

J-PARC メインリングにおける機器保護システムの更新と インターロック信号の光化

UPDATE OF MACHINE PROTECTION SYSTEM AND OPTICALIZATION OF INTERLOCK SIGNALS IN J-PARC MAIN RING

木村琢郎^{#, A)}

Takuro Kimura ^{#, A}

^{A)} J-PARC Center/KEK

Abstract

MR-MPS is an instrument protection system that ensures the safety of the J-PARC main ring, neutrino and hadron experimental facilities by stopping beam operation and performing beam abort processing when an anomaly is detected. The conventional system has been in operation since 2008, when the main ring started operation, but it has been more than 10 years since its introduction. In 2022, with the renewal of the main magnet power supply and the introduction of a new RF, the newly developed MR-MPS has started to be upgraded to match these changes. In the conventional MR-MPS, interlock signals such as power supply were input to the MPS equipment in the local control room by hard wires using contacts. These signals were a source of noise inflow to the local control room and could cause malfunctions of other control equipment. Therefore, the new MR-MPS removed the contact input of interlock signals and replaced it with an optical input. Since most interlock signals were designed for contact input, it is necessary to convert the contact to an optical signal. In this report, we introduce the status of MR-MPS renewal and the optical conversion of interlock signals, as well as plans for the future renewal of all MR-MPS units and the optical conversion of all interlock signals.

1. はじめに

MR-MPS は異常を検知した際に、ビーム運転の停止およびビームアポート処理を行うことで J-PARC メインリング (MR)、ニュートリノ (NU) およびハドロン (HD) 実験施設の安全を担保する機器保護システムである[1-3]。メインリングの運転が開始された 2008 年から運用されてきたが、従来のシステムは導入から 10 年以上が経過しており、2022 年には主電磁石電源の更新や新 RF 空洞が新たに導入されたことに伴い、それらに合わせて新たに開発した MR-MPS の更新を開始した。従来の MR-MPS では電源等インターロック信号は接点を用いハードワイヤーでローカル制御室の MPS 装置へと入力していた。これらはローカル制御室へのノイズの流入源となりその他の制御機器の誤動作の原因となりえた。そのため新 MR-MPS では接点でのインターロック信号入力を廃し光信号での入力へと仕様変更を行った。大半のインターロック信号は接点入力を前提として設計されていたため接点を光信号に変換する対応が必要となっている。本発表では、MR-MPS の更新とインターロック信号の光化への対応状況を紹介するとともに今後の MR-MPS 全台の更新と全インターロック信号の光化の計画について紹介する。

2. MR-MPS

従来の MR-MPS ユニットの構成を Fig. 1 に示す。各 MR-MPS ユニットの構成は MR 第 1 電源棟から第 3 電源棟 (D1~D3) の各電源棟のローカル制御室に各 2 台ずつ設置されている。各電源棟の MR-MPS ユニットの最大で 28 チャンネルの接点信号を入力している。基

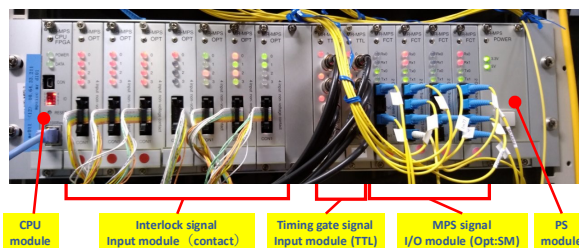


Figure 1: Current MPS Unit Configuration.

本的な MR-MPS ユニットの構成を Fig. 1 に示す。各 MR-MPS ユニットの構成は MR 第 1 電源棟から第 3 電源棟 (D1~D3) の各電源棟のローカル制御室に各 2 台ずつ設置されている。各電源棟の MR-MPS ユニットの最大で 28 チャンネルの接点信号を入力している。基

本的な MR-MPS ユニットの構成を Fig. 1 に示す。各 MR-MPS ユニットの構成は加速器的の運転状態・ビーム先行によって、以下の 4 種類の運転モードに条件分けされる。Abort: 主に MR のビームスタディ時の設定。スタディに利用されたビームは MR アポートダンプへと破棄される NU: 速い取り出し (FX) 運転モード設定。ビームは NU 実験施設へ供給される。HD: 遅い取り出し (SX) 運転モード設定。ビームは一定量ずつ、約 2 秒間かけて HD 実験施設へ供給される。連続運転: 上記 3 種のビーム先行に関わらず、ビームをシングルショットではなく連続で供給する際に有効となる設定。これら MR の運転状態は EPICS レコードにより、ネットワーク経由で MR-MPS の CPU モジュールで取得される。MR-MPS ユニットの接点入力される各 MR 機器のインターロック信号には先行モードマスクと呼ばれる設定レジスタが用意されており、MR-MPS-CPU によって取得された運転状態に基づき、インターロック信号の受付の可否が行われる。

またインターロック入力信号は MR-MPS-ユニットごとに集約され 2 種のビーム停止信号と 2 種のビーム破棄信号からなる MPS 信号へと変換される。MR inhibit: MR

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

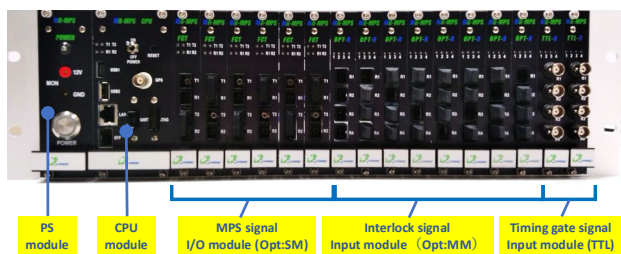


Figure 2: New MPS Unit Configuration.

のビーム運転のみを停止・禁止するMPS信号。All stop: LINAC、RCS、MR すべての加速のビーム運転を停止・禁止する信号。Abort:ビームを MR アボートダンプへの破棄を命じる信号。主に FX 運転時に使用される。Abort の MPS 発報時には、通常 NU へ向けてビームが取り出されていたタイミングに、FX Kicker のキック方向を切り替えて MR アボートダンプにビームを破棄する。Extra-Abort: 細かくは ms-Abort と SX-Abort の 2 種からなる MPS 信号。出力チャンネル数の制限により FX と SX の運転時切り替えて使用している。ms-abort は FX 運転時に使用される。インターロックの発報からビーム破棄までを1ミリ秒以内に行うことを最低保証する。SX-Abort は SX 機器を停止させることによって約 2 秒間で行われる HD 実験施設へのビーム取り出しを即時に停止し、最終的にビームを MR アボートダンプへ破棄する。これらも行先モードマスクと同様にアウトプットモードマスクとして各機器の入力ごとに設定されており、停止処理は MR inhibit または All stop のどちらかが必ず設定されている。ビーム破棄設定については機器ごとに任意に選択されている。ちなみに各 MR-MPS ユニットでインターロック信号を受け付けてから MPS 信号を出力するまでの時間は数マイクロ秒となっている。

これらの MPS 信号は各電源棟の MR-MPS ユニットで集約され、シングルモードの光ケーブルにて D3 の A 系、B 系の 2 台の MR-MPS 集約ユニットへ送られる。ここでは NU や HD の実験施設からの MPS 信号も集約され、MR inhibit や All stop といったビーム停止信号はさらに上位の J-PARC MPS ユニットに送られたのちビーム停止が行われる。Abort や ms-Abort 信号は Abort リクエスト信号として D3 に設置されている FX-kicker へと送られビームアボートを行う。SX-Abort信号は SX 機器の電源が設置されている D2 へと送られ任意の SX 電源に分配され電源の安全な停止によりSXが中止される。

さらに、インターロック信号入力および MPS 信号出力は任意のタイミングに調整できるようにタイミングマスクが用意されている。現在タイミングマスクを使用しているのは ms-Abort 信号出力と NU からの MPS 信号入力の 2 種である。

3. 新 MR-MPS

新 MR-MPS は 2022 年 3 月に製造され、夏期メンテナンスの終了した秋から実践導入された。新 MR-MPS ユニットでは行先モードマスク、アウトプットマスク、タイミングマスクなどの基本機能は踏襲し信号入力から出力までの応答時間も数マイクロ秒を維持している。また MPS 信号を上位とやり取りするシングルモードの光信号も従来型と

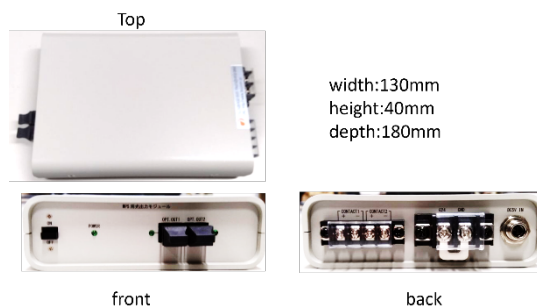


Figure 3: Contact Optical Signal Conversion Module.

同様とし互換性をもたせている。

従来型との変更点はモジュール幅を少し狭くすることで 1 ユニットあたりの入出力モジュール数を 14 から 16 に増加させている。各入出力モジュールと CPU モジュールの信号接続はバックプレーンを廃し、HDMI ケーブルを採用し入出力モジュールで変換された LVDS 信号で行われている。さらには前述したとおり、各機器のインターロック信号入力として使用してきた接点入力モジュールを廃しマルチモードの光入力モジュールに変更する大きな方針転換も行った。Figure 2 に新 MR-MPS ユニットの基本的な構成を示す。

新 MR-MPS の導入と同時期に更新が行われた偏向、4 極および 6 極電磁石電源などの主電磁石電源は特別に新 MR-MPS に対応した光信号出力を組み込むことができた[4]。一方で、同時期に新規に導入された機器でも RF12, 13 号機[5]では、これまでの RF1~9 号機と同様に従来型の MR-MPS 側から 24V を印加する無電圧接点を使用する設計に統一されていた。そのため主電磁石電源での光信号出力対応のノウハウをベースにして MPS 用 2 入力 2 出力の接点/光信号変換モジュールの開発を行った。これにより機器側で光信号に変換しローカル制御室には光信号での接続することが可能になった。このプロトタイプをベースに MPS 用光出力モジュールを量産化し、FX Eddy セプタム 1, 2 号機[6]での実運用が行われている。Figure 3 に接点/光信号変換モジュールを示す。

4. MPS 用インターロック信号の光化

これまで MPS 用インターロック信号の光化は、ほとんど機器ごとの個別対応となっていた。MR-MPS ユニットの全台更新に向けては電源棟ごとに計画的に整備を進めていく必要がある。そこで現状対応ができていない D4~D6 を除き、D1~D3 の各電源棟では一定の機器グループごとに接点信号の集約拠点を確保し、そこで接点/光信号変換をまとめて行う。さらに各拠点とローカル制御室までの光ケーブルを敷設することを基本方針として計画していくこととした。今回は Fig. 4 に D1 の機器レイアウトを示したうえで整備計画も例として説明を行う。D1 のなかでもすでに 4 極 6 極電磁石電源群のエリアと RF12, 13 号機は光化対応済みエリアである。3-50BT 電源のエリアについては今期の夏期メンテナンス期間にパルスバンド電源の更新が行われるにあたり、破線で囲まれたエリアに示した場所に光拠点を確保しローカル制御室までの光ケーブルを敷設済みである。新パルスベン

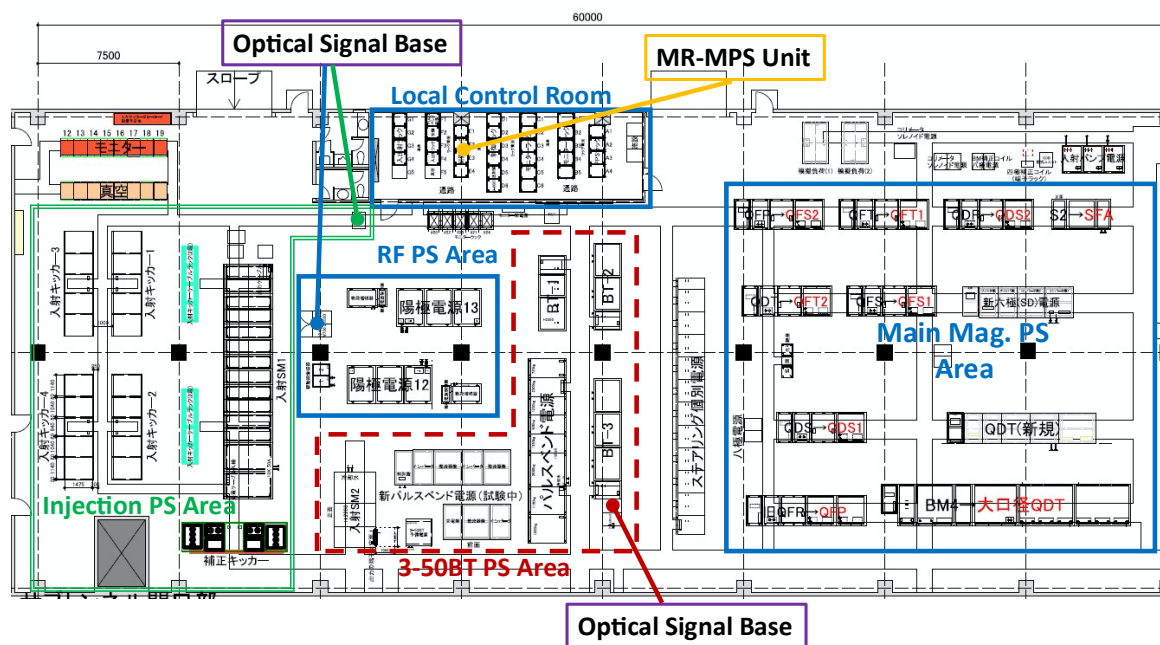


Figure 4: Component Layout of D1 Power Supply Building.

ド電源を皮切りに光拠点への各電源の接点信号の集約と光変換の対応を順次行っていく予定である。また入射機器電源のエリアでは、各電源での光変換を行いたいとの希望もあり、二重線で囲まれたエリアに示した場所に光拠点を設置したうえで光信号変化は各電源で行い光信号を集約する方式とした。この光ケーブルの敷設などは今年の 9 月までに整備完了予定である。今後は真空とモニタ機器エリアの光拠点の整備とステアリング電源のインターロック信号の光化を順次行っていく必要がある。

その他の電源棟でも D2 では SX 機器用の光拠点の確保が完了している。D3 では D1 の入射機器と同様に FX 機器エリアの光拠点整備が 9 月に完了予定である。今後は D3 の RF 機器エリアと D1、D3 の真空、モニタ機器エリアの光拠点整備を順次行うことで新 MR-MPS 用の光化対応が完了する。

5. おわりに

2022 年 11 月より D1 から D6 の電源棟に新電磁電源、RF12、13 号機の導入とともに、1 台ずつ導入されたしん MR-MPS ユニットの動作している。今期の夏期メンテナンス中には新 MR-MPS 用に各機器のインターロック信号を光化する計画により多くの機器で新 MR-MPS への移行が可能となる。さらに今年度中には新 MR-MPS 用 CPU モジュール 10 台製造が完了するため、来期には MR-MPS ユニットの置き換えが可能となる予定である。また今回整備される光拠点は、インターロック信号を光化するだけでなく、ローカル制御室へのノイズの流入を防ぐべくタイミングシステムをはじめとする制御機器の光化拠点としても拡張していく予定である。まずは引き続き各電源棟の光拠点整備を進めていくことで新 MR-MPS への完全移行の完遂を目指す。

謝辞

接点/光信号変換モジュールの開発にあたり、KEK 下川哲司氏、杉山泰之氏に多大なるご協力をいただきました。実運用試験では KEK 芝田達伸氏、高野淳平氏にご協力いただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Oguri, “Status of J-PARC accelerators”, Proc. 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2024), Yamagata, Japan, Jul.-Aug. 2024, TFSP16.
- [2] S. Igarashi *et al.*, “Accelerator design for 1.3-MW beam power operation of the J-PARC main ring”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2021, March 2021, 033G01. doi:10.1093/ptep/ptab011
- [3] T. Kimura *et al.*, “Development of a ms-abort System via J-PARC MR-MPS”, Proc. 15th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2018), Nagaoka, Japan, August 7-10, 2018, WEP099 p.609-612.
- [4] K. Miura *et al.*, “Upgrade of main magnet power supply system in J-PARC MR for High Repetition Rate Operation”, Proc. 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ19), Online, October 18 - 21, 2022, TUP039 pp. 400-403.
- [5] K. Hasegawa *et al.*, “Status and Upgrade Plan of the MR Ring RF Systems in J-PARC”, Proc. 13th International Particle Accelerator Conference (IPAC2022), Bangkok, Thailand, June 12 - 17, 2022, pp. 2031-2033, WEPOTK004.
- [6] T. Shibata *et al.*, “The Eddy Current Type New Septum Magnet for Upgrading of Fast Extraction in MR of J-PARC”, Proc. 13th International Particle Accelerator Conference (IPAC2022), Bangkok, Thailand, June 12 - 17, 2022, pp. 2428-2431, THOYSP2.