

## J-PARC MR の波形データ収集装置の中長期シナリオ

### MIGRATION SCENARIO OF WAVEFORM DIGITIZERS USED IN J-PARC MR

上窪田紀彦<sup>#,A)</sup>, 山田秀衛<sup>A)</sup>, 山本昇<sup>A)</sup>, 飯塚上夫<sup>B)</sup>, 吉田奨<sup>B)</sup>

Norihiko Kamikubota<sup>#,A)</sup>, Shuei Yamada<sup>A)</sup>, Noboru Yamamoto<sup>A)</sup>, Takao Iitsuka<sup>B)</sup>, Susumu Yoshida<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK) / SOKENDAI / J-PARC Center

<sup>B)</sup> Kanto Information Service (KIS)

#### Abstract

J-PARC MR is a slow-cycle synchrotron: machine-cycle is 2.48s for Neutrino facility, and 5.52s for Hadron facility. Thus, we have demands to measure signals of accelerator components, such as a power-supply or a beam diagnostic device, for a few second duration. Since the initial beam of J-PARC MR in 2008, we introduced Yokogawa WE7000 as a standard digitizer. Several pieces were used to measure a few-second waveforms of various components. However, supply of WE7000 was terminated in 2013. Recent years, we have evaluated other products, which will be new standard digitizers in MR, and will replace current WE7000. In this report, ideas for candidates are given, and future mid-range plan is discussed.

#### 1. はじめに

J-PARC MR 加速器は 2008 年以来、大強度化への挑戦を続けている[1,2,3]。また、J-PARC の制御システムは、EPICS toolkit を用いて構築されている[4,5]。MR は、NU(ニュートリノ実験施設)向けには 2.48s、HD(ハドロン実験施設)向けには 5.52s の周期で運転する Slow-cycle synchrotron である。MR の Timing pattern の例(HD 向け)を Figure 1 に示す。入射-加速-引き出し(数秒)の時間帯はリング内のビームを制御・観測するため、MR のあらゆる機器(電源やモニタ)で「数秒×1-100kS/s」の波形データ計測需要がある。

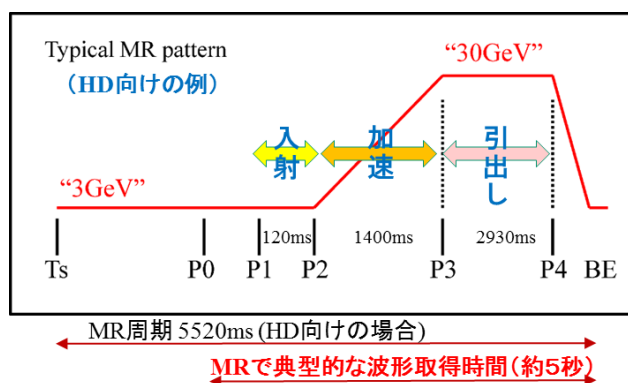


Figure 1: Typical timing pattern of J-PARC MR.

J-PARC の初期、波形監視用 oscilloscope として横河の WE7000[6]が使用されていた。陽子リニアックをつくばでコミショニングしていた 2003 年には、WE7000 の EPICS 対応が報告されている[7,8,9]。MR は陽子リニアックと時間構造が違うソフトウェアで対応した。

しかし、横河の WE7000 の販売を 2013 年に終了した。また、今後の MR の高繰り返し化(周期を 2.48s から短くする[1])に、WE7000 のデータ転送速度では間に合わな

いことが判明している。このような背景から、WE7000 に代わる波形データ収集装置が必要となった。

この報告では、MR の波形データ収集の現状と、中・長期的な展望を議論する。

#### 2. MR 向け波形データ収集装置の現状

##### 2.1 WE7000 の使用状況

MR での波形データ収集は、横河 WE7000 で対応してきた。Figure 2 では、DCCT(MR のビーム電流)信号を、100kS/s × 5 秒で digitize している。また、Figure 3 は、(左)遅い取り出しの Spill や主要電源の波形を 100kS/s × 3 秒で、また(右)主電源電磁石の電流波形を 10kS/s × 5 秒で、digitize して画面表示している。MR では建設期(2007-2008 年頃)に WE7000 が 30-40 式導入され、約 10 年間ほとんど故障しないまま、現在も使用を続けている。

##### 2.2 WE7000 から IOC へのデータ転送時間

2012 年、DCCT の計測で、WE7000 と EPICS IOC (Input Output Controller)間のデータ転送時間の調査を行った。100kS/s で digitize した場合、計測時間 1 秒当たりデータ転送に 0.1 秒強、また IOC でのデータ処理時間に 50-60ms かかることが分かった[10]。MR での利用環境を考慮すると、MR の周期を短くしていくと、WE7000 は 2 秒を切る周期には対応できないと結論された。

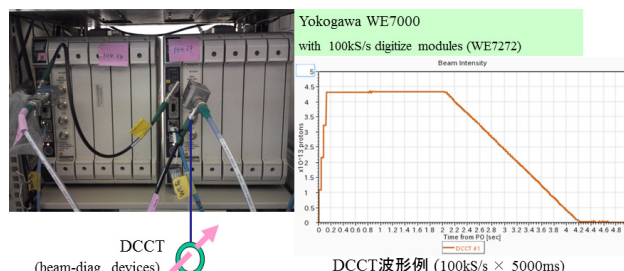


Figure 2: DCCT waveform digitized by WE7000.

<sup>#</sup> norihiko.kamikubota@kek.jp

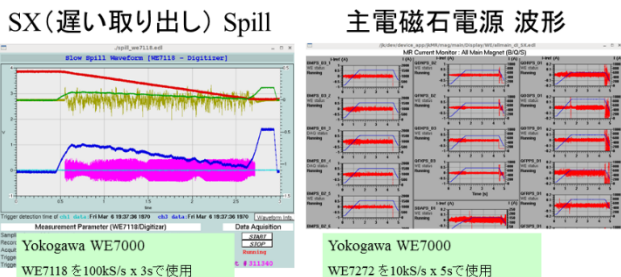


Figure 3: Examples of digitized waveforms by WE7000.

### 3. 波形データ収集:次期システムの状況

#### 3.1 はじめに

MR で要求される数秒の digitize が出来る商用製品はあまり無い。MR で使うには、商用製品で数秒のデータを保持できる大きなメモリが付いたものか、短い時間のデータを繰り返し IOC に転送して後処理するか、といった工夫が必要になる。現時点では、3種類のシステムがMR 向け波形データ収集装置として整備されている。

- **普通システム:**横河は、SL1000 を WE7000 の後継としている。10-100kS/s の一般的な用途向け。
- **低速システム:**横河 FA-M3 PLC の F3HA06(高速データ収集モジュール)を、MR の波形データ収集用に整備した。1-10kS/s の低速レンジで、数 ch のみでよい時の低コストプラン。
- **高速システム:**ビームモニタなどで 1MS/s のサンプリングが必要な場合、前処理やデータ転送に慎重な処理が必要である。このような場合、カスタマイズした専用機器を設計・開発している。

WE7000 はほとんど故障していないため、今のところ急いで次期システムに交換するシナリオは策定していない。機器更新や新規追加の時、取得する信号に応じ、3つのシステムのどれかを選択することになる。

#### 3.2 普通システム:SL1000

SL1000 は、横河の多ch・高速データアキュイジションユニットである[11]。Module 型(8slot)で多ch に対応できること、様々な AD モジュール(12bit 100Ms~16bit 100k)があること、横河が EPICS device-support sample を提供している、などが特徴である。

J-PARC MR では、まず 10kS/s × 数秒の digitizer として EPICS 環境を整備した[12]。現在、6 式(Trim Coil や入射セプタムの波形監視)が実機に投入されている。Figure 4 に、Trim Coil の例を示す。



Figure 4: Digitized waveforms by SL1000.

#### 3.3 低速システム:F3HA06

電源監視では、1 か所で必要な信号数は 1-2 点である。SL1000 では ch 当たりのコストは割高になる。MR では横河 FAM3 PLC が標準 I/O Platform なので、PLC モジュールで波形データが収集できないか検討した。

高速データ収集モジュール PLC F3HA06 (or HA12) は、16bit, 6ch(HA12 は 12ch), 200kS/s で設計されている[13]。が、サンプリングを敢えて遅くし(200kS/s → 1-10kS/s)、取得データを CPU で処理する EPICS ソフトウェアを開発し、MR 向けの秒単位の digitizer とした。サンプリングは CPU とモジュール間のデータ転送速度で律速され、1kS/s なら 12ch, 10kS/s なら 2ch まで可能である。

2017 年 5 月、実機での最初の試験として、SX パンブ DSP 波形信号 4ch を 4kS/s × 3.5 秒で計測した(Figure 5)。低速システムの本命は HA06 であるが、試験は手持ちの HA12 で行った。特に問題なく安定に動作し、F3HA06 (or HA12)は低速で良い場合の選択肢となることを示した。

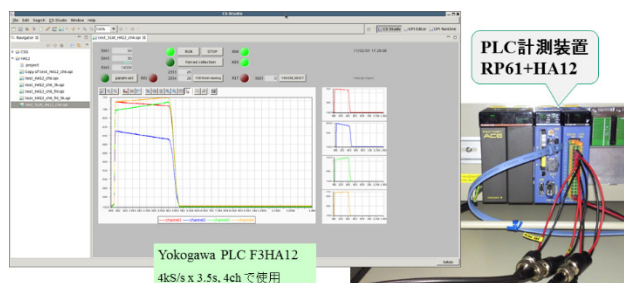


Figure 5: Digitized waveforms by F3HA12.

#### 3.4 高速システム:カスタマイズ機器

MR のビームモニタ向けの次期波形データ計測システムでは、現行の WE7000(100kS/s)以上の高サンプリング、また SL1000(16bit)よりも高い分解能や良い S/N 比、などが望まれた。無論、商用品では適当なものが無い。

カスタマイズ開発の例として、Beam Loss Monitor (BLM)用の VME 型 ADC board (6ch)がある[14,15]。24bit AD chip を搭載して 1MS/s の波形データを収集し、また On-board FPGA で各種前処理(1MS/s の元データから常時監視用の間引きデータ 1kS/s 生成、オフセット補正、MPS 発報処理、など)を行う。この ADC board を用いた BLM システムは 2016 年から稼働している[16,17]。Figure 6 に、ADC Board と現場の実装状況を示す。

カスタマイズ開発で対応出来た BLM を参考に、他にもカスタマイズが必要なものが取りざたされている。個別の案件それぞれに、慎重に設計・開発を進めたい。

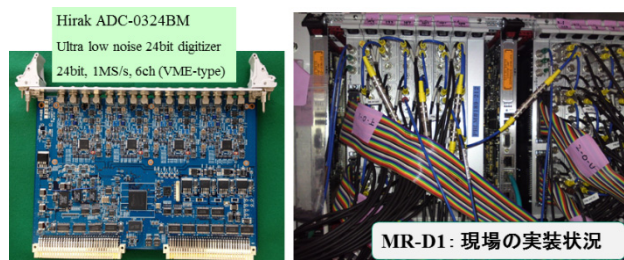


Figure 6: Customized ADC for MR BLM system.

## 謝辞

この報告を用意するにあたり、低速システムの実機試験では柳岡栄一氏にご協力いただきました。また、高速システムで示した BLM システムは、佐藤健一郎氏が中心になって開発したものです。深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] S. Igarashi *et al.*, “Accelerator Based Neutrino Experiments T2K J-PARC”, Proc. of 13rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Chiba, Aug. 8-10, 2016, MOOLP03, pp.14-18.
- [2] M. Tomizawa *et al.*, “Present Status and Future Plans of J-PARC Slow Extraction”, Proc. of 13rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Chiba, Aug. 8-10, 2016, MOOM05, pp.70-74.
- [3] K. Hasegawa *et al.*, “Performance and Status of the J-PARC Accelerators”, Proc. of IPAC 2017, Copenhagen, Denmark, May 14-19, 2017, pp.2290-2293.
- [4] <http://www.aps.anl.gov/epics/index.php>
- [5] N. Kamikubota *et al.*, “J-PARC Control toward Future Reliable Operation”, Proc. of ICALEPCS 2011, Grenoble, France, October 2011, pp.278-381.
- [6] <http://www.yokogawa.com/jp-yimi/tm/Bu/WE7000/>
- [7] 高木誠、他、“ネットワークベース波形モニタの EPICS ドライバ開発と評価”, 第 28 回リニアック研究会、東海村、茨城、Jul.-Aug. 2003, pp.440-442.
- [8] 上窪田紀彦、他、“J-PARC 60MeV 陽子リニアック制御とネットワークベース波形モニタ”, 第 14 回加速器科学研究発表会、つくば、茨城、Nov. 2003, pp.251-253.
- [9] M. Takagi *et al.*, “Network-based Waveform Monitor for the J-PARC Accelerator Complex”, Proc. of ICALEPCS 2003, Gyeongju, Korea, October 2003, pp.497-499.
- [10] 上窪田紀彦、内部報告(J-PARC MR 制御) “DCCT-WE study 報告 (3/08)”, 2012 年 3 月 8 日.
- [11] <http://www.yokogawa.com/jp-yimi/tm/Bu/SL1000/>
- [12] S. Yamada, “Acquisition of long waveform using Yokogawas S11000”, presented in EPICS Collaboration Meeting, May 2013, Michigan, USA.
- [13] <http://www.yokogawa.co.jp/itc/Products/ADDA/itc-prdad15-ja.htm>
- [14] K. Satou *et al.*, “Development of New Data-Taking System for Beam Loss Monitors of J-PARC MR”, THPME130, Proc. of IPAC 2014, Dresden, Germany, June 2014, pp.3547-3549.
- [15] <http://hirak.co.jp/business/adc-0324bm/>
- [16] K. Satou *et al.*, “Development of Wide Dynamic Range Beam Loss Monitor System for J-PARC MR”, TUOAB3, Proc. of IPAC 2017, Copenhagen, Denmark, May 2017, pp.1248-1251.
- [17] K. Satou *et al.*, “Development of Wide Dynamic Range Beam Loss Monitor System for J-PARC Main Ring”, Proc. of 14th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Sapporo, Aug. 1-3, 2017, WEP079, in press.