

RF イオン源 & RFQ III 共同テストスタンド タイミングシステムの製作

DEVELOPMENT OF TIMING SYSTEM FOR RF ION SOURCE & RFQ III TEST STAND

澤邊祐希^{#,A)}, 伊藤雄一^{A)}, 川瀬雅人^{A)}, 福田真平^{A)}, 鈴木隆洋^{B)}, 菊澤信宏^{A)}, 大内伸夫^{A)}
Yuki Sawabe^{#,A)}, Yuichi Ito^{A)}, Masato Kawase^{A)}, Shinpei Fukuta^{A)}, Takahiro Suzuki^{B)}, Nobuhiro Kikuzawa^{A)},
Nobuo Ouchi^{A)}

^{A)} JAEA

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

Abstract

J-PARC LINAC is scheduled for installation of cesium seeded RF-driven H^- ion source (RF ion source) and 50 mA RFQ (RFQ III) for achieving high current beam in 2014. Therefore, we were implemented beam test at RF ion source & RFQ III test stand since 2013. The control system for RF ion source & RFQ III test stand was designed considering compatibility to the control system in J-PARC LINAC. But the timing parameter for RF ion source is different from the timing parameter for H^- ion source is operating in J-PARC, because method of generating H^- plasma is different. Therefore, we develop the timing system for RF ion source using the timing parameter of RF ion source, and were used it at RF ion source & RFQ III test stand. This report is described mainly the timing system.

1. はじめに

J-PARC LINAC では、大強度ビーム達成に向け 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)、及び 50 mA 対応 RFQ III 号機への換装が予定されている。その為、2013 年から J-PARC LINAC 棟クライストロン準備室にて、RF イオン源、及び RFQ III 号機の共同テストスタンドを構築し、ビーム加速試験を行った。換装を円滑に進める為、現在の J-PARC 加速器との互換性を考慮した制御系を構築した^[1]。RF イオン源は従来の LaB₆ (六ホウ化ランタン) フィラメントイオン源とは異なる方法でプラズマを生成する。その為、RF イオン源用のタイミングパラメータを設定した新たなタイミングシステムを製作した。RFQ III 号機用のタイミングパラメータは、現在稼働している RFQ と同等のパラメータを設定した。RF イオン源、及び RFQ III 号機の共同テストスタンドでは、上記タイミングシステムを使用し、ビーム加速試験を行った。本発表では、RF イオン源、及び RFQ III 号機の共同テストスタンドに構築した制御系の内、主にタイミングシステムについて報告する。

2. J-PARC タイミングシステム

2.1 システムの概要

J-PARC のタイミングシステムは、あらかじめ決められたプログラム通りにタイミングを出力するスケジュールドタイミングと、RCS、MR の周回ビームと同期させるシンクロナイゼーションタイミングの 2 種類が存在する^[2]。新たに製作したタイミングシステムは、前者に基づき構築した。スケジュール

ドタイミングは、J-PARC タイミングシステムの繰り返し基準となる 25 Hz トリガクロックからのディレイ値で定義されている。

各タイミング信号のディレイ値は、256 パターンのディレイ値を格納できるルックアップテーブル (LUT) に定義され、各パターンには Type と呼ばれる制御ワードが割り当てられている。繰り返し周期は Type を並べた Type 列によって決定する。Type を選択すると、対応したビーム幅、繰り返し周期に基づいた LUT が読み込まれ、LUT のディレイ値どおりにタイミング信号を出力する。RF イオン源、及び RFQ III 号機の共同テストスタンドでは、ビーム幅 50, 100, 200, 300, 400, 500 μ s、繰り返し周期は、No Beam, Single Shot, 1, 5, 12.5, 25 Hz の Type を用意した。

2.2 従来のイオン源用タイミング

J-PARC タイミングシステムでは、25 Hz トリガクロックより、17025 μ s 遅れた時間を Beam Center と定義している。イオン源の加速変調電圧用ゲート信号 (『加速変調ゲート』) の幅は、選択した Type のビーム幅に依存して Beam Center を中心に伸縮する。この加速変調ゲートの立ち上がりを Beam Start、立ち下がり を Beam End と定義する。Figure 1 では、例として 200 μ s、500 μ s の各 Type が選択された時の 25 Hz トリガクロックと加速変調ゲートの関係を示す。Figure 2 に従来の LaB₆ フィラメントイオン源タイミングチャートを示す。

[#] z-sawabe@post.j-parc.jp

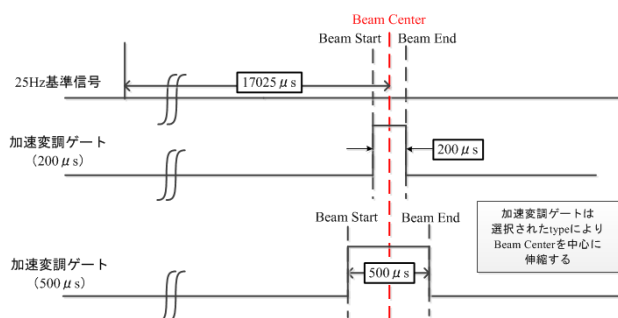


Figure 1: 25Hz reference trigger and acceleration modulation voltage gate.

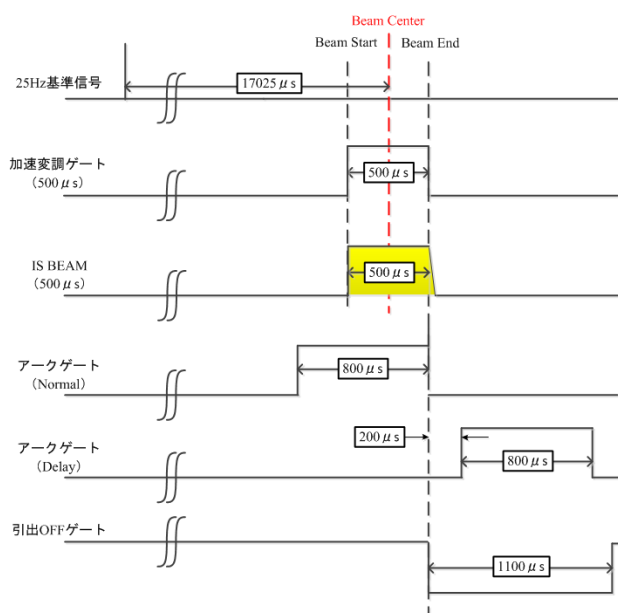


Figure 2: Timing chart of the LaB₆ filament ion source.

LaB₆ フィラメントイオン源のプラズマ生成に用いる『アークゲート (Normal)』は Beam End から 800 μs 前に立ち上がる。アークゲートをビーム幅より 300 μs 余裕を持たせて立ち上げているのは、電荷中和時間を考慮している為である。生成したプラズマは加速変調電圧、引出電圧の両方を印加することにより、ビームラインに入射される。ゆえに、加速変調電圧の印加時間を変化させることにより、ビームラインに入射するビーム (『IS Beam』) の幅を決定している。

ビームを出さないタイミング (No Beam) 選択時、もしくは、加速器機器に異常が発生した時、つまり Machine Protection System (MPS) [3] 発報時には『アークゲート (Delay)』が選択され、Beam End から 200 μs 遅れて立ち上がる。これは、加速変調電圧、引出電圧を印加していないタイミングにアーク

ゲートをずらすことにより、ビームの誤入射を防止する為である。この機能をイオン源 Delay と呼ぶ。イオン源 Delay を採用することにより、プラズマ生成室内の熱負荷を均等化している。

2.3 従来の RFQ 用タイミング

Figure 3 に従来の RFQ タイミングチャートを示す。

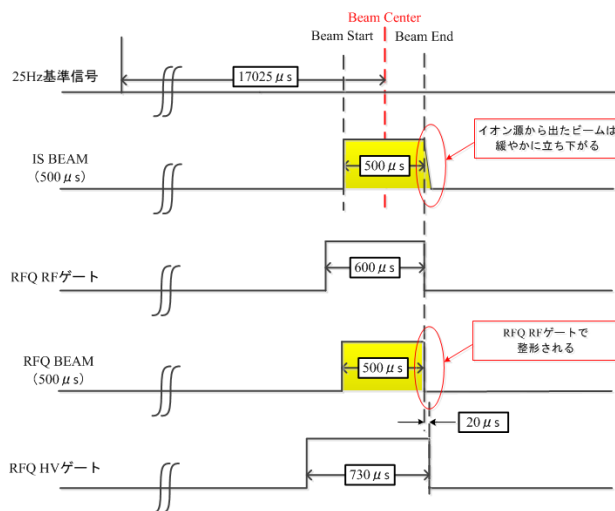


Figure 3: Timing chart of RFQ operating in J-PARC.

『RFQ RF ゲート』は立ちさがりを Beam End と一致させている。これは、『IS Beam』の後端が緩やかに立ち下がってしまう為、RFQ の RF を OFF することにより、RFQ 以降に出射するビーム (『RFQ Beam』) を整形している。『RFQ RF ゲート』がビームより 100 μs 前から立ち上がっているのは、RF 出力が安定するまでの立ち上がり時間を考慮した為である。また、RF を投入する為に必要なクライストロン高圧電源用のゲート信号 (『RFQ HV ゲート』) は RF が完全に立ち下がってから OFF する為、RF ゲートの立ち下がりより 20 μs 遅れて立ち下がる。また HV の出力が安定するまでの時間を考慮し、RF ゲートより 110 μs 早く立ち上げている。RFQ III 号機には従来と同等のタイミングパラメータを設定した。

3. RF イオン源用タイミングシステム製作

3.1 RF イオン源用タイミング

Figure 4 に RF イオン源用のタイミングチャートを示す。

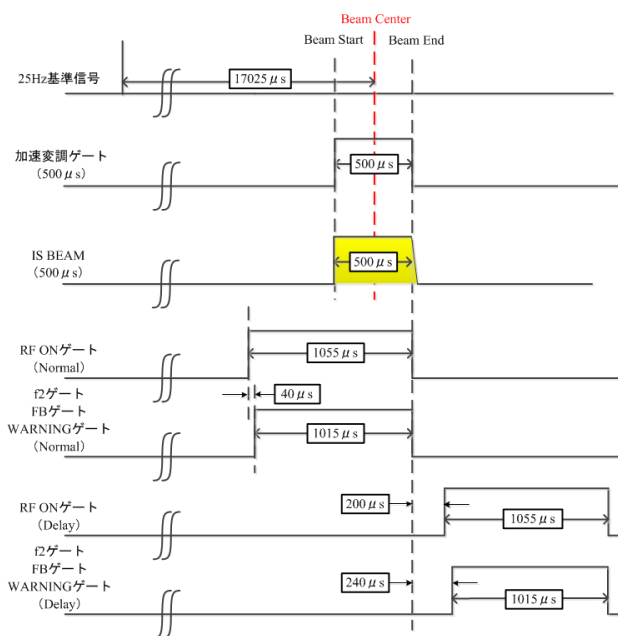


Figure 4: Timing chart of RF ion source.

RF イオン源では、RF を投入することによりプラズマを生成する。『RF ON ゲート』は RF を投入している時間であり、Beam End から 1055 μs 前から立ち上がるよう定義している。これは、イオン源の目標デューティ 2.5% (RF 投入時のフラットトップを 1000 μs) を達成する為に、RF が安定するまでの立ち上がり時間を考慮した為である。また、RF イオン源ではプラズマの状態により、共振周波数が微妙に変化し、反射が発生する。その為、周波数を 3 段階で変化させ、RF の反射を防いでいる。その内、プラズマ生成後に移行する周波数を f_2 と定義している。『 f_2 ゲート』は、 f_2 の RF を投入している時間である。『 f_2 ゲート』はスウィープ時間を考慮して、『RF ON ゲート』より 40 μs 遅く立ち上げている。『FB ゲート』は RF 出力を安定させる Feedback 制御を行う時間である。『WARNING ゲート』は反射が発生した際、RF 出力を停止させるインターロックシステムの監視時間である。『FB ゲート』、『WARNING ゲート』は、RF イオン源ローカル試験時のデータを基に、『 f_2 ゲート』と同等のタイミングパラメータを仮設定した。なお、将来は RF イオン源環境変更に伴い、『FB ゲート』、『WARNING ゲート』のパラメータを微調整できるように、3 種類のゲート信号は個別に用意した。

従来の LaB₆ フィラメントイオン源のタイミングと同様、ビームの誤入射を防ぐ為に、No Beam タイミング、及び MPS が発生した際にイオン源 Delay 機能が働くよう設計した。また、イオン源チャンバー内焼き出し用に、50Hz のタイミングを準備した。両者を実現する為、タイミング信号合成切り替えユニットを開発した。次節より、RF イオン源の

イオン源 Delay 環境、及び 50Hz タイミングの生成手法について説明する。

3.2 イオン源 Delay 環境構築

従来のイオン源では、イオン源 Delay の対象がアークゲートの 1 種類だったのに対し、RF イオン源では、『RF ON ゲート』、『 f_2 ゲート』、『FB ゲート』、『WARNING ゲート』の 4 種類のゲート信号を対象とする。タイミング信号合成切り替えユニットは、イオン源 Delay 指令信号をトリガとして、4 種類のタイミング信号を切り替える。イオン源 Delay 指令信号は、MPS Logic Controller と呼ばれるユニットから送られてくる^[4]。MPS Logic Controller は No Beam タイミング、及び MPS の発報を検知するとイオン源 Delay 指令信号を送る。ただし、ビーム出力中にタイミング信号が切り替わらないよう、Beam End から 1100 μs 後に定義している、『Injection End トリガ』を基準に伝送している。Figure 5 にイオン源 Delay 指令信号による各タイミング信号の切り替えについて図解する。

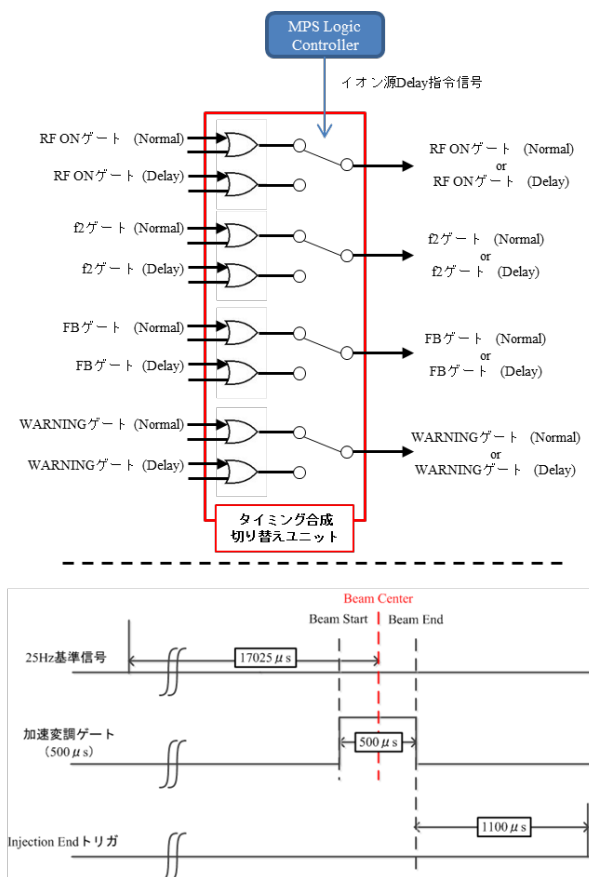


Figure 5: Switching timing signals due to IS Delay.

3.3 50Hz タイミング出力の生成

RF イオン源では、チャンバー内の不純物を取り除く為、焼き出しを行う。その為には、熱負荷を上げたイオン源の調整運転が必要となるため、プラズマを生成する周期を最大許容範囲の 50 Hz に上げる方法を採用した。その際に必要なタイミング信号は RF ON ゲート及び f2 ゲートである。しかし、現状の J-PARC LINAC 最大繰返し周期は 25 Hz であるため、20 ms 遅らせたタイミング信号を、タイミング信号合成切り替えユニットで合成し、50Hz 化する手法を採用した。

50 Hz のタイミング信号を生成する際の注意点として、50 Hz 選択時にイオン源からビームラインにビームが入射することを避けなければならない。そこで、次の 2 点を考慮して設計を行った。1 点目は RF ON ゲート、f2 ゲートの Delay 信号を使用することで、ビームの誤入射を防止する。2 点目は 50 Hz 選択時に、タイミング信号合成切り替えユニットから MPS が発報するように設計した。MPS の発報により、ビームストッパーが閉まり、物理的にビームの誤入射を防止する。これにより、ビーム運転中、誤って 50 Hz の切り替えが行われたとしても、イオン源より下流の機器にダメージを与えないようになっている。25、50 Hz の切り替えは、遠隔から操作できるように設計した。Figure 6 に 25、50 Hz 選択時の各タイミング信号の切り替えについて図解する。

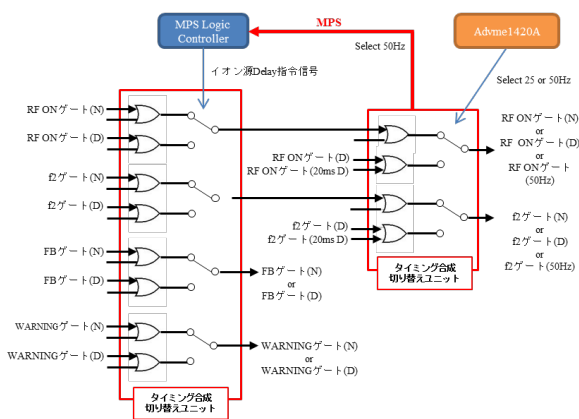


Figure 6: Switching timing signals due to 50Hz mode.

4. まとめ

今回、開発したタイミングシステムを RF イオン源、及び RFQ III 号機の共同テストスタンドで使用し、3MeV ビームの加速に成功した。また、MPS 発報時にはイオン源 Delay が動作し、イオン源からビームが引き出されないことを確認した。

H26 年度には RF イオン源および RFQ III 号機が J-

PARC リニアックにインストールされる。今後は、RF イオン源の環境変更に伴う、タイミングパラメータの微調整に柔軟に対応し、J-PARC の目標である大強度ビーム達成の実現を目指す。

参考文献

- [1] S. Fukuta, et al., "CONSTRUCTION OF CONTROL SYSTEM FOR J-PARC RF ION SOURCE & RFQ III TEST STAND", Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, Aug. 3-5, 2013
- [2] F. Tamura, et al., "J-PARC TIMING SYSTEM", Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug. 4-6, 2004
- [3] H. Sakaki, et al., "Interlock Systems for J-PARC LINAC", Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan And the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, Aug. 2-4, 2006
- [4] T. 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, Higashihiroshima, Aug. 6-8, 2008