

UPGRADE OF TIME MEASUREMENT SYSTEM FOR BUNCH PURITY MONITOR AT SPRING-8

Akio Kiyomichi ^{#,A)}, Kazuhiro Tamura^{A)}, Takemasa Masuda^{A)}, Haruo Ohkuma^{A)},
Hiroshi Takeuchi^{B)}, Yasuyuki Kaji^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPRING-8)

1-1-1 Koto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198, Japan

^{B)} SPRING-8 Service Co., Ltd. (SES)

2-23-1 Koto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205, Japan

Abstract

SPRING-8 storage ring has been operated steadily with isolated bunches of high bunch purity. User experiments using pulse characteristics of this synchrotron radiation have been widely performed, such as nuclear resonant scattering experiments. Single bunch impurity has been measured by a gated photon counting method. In order to realize the measurement of 1 M count per second with the trigger cycle of 208.9 kHz revolution frequencies, we have developed the time measurement system using the high performance multi-hit TDC module.

SPRING-8 バンチ純度モニター高速化のための時間測定系の高度化

1. はじめに

SPRING-8 では高純度単パルス放射光を用いた高精度実験（核共鳴散乱実験など）が広く行われており、蓄積ビームの高いバンチ純度を維持した光源リングの運転が重要である。そのためバンチ純度の変化を高精度かつ継続的に計測するバンチ純度モニターを整備して運用している^[1]。

SPRING-8 で現在稼働中のバンチ純度モニターは可視光領域のマイクロチャンネルプレート内蔵型光電子増倍管 (MCP-PMT) を光子検出器とする光子計数装置に高速光シャッターを組み合わせたモニターである^[2,3]。光子の計数には時間差波高変換器 (TAC) とマルチチャンネルアナライザ (MCA) を用いている。MCP-PMT の保護および MCA のデッドタイムを考慮して、現状では計数レートが約 20k カウント/秒に制限されているため、1 つの孤立バンチにつき約 4 分の測定時間を必要としている。計数レート 1M カウント/秒程度を実現し、測定時間を 10 秒以内にできれば Top-up 入射（約 20 秒間隔）毎のバンチ純度測定が可能となる。

バンチ純度モニター高速化のため、以下の高度化を計画している。

1. マルチヒット TDC 導入による時間測定系の高性能化
2. 光子計数装置を HPD (Hybrid Photo Detector) に更新

今回、リング周回時間 4.8 μ s のトリガ周期で 1M カウント/秒の測定を可能にするため、計画 1 を実施した。CAEN 社製 VME 規格の高時間分解能マルチヒット TDC モジュール V1290N^[4] を導入し、時間測定系の高度化を行った。

本稿では、CAEN TDC V1290N 導入における Solaris デバイスドライバと API 関数の開発、そして TDC を用いた実ビーム計測について報告する。

2. 時間測定系の更新

SPRING-8 蓄積リングには電子が安定に存在できるバケットが 2436 個あり、電子はその中でバンチと呼ばれる塊を形成してリング内を周回している。高周波加速の周波数が 508.58MHz であるため、バケットの時間間隔は約 2ns となる。少数バンチモードのときの典型的なバンチ電流値は 1mA であるが、この時の孤立バンチの中には 3×10^{10} 個の電子が含まれている。バンチ純度モニターにおいて、孤立バンチ前後のバケットにおける電子の有無を判断するためには 3×10^{10} 以上のダイナミックレンジと 2ns 以下の時間分解能が必要となる。SPRING-8 では、ポッケルセルを用いた消光比 10^5 の光シャッターを開発した。これにより光子計数装置に必要なとされるダイナミックレンジは 10^5 程度となる。

現在の光子計数装置では、TAC で設定された測定範囲 50ns を MCA の 4096ch でカバーする設定になっており、バンチ純度の測定時には測定対象のバンチを中心とする ± 25 ns の領域についてのみ光子計数測定を行っている。現状では MCP-PMT の保護と MCA のデッドタイムを考慮して、蓄積電流 100mA の時に MCP-PMT の出力レートが約 20k カウント/秒となるように ND フィルターなどの光学系を調整している。測定範囲 50ns の中に 1mA 孤立バンチが 1 つあると仮定すると、バンチあたりの信号レートは 200 カウント/秒となる。1M カウント/秒のイベントレートで出力が可能な光子検出器およびその処理が可能な高速時間測定系が実現できれば、1mA のバンチあたりの信号レートを 10k カウント/秒まで上げることができ、高速の純度測定が可能となる。

1M カウント/秒のイベントレートで計測を実現するため、時間測定系を高時間分解能マルチヒット TDC モジュール V1290N と CPU モジュールの構成

[#] kiyomichi@spring8.or.jp

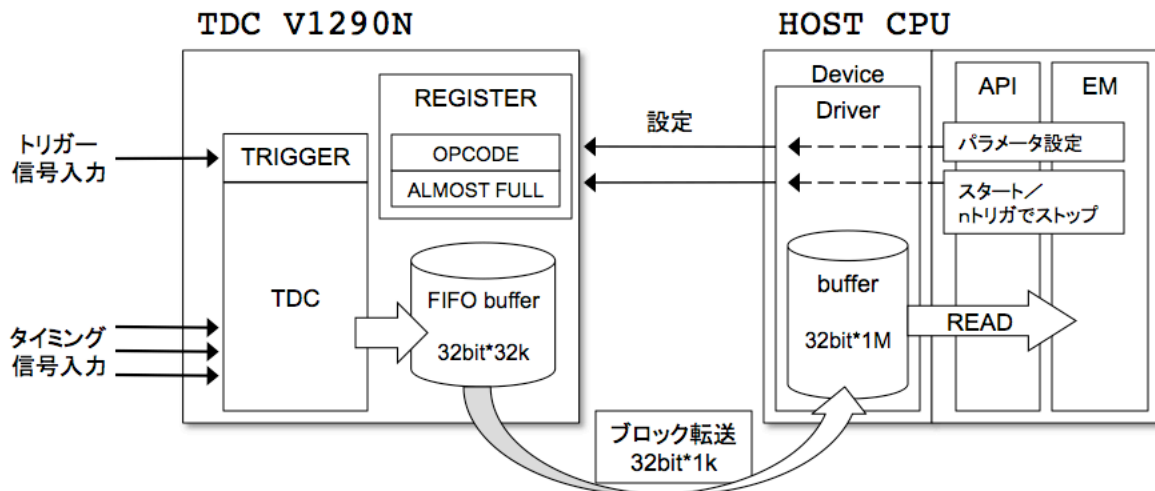


図 1 : TDC およびデバイスドライバの動作概念図

による VME システムで構築した。今回採用した V1290N の主要スペックを以下に挙げる。

- 16 channel Multi-hit TDC
- 時間分解能 : 25ps
- 最大測定範囲 : $52\mu\text{s}$ ($21\text{bit}, 25\text{ps} * 2^{21}$)
- Double hit resolution: 5ns
- Output buffer: 32k words (32bit/word)

TDC V1290N はリング周回時間 $4.8\mu\text{s}$ (周回周波数 208.9kHz) に対して、十分な測定可能時間を持っているため、一度の計測でリング 1 周分の時間構造測定が可能となる。また、ボード上に 32k words ($32\text{k} * 32\text{bit}$) の FIFO バッファを持ち、ブロック転送モードをサポートしている。

3. デバイスドライバと API 関数の開発

SPring-8 では VME 計算機のオペレーティングシステムに Solaris を採用している。我々は、CAEN TDC V1290N を導入するために、Solaris デバイスドライバの開発を行った。図 1 に TDC およびデバイスドライバの動作概念図を示す。

V1290N はトリガマッチングモードを選択し、周回周波数 208.9kHz の信号をトリガ入力とした。トリガ入力毎にイベント番号が更新され、イベント番号を含むイベントヘッダと上位ビットにチャンネル番号が付与された TDC 計測データが FIFO バッファに書き込まれる。ホスト CPU から各パラメータや割り込み待ちを行うためのレジスタ設定を行うデバイスドライバを開発した。ALMOST FULL レジスタにはバッファサイズ (32k) より小さい値を与える。バッファのデータ量が ALMOST FULL に達したところで割り込みが入り、ホスト CPU からデータの読み出し転送を行う。データ転送はブロック転送モードで行う。CPU ボード上のメモリバッファに long int 型で 1M 個の配列を用意した。設定したイベント数に達するか、配列の最大値に達した時点でブロック転送を終了する。計測終了後にホスト CPU

のメモリバッファ上に保存したデータを下流の計算機より読み出す。

TDC からホスト CPU へのデータ転送速度を計測した。ブロック転送を使用しない場合は $1\mu\text{s}/\text{word}$ 、ブロック転送を使用した場合で $130\text{ns}/\text{word}$ であった。バンチ純度測定において 1M カウント/秒程度の計測を行うとき、1 イベントあたり約 5 ヒット、TDC データとしてはイベントヘッダも含めて 6words 程度である。トリガ周期 $4.8\mu\text{s}$ に対してブロック転送モードを使用することで充分測定が可能である。

V1290N 用のドライバと共に、パラメータ設定、データ収集開始、データ読みだしなどを行う API 関数を用意した。この API 関数を用いて、MADOCA 制御フレームワーク^[5]用のアプリケーションプログラムを開発した。

4. 新時間測定系による実ビーム計測

4.1 準備

SPring-8 のバンチ純度測定は蓄積リングの加速器診断用ビームライン BL38B2 で行っている。開発した時間測定系の性能を検証するために、周回周波数 208.9kHz の信号をトリガとして放射光を受光した

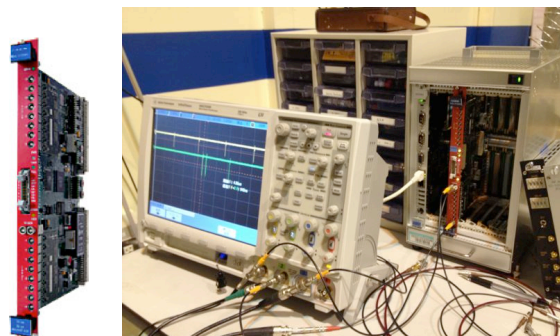


図 2 : CAEN TDC V1290N と測定の様子

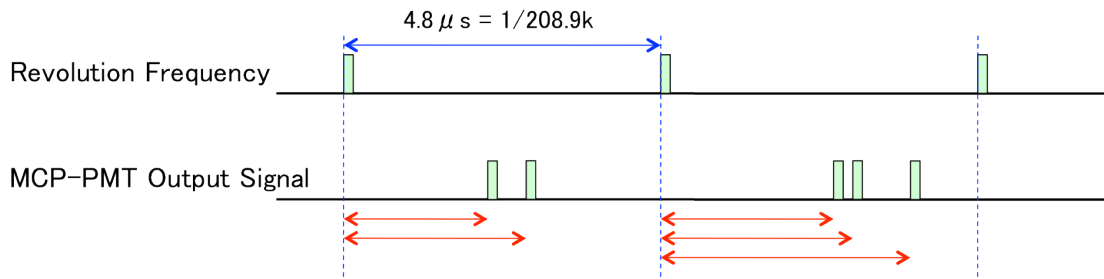


図3：新時間測定系による実ビーム計測のタイミングチャート

MCP-PMT の出力信号を計測した。図2に TDC モジュールおよび測定の様子を示す。TDC のトリガ入力部は 25ps のジッターがあるため、周回周波数の信号はトリガ入力に使うと共に TDC チャンネルに入力して計測した。図3は新時間測定系による実ビーム計測のタイミングチャートを表す。

4.2 測定

測定時の SPring-8 の運転モードは「11-bunch train x 29」であった。このモードは連続する 11 個のバンチの集団（トレイン）が全周にわたって等間隔に 29 個蓄積された運転モードである^[6]。

測定は 400k イベントの計測を 10 回行った。トリガレートはリング周回周波数の 208.9kHz であるので、1 回の計測時間は約 2 秒である。計測データより MCP-PMT の出力信号と周回周波数の信号との時

間差を 1 ビン 25ps のヒストグラムとした。図4はそのプロットである。周回周期 4.8 μs に対して、29 個のトレインが均等に分布していることを示している。

図5は時間軸 200ns 付近の 1 つのトレインを拡大したものである。11 バンチをきれいに分離できることを確認した。新時間測定系によってリング 1 周分のバンチ測定が可能であることを示した。

5. まとめと今後の展望

SPring-8 バンチ純度モニター高速化に向けて、時間測定系の高性能化を実施した。高時間分解能マルチヒット TDC モジュールと CPU モジュールの組み合わせによる VME システムで、1M カウント/秒程度の測定が可能な時間測定系を構築した。

現在、MADCOA 制御フレームワーク上での制御ソフトウェアおよびバンチ純度測定 GUI の開発を進めている。2012 年度後期の運転では現行のバンチ純度測定と並行して、新システムの試験運転を行う予定である。また、光子計数装置を HPD に更新する計画も進めており、最終的には 1M カウント/秒の計測を実現し、バンチ純度測定の高速化を図る。

今回開発した時間測定系はリング周回時間 4.8 μs 分のデータを取得できることから、バンチ電流モニターへ応用することも検討している。

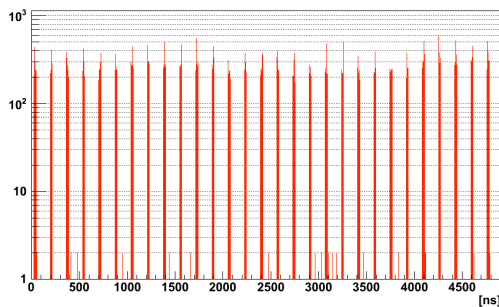


図4：リング1周分の時間構造。29 個のトレインが均等に分布。

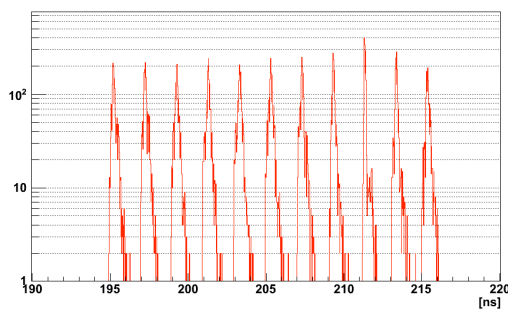


図5：1トレインを拡大したプロット。11 個のバンチ構造を測定。

参考文献

- [1] Y. Kaji, et al., "Development of Bunch Purity Measurement GUI for SPring-8 Storage Ring", Proc. of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Wako, Japan, Aug. 2007, p.422.
- [2] 青木毅、田村和宏「SPring-8 における高純度バンチ運転」、放射光 July 2006 Vol.19 No.4 p.223.
- [3] K. Tamura, et al., "Single Bunch Purity during SPring-8 Storage Ring Top-up Operation", Proc. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, Japan, Aug. 2004, p.581.
- [4] <http://www.caen.it/cs/site/> search "V1290N"
- [5] R. Tanaka et al., "The first operation of control system at the SPring-8 storage ring", Proc. of ICALPECS'97, Beijing, China, 1997, p.1.
- [6] http://www.spring8.or.jp/ja/users/operation_status/schedule/bunch_mode_b12/