

J-PARC MR の MPS 装置の異常発生と対策

THE ABNORMALITY OCCURRENCE OF MR-MPS DEVICE AND COUNTERMEASURE IN J-PARC

木村琢郎^{#,A)}, 中川秀利^{A)}, 佐々木信哉^{A)}

Takuro Kimura^{#,A)}, Hidetoshi Nakagawa^{A)}, Sinya Sasaki^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

Abstract

Machine Protection System in J-PARC Main Ring (MR-MPS) collects information of equipment and does logic judgment. The beam operation is stopped at once, when detecting the interlock signal from the equipment. Then the beam in the accelerator is extracted to the abort dump. Safety of the accelerator and experiment facility are defended by this operation. In this paper, the abnormality occurrence and the countermeasure of MR-MPS device which occurred in March, 2015 is reported. Also, we report on the slow extraction abort system that the MPS which begins operation after a summer shutdown was used.

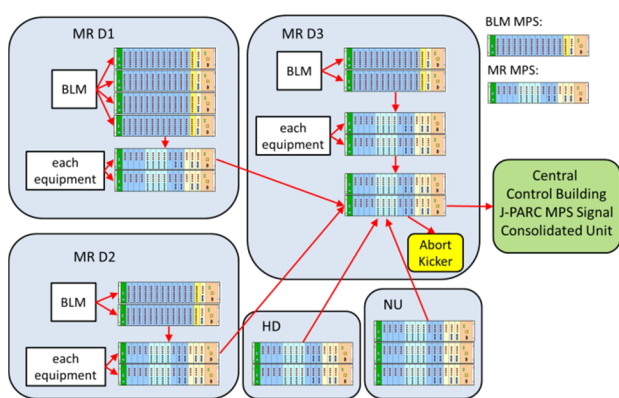


Figure 1: MR MPS device layout.



Figure 2: Screenshots of MR MPS GUI.

1. はじめに

J-PARC の Main Ring (MR) の MPS 装置は 2008 年からビーム運転で運用されている^{[1][2]}。MR の MPS 装置は Figure 1 に示すとおり第 1~3 電源棟 (D1~3) に配置されている。各電源棟に配置された MPS 装置は 2 つに分類される。ビームロスモニター (BLM) 情報を集約する BLM-MPS と BLM-MPS を含めた各機器のインターロック信号を MPS 信号として集約する MR-MPS である。各電源棟で集約された MPS 信号は、ニュートリノ実験施設 (NU) やハドロン実験施設 (HD) の MPS 信号と共に第 3 電源棟の MR-MPS 集約装置で集約されビーム停止信号やビーム破棄 (Abort) 信号を出力する。これら MPS 信号の発報状況は Figure 2 に示す EPICS の GUI アプリケーションで監視及び復帰操作をすることができる。MPS を運用することにより加速器及び実験施設にて異常が発生した際に加速内のビームを安全に処理し、直ちにビーム運転を停止することで各施設とそれらの機器の保護を行っている。そのため加速器の保護を行う MPS 装置に異常が発生した際の適切な対応が重要

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

となる。

本文では、2015 年 3 月に発生した MPS のリセット動作不良と MPS 装置の通信異常により一部 MPS 情報がモニターできなくなった 2 つの事象を例に挙げ、異常発生の原因や MPS 装置の復旧手順、異常発生を抑制する対策について報告を行う。また、夏期シャットダウン後に運用を開始する MPS を利用した遅い取り出し中止システムについて紹介を行う。

2. MPS 装置の異常発生と対策

2.1 MPS のリセット動作不良

2015 年 3 月に MPS のリセット動作不良が実際に発生した際のタイムラインを以下に示す。

- 15:16 NU 利用運転 350Loss01 (BLM-MPS) にて MPS 発報。該当 BLM は 3-50BT BLM QFS2
- 15:19 MPS リセットにより正常復帰。行先 MR アポートにて 1shot。正常であることを確認。行先 NU ターゲットにて 1shot。正常であるこ

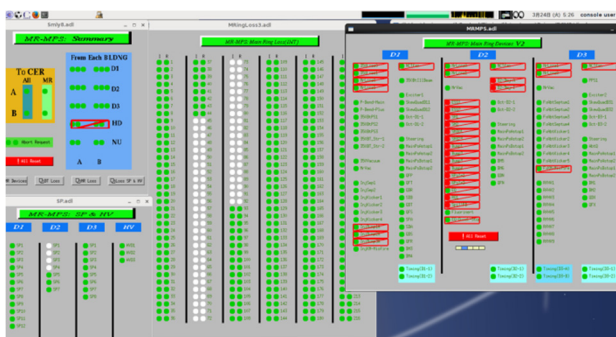


Figure 3: Screenshot when can't monitor MPS information.

とを確認。

- 15:20 NU 利用運転を再開。再開と同時に 350Loss01 (BLM-MPS) にて MPS 発報。ただし該当 BLM なし
- 16:41 MPS リセットにより正常復帰。NU 利用運転を再開。

この時の MPS 発報後の復帰手順は MR のビーム利用運転時の対応として一般的なものである。MPS 発報後はビームの行先を MR アポートダンプとして MR の健全性確認のために 1shot、その後ビームの行先を実験施設である NU ターゲットに変更後 1shot 打ち実験施設の健全性を確認し利用運転を再開するものである。しかし、問題事象の発生時は MPS 発報後のリセットが正しく行われているかに思われるが利用運転再開した直後に BLM の MPS が発報し、かつ具体的なビームロス発生場所が存在しないという異常事象が発生した。

各 MPS 装置は異常を検知したインターロック信号が入力されるとその状態を保持するようになっている。また MPS 発報状態のリセットはインターロック発報機器の復旧後、MPS リセットボタンを押すことで自動的に行われる。今事象は MPS 発報時の復帰シーケンスに問題があることが調査の結果により特定された。MPS リセットボタンを押すと Figure 1 に示した通りカスケード状に接続された MPS 装置は各電源棟の BLM-MPS のリセット、MR-MPS のリセット最後に MR-MPS 集約装置のリセットという手順を 0.1 秒おきに自動的指示されリセットが行われる。今事象は通信遅延等が原因で BLM-MPS より先に MR-MPS のリセットが行われたため BLM-MPS は発報状態から復帰したが MR-MPS は発報状態のままの異常状態となった。さらにこの状態のまま 1shot でのビーム運転が再開できたのは、MPS マスク設定のためである。ビーム調整を円滑に行うため BLM-MPS 発報によるビーム停止は 1shot でのビーム運転では行わないように設定されている。そのため 1shot での運転は可能となり、利用運転再開直後にビームロスがないにもかかわらず BLM での MPS 発報となったのである。また 0.1 秒のリセット間隔では BLM-MPS 発報とリセットを繰り返し行う試験を行ったところ 10~20 回に一度の高い頻度でリセット不良が来ることが確認された。この MPS のリセット不良がこれまで顕在化しなかった理由として今回の

リセット不良を起こした箇所のようにリセット不良が起こり得る箇所での MPS 発報事象が極めて少なかったことも一因にある。

対策として各 MPS 装置のリセット間隔を 1 秒間隔に変更を行った。対策後はビーム運転でのリセット動作不良は発生していない。しかし、1 秒間隔のリセットでも発報とリセットの繰り返し試験では 600 回程度試験したところでリセット不良が発生したため今夏期シャットダウン中にさらなる調整を継続している。

2.2 MPS 情報モニタリング異常

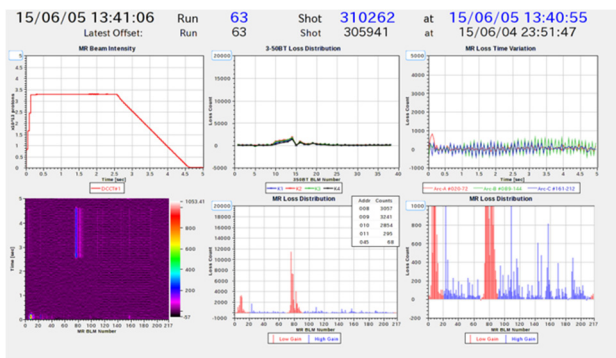
MPS 情報がモニタできなくなった状態を Figure 3 に示す。今事象も 2015 年 3 月のビーム利用運転中に発生した。今事象は該当する MPS 装置との通信が行えなくなったため発生した。一方で MPS 装置との通信異常発生時にも MPS 装置のインターロック情報集約機能やビーム停止機能等は動作可能なため加速器及び実験施設の安全性は担保される。今事象の発生原因は MPS 装置の通信を担う CPU ボードの IP アドレス設定の特殊性が原因である。MPS 装置の CPU ボードは DHCP サーバによりそれぞれ IP アドレス設定がなされている。しかし、CPU ボードの故障等で CPU ボードの交換を行った際には IP アドレスが交換前の CPU ボードとは異なり、IP アドレスの変更に対応したプログラムの書き換えが必要となる。そのため、CPU ボードの IP アドレスは MPS 装置の起動時に DHCP サーバより IP アドレス取得後に各 CPU ボードのデジスイッチの設定に対応した IP アドレスに変更をされる様になっている。これによって CPU ボードの交換を行って際のプログラムの書き換えの必要をなくし、CPU ボードの交換作業を容易にすることができる。しかし DHCP サーバの割り振る IP アドレスの有効期限は 6 カ月程度のため MPS 装置の起動から 6 カ月以上経過すると DHCP サーバの割り振る IP アドレスに再度上書きするため、EPICS での通信が正常に行えず MPS 情報がモニタできなくなる事が確認された。また MPS 装置が長期間に渡り安定動作をしていたため、MPS 装置を再起動させることがなかったために顕在化した問題といえる。

この対策としては定期メンテナンスにおいて CPU の再起動を行うことで IP アドレスの有効期限切れ防ぐこととした。また、万一ビーム運転中に再発した際は該当する MPS 装置の再起動が必要となる。復旧作業を速やかかつ安全に行うべく、復旧手順とその作業によるビーム運転への影響を記載した MPS マニュアルの改訂を行った。

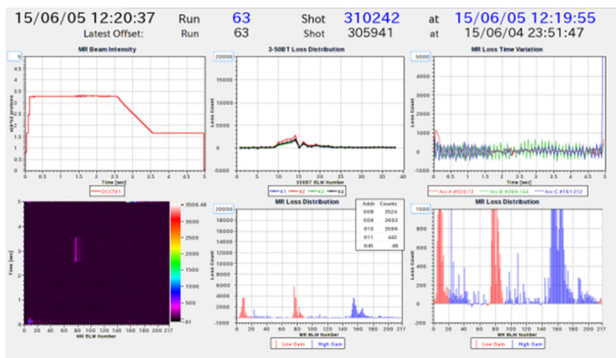
3. 遅い取り出し中止システム

3.1 背景

これまで MR の MPS に発生した問題と対策を報告したが、ここでは新たに導入される MPS を利用した遅い取り出し中止システムについて報告する。MR ではニュートリノ実験に用いられる速い取り出し (FX) とハドロン実験に用いられる遅い取り出し (SX) の 2 つの運転モードが存在する^[3]。FX が MR



(a) Nomal



(b) Slow Extraction abort

Figure 4: Beam intensity and beam loss by Slow Extraction.

でのビーム加速終了後すぐに NU ターゲットへビーム取り出しが行われるのに対して、SX では加速終了後 2 秒程度間でゆっくりとビームを取り出される。そのため遅い取り出しが行われている中に加速器や実験施設に問題が発生した際は直ちにビームアボートを各施設の安全を担保したい。しかし、現在の MR のビームアボートシステムでは任意のタイミングでのビームアボートを行うことができない。(任意のタイミングでのビームアボートシステムは現在開発中である) そのため遅い取り出し中に MPS が発報した際には直ちに遅い取り出しを中止し、スケジュールされたタイミングでビームアボートを行うシステムの導入を行う。正常に遅い取り出しが行われているときの周回ビームのビーム強度とビームロスまた遅い取り出しを任意のタイミングで中止した際のビーム強度およびロスを Figure 4 に示す。

3.2 MPS を利用した SX 中止システム

SX では、3 次共鳴を利用して取り出し行っており、共鳴 6 極電磁石 (RSX) によって 3 次共鳴を励起し、取り出し用 4 極電磁石 (EQ) によってベータatron チューンを 3 次共鳴点に近づけることで取り出しを行っている。Figure 4 の SX の中止では EQ 電源を任意のタイミングで停止させ、EQ 電源の停止の検知により RSX 電源も同時に停止させることで SX を中止している。そこで、SX 中止システムでは SX に関

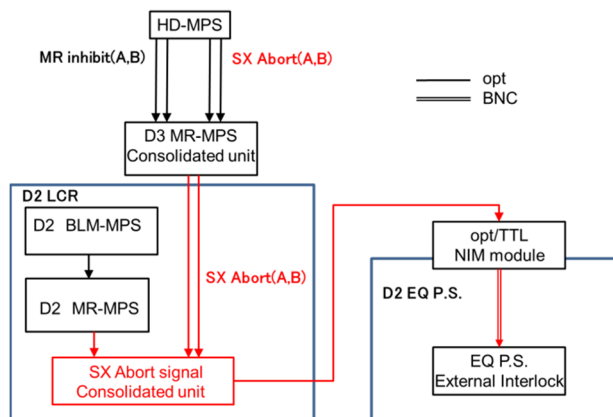
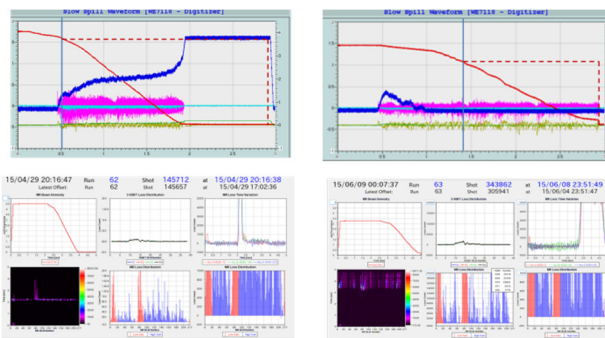


Figure 5: Slow Extraction abort system layout.



(a) High Intensity Study

(b) HD MPS

Figure 6: Example to need a Slow Extraction abort system.

連する第 2 電源棟 (D2) で管理される BLM の MPS 発報と HD での MPS 発報により EQ 電源の停止信号 (EQ Abort) を出力し、それらの信号の OR をとることで集約し EQ 電源に対して停止信号を入力することで SX の中止を行う。その概略を Figure 5 に示す。この SX 中止システムを導入することにより、Figure 6 に示すような大強度調整運転中に発生した大きなビームロスや利用運転中に発生した HD ビームトランスポートラインでの電磁石停止およびそれに伴う MR での大ロスが発生した際には、MPS 発報によって SX を中止することで取り出しを中止した周回ビームは赤点線のように周回を続けスケジュールされたタイミングでビームアボートされることになる。これによって大きなロスによる高放射化や各機器の損傷を防ぎ、加速器及び実験施設の安全性を向上させることができる。本システムは 2015 年の夏期シャットダウン後の導入に向けて最終調整を行っている。また今後調整を行っていくことで SX を中止する MPS 信号の種類を検討と拡張を行うことでさらなる安全性向上を図る。

4. おわりに

2015 年に発生した MPS 装置の異常とその対策を報告した。いずれも加速器の安全の担保に問題はなかったが、これらの異常発生とその対応により貴重なビーム利用時間を消費してしまっていることは否

めない、より安定なシステム運用を継続していく必要がある。また、加速器及び実験施設の安全を担保するために新たに MPS を利用した SX 中止システムは夏期シャットダウン明けより運用が開始される。今後も、必要に応じて EQ Abort 信号の拡張を行い、さらなる安全性向上を図る。

参考文献

- [1] A. Akiyama, et al., “Mechanism for Complex Mode MPS”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 4-6, 2010, THPS098.
- [2] Y. Ito, et al., “J-PARC Accelerator MPS functionality for High Availability”, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 4-6, 2010, WEPS025.
- [3] T. Koseki, et al., “Beam Commissioning and Operation of the J-PARC Main Ring Synchrotron”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2012, 02B004, 10.1093/ptep/pts071.