

## OVERVIEW OF TIMING SYSTEM FOR J-PARC MR

Norihiko Kamikubota<sup>1,A)</sup>, Takahiro Matsumoto<sup>A,B)</sup>, Noboru Yamamoto<sup>A)</sup>, Hidetoshi Nakagawa<sup>A)</sup>, Tadahiko Katoh<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8).

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

### Abstract

The Timing System for J-PARC 50-GeV Synchrotron (MR) has been developed. The overall status of the MR Timing System is reported in this article. During the first beam commissioning studies of MR in May and June, 2008, the MR Timing System was used widely and successfully. Experiences of constructing dedicated timing signals for injection devices are given in detail.

## J-PARC MR タイミングシステムの概要

### 1. はじめに

J-PARC MR加速器は平成20年5月にビームコミッションを開始した<sup>[1]</sup>。MR加速器機器は膨大な数になるが、すべてを同期して動かさなければ加速器システムとしては動かない。具体的には、MR加速器の1サイクル(典型的には3.64秒)の中で、それぞれの機器に適切なタイミング信号を確実に供給することが必要である。

本稿では、MRタイミングシステムを説明し、あわせてビームコミッションでの経験を報告する。

### 2. J-PARC MR向けタイミングシステム

#### 2.1 タイミングシステムの進展

J-PARC加速器用タイミングシステムは、先行するLinac・RCS向けに既に運用している(平成18年11月にLinac、平成19年9月にRCSで運用開始)<sup>[2]</sup>。下流であるMR向けのタイミングシステムの整備は平成19年を中心に行われ、平成20年5月に運用を開始した。

MR向けタイミングシステムの開発・整備にあたり、VMEモジュールやNIMモジュールなどJ-PARC加速器用に開発済みの既存ハードウェアは、可能な限り先行するLinac・RCSと同じものを選定した。

VME計算機のCPUおよびOperating System (OS) は、Linac・RCSのもの(PowerPC系CPUとVxWorks)と異なり、Intel系CPUとLinuxを選定した。MR加速器の1サイクルはLinac・RCSの40ms(25Hz)に比べて2桁長く、OSにVxWorksのような高度リアルタイム性能は不要と判断した。その上で、最近の市場で最も普及し低コストで入手できるものを選択した。なお、タイミング用以外の一般制御用途にも、MRではIntel系CPUとLinuxを選定し使用している。

#### 2.2 MRタイミングシステムの概要

J-PARC加速器向けタイミング基幹信号(基準発振信号12MHz、トリガ信号25Hz、運転情報タイプ列)は、中央制御棟から加速器エリア全域に分配されている。MRにも、中央制御棟から3ヶ所の電源棟に伝送されている(図1参照)。また、図2にタイミング基幹信号処理回路の実装例を示す。

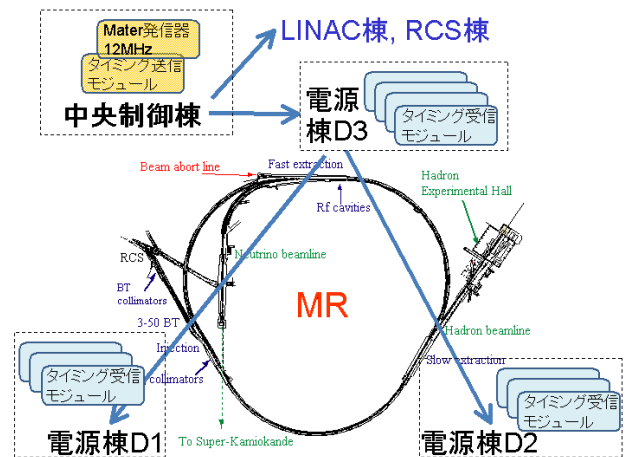


図1: MRタイミングシステム全体図

基幹信号のうち運転情報タイプ列は、Linac・RCS・MRの3加速器で同期運転する際の共有情報を含んでいる。タイプ列は、中央制御棟のタイミング送信VMEモジュールから、J-PARC全域に分散配置された多数のタイミング受信モジュールに伝送される。

それぞれのMR機器にMRサイクルのどこでタイミング信号を出すかは、タイミング受信モジュールが制御している。受信モジュールは、受取る運転情報タイプ列と自身のメモリ上の設定情報(LUT, Look Up

<sup>1</sup> E-mail: [norihiko.kamikubota@kek.jp](mailto:norihiko.kamikubota@kek.jp)

Table)を照らし合わせ、「予定通りに」タイミング信号を発生する。このため、受信モジュールが発生する信号をスケジュールドタイミング信号と呼んでいる。実際の信号は、受信モジュールとペアになるNIMモジュールでTTL(または光)で信号を発生させている。なお、スケジュールドタイミングは、1 $\mu$ s-0.1 $\mu$ sの精度の信号を発生するよう回路設計されている(計算機制御できる最小単位は約10ns)。



図2 タイミング処理回路の実装(第3電源棟)

MRでは、配線取合いをわかり易くするために、電源棟・機器グループごとに各グループ専用のラックとタイミング制御用VME計算機を用意した。平成20年5月の時点では、MR全体で20台のVME計算機、39台のタイミング受信モジュールを実装した。また、スケジュールドタイミング信号数は123点であった。

### 2.3 タイミングソフトウェア

J-PARC加速器の制御には、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) ツールキット<sup>[3]</sup>を採用している。タイミング用送信・受信VMEモジュールに対しLinux対応driverを開発し、その上にEPICS データベースを構築した。このデータベースは、VMEモジュールのレジスタを読み書きするだけの単純なものである。

上位アプリケーションソフトはPythonを使用している。Pythonを採用したのは、タイミング信号制御は単純なI/Oで済ませられるものではなく、高級スクリプト言語の多様な処理機能が必要になると考えたからである。例えば、受信モジュールのタイミング信号が実際に出るかどうかは送信モジュール状態も確認する必要があったり、1受信モジュールだけで設定領域エリア(LUT)は1024点あったりと、目的とするタイミング信号との対応付けは簡単ではない。

図3は、Pythonで開発したタイミング受信モジュールの状態表示画面である。

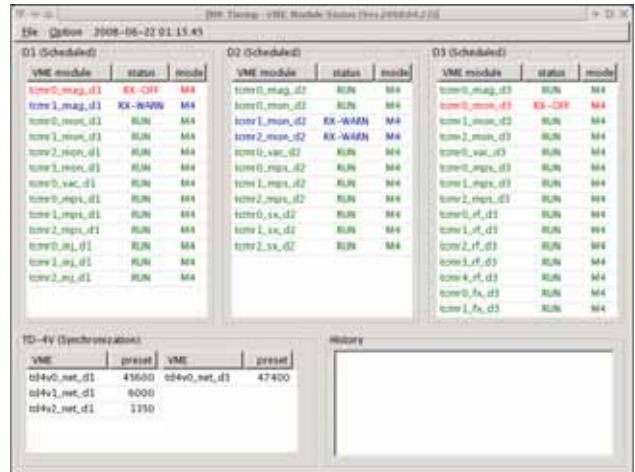


図3: タイミング受信モジュールの状態表示

### 2.4 同期タイミングについて

ほとんどのMR機器は2.2章で説明したスケジュールドタイミング信号で制御されるが、MR入射機器など一部機器ではビームに同期した高精度(ns単位)のタイミング信号が必要である。この目的のために、前段リングであるRCSの出射キッカー用信号を光ファイバーケーブルでMRまで伝送し、同期タイミング信号と呼んでいる。同期タイミング信号は、スケジュールドとは全く別系統の信号伝送路・信号処理回路モジュールを用意している。

同期タイミング信号は、入射キッカーなど入射機器のほかに、ビームモニタでも使用されている。また、平成20年12月以降の次回コミッショニングでは、ビーム取出しでも使用されることになる。なお、個々の同期タイミング信号の微調整は、VME計算機対応の高精度ディレイモジュール(TD-4V)で2ns単位で行っている(図2の一番下参照)。

## 3. MRビームコミッショニングでのタイミングシステム

### 3.1 MR入射機器とタイミング

平成20年5月~6月のMRビームコミッショニングでは、3 GeV DCモード(加速無し)でビーム周回運転を行った。この期間、MRタイミングシステムは、主電源、ビームモニタ、MPS、RF、入射機器、などにタイミング信号を供給した。この章では、最も活発に議論された入射機器に焦点を当てて説明を試みる。入射機器とは、パルスバンド電源、キッカー電源(3台)、セプタム電源(2種類)、パンプ電源(3台)、ダンプキッカー電源(4台)、ダンプセプタム電源、である(図4の入射機器全体図参照)。

ビームをMRリングに入射させるには、これらの入射機器それぞれに適切なタイミング信号を供給する必要がある。しかし、セプタム1はビームが来るタ

イミングより約250ms速く充電を開始する (= タイミング信号を250ms事前に出す) 必要があるなど、充電開始時間は機器ごとに事情があり異なる。

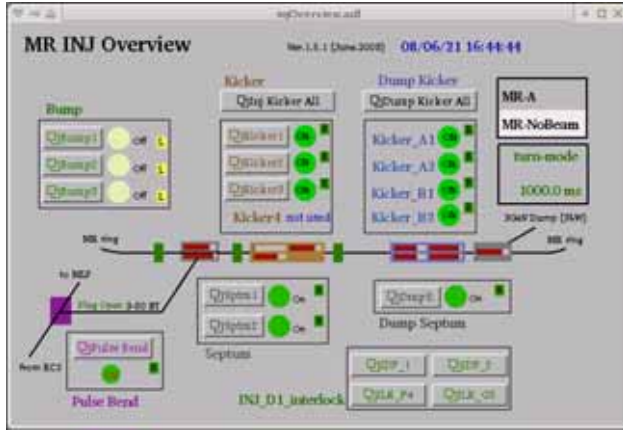


図4：MR入射機器全体の状態表示画面

すべての入射機器を実際のビームに同期させようとする時、入射機器に必要なタイミング信号の相関は図5のようになった(図5は小関忠氏が整理したものである)。これらの信号は、MRタイミングシステムのスケジュールドタイミング信号で供給した。

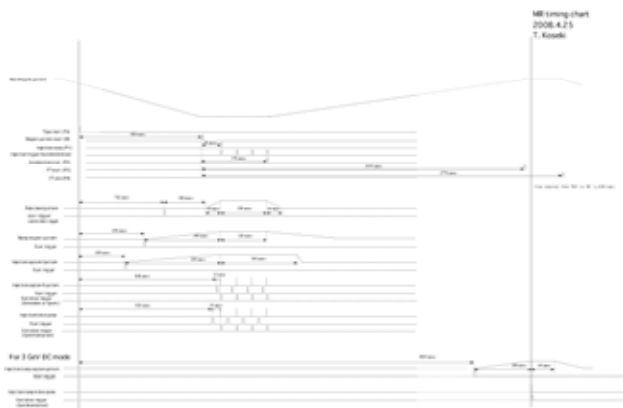


図5：MR入射機器のタイミング相関図

### 3.2 ビーム入出射と同期タイミング

上流からMR入射部に来るビームをMRリングに精度よく蹴り入れるには、入射キッカーにビームに高精度で同期したタイミング信号を与える必要がある。この目的にはスケジュールドタイミングの精度では不十分で、RCSからの同期タイミング信号を用意した(2.4章参照)。実際のビームモニタ信号を参考に、高精度ディレイモジュール(TD-4V)で同期タイミング信号に適切なディレイを与え、入射キッカーに供給した。同様の同期タイミング信号による調整はセプタム2でも行った。

平成20年5月~6月のビームコミッショニングでは、入射ダンプへのビーム出射も行った。ダンプへの蹴

り出しを担うダンプキッカーへのタイミング信号も、入射キッカー同様にビームと同期したns単位の精度が要求される。しかし、ダンプへの出射はMRリングを周回する時間(1秒程度なのでns精度を保証するのは難しい)を考慮する必要がある。この問題は、タイミング信号とビーム周回に用いるRF空きバンチ信号の間で同期を取る専用論理モジュールを開発することで解決した。ダンプへの蹴り出し指示となるタイミング信号を、空きバンチ信号と同期をとった後に1周回分(5us)の中の位相調整をTD-4Vで行い、正確にダンプエリアに出射することが可能になった。さまざまなコミッショニング経験を経て、6月後半にはスタディに用いるいろいろなビーム周回モードが選択できるようになった(図6)。

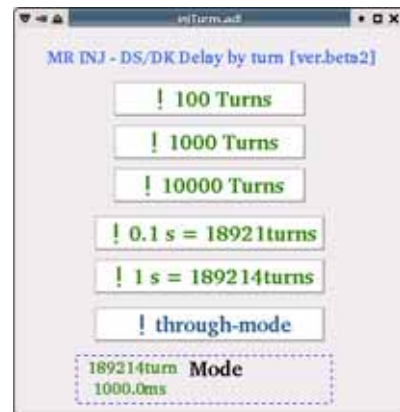


図6：ビーム周回モード選択画面

## 4. まとめと謝辞

J-PARC MR向けタイミングシステムが開発され、平成20年5月~6月にはタイミング信号が必要な全MR機器に信号を供給し、MRの初めてのビームコミッショニングに貢献した。特にMR入射機器でタイミングをどう整備するかが議論され、スケジュールド信号に加えて同期タイミングやRF空きバンチを導入し、最終的に入射機器の運転を成功に導くことが出来た。

MRタイミングシステムの開発段階では、先行するLinac・RCS担当のJAEA制御スタッフの情報を参考にしました。コミッショニング期間中は、コミッショニングチームスタッフ、RFグループ、入射機器担当の皆さんなどの協力を得ました。MR加速器の現場では、多くの関係者(職員はもちろん会社の皆さんにも)にお世話になりました。深く感謝いたします。

### 参考文献

- [1] 小関忠、J-PARC MRのビームコミッショニング、this meeting
- [2] 高橋博樹、J-PARC LINAC/RCSにおけるタイミングシステムの現状、this meeting
- [3] EPICS web site "http://www.aps.anl.gov/epics/"