

## J-PARC Accelerator MPS functionality for High Availability

Yuichi Ito<sup>A)</sup>, Nobuo Ouchi<sup>A)</sup>, Norihiko Kamikubota<sup>B)</sup>, Nobuhiro Kikuzawa<sup>A)</sup>, Hiroyuki Sako<sup>A)</sup>,  
Hidetoshi Nakagawa<sup>B)</sup>, Shinichiro Meigo<sup>A)</sup>, Noboru Yamamoto<sup>B)</sup>,

J-PARC center

<sup>A)</sup>Japan Atomic Energy Agency

<sup>B)</sup>High Energy Accelerator Research Organization, KEK

### Abstract

In this paper, the project to improve J-PARC MPS(Machine Protection System) will be reported. Current J-PARC MPS stops the delivery of the beam to all J-PARC complex, when MPS events from any components in the system is triggered. MLF(Material and Life science Facility) receives beams from RCS directly. Some of MPS events in MR, HD(Hadron Facility) or NU(Neutrino Facility) does not affect the quality of beams to MLF at all. These events should not stop the delivery of the beam to MLF. We designed a new or improve J-PARC MPS to accept two levels of MPS signal from MR, HD and NU. In the new MPS system, some MPS events, classified as “MR Inhibit”, prevents the delivery of the beam to MR but allows the delivery of the beam to MLF. The design of this new MPS and the status of the installation is described in this report.

## J-PARC 加速器の可用性向上に向けた MPS 機能強化について

### 1. はじめに

2006 年の 181MeV LINAC の調整開始から始まった J-PARC 加速器<sup>[1]</sup> のコミッショニングは、漸く物質生命科学研究所 (MLF) への 300KW 陽子ビームの供用運転およびニュートリノ実験施設 (NU) への 50KW 級ビームの供給を開始した<sup>1</sup>。ビーム強度の増強は J-PARC 加速器の大きな課題の一つであるが、MLF 及び HD/NU へ供給される陽子数 (ビームパワー x ビーム供給時間) を最大化することも求められている。J-PARC 加速器の MPS(Machine Protection System) を改善することで、MPS が実験施設へのビーム供給を停止する時間の低減が期待される。この論文ではその手法について報告する。

#### 1.1 J-PARC 加速器のビームサイクル

J-PARC 加速器は 181MeV LINAC, 3GeV RCS(Rapid Cycling Synchrotron) 及び 30GeV MR から構成される。これらの加速器のうち LINAC および RCS は 25Hz のサイクル運転を行っている。一方 30GeV MR は 6 秒 (HD) あるいは 3.52 秒 (NU) を一サイクルとする運転パターンを持っている。LINAC/RCS で 3GeV まで加速された陽子ビームのほとんどは MLF に供給されている。MR への入射には 3.52 秒あるいは 6 秒の MR サイクル毎に 8/25 秒分だけが使われる。

#### 1.2 J-PARC 加速器 MPS の現状

図-2 に現状の J-PARC 加速器 MPS の概要を示す。LINAC, RCS, MR のそれぞれの加速器に設置された MPS 信号集約装置からの MPS 信号は中央制御棟に設置された中央 MPS 信号集約装置に集約される。中央集約装置は、MPS 信号発報時には LINAC 上流のビーム停止を指令する。MR の MPS 信号集約装置は、D1,D2,D3 の

<sup>1</sup>2010 年度後半の加速器運転では NU への 100KW 超のビーム供給が予定されている。

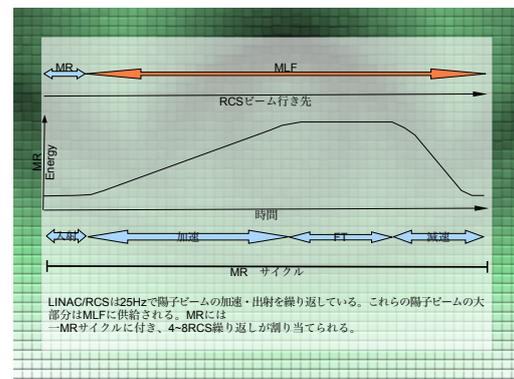


図 1: 25Hz で加速を繰り返す LINAC/RCS の陽子ビームの一部だけが MR に入射される。その他の陽子ビームは MLF に供給される。

各遠隔制御室および HD, NU の各実験施設に設置された MPS 信号集約装置からの信号を集約するというカスケード構造を持っている<sup>[2]</sup>。

現状の J-PARC 加速器 MPS では MPS 信号発報時には、信号発報の場所によらず、LINAC のビーム源でビーム供給を停止する。

#### 1.3 LINAC ビームの停止

MPS 発報時に高速に (~ 5 $\mu$  秒) LINAC に供給されるビームを遮断するための専用装置が開発された<sup>[4]</sup>。この装置は、

1. ) RFQ への高周波を遮断
2. ) イオン源のイオン源アークタイミングを変更し、ビーム引き出しタイミングから外す



図 2: 現行の J-PARC 加速器 MPS の概略を示す。分散配置された MPS 信号集約装置が受信した MPS 信号は光ファイバケーブルを通じて、最終的には中央制御室に設置された中央集約装置に集約される。中央集約装置は LINAC に設置されたビーム遮断のための装置を通じて、ビーム供給を停止する。

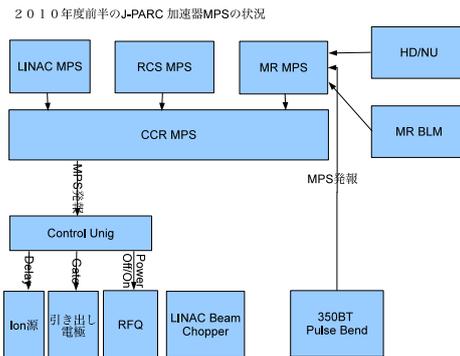


図 3: 現行の J-PARC 加速器 MPS と Beam 停止

いては、LINAC/RCS から MR へのビーム供給を停止する一方で、MLF へのビーム供給は継続する物である。

### 2.1 新規ビーム遮断装置の制作

これを実現するためには、MR MPS(HD/NU MPS を含む) 信号経路の 2 レベル化にとどまらず、図-4 に示すように、LINAC Ion 源、RFQ、Beam Chopper を制御し、MR へのビーム供給を選択的に停止するための装置の制作が必要である。

3. ) RFQ への高周波供給の再開
  4. ) 機械式ビームストップをビームラインに挿入
- の手順を自動的に実行する (図-3)。

## 2. MPS の 2 レベル化

前節で述べた様に、現在の J-PARC 加速器 MPS(Machine Protection System) は図-3 に示すように J-PARC 加速器および実験施設 (MLF/NU/HD) のいずれの場所において発生した MPS 事象に対して、LINAC の RFQ/Ion 源を操作し、MPS 信号の発報中はビーム取り出しを停止している。ビーム供給の再開には、

1. MPS 発報源を特定し、原因を取り除く
2. あるいは、MPS 信号を発報している施設をビーム行き先から外したうえで、

MPS をリセットし、安全を確認することが必要である。特に後者のビーム行き先変更には数分から 10 数分の時間が必要となる。これらの計画外のビーム供給停止時間は特に MLF の実験ユーザにとり小さくない影響をおよぼす。これは、MLF で実施されている実験は HD や NU にくらべ短期の実験時間で実施されていること、および資料の数時間程度の連続的な観察が必要とされる実験があることによる。

加速器システムの安定性を向上させ、MPS を発報させないことが第一義的な解決策ではあるが、更なるビーム増強をめざして MLF ビーム供給と MR の加速器開発運転が同時に進行する J-PARC のような複合加速器システムでは、このような MPS 発報によるビーム停止の影響を最小化する手法も導入する必要がある。

此処での提案は以下の各章で詳説する様に、MR から J-PARC MPS へ送信する MPS 信号を 2 レベル化する事により、MR/HD/NU の加速器 / 実験施設の MPS 事象の内、MLF へのビーム供給を妨げるもので無い事象につ

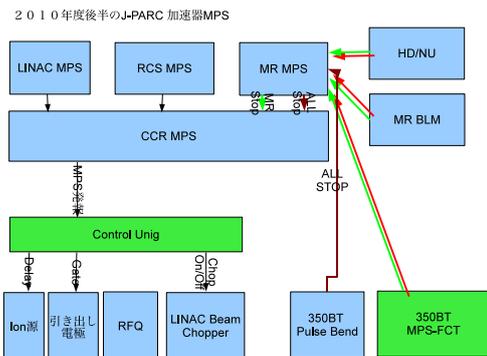


図 4: 2 レベル化された J-PARC 加速器 MPS と Beam 停止

この装置では、“MR-Inhibit” 状態では、MR 向けに割り当てられた RCS サイクルについては、現状とどのようにイオン源 Arc タイミングをイオン取り出しタイミングに対してオフセットさせることによって、以降の加速器へのビーム供給を選択的に抑止する。

現在 J-PARC ライナックでテストが進められている RF Chopper を用いた高速ビーム遮断システム<sup>[5]</sup>を並行に動作させることも検討中である。

### 2.2 350BT MPS-FCT の新設

MPS の機能強化に際しては、本来 MPS が備えているべき安全性を損なうような事があってはならない。此処で提案している MPS の 2 レベル化では、RCS から MLF へのビーム供給は継続しながら、MR へのビーム供給は

停止すると言う物である。J-PARC の RCS からの MLF のビーム移送ラインは、RCS から MR へのビーム移送ラインと一部を共有している。ビームライン分岐部に設置されている 350BT パルスベンドの励磁によってそれ以降のビームラインが選択される。このため、MLF ビーム供給継続中に何らかの原因で 350BT のパルスベンドが励磁されると本来ビーム停止状態にある MR にビームが流れ込むことになる<sup>2</sup>このような事態に対処するためには、350BT において、MR がビームを要求していないタイミングでのビームが検出されないことを確認することが求められる。このために、350BT の FCT を用いたビーム不在確認の装置を整備する。また、MR MPS 装置においても、MR ビーム要求が無い (MR Stop 発報状態) での MR BLM 検出などの異常事態発生時に “All-Stop” MPS 発報状態に遷移するような改造を検討する。

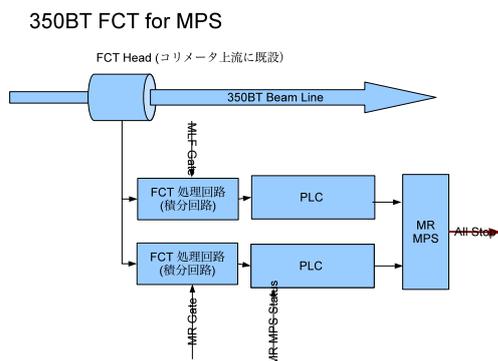


図 5: 350BT FCT によるビーム不在確認装置

### 3. まとめ

J-PARC 加速器 MPS の 2 レベル化 (ALL STOP 及び MR Inhibit) への対応を検討し、システム設計を行った。これらの設計に基づき、装置の制作が進められている。今年度後半の J-PARC 運転からの運用を目指して、作業が進められている。このシステムの運用により、J-PARC 加速器の実効的なビーム共用運転時間の向上 (加速器可用性の向上) が見込まれる。

将来的には、“MR Inhibit” と同じく、“MLF Inhibit” 信号が必要になることも考えられる。LINAC 高速ビーム遮断装置はこれも考慮した設計となっている。

“MR Inhibit” 状態での 350BT へのビーム流入の検出には新設の 350BT MPS-FCT システムが使われる予定である。このシステムのバックアップとして、“MR Inhibit” 状態での MR/350BT の BLM(Beam Loss Monitor) 信号検出によって “ALL Stop” 状態への遷移を可能とする改造も検討されている。このシステムの実装方法については検討を継続している。

### 参考文献

[1] H. Kobayashi, H. Matsumoto and M. Yoshioka, “CHALLENGES TO ACHIEVING HIGH-POWER

<sup>2</sup>パルスベンドが励磁される可能性はほとんどないと考えているが。

OPERATION OF THE J-PARC MR” 「J-PARC MR のハイパワー化に向けた課題」, in these proceedings.

- [2] H. Nakagawa et al., “The Protection system of the equipment for J-PARC MR”, Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 32nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Wako, August 1-3, 2007; H. Nakagawa, “MR-MPS based on Embedded EPICS for J-PARC”, Proceedings of the ICALEPCS2009, Kobe, 2009
- [3] H. Sakaki et al., “Interlock System for J-PARC LINAC”, 「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」, Proceedings of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31st Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, August 2-4, 2006; T. Ishiyama et al., “Construction of GUI for J-PARC Linac Machine Protection System” 「J-PARC リニアックの MPS の制御画面構築」, ibid.
- [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, Higashi-hiroshima, Japan, Aug. 6-8, 2008.
- [5] N. Kikuzawa et al., “Development of fast beam-stop system using RF chopper” 「RF チョッパーによる高速ビーム遮断システムの開発」, in these proceedings.