

# J-PARC MR コリメータ制御システムの改良

○門脇 琴美<sup>A)</sup>、 白形 政司<sup>A)</sup>、 山田 秀衛<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup>高エネルギー加速器研究機構

## 1. はじめに

茨城県東海村に位置する大強度陽子加速器施設 J-PARC には、LINAC、RCS、および Main Ring (MR) の 3 つの加速器が設置されている。MR ビームの大強度化に伴いビームロスが増加しており、その低減は重要な課題の一つである<sup>[1,2]</sup>。MR では、コリメータ設置エリアにビームロスを局在化させることにより、その他のエリアにおけるビームロスを低いレベルに抑制している。

MR コリメータの設置位置を図 1 に示す。MR コリメータは、ビーム外周部に存在するビームハローを削ることで、ビームロスの局在化を実現している。MR コリメータは、MR のビーム強度増加に対応して、構造変更や設置台数の変更などの増強が段階的に行われてきた<sup>[3]</sup>。本報告では、これらのコリメータ増強に伴って実施した制御系の整備について報告する。

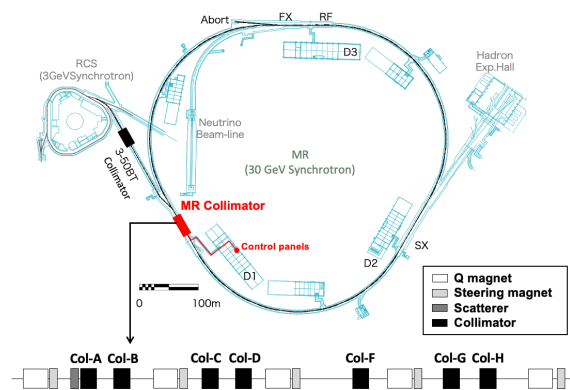


図 1 MR コリメータの位置

## 2. MR コリメータの機器構成

J-PARC 建設当初、MR コリメータは散乱体と吸収体から構成される複合型であった。しかし、MR ビームの大強度化に伴い、直接ビームロスを削り取るシングルパス型へと変更された。さらに設置台数の変更が行われ、2026 年現在では、2 軸型および 4 軸型からなる計 7 台構成が最終形として運用されている。

MR コリメータには、1 台で水平方向および鉛直方向のビームハローを削ることを目的として、L 字型の jaw が設置されている。jaw はコリメータダク

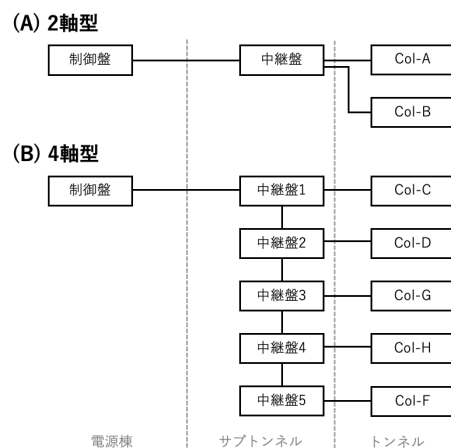


図 2 制御機器の構成

トに溶接されており、動作時にはダクトごと移動する構造である。当初は水平方向および鉛直方向に移動する 2 軸型のみであったが、その後、2 方向の回転自由度を追加した 4 軸型が導入された。

MR コリメータの制御機器構成を図 2 に示す。制御盤は地上の電源棟内に設置されており、サブトンネル内に設置された中継盤を介して各コリメータを制御する。2 軸型コリメータでは、制御盤から 1 台の中継盤に接続され、当該中継盤を介して 2 台のコリメータを制御している。一方、4 軸型コリメータでは、中継盤 1 台が 1 台のコリメータを制御する構成となっており、コリメータと同数の 5 台の中継盤が直列に接続されている。これらの中継盤は、コリメータの導入順に配置されており、実際の物理的配置順序とは一致していない。

MR コリメータの制御には EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) <sup>[4]</sup> を使用している。制御は電源棟内の制御盤からも可能であるが、通常は制御室からネットワーク経由で操作を行っている。

## 3. 制御システムの再整備

前章で述べたコリメータ本体の増強に伴い、EPICS データベースや GUI を含む制御環境の整備が進められてきた。しかし、これらの整備はコリメータ台数の増加に対応するための必要最小限の対応にとどまり、操作性の向上や機能追加は十分に行われ

ていなかった。今回、コリメータ増強が完了し機器構成が確定したことを受け、制御システム全体の再整備を行った。

### 3.1 EPICS データベースの再整備

MR コリメータの EPICS データベースでは、各コリメータの動作指令や状態監視に用いられる信号名が定義されている。MR コリメータの EPICS データベースはコリメータ増強に伴い逐次拡張されてきたため、信号点名には中継盤の ID 番号などコリメータの名称と一致しない番号が用いられていた。このような複雑な命名は誤操作の要因となり得ることから、すべての信号点名をコリメータ名称に基づく表記へ統一した。さらに、移動方向などの情報読み出しに用いられる信号点名についても、開発の歴史的経緯を反映して「上下左右」や「±X、±Y」などの表記揺れが存在していた。これらの呼称についても整理・統一し、信号点名に反映させた。

また、コリメータの操作方法についても改良を加えた。コリメータを動作させるには、動作軸、動作モード、移動距離、およびコリメータ ID の 4 つの情報が必要である。これらの情報は全コリメータで共通のレコードを用いて指定されているため、いずれか一つでも指定を誤ると、意図しない動作が実行される可能性があった。実際に、動作軸や動作モードの指定に起因する誤操作が発生する事例があった。

この状況を改善するため、EPICS シーケンサ<sup>[5]</sup>を用いた新たな操作方式を開発した。今回作成した EPICS シーケンサの構成概要を図 3 に示す。本方式では 2 軸コリメータと 4 軸コリメータを合わせて 1 つのシステムとし、EPICS シーケンサでステートマシンを記述して動作させている。コリメータ動作は動作軸、動作モード、およびコリメータ ID の組み合

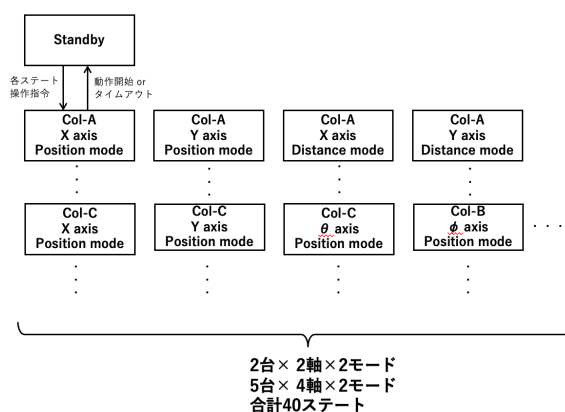


図 3 作成した EPICS シーケンサの概要

わせごとに個別のステートとして定義した。例えば 2 軸コリメータの場合、動作軸 2 通り、動作モード 2 通りの組み合わせにより合計 4 個のステートが設定される。操作時には各ステートに対応した専用の操作用レコードを用い、共通レコードを直接操作しない設計とした。

### 3.2 GUI の再整備

2022 年時点での 2 軸型コリメータ操作画面（以降は MEDM 版と呼ぶ）を図 4 に示す。GUI 環境は MEDM<sup>[6]</sup>が使用されている。操作時は①現在の設定値を確認②動作軸を指定③動作モードを指定④移動量を設定⑤目的のコリメータの動作ボタンを押すという 5 つのステップが必要であった。ステップ数が多いため設定ミスやボタンの誤操作が生じやすく、操作動線にも改善の余地があった。さらに、故障時のみ必要となる詳細情報が常時表示されており、通常操作時の画面構成が複雑化していた。

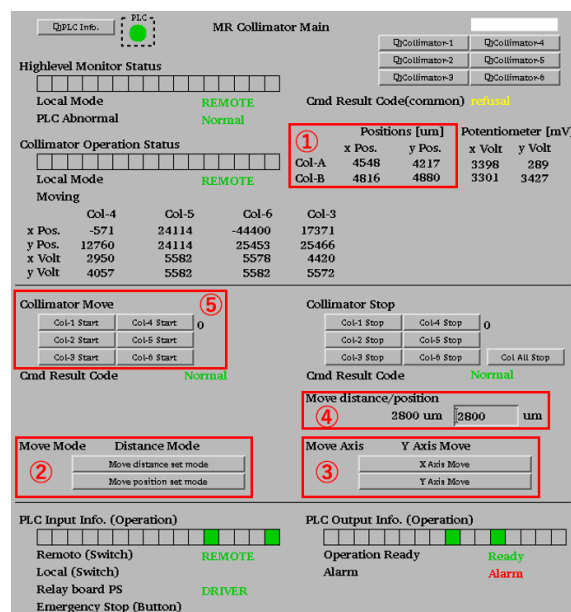


図 4 MEDM 版の操作画面

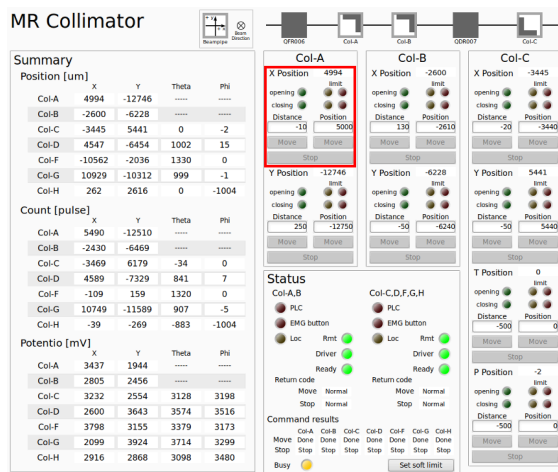


図 5 CSS 版の操作画面の一部

この問題を解決するため、前述の EPICS レコードの再整備と合わせて GUI を一新し、新しい操作画面を開発することとした。新しい GUI 環境としては、MR 機器で多く使用されている CSS (Control System Studio)<sup>[7]</sup>を選択した。改良後の画面（以下 CSS 版と呼ぶ）を図 5 に示す。コリメータ、動作軸およびモードごとにパネルを分けることにより②③⑤の選択動作が不要となり、ステップ数を削減することができた。それぞれの動作軸での操作は赤線で囲んだ範囲で完結する設計とし、操作時の移動量を最小化するレイアウトとした。

また、操作画面に表示する情報を精査して情報量を削減し、空いた表示領域にコリメータの模式図を追加した。これにより、操作前にコリメータの向きを視覚的に確認でき、入力する設定値が意図した方向の動作に対応しているかを事前に確認可能となった。これらの変更により、操作性が向上し、誤操作の低減が図られた。

今回作成した CSS 版画面は、2025 年 11 月より運用を開始した。運用開始から約 3 か月が経過しているが、誤操作はほぼ確認されておらず、設定に要する時間の短縮も認められている。

#### 4. おわりに

2024 年 9 月に MR コリメータは 7 台体制となり、ハードウェア構成としては完成形に至った。今回報告した制御系の整備は 2022 年から 2025 年にかけて実施され、当初の目標であった視認性および操作性の向上、ならびに誤操作の低減が達成された。

一方で、メンテナンス用画面の整備や、移動量の保存・読み込み機能の追加など、検討すべき課題も残されている。今後はさらなる操作性の向上を目指し、制御系の開発および機能拡張を継続する予定である。

#### 参考文献

- [1] S. Igarashi et al., Accelerator design for 1.3-MW beam power operation of the J-PARC main ring, Prog. Theor. Exp. Phys. Vol. 2021, 033G01, (2021). doi:10.1093/ptep/ptab011
- [2] Y. Kurimoto and Y. Sato, Upgrade plan of J-PARC Main Ring, J. Particle Accelerator Society of Japan, Vol. 18, No.1, pp. 10-20, (2021).
- [3] M. Shirakata et al., Beam collimator system which consists of seven units in J-PARC Main Ring, Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Online, Oct. 18-21, pp. 756-760, (2022). [https://www.pasj.jp/web\\_publish/pasj2022/proceedings/PDF/THP0/THP017.pdf](https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2022/proceedings/PDF/THP0/THP017.pdf)
- [4] EPICS - Experimental Physics and Industrial Control System, <http://epics.anl.gov/>

[5] EPICS Sequencer, <https://epics-modules.github.io/sequencer/>

[6] MEDM - Motif Editor and Display Manager, <http://www.aps.anl.gov/epics/extensions/medm/index.php>

[7] CSS - Control System Studio, <http://controlsystemstudio.org/>