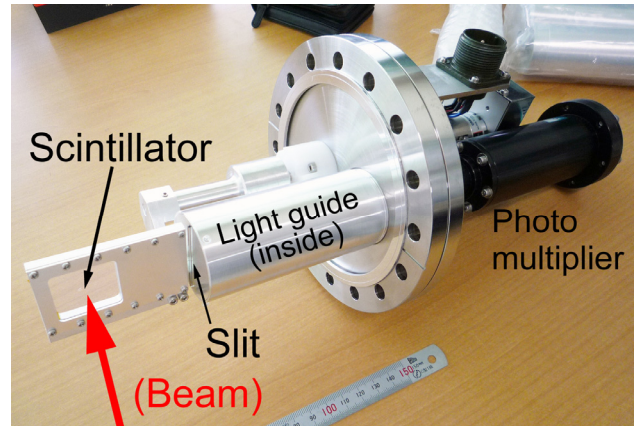


図 2 : スリットとライトガイドを追加した、プラスチックシンチレーションモニター。

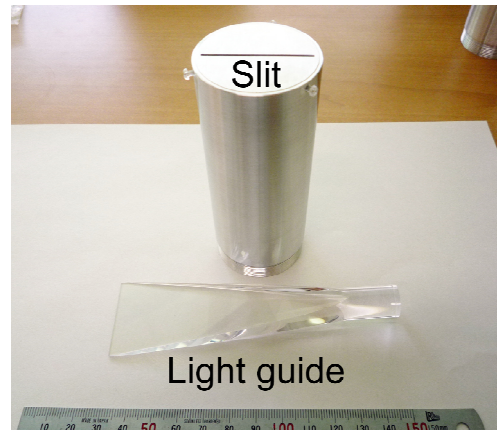


図 3 : スリットとライトガイド。

### 3.2 新システムの構築

測定時には、ビームのカウントレートは  $200 \text{ s}^{-1}$  から  $1000 \text{ s}^{-1}$  になるように、ビームアッティネーターを入れて、ビーム強度を減らす。上流と下流に設置されているプラスチックシンチレーションモニターを用いて、それぞれ個別に縦方向のビームプロファイルを測定する。そして、得られた時間スペクトルを、ガウス関数によりフィットする。上流、下流の中心時間をそれぞれ、 $T_{UP}$ 、 $T_{DOWN}$ 、ビームの周期を  $\tau_{rf}$ 、上流と下流のプラスチックシンチレーションモニター間の距離を  $L$  とすると、ビームの TOF ( $\tau_{tof}$ ) は、以下の式(1)で表わされる。

$$\tau_{tof} = k \times \tau_{rf} + (T_{UP} - T_{DOWN}) \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $k$  は波数である。ビームのエネルギー  $T$  は、 $E_0$  を静止質量とすると、以下の式(2)で得られる。

$$\beta = L / (\tau_{tof} \times c), \quad \text{----- (2)}$$

$$T = E_0 (1 / \sqrt{1 - \beta^2} - 1)$$

表 3 : TDC の仕様

型式	Agilent (Acqiris) TC890
入力	6ch (Multihit) + Common start
分解能	50 ps
ジッター	3 ps
時間レンジ	10.48 ms
DMA	100 MB / s
筐体	標準 Compact PCI
他	Internal calibration

現在、Windows7 を OS とし、ソフトウェア LabVIEW を使用した、新しい制御・データ収集システムを構築中である。新システムの写真を図 3 に、ブロックダイアグラムを図 4 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・フラクシオン・ディスクリミネータによって、設置したしきい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）とのタイムラグを Time-to-digital converter (TDC)を用いることによってデジタル化し、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

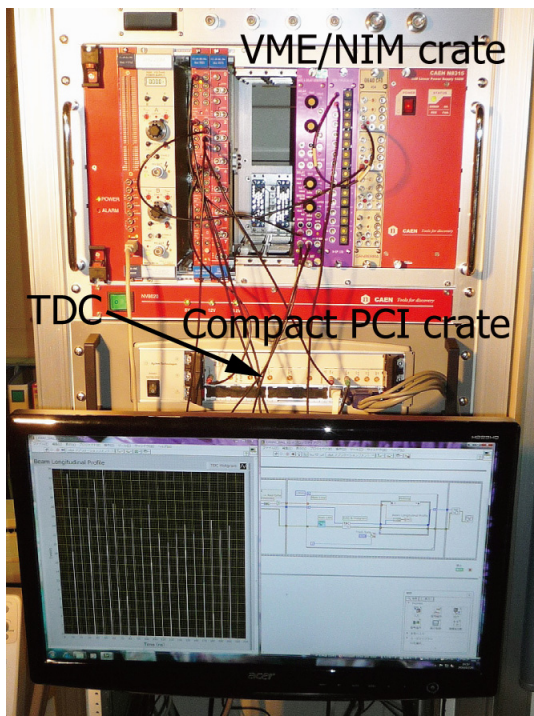


図 3 : Compact PCI クレート内に設置された Embedded processor (Core 2 Duo 2.53 GHz)、TDC と、VME / NIM クレート内に設置された信号処理系、高圧電源。

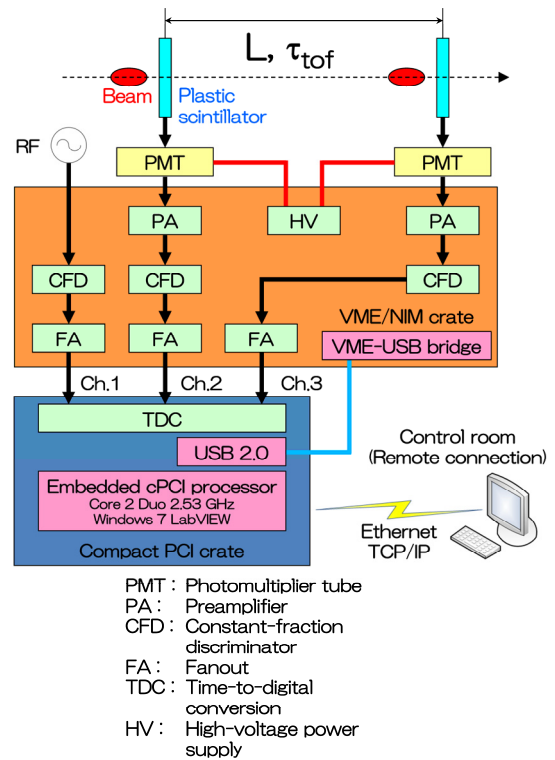


図 4 : 新システムのブロックダイアグラム。

転送レートで、コントローラ側にデータの転送が可能となった。バッファは 2 台内蔵されており、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。TDC の仕様を表 1 に示す。このため、光電子増倍管によって増幅された信号と RF クロックを別々のチャンネルに入力し、一気にデータを収集するプログラムを構築中である。従来の TDC (CAMAC 規格) は、シングルヒット、シングルストップの仕様であるのに対して、新しい TDC はマルチヒット、マルチストップの仕様である。

### 参考文献

- [1] T. Watanabe, et al., “RI-BF におけるプラスチックシンチレーションモニターを用いたビームエネルギーと縦方向のビームプロファイルの測定”, Proceedings of the 4<sup>th</sup> Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32<sup>th</sup> Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, Aug. 1-3, 2007
- [2] 久保木 浩功他, “ガス、炭素薄膜荷電ストリッパーを用いた、11-15 MeV/nucleon における 238U ビーム荷電分布測定”, in this proceedings.