

# SPring-8 線型加速器ビーム位置モニター用同期データ収集システムの更新 UPGRADE OF THE EVENT-SYNCHRONIZED DATA ACQUISITION SYSTEM FOR THE SPRING-8 LINAC BPMS

増田剛正<sup>#</sup>, 植田倉六, 清道明男, 松本崇博, 柳田謙一  
Takemasa Masuda<sup>#</sup>, Souroku Ueda, Akio Kiyomichi, Takahiro Matsumoto, Ken-ichi Yanagida  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

## Abstract

In the SPring-8 linac, the event-synchronized data acquisition system for about 50 sets of non-destructive beam position monitors (BPMS) with four electrodes has been utilized for beam diagnostics and feedback control during the top-up operation since 2004. The system can collect all the BPM data synchronizing to every beam shot with maximum repetition rate of 10Hz and record all the synchronized data into the relational database. Recently, the new six-electrode BPM system has been developed for measurement of second-order moments from which we can deduce beam size of the beam. In order to treat the six-electrode BPMS, the event-synchronized data acquisition system has been upgraded. Since no physical space for the system expansion was left, a new OPT-VME slave board with 128-bit digital inputs was developed for the interface with a signal-processing unit for six-electrode BPMS. Reflective memory boards have been employed as the hardware shared-memory network to realize fast and real-time data transmission and synchronous control of all the related software processes running on the VME computers. Both stable operation of data-acquisition processes in real-time scheduling class in Solaris OS and performance improvement of the OPT-VME device driver by busy-waiting have been achieved by introducing multi-core CPU boards into the VME system. As the result of these improvements, we have succeeded in the data acquisition of all the BPMS within 16ms while the number of acquired signals was increased.

## 1. はじめに

SPring-8 線型加速器では、主にトップアップ運転に対応するために、約 50 台の 4 電極非破壊ビーム位置モニター(BPM)からの全てのデータをビームに同期して取得してデータベースに記録する同期データ収集システムを 2004 年から整備しており、ビーム不安定性の原因究明やフィードバック制御に役立っている<sup>[1]</sup>。これは、6 台の VME 計算機と 1 台の PC を共有メモリネットワーク (SHM-net) で接続し、VME 計算機で取得した全 BPM データを PC で集めて、商用リレーショナルデータベース (RDB) である Sybase に書き込むシステムで、当時は線型加速器の最大繰り返し周期である 10Hz 運転に対応していた。更新前の同期データ収集システムの構成図を Figure 1 に示す。

線型加速器では、ビーム監視機能を強化するため、BPM の 6 電極化を進めている<sup>[2]</sup>。6 電極 BPM の導入によりビームの二次モーメントが測定出来るようになり、ビームの広がりに関する物理量が得られるようになる。6 電極 BPM の導入に合わせて、昨年度 BPM 同期データ収集系の更新を実施した。また、システムのハードウェアおよびソフトウェアの老朽化対策も併せて実施した。

本稿では、同期データ収集システムの具体的な更新内容と更新後のパフォーマンスについて述べる。

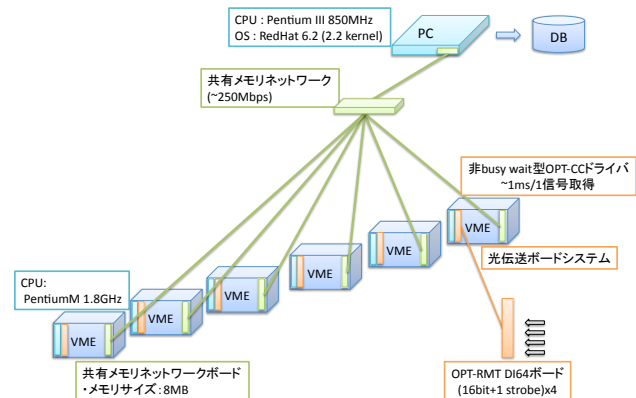


Figure 1: Schematic diagram of the original event-synchronized data acquisition system for the Linac BPMS.

## 2. システムの更新

### 2.1 128+8 ビットデジタル入力光伝送ボードの開発

分散設置された BPM 信号処理回路からのデータを 6 台の VME 計算機に高速かつ確実に集約するため、SPring-8 で開発された光リンクのリモート I/O システムである光伝送ボードシステム<sup>[3]</sup>を使用している。4 電極 BPM 信号処理回路との取り合いには、4 電極×(16 ビット+1 ストローブビット)のデジタル入力リモートボードである OPT-RMT DI64 ボードが用いられている。

6 電極化を進めるにあたり、取り合い信号数を 2 系統分増やす必要が生じる。この増加分を補うアプローチとして、信号密度を変えずに設置スペースを

<sup>#</sup> masuda@spring8.or.jp.com

1.5 倍に拡張する方法と、信号密度を 1.5 倍を増やして設置スペースを変えない方法がある。しかし実際には機器の設置スペースに余裕がない場所が存在するため、拡張方法としては後者を採用することになった。そこで新たに 128+8 ビットのデジタル入力リモートボードである OPT-RMT DI128 ボードの開発を行った。6 電極 BPM 信号処理回路との取り合いのためには 96+6 ビットの入力ボードで十分であるが、対称性を考慮して 2×(64+4) ビットの入力が可能なボードとして製作した。現場での信号確認がしやすいよう、新たにボード上部にインジケータを設けた。開発した OPT-RMT DI128 ボードを Figure 2 に示す。また OPT-RMT DI64 ボードとの比較を Table 1 にまとめる。

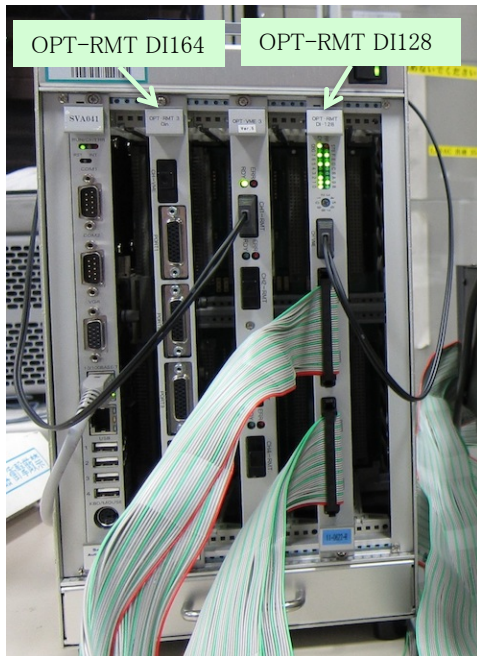


Figure 2: Newly developed OPT-RMT DI128 board.

Table 1: Comparison between OPT-RMT DI128 and OPT-RMT DI64 board.

|           | OPT-RMT DI128         | OPT-RMT DI64          |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 入力点数      | 128 ビット               | 64 ビット                |
| 入力ストロープ点数 | 8 ビット                 | 4 ビット                 |
| 入力コネクタ    | KEL 80 ピンコネクタ×2       | 高密度 D-Sub 26 ピンコネクタ×4 |
| FPGA      | Cyclone IV EP4CE6F256 | ACEX EP1K100          |
| 外形寸法      | 6U 1 スロット幅            | 6U 1 スロット幅            |

OPT-RMT DI128 ボードを開発したことで、4 電極 BPM から 6 電極 BPM への制御システムとしての移

行は容易に行えるようになった。特に配線距離が長い VME との間の光ケーブルを追加で敷設することなく移行が行えるのは大きなメリットであると言える。

## 2.2 リフレクティブメモリ(RFM)の導入

SHM-net (アドバネット社製 Advme1533 および Adpci1523) は、同期データ収集システムにおいて、高速実時間のデータ転送と割込通知による 6 台の VME 計算機間でのソフトウェア同期制御およびビームショット番号の配信を実現するために使用している重要なデバイスである。しかしながら、SHM-net が既に生産中止状態にあり代替製品への更新が必要であったこと、および共有メモリサイズの拡大とデータ転送速度の改善を図ることを目的として、今回 SHM-net と同等以上の機能と性能を有する RFM (GE 製 VMIVME5565 および VMIPCIe5565) への更新を実施した。SHM-net と RFM との比較を Table 2 に示す。

RFM は、SCSS 試験加速器や SACLA における同様の同期データ収集システムにおいて導入済みであり、元々 SHM-net 用に製作した制御フレームワークを RFM 用に改修して使用していた。今回、SPRING-8 線型加速器同期データ収集システム用の制御フレームワークも RFM 導入に合わせて修正を行った。

Table 2: Comparison between RFM and SHM-net.

|          | RFM                         | SHM-net                     |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 転送速度     | 2.2Gbps                     | 250Mbps                     |
| 共有メモリサイズ | 最大 128MB                    | 最大 8MB                      |
| 割込要求     | 3 種類、付加情報 32 ビット            | 1 種類、付加情報 4 ビット             |
| 接続ノード数   | 最大 256                      | 最大 255                      |
| ハブ       | 有り (最大 8 ポート)、トラブルノード自動切断機能 | 有り (最大 6 ポート)、トラブルノード自動切断機能 |
| ノード間伝送距離 | 300m(マルチモード), 10km(シングルモード) | 1km(マルチモード)                 |

## 2.3 マルチコア VME CPU ボードの導入

昨今 CPU のマルチコア化は進んでおり、組み込み計算機の世界にも広がっている。SPRING-8 ではフロントエンド用 VME 計算機として x86 系 CPU を搭載した CPU ボードを利用しているが、x86 系 VME CPU ボードでも 2 コア (4 スレッド) の CPU を搭載したものが利用可能になっている。フロントエンド計算機においてもマルチコア CPU は非常に強力で導入効果が高いことが分かっている。今回、6 台の VME 計算機の CPU ボードをサンリツオートメイション製 SVA-041(シングルコア Pentium M 1.8GHz) から Concurrent Technologies 社製 VX813(デュアルコ

ア Core i7 2.2GHz)に更新した。なお VME 計算機では OS として Solaris を使用している。

同期データ収集系にマルチコア VME CPU ボードを導入するメリットは以下の3点である。

- プロセスの並列化による高速化が可能。
- Solaris リアルタイムクラスで動作するプロセスの安定運用が可能。
- Busy wait の導入によってきめ細かいプロセス待ち時間の設定が可能。

同期データ収集系では、決められた時間内にデータの取得が確実に行えるよう、関連するプロセスは全て Solaris のリアルタイムクラスに設定している。Figure 3 に示す通り、Solaris のリアルタイムクラスのプロセス優先度は、システムの優先度よりも高いため、シングルコア CPU においては、仮にリアルタイムクラスのプロセスが無限ループに陥ってしまうとシステムがハングアップしてしまうという問題がある。こうなると、現場に行くと CPU ボードのハードリセットを行うしか方法がなくなり、運用上大きな問題となる。

一方マルチコア CPU の場合、同時に 2 つ以上のプロセスが動作し得るため、仮に 1 つのプロセスがリアルタイムクラスで無限ループに陥ったとしても、システムは動作を継続出来る。通常の無限ループプロセスと同じように、遠隔から計算機にログインし、無限ループプロセスを kill することで復旧可能である。このようにマルチコア CPU の導入は、Solaris リアルタイムクラスの導入を容易にし、安定的な運用に供することを可能にする。

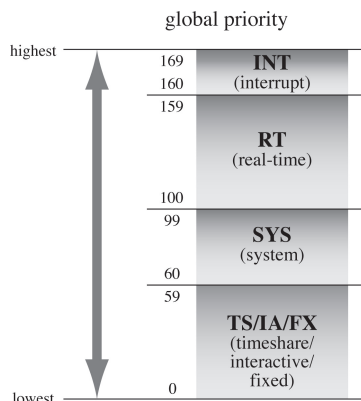


Figure 3: Global priorities of Solaris scheduling classes.

デバイスドライバ内部でハードウェアの状態が変化するのを待つ wait 処理を行う場合、通常は CPU に負荷を掛けない non-busy 型の wait 処理であるタイマーによるスリープ処理を行う。Solaris の場合、システムの HZ 値によって、スリープ時間の最小分解能が決まる。デフォルトの HZ 値は 100 であるのでスリープの最小時間は 10ms となるが、我々は HZ=1000 (スリープの最小時間は 1ms) に変更して使用している。HZ=2000 までは動作確認を取ったことがあるが、これ以上大きくするとシステムが不安定になることが分かっている。

マルチコア CPU を用いる場合、シングルコア

CPU では避けたい処理である CPU を消費する busy wait 型の wait 処理によって、HZ 値で指定された最小分解能よりも短い時間で wait が現実的となる。仮に busy wait 処理によって 1 つの CPU の負荷が高くなっても、他の空き CPU によって処理が進行できるからである、例えば 2.4 で示す光伝送ボードデバイスドライバの場合、ハードウェアとしては 40μs 待てば十分であるところでも、non-busy wait 型の処理では 1ms も待たなくてはならない (HZ=1000 の場合)。一方 busy wait 型の処理では 40μs をそのまま指定できる。このように busy wait 処理の導入により、きめ細かな待ち時間の設定が可能となり、プロセスの処理時間の短縮が可能となる。

## 2.4 光伝送ボード用デバイスドライバ高速化

元々線型加速器同期データ収集系では、RDB への書き込み処理に掛かる 50ms を除けば、最大 60Hz の同期データ取得が可能であった。光伝送ボードシステムの拡張に伴って何度かデバイスドライバの改修を行う中で、無駄な wait 処理が入り込んでしまい、改修前は 10Hz の同期収集にも対応出来ない状況になっていた。具体的には、1 台の VME で取得する最大の信号点数は 96 点であるが、その取得に約 130ms も掛かってしまっていた。

そこで光伝送ボード用デバイスドライバの処理を見直し、高速化を図った。具体的には、無駄な処理の削除、マルチコア CPU の導入を前提とした non-busy wait 処理から busy wait 処理への変更を行った。これにより、デバイスドライバの同じ処理の実行時間を約 1/10 まで短縮することに成功した。

## 2.5 データ収集・RDB 書込用 PC の更新

RFM 経由でデータを収集し、RDB へデータを書き込むプロセスが動作する PC のハードウェアおよびソフトウェアの老朽化が著しかったため、更新を行った。CPU は Dual Core Xeon 2.66GHz、HDD は RAID1 構成とした。また管理すべき OS の種類を極力減らすために、中央制御室のオペレータコンソールに合わせて SUSE Enterprise Linux Server 11 を OS として使用した。

## 2.6 収集信号の 6 電極 BPM 対応

今回 BPM を 6 電極化したのは未だ数台に過ぎないが、今後順次 6 電極化を進めていく上で都度プログラムを変更したりデータベースの登録信号を変更したりするのは効率が悪い。そこで 4 電極 BPM の信号についても予め 6 電極化し、データベースに登録をしておいた<sup>[2]</sup>。これにより同期データ収集システムで扱う信号点数は 1.5 倍に増加した。

6 電極対応に伴い、データベースのテーブルも新しく作成し直した。これに伴いアプリケーションソフトウェアから新旧 2 つのテーブルを合わせて閲覧出来るよう API 関数を作成し直した。Web browser から同期データ収集を簡便に閲覧出来る viewer も更新し (Figure 4)、新旧 2 つのテーブルからデータを閲覧出来るようにした。

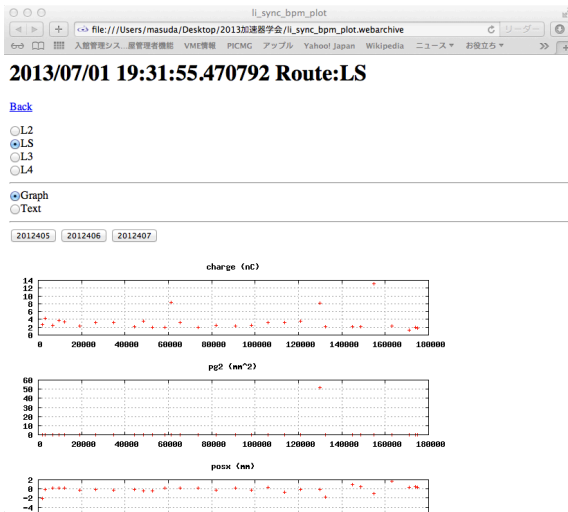


Figure 4: Data viewer for the event-synchronized data acquisition system of the linac BPM.

### 3. 更新システムのパフォーマンス

更新後のシステムの構成図を Figure 5 に示す。6 電極対応のソフトウェアに変更したため、1 台の VME で取得する最大の信号数は 1.5 倍に増えて 144

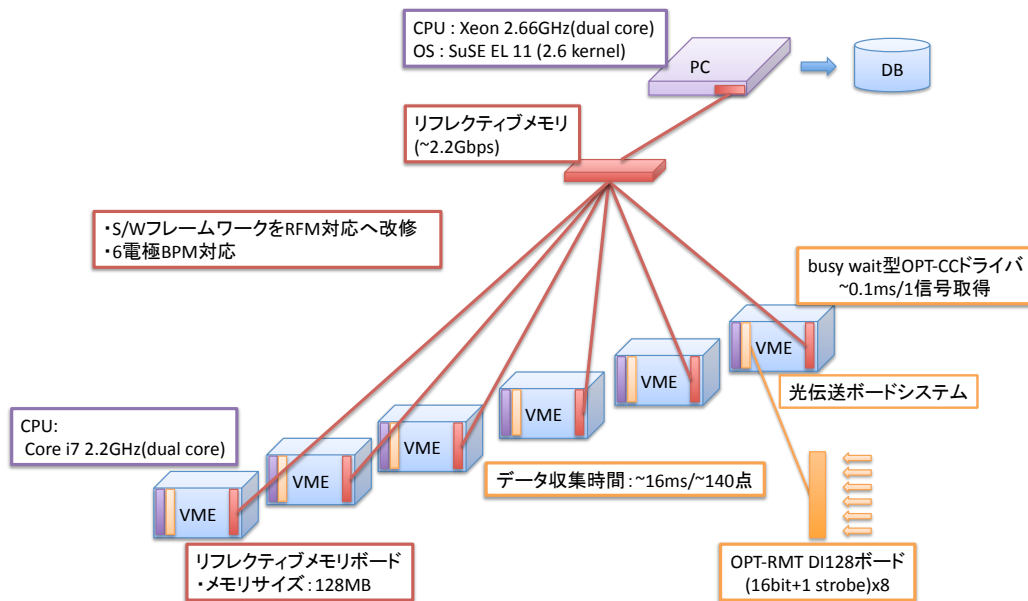


Figure 5: Schematic diagram of the upgraded event-synchronized data acquisition system.

### 4. 今後の予定

本システムは、元々BPMの同期データ収集を行うために整備したものであるが、ビーム電流モニターやモジュレータの PFN 電圧、電磁石電源の電流モニターやタイミング系のモニター信号などを追加で収集したいという要求があり、現在システムの一部拡張を始めている。最終的には VME 計算機を 5 台程度、信号を 200 点程度追加する計画で、ビームと機器との相関調査に役立てる予定である。

点となったが、データ取得に掛かる時間は約 16ms まで短縮することに成功し、RDB への収集データの書き込み処理を含めて目標としていた 10Hz でのデータ収集およびデータ書き込みはクリア出来た。仮に 10Hz 書き込みが間に合わない場合には、更にマルチコア CPU のメリットを生かして、データ取得プロセスを 2 つ以上に分離することも考えていたが、それを行わなくても余裕を持って 10Hz 取得をクリア出来た。VME 上で動作するデータ取得のためのプロセスは全てリアルタイムクラスの優先度 0 (グローバル優先度 100) で動作させている。

RFM を用いたデータ収集システムは安定に運用を続けている。動作試験開始当初は、VME 計算機をリポートした後のデータ収集システム起動時にシステムのハングアップが起きるトラブルが起きていた。これは RFM ボードに残っている割込要求信号がシステムに割込要求を出してしまったのが原因であることが分かった。同期データ収集ソフトウェア停止時の VME 間の停止順序の見直しと、ソフトウェア再起動時に割込要求信号をクリアすることでこの問題は回避することが出来た。

### 参考文献

- [1] T. Masuda et al., Nucl. Instrum. Methods. A 534 (2005) pp.415-430.
- [2] K. Yanagida et al., "Development of Six-electrode BPM System in SPring-8 Linac", Proc. of the 9th Particle Accel. Soc. of Japan, Osaka, 2012, pp.304-308.
- [3] T. Masuda et al., "Upgrade of the SPring-8 Linac Control by Re-engineering the VME Systems for Maxmizing Availability", Proc. of ICALEPCS'03, Gyeongju, Korea, 2003, pp.295-297.