

J-PARC RF イオン源 & RFQ III テストスタンドの制御系の構築

CONSTRUCTION OF CONTROL SYSTEM FOR J-PARC RF ION SOURCE & RFQ III TEST STAND

福田真平^{#, A)B)}, 澤邊祐希^{B)}, 鈴木隆洋^{A)}, 石山達也^{A)}, 川瀬雅人^{A)},
 伊藤雄一^{B)}, 加藤裕子^{B)}, 吉位明伸^{B)}, 菊澤信宏^{B)}, 大内伸夫^{B)}
 Shinpei Fukuta^{#, A)B)}, Yuki Sawabe^{B)}, Takahiro Suzuki^{A)}, Tatsuya Ishiyama^{A)}, Masato Kawase^{A)},
 Yuichi Ito^{B)}, Yuko Kato^{B)}, Akinobu Yoshii^{B)}, Nobuhiro Kikuzawa^{B)}, Nobuo Ouchi^{B)}

^{A)} Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd

^{B)} J-PARC Center / JAEA

Abstract

The installation of Cs-seeded RF-driven H⁻ ion source (RF ion source) to J-PARC LINAC is scheduled in 2014, as well as the replacement of the current RFQ to RFQ III. The test stand of RF ion source & RFQ III has been completed in the J-PARC LINAC building for the beam acceleration test. We designed test stand control system in consideration of compatibility with J-PARC accelerator. In order to protect devices, the same MPS was adopted and EPICS was implemented on the test stand. The timing system was constructed for sending a timing signal to each accelerator component device. This report describes construction of the control system in the test stand.

1. はじめに

J-PARC LINAC は、2014 年にセシウム添加高周波駆動負水素イオン源 (RF イオン源) のインストールが予定されている。また、同じく 2014 年に現在の RFQ に替えて RFQ III への換装も予定されている。これらの機器のインストールに備えて、現在 J-PARC LINAC 棟のクライストロン準備室にて、テストスタンドを組み、ビーム加速試験を行うべく準備を進めている。テストスタンドは RF イオン源と RFQ III、それらを繋ぐビームトランスポートラインで構成されており、合わせて真空機器や電磁石、各種ビームモニタが設置されている。Figure 1 にテストスタンドの構成を示す。

これらテストスタンドが実際に負水素ビームを 3MeV まで加速してビームダンプへと導く“加速器”であることから、J-PARC 加速器と同等の加速器制御環境が必要であると考え、制御系を設計・構築した。具体的には、異常時にビームを停止させ機器を保護する為の MPS (Machine Protection System) の導

入や機器を遠隔制御する為の EPICS 環境の実装、各加速器構成機器へタイミング信号を送る為のタイミングシステムの構築である。これらに加えてビームラインの CT (Current Transformer) を監視し過度のビーム電流の発生を制限する為の電流制限モニタも導入し、安全にビーム加速試験を行えるようにしている。

J-PARC LINAC における RF イオン源及び RFQ III のテストスタンドにおける制御系の構築について報告する。

2. MPS の構築と電流制限モニタの設置

2.1 MPS

テストスタンドにおいても J-PARC 実機と同様、異常発生時に素早く確実にビーム運転を停止させる必要がある。現場に設置されている緊急停止ボタンと併用して、制御系におけるビーム停止方法としては J-PARC 実機でも導入されている MPS^[1]を導入した。

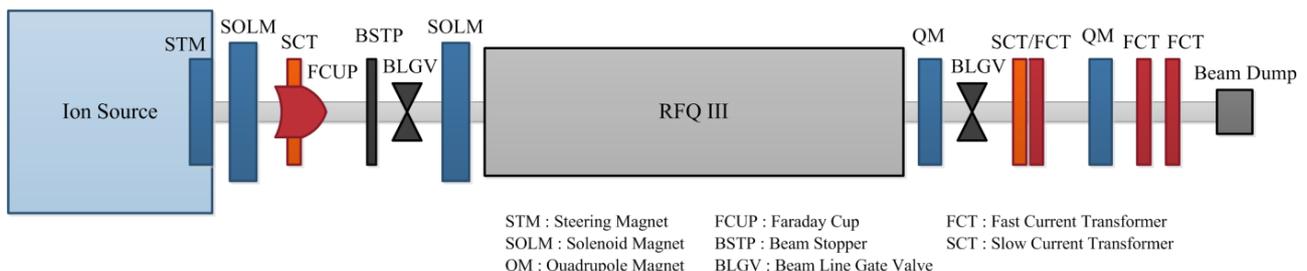


Figure 1: Composition of test stand.

[#] sfukuta@post.j-parc.jp

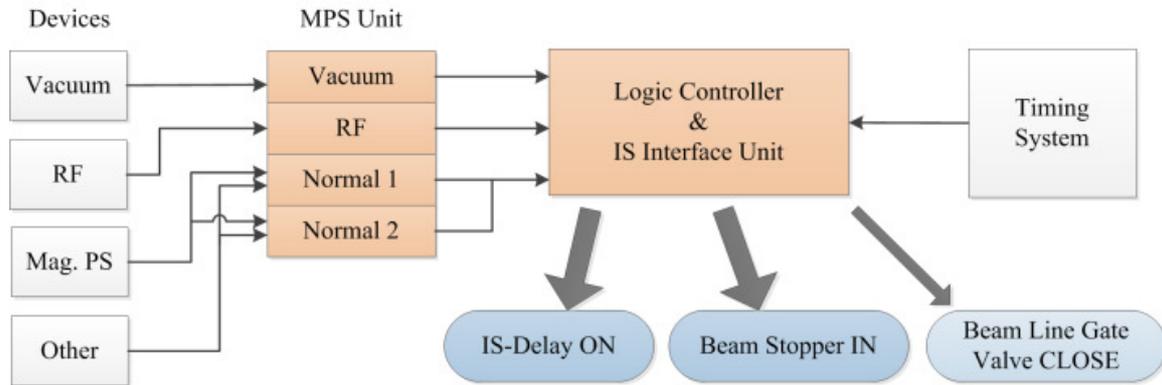


Figure 2: Composition of MPS system.

テストスタンドの MPS には、Table 1 の機器が接続されている。機器の系統別に MPS モジュールを分けており、真空機器と RF 機器に関してはそれぞれ個別の MPS モジュールを用意し、その他の機器は一般系としてまとめた。MPS に接続されている機器に異常が発生するとこれをハードワイヤ経由で MPS モジュールが検知する。異常信号を検知した MPS モジュールは、直ちに上位のロジックコントローラに信号を送り(こちらもハードワイヤ経由)、ビームを停止させる。ロジックコントローラとは、内部に FPGA 基板によるロジックを内包し、ビームの安定供給を目的としたビーム停止手順を実行するための機器である^{[2][3]}。

Table 1: MPS List

Vacuum	RF	Normal 1	Normal 2
LEBT BA Gauge	RFQ RF	Ion Source PS	Q MAG PS 1
RFQ BA Gauge		Solenoid MAG PS 1	Q MAG PS 2
MEBT1 BA Gauge		Solenoid MAG PS 2	Current Limit Over
		Beam Dump Water Flow	
		LEBT Beam Line GV	
		MEBT1 Beam Line GV	
		Current Limit Monitor	

MPS 発報時のビームの停止方法は、以下の 2 つの方法を併用することで安全を担保している。

- イオン源ディレイ (IS-Delay)
- Beam Stopper

IS-Delay は、MPS 発報時に制御系からイオン源へ送っているタイミング信号をディレイさせることで、

イオン源からビームが引き出されることを防ぐ方法である。従来のフィラメント駆動型イオン源では、アーク電圧が印加されるタイミングをずらし込み、ビーム引き出し電圧のタイミングと重ならないようにすることでビームの引き出しを回避していた。RF イオン源では従来のアーク電圧のタイミングに代えて次の 3 つのタイミング、(1) RF ON Gate、(2) f2 Gate、(3) Feedback Gate をディレイさせることにより、異常時におけるビームの引き出しを防ぐ。3 つのタイミングは全て RF イオン源の 2MHz 高周波電源で使用されており、RF ON Gate は RF によりプラズマを生成する為のゲート信号、f2 Gate と Feedback Gate は RF の周波数のマッチングを取る為のゲート信号である。

Beam Stopper は、その名の通り MPS 発報時に LEBT のビームラインにストッパーを挿入し、物理的にビームを止めている。

また、Vacuum 系の MPS が発報した時に限りビームラインゲートバルブを閉める。これは一部の区画の真空異常により他の区画の真空機器までもが損傷してしまうこと防ぐ為である。

2.2 電流制限モニタ

電流制限モニタは、テストスタンドに設置された CT からの電流値を監視し、1 時間あたりの粒子数にリミットを設けている。電流制限モニタは上述の MPS モジュールに接続されており、リミットを超えるビームが引き出されると即座に MPS を発報させてビーム運転を停止させる。J-PARC 実機においては PPS (Personnel Protection System) という人員保護の為のインターロックシステムに組み込まれているが、本テストスタンドは小規模であることに加えてあくまでも試験の為の施設であること考慮し、別系のインターロックシステムを構築するのではなく MPS に組み込んでいる。

電流制限モニタのリミット値はビームダンプ容量によって決められている。本テストスタンドのビームダンプ容量は 4.0×10^{18} [particle/h] であり、これに安全マージン 5% を設けてリミット値を 3.8×10^{18} [particle/h] としている。これにより 1 時間あたりの粒子数がビームダンプ容量を超える前に、電流制限モニタのリミットによりビーム運転が停止するシス

テムとなっている。

3. EPICS 環境の実装

J-PARC の遠隔制御システムは、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)をベースに構築され運用されている^[4]。2014 年に RF イオン源及び RFQ III を J-PARC 実機にインストールする際に、本テストスタンドで使用していた制御系もそのまま J-PARC 実機に移行できるのが理想である。その為にテストスタンド制御系でも J-PARC 実機と同様に EPICS を採用することとした。EPICS とは、加速器や物理実験装置などの分散型制御システム開発用ツールキットであり、これまでに多くの加速器研究施設で採用されてきた。EPICS は、EPICS レコードと呼ばれる制御信号を Put/Get し機器の操作や監視を行う。

テストスタンドでは J-PARC での EPICS 命名規則に従って命名されている^[5]。EPICS レコードの管理と運用の流れを Figure 3 に示す。

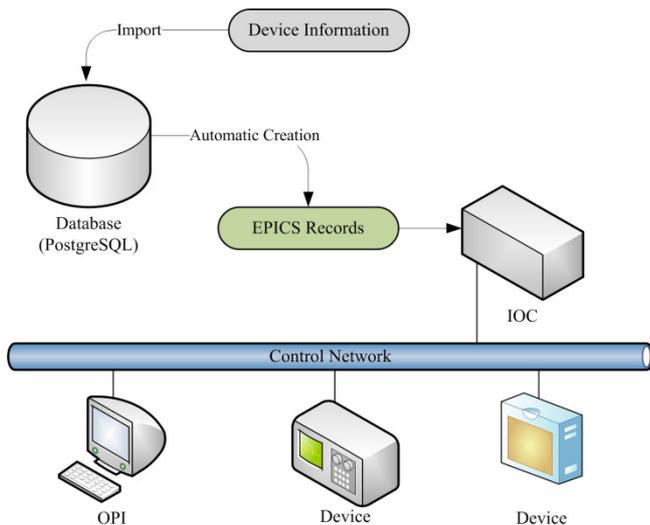


Figure 3: EPICS record management flow.

J-PARC では、EPICS レコードの管理と作成にリレーショナル・データベースである PostgreSQL を基幹に据えている。データベースを用いることにより、RF イオン源を構成している高周波電源やセシウムバルブ、RFQ III のクライストロンといった各デバイスの制御情報を一元管理することが可能となり、データベース内の情報から EPICS レコードの定義ファイルの自動作成を行なっている。データベースで一元管理することにより、デバイス情報の管理から EPICS レコードの作成、運用までの流れを管理することに成功している^[6]。

本テストスタンドでは Table 2 に示す機器を EPICS により遠隔制御している。RF 機器は初期段階では現場操作による調整運転を行う為に遠隔制御の対象から外しているが、近い将来に EPICS による遠隔制御に対応させる予定である。

Table 2: Remote Control Devices by EPICS

IS	LEBT	RFQ	MEBT
Ion Source PS	Steering MAG PS	(RF)	FCT
RF AMP	Solenoid MAG PS		Beam Line GV
	Beam Stopper		
	Beam Line GV		
	Faraday Cup		

4. タイミングシステムの構築

J-PARC のタイミングシステムは、スケジュールドタイミングとシンクロナイズドタイミグから構成され、大半の機器はスケジュールドタイミングにより動作する^[7]。今回のテストスタンドではスケジュールドタイミングのみ使用するので、これに絞って説明する。

スケジュールドタイミングは、マスターとなる 12MHz クロック、繰り返し基準となる 25Hz トリガクロック、タイミングコントロール信号 (Type 等) の 3 つによって形成され、Type に基づくルックアップテーブル (LUT) のディレイ値でトリガ信号やゲート信号が出力される。

テストスタンドのタイミングシステム概略図を Figure 4 に示す。送信モジュールから Type 信号を受け取った受信モジュールは、Type に該当するディレイ値を自身が持つ LUT から取り出し、25Hz トリガクロックを受信後、そのディレイ値に従いトリガ信号やゲート信号を各機器に送っている。

本テストスタンドでは、ビーム幅が 50、100、200、300、400、500[usec]の Type を用意し、繰り返し周期が Single Shot、1、5、12.5、25[Hz]の Type 列を用意した。テストスタンドにおいてタイミング信号を必要とする機器は、RF イオン源と RFQ の RF 機器、モニタ機器のみであることから小規模で簡素なタイミングシステムとなっている。

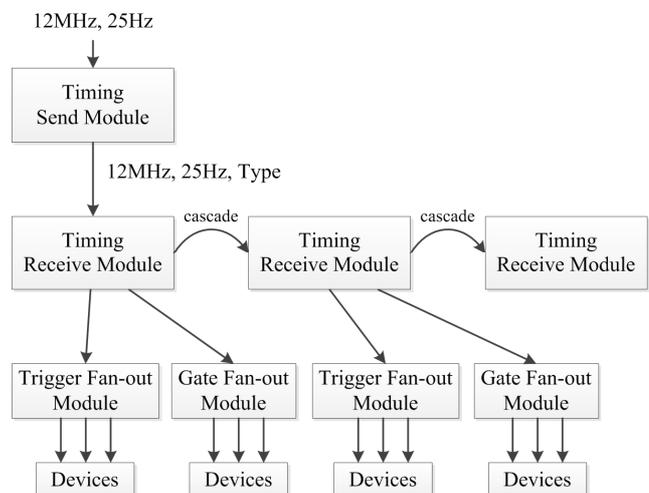


Figure 4: The schematic layout of the timing system.

5. まとめ

J-PARC RF イオン源&RFQ III テストスタンドの制御系の構築について述べた。将来の J-PARC のビーム強度の増強には、本テストスタンドでの成果が重要なデータとなる。それを実現する為には、安全かつ安定的なテストスタンドの稼働が必要になるが、それを可能とする制御系を構築することができた。しかし、今後テストスタンドが本格的に稼働するにつれ、制御面でも様々な機能追加が必要になってくるであろう。今後も、柔軟かつ安全で信頼性の高い制御系の構築を進めていく。

参考文献

- [1] Hironao Sakaki, et al. , “Interlock Systems for J-PARC LINAC”, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan And the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai Japan, Aug 2-4, 2006.
- [2] Takahiro Suzuki, et al. “Development of J-PARC LINAC/RCS MPS Sub System”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihirosima Japan, Aug 6-8, 2008.
- [3] Takahiro Suzuki, et al. “Development of J-PARC LINAC/RCS MPS Sub System2”, Proceedings of the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba Japan, August 1-3 2011.
- [4] EPICS web site “<http://www.aps.anl.gov/epics/>”
- [5] Shinpei Fukuta, et al. , “Formulation of EPICS Record Naming Conventions in J-PARC Linac and RCS –Build Process of Unique and Standardized Name-”, JAEA-Testing 2010-004, Feb 2011.
- [6] Shinpei Fukuta, et al. , “DEVELOPMENT STATUS OF DATABASE FOR J-PARC RCS CONTROL SYSTEM(1)”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako Japan, Aug 1-3, 2007.
- [7] Hiroki Takahashi, et al. “The Status of the Timing System for J-PARC Linac / RCS”, Proceedings of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihirosima Japan, Aug 6-8, 2008.