

Development of J-PARC LINAC/RCS MPS Sub System

Takahiro Suzuki^{1,A)}, Hiroshi Yoshikawa^{A)}, Hironao Sakaki^{A)}, Hiroki Takahashi^{A)}, Yuichi Ito^{A)},
Yuko Kato^{A)}, Masato Kawase^{A)}, Tatuya Ishiyama^{A)}, Shinpei Fukuta^{A)}, Kazuhiko Watanabe^{A)}

^{A)}J-PARC Center/JAEA

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Nakagun, Ibaraki, 319-1195

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

2-8-8 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0045

Abstract

To decrease the heat damage and the radiation damage because of the beam collision extremely, MPS of J-PARC was set up. Actually, high speed (All processes from the beam loss detection to the beam complete stop around 5 μ second: measurement) that almost meets a first specification and high reliability (The malfunction rate not to understand the cause is almost 0%) have been achieved though it becomes 1 and a half years by being operated in J-PARC Linac.

However, it is understood that there is a demand that should be satisfied because the beam is stopped at high speed when an actual beam driving as facilities for research is considered. Then, we produced "Logic controller", "MWPM unit", "Pulse pipe bend unit", and "Trigger the checker" to satisfy these demands, and mounted it.

J-PARC LINAC/RCSにおけるMPSサブシステムシステムの開発

1. はじめに

J-PARCでは大強度陽子ビームを取り扱う。この様なエネルギーの高いビームが、加速器構成機器に衝突した場合、その表面に熱衝撃を受けて物理的なダメージを受ける可能性がある。これを回避するために、J-PARC LINAC/RCSにおいては、異常検知時にビームを高速で停止して加速器構成機器を保護するためのシステム (Machine Protection System: MPS) ^{[1][2][3]}が設置されている。

Linacでは、MPSが運用されてから1年半になるが、当初の仕様をほぼ満足する高速応答性 (図1: 異常検知からビーム完全停止まで5 μ 秒程度) を実現している。

しかし、共用施設としてのビーム運転を考えた場合、高速でビーム停止する以外にも考慮しなければならない点がある。我々は、それらの要求を満たすための機器 (MPSサブシステム) を製作し、MPS全体の性能向上を図ることにした。

2. サブシステムに求められる機能

共用施設としてのビーム運転を考えた場合、MPSにはビームを高速停止するだけでなく、施設の稼働率を向上させること、及び、ビームの安定供給を実現するビーム停止・復帰機能が要求される。これらの要求について具体的に説明する。

(1) 短時間でのビーム運転再開

MPSは、RFQ部の加速電力を遮断することにより、異常検知時の高速ビーム停止を実現している。しかし、RFQは熱変化に弱いため、加速電力を遮

断し続けると、RFQ空洞内の温度が急激に低下する。この場合、ビーム停止前の安定状態に戻すまでには数十分程度の時間を要してしまう。つまり、ビーム再開を短時間で行うことができない。そのため、施設の稼働率を考慮して、RFQ加速電力を早急に復帰させるための仕組みが求められる。

(2) ビーム安定供給のための運転再開手順

ビーム運転再開時に、RFQ加速電力を加速タイミング領域で復帰させた場合、不安定なビームが加速される可能性がある。不安定なビームはビームロスに繋がるため、この様な運転再開を避けるための復帰手順が必須である。

(3) 運転に影響しない機器異常によるビーム停止

ビーム行先がLINACであるにも関わらず、RCS施設の機器異常信号によりビーム運転が停止してしまうことは、施設の稼働率に影響する。これに対しては、下流加速器施設等の運転状況に合わせてMPSの動作範囲を適合させることが不可欠である。

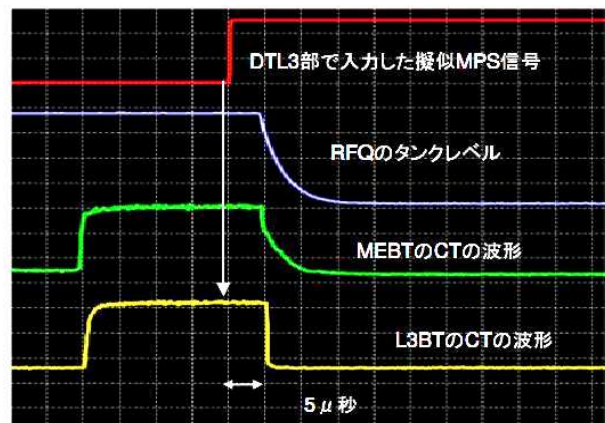


図1 LINACにおけるビーム停止速度

3. サブシステムの概要

上述した要求を満たすために「ロジックコントローラ」、「MWPMユニット」、「パルスバンドユニット」、「トリガチェッカ」の4種類のMPSサブシステムを開発した。

3.1 ロジックコントローラ

ロジックコントローラ（以下LC）は、短時間でのビーム運転再開と、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。図2にその構成図を示す。尚、LCの操作するビーム停止機器は3種類ある。

①RFQ-PIN-SW

RFQ加速電力を遮断、高速でビーム停止

②イオン源Delay操作

イオン源アーク電圧のタイミングを、イオン源引き出し電圧OFF領域にずらし込む。これにより、イオン源よりビームを引き出せなくなる

③ビームストップ（開/閉）

物理的にビームを遮断

3.1.1 短時間での運転再開

短時間での運転再開を実現するためには、RFQ加速電力を早急に復帰し、RFQ加速電力停止による熱変化を最小限に抑えることが重要である。そこで、RFQ加速電力をイオン源Delay操作完了後に速やかに復帰することとした。

3.1.2 ビーム安定供給

ビームロスのない運転再開を行うため、RFQ-PIN-SWの復帰動作、及び、イオン源Delay操作は、加速タイミング領域の外で実行する。そのための実行用トリガ信号として、Injection END（以下、IE）をタイミングシステムによって準備し、LCが適切なタイミングで動作する仕組みとした。

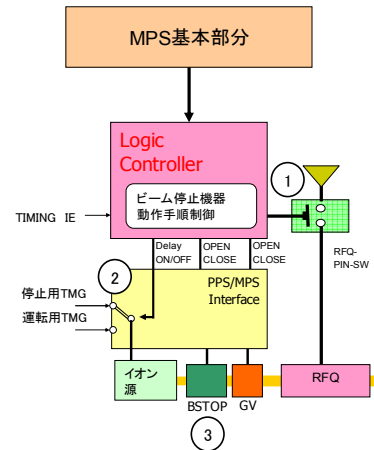


図2 ロジックコントローラの構成

3.1.3 ビーム停止手順

LCによる一連のビーム停止実行手順は、

- ① 異常検知
- ② RFQ-PIN-SW⇒OFF
- ③ RFQ加速電力遮断により高速でビーム停止
- ④ IEに同期してIS-Delay操作実施
- ⑤ イオン源アーク電圧がずれ込み、ビーム引き出し停止
- ⑥ IS-Delay操作完了後に、IEに同期してRFQ-PIN-SW⇒ON、RFQ加速電力復帰
- ⑦ 1秒程度遅れてビームストップが挿入

である。停止手順を示したものを図3に示す。

尚、この内、④と⑥の操作はIEに同期して実行している。⑥のRFQ加速電力復帰動作は、加速タイミング領域外で動作することにより、ビームロスに繋がる歯切れの悪いビームが加速されることを防止している。また、④のイオン源Delay操作についても、加速タイミング領域外で切替えることによって、イオン源のアーク電圧が連続で印加されてしまうことを防いでいる。

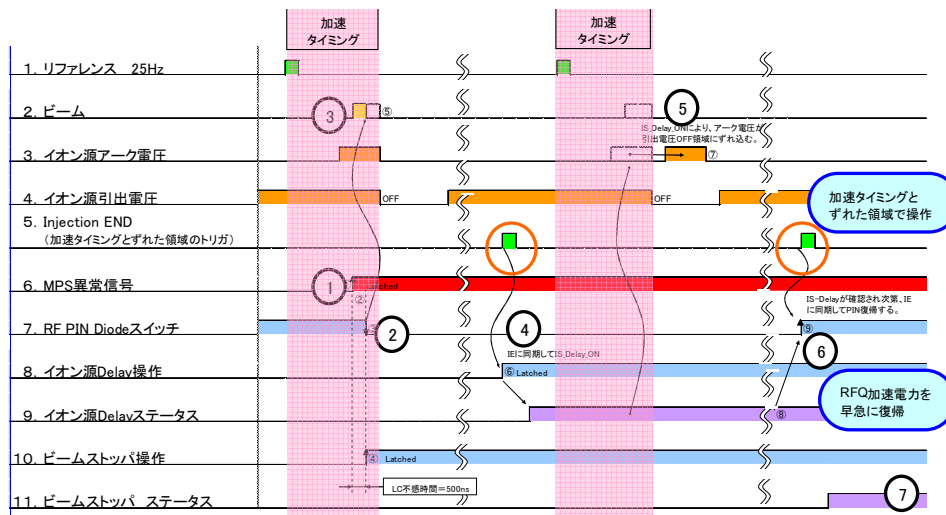


図3 ビーム停止タイミングフローチャート

3.1.4 ハードウェア構成

LCのハードウェア部の写真を図4に示す。LCは、外部機器との信号を取り合うI/O部と、制御ロジック部の2部構成としている。この内、制御ロジック部はFPGAで製作されている。

LCはインターロック機器の一部であるので、ロジック部の構築はリレーユニットやTTL-IC等によって構築することが望ましい。しかし、リレーでは応答速度が満足できず、また、TTL-ICでは稼働施設追加に伴う停止ロジックの更新時に基板の作り直しが必要となる。これらの理由により、制御ロジック部は、高速動作し、かつ内部ロジック更新による基板の作り直しが不要なFPGA基板とした。

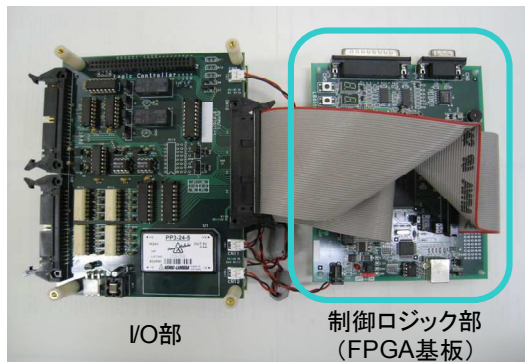


図4 LCハードウェア構成

3.1.5 LCによる性能向上結果

LCによるビーム停止手順／復帰手順を実行することによって、ビーム停止から原因復旧後、数秒程度でビーム運転再開が可能となった。

図5は、ビーム運転中におけるLINAC_0° DUMP部のCT波形である。(縦軸：電流値、横軸：時間) 縦に線が伸びた箇所は、放電インターロック等によりビーム運転が一時的に停止した部分である。この波形からも見てとれる様に、ビーム停止前と運転再開後のビーム電流値が一定であることがわかる。これらのことから、LCによってビームを安定供給できており、LCが要求仕様を十分に満足している。

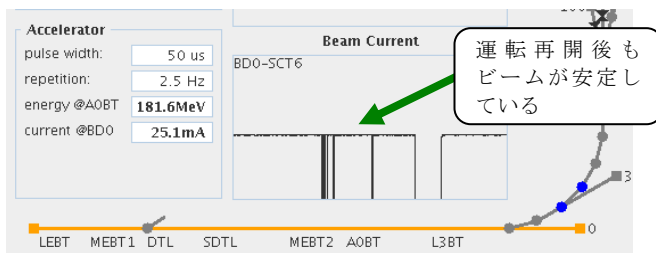


図5 運転再開時のビーム安定性

3.2 MWPMユニット

MWPMユニットは、必要な機器のインターロック信号のみを監視するための機器である。

原則的にビーム運転中はビームライン上に機器を差込んではいけない。ビーム強度によっては、差込まれた機器が損傷する可能性が考えられる。

しかし、RCS入射部に設置されるMWPM (Multi Wire Profile Monitor) は、ビームライン上に挿入して使用する必要がある。そのため、原則的に禁止する「機器を挿入した状態でのビーム運転」を意図的に許可して使用できるようにする必要がある。この様に、機器の挿抜状態とビーム運転モードから条件判断を行い、MWPMの使用を許可するための機器がMWPMユニットである。

3.3 パルスベンドユニット

パルスベンドユニットは、異常信号受信時に、タイミング信号を遮断するための機器である。MR/MLF振分け用パルスベンド電磁石部に使用している。例えば、MR施設が何らかの機器異常でビーム受入不可状態に陥った場合、パルスベンドの施設振分け用タイミング信号を遮断することによって、磁場をMLF行きに固定する。これによりビーム受入不可施設に誤って出射されることを防ぐ。

3.4 トリガチェッカ

トリガチェッカは、パルス動作する機器の「トリガ信号」が適切であることを監視するための機器である。トリガ信号の抜けやズレ、複数のトリガ信号の相互関係をチェックする。不適切なトリガと判断された場合、直ちにビームを停止する。

4. まとめ

これらのMPSサブシステムを開発し、MPS全体の性能向上を図ることができた。また、MPSとMPSサブシステムによって、J-PARCの安全なビーム運転、および、安定したビーム供給が実現できている。MPSを含めた、これらのMPSサブシステムにおいては、その機器が稼働してから現在に至るまで、誤動作はほぼ発生しておらず、高い信頼性があると言える。

参考文献

- [1] 榊 泰直 「J-PARCリニアックの運転・管理用インターロックシステムの構築」第31回リニアック技術研究会 P119 (2006)
- [2] 榊 泰直 「J-PARC LINAC用高速インターロックシステムの設計」JAERI-Tech 2004-021
- [3] 榊 泰直 「機器保護用高速インターロックユニット試作機の性能試験」JAERI-Tech 2004-022
- [4] 石山 達也 「J-PARCリニアックのMPSの制御画面構築」第31回リニアック技術研究会 P1 (2006)