

Interlock Systems for J-PARC LINAC

Hironao Sakaki^{1,A)}, Hiroki Takahashi^{A)}, Tatsuya Ishiyama^{A)}, Masato Kawase^{A)}, Hiroyuki Sako^{A)}, Yuko Kato^{A)},
Yuichi Itoh^{A)}, Hiroshi Yoshikawa^{A)}, Shinji Ueda^{B)}, Takahiro Suzuki^{C)}

^{A)} JAEA J-PARC Center, 2-4 Shirakata, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

^{B)} MELCO, 1-1-2 Wadamisaki, Hyogo, Kobe, 652-8555

^{C)} MELCO SC, 2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045

Abstract

This paper reports about Personnel Interlock System, Machine Protection System, and other Interlock System in J-PARC LINAC. The electronically noise measures is important on MPS, we describe the noise decreasing method. The number of accelerating particles in J-PARC LINAC that can be accelerated has been deciding by ministry's guideline. Therefore, it is necessary to do severe surveillance. Here we also explain this particle monitoring instrument.

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

1. はじめに

大強度陽子加速器(J-PARC)リニアックでは、放射線施設として法令(予防規程)に則った人員保護を目的とするインターロックシステム(Personnel Interlock System: PPS)以外に、大強度陽子ビームを扱うがゆえに、自主規制としてJ-PARC加速器施設内で起こりえる突発的なビームロストラブルを回避する目的の機器保護インターロックシステム(Machine Protection System: MPS)が設置されている。

本報告では、J-PARCリニアックのインターロックシステム、特にMPSに関係する部分と、リニアック内に設置される真空系やRF系のインターロックシステムについて説明する。

2. J-PARCのリニアックインターロック

リニアックのインターロックシステムは、法令を根拠に絶対権限を持つPPSをベースに、ビーム衝突による熱衝撃や放射化から機器を保護するため、ロスモニタを主検出器とするMPS、真空機器やRF機器を連携させてそれらのハードを保護するリニアック機器インターロックという階層構造を持つ。絶対権限があるPPSが発報すると、人的被害が生じる可能性が高いということで、直ちにビームストッパを物理的に挿入し、さらにイオン源電源を停止さ、ビーム発生を完全に停止させる。MPSは、PPSの次のランクとして存在しており、発報するとビームストッパにてビーム停止をさせる。リニアック機器インターロックは、アラートの一種であり、その状態が長時間(数秒程度)続く場合にのみ、インターロック状態をMPS信号のランクに切替える。ここでは、PPSを除くものについて記載することにする。

3. J-PARCのMPS

J-PARCでは、加速された陽子ビームが加速器コンポーネントに衝突するようなイベントが発生した場合、大きなエネルギー付与が行われ、コンポーネントの素材を熱損傷によって破壊する可能性があることが指摘されている^[1]。このような、熱損傷がRF構造体表面付近で起こると、その表面は大きな熱衝撃損傷を受け、構造体は致命的な物理的ダメージを受けかねない。また、保守の観点からは、ビーム衝突による放射化についても懸念する必要がある。

そこで、J-PARCのリニアック・3GeVシンクロ、MLF施設用にMPSと呼ばれる高速ビーム停止インターロックを設計・試作^[2]し、加速器施設全域に対するインターロックとして整備してきた。このシステムは、ビームロスモニタによって、機器との衝突を高速検知することを基本としている。

リニアックのMPSは、今秋以降のビーム実験にむけて、平成18年3月に工事が完成した。

3.1 MPSの設計方針およびノイズ対策

MPSの設計は次の方針にて進めて、試作機を作り試験した^[2]。

- ①MPSでは、ビーム挙動異常が検知されると、高速にビームを停止させる動作のみを行う。
 - ②ビーム停止後の運転再開は待ち時間が短く、ビーム特性の再現性を高くする。
 - ③長期的な保守性、汎用性が高いシステムにする。
 - ④誤動作が少ない信頼性の高いシステムにする。
- このうち、①～③については参考文献[2]にて説明した。しかし、その試作機試験を繰り返しているうちに、④の「誤動作」についての壁に直面した。

¹ E-mail: sakaki.hironao@jaea.go.jp

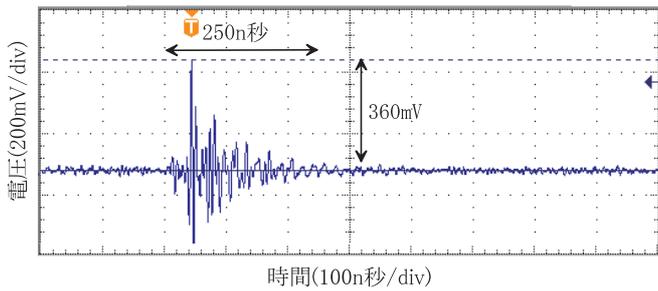


図 1：計測したサージ雑音の例

そこで、誤動作の原因を徹底的に究明した。その結果、装置が誤動作する原因は、サージ雑音と呼ばれる日常的に起こりえる自然発生雑音が、電源系統から入ることが主要因であることを突き止めた^[3]。

図 1 にオシロのコンセントの抜き差しによって発生したサージ雑音の64回平均波形を示す。サージ雑音は、停止装置内に平均360mV、250n秒発生している。計測された最大電圧は3.0Vを超えることがあり、MPSは2.4Vを論理判断電圧としているため、このような瞬間的な雑音で誤動作することが判明し、MPSの回路や電源ラインにサージフィルターを入れたと共に、MPSの論理判断部に、サージ回避対策を入れた。

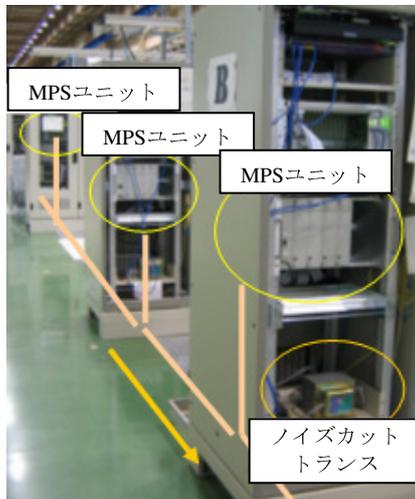


図 2：リニアックに設置された MPS システム。各ユニットはノイズカットトランスから電源が供給される。さらに、各モジュール内にもノイズフィルターを入れ、サージに強い構造にしている。各ユニットはシリーズに配線され、信号を伝送する。

これらのノイズ対策が施された回路が入れられたシステムを、J-PARCリニアック実地にて動作させ9台のユニット（実際に使うユニット数の1/6）を連携させて、長時間試験を行ったところ、対策前の試作機において実験室内にて、100時間以内で誤発報が発生していたものが、約1.5ヶ月の1030時間以上誤

発報なく稼動（計画停電によって、長時間試験をやむなく中止）し、実用に耐えられるものという判断に至った。

3.2 MPSによるビーム高速停止

リニアック上流部の DTL セクションでは、ビームがスポット的に DEL 表面に衝突すると、1.5-2.0 μ秒程度で熱損傷が発生することが計算によって懸念されている。そのような最悪事象が発生した場合、1 μ秒程度で直ちにビーム停止を実施しなければならない。我々は、MPS が発報した場合には、RFQ 部のピンダイオードスイッチをビームパルス内で遮断させることで対応する。

ところで、ビーム停止中は RFQ 部のピンダイオードスイッチを遮断することで、RFQ に投入される電力供給が停止され、急激な温度変化が発生するために、MPS インターロック事象が解決した後にはただちにビーム運転を再開する際には、この温度変化が電界変化に敏感な RFQ の加速電界を乱してしまう。その結果、停止時間が長ければ長いほど、安定状態から遠ざかり、ビーム運転を再開させても放電が繰り返されてしまい、ビーム再現性をおとすことになる。

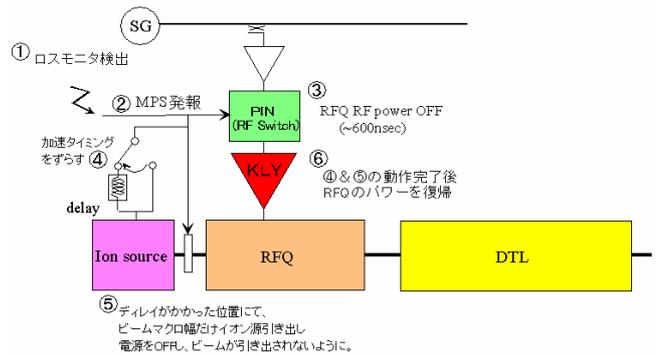


図 3：MPS によるビーム停止手順

そのために、J-PARCリニアックでは、RFQのPowerを遮断した後、RFのタイミングをずらし、さらにビームストップを入れて、RFQが冷やされる前にRFQへの投入電力を復帰させる手順を、FPGAにて構成される「ビーム停止ロジックコントローラ」にてとる。

4. リニアック独自インターロック

リニアックには、図4の様にMPSのインフラを用いて、「真空弁系」と「RF系」の独自のハードウェアラインにてインターロックが設置される。真空系は、真空度悪化を真空計が検知した場合に、系統内の全真空弁を自動的に閉にするものであり、RF系は、RFタンク内で放電など、数秒以下にて復帰することが明らかな異常があった場合、その復帰時間のみビームを「間引き停止」させるものである。RF系のインターロックシステムについては、かなり全体のバラ

ンスを考えたR&Dが必要な為に、まずはインフラを整備することのみに徹し、順次R&Dを重ねてその運営を開始する。

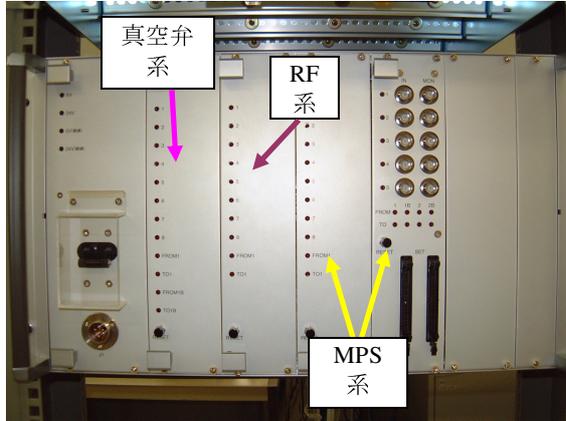


図4：MPSユニット構成。基本ユニットにはMPSの他、リニアック独自システムである真空弁系とRF系が同ユニット内に共存する。

5. リニアック粒子数監視インターロック

5.1 監視インターロックシステムの概要

J-PARCリニアックの直線部のビームダンプ容量は、リニアック加速性能(500 μ秒、50mA、181MeV)と比較して極めて小さい容量しか用意されていない。そのために、ビーム出し前の文部科学省の放射線施設許認可において、「リニアックで加速されるビーム粒子数を管理し、制限以下であることを担保すること」ということが条件として明記された。

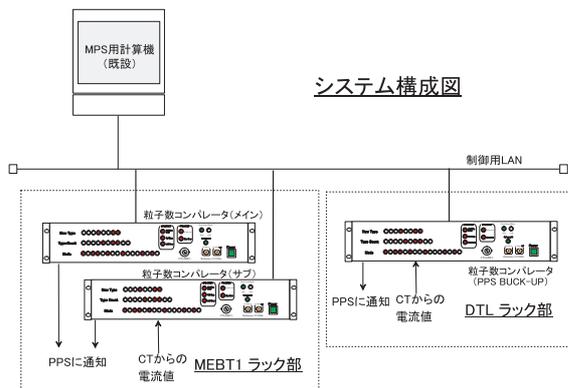


図5：粒子数監視インターロックシステム概要図。CTの値を制限値と比較してそれを超えていたらインターロックを発報させる。

リニアックでは、この条件を担保するために、CTからの電流値を監視し、「粒子数監視インターロック」を設置することにした(図5)。こ

れらは、許認可申請に必要なシステムという位置づけでは、PPS監視(PPS用検出器)の一部として位置づける。

5.2 監視装置のロジック

監視装置のロジックは、図6のようになる。モニタや、MPSとその状態を共有することで、PPSへの発報信号情報に信頼性を持たせている。

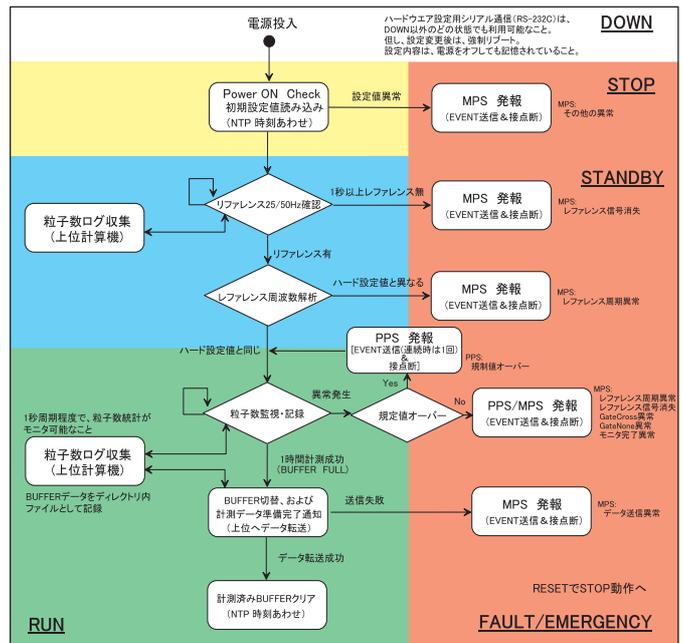


図6：粒子数監視装置のロジック概略

6. まとめ

本文では、J-PARCリニアックインターロック系の概要について説明した。今秋からのコミッションングでは、これらのシステムをGUIを用いて^[4]うまく連携させ、効率的な運転を実現したいと考える。

参考文献

[1] H. Takei et al, "Derivation of Simple Evaluation Method for Thermal Shock Damage on Accelerator Materials Caused by Out-of-control Beam Pulses and its Application to J-PARC", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 42, No. 12, pp. 1032-1039, (2005).
 [2] 榊ら, 「J-PARCLINAC用高速インターロックシステムの設計」, 第28回リニアック技術研究会, p467-469, (2003).
 [3] 榊ら, 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 2004-021 (2004).
 [4] 石山ら, 「J-PARCリニアックのMPSの制御画面の構築」, 本学会(WP34).