

## J-PARC MR コリメータの応答とビームロス分布

### RESPONSE AND BEAM LOSS DISTRIBUTION DUE TO THE J-PARC MR COLLIMATORS

白形政司<sup>#, A)</sup>, 佐藤洋一<sup>A)</sup>  
Masashi Shirakata<sup>#, A)</sup>, Yoichi Sato<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> KEK/J-PARC

#### Abstract

In J-PARC MR, beam collimator system is prepared in the injection straight in order to localize the beam loss. The collimator system started with three collimator units of scraper-catcher method. However, the loss capacity and beam instability problem required the system change to the one-pass collimation method. The response of collimators to the beam loss distribution is complicated because the scattered particles circulate in the ring. The responses on the beam loss distribution by each collimator are summarized in this report.

#### 1. はじめに

J-PARC MR では、ビームロスの局在化のために入射直線部下流にコリメータを設置している。当初 MR のコリメータは、薄い散乱体でビームハロー成分に散乱を与え、それを下流のキャッチャーで捕獲する方式を採用していた。運転開始直後は散乱-捕獲方式 1 系統だけのシステムであったが、ビーム不安定性等による速いビーム変動に対応するには不十分であることや、コリメータシステムのビームロス許容量の拡大に対応できないといった問題が分かってきたため、2012 年から厚い jaw でハローを直接取り除くワンパス方式のコリメータを複数台導入する方式に改めた。ビーム輸送路に置いたワンパス型コリメータの調整は容易であるが、リングに設置したコリメータでは jaw で散乱された粒子が周回して上流のコリメータに回り込んで来るため、調整中のコリメータの上流でビームロスが増えるなど、応答が複雑になる。また、直下流のアーク部にいくつかビームロスのピークが出るが、それらを最適化することが大強度運転では重要となる。ここでは各コリメータにおけるビームの応答をまとめ、コリメータの最適な配置を考察する。

#### 2. MR コリメータ機構の変遷

Figure 1 に、コリメータ配置の履歴を示す。最上段は散乱捕獲方式で、上流から Col-1, 2, 3 の 3 台で構成していた。散乱機である Col-1 に対してキャッチャーとなる Col-2, 3 を最適なベータatron位相に配置してある。この Col-1 をワンパス型の Col-A, B で置き換え、一年間直接除去方式の効果を見た。その後 Col-2 を Col-C, D で置き換え、さらに Col-E, F を追加することにより、Col-A~F + Col-3 の 7 台体制とした<sup>1)</sup>。本稿では、7 台体制の 2014 年 5 月の運転データを用いている。しかし 2014 年夏期停止期間中に新規インストールした Col-D, E で真空漏れが発生

したため Col-C~F をラインアウトし、Col-2 を戻した。現在は 2012 年秋の状態まで戻っているが、今夏 Col-C, D を再インストール予定である。

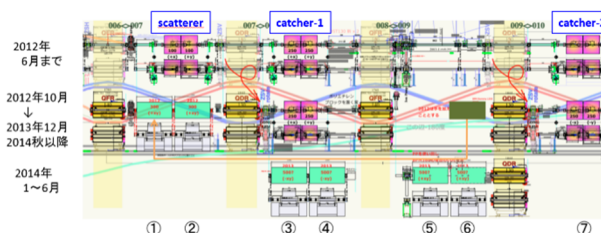


Figure 1: Arrangements of MR collimator system.

#### 3. ビームロス分布

##### 3.1 ビームロスの局在化

MR では、216 台の主四極電磁石のすべてに比例係数管型のビームロスモニターを取り付けている。主四極電磁石にはアドレス番号を割り当てており、リング一周分としてアドレス 1~216 のビームロス分布が得られる。コリメータの効果を見るため、MR は 3GeV DC モード、K3 タイミングのみの 2 バンチ入射とし、加速をしないで 100 ms 後にアポートキッカーで取り出すという運転モードでデータを採った。

コリメータの jaw を 1 個ずつ挿入してビームロスの変化を見ると、jaw がビームにヒットした際に当該アドレスにロスが局在化する様子が見られる。

Figure 2 は周回ビームの強度が  $1.45 \times 10^{13}$  [ppp] (100kW 運転相当) での結果の一例である。すべてのコリメータを全開にすると、アパーチャの小さい場所やアーク部の適当な場所にロスが見られる(a)。ロス分布のグラフは上下二段になっているが、下段は縦軸を拡大したものである。なお、アドレス 21~212 の信号は、213~20 に比べてゲインを 8 倍にしてあるので注意されたい。ビームから見て左にある Col-C の horizontal jaw を挿入することで、ビームロスをアドレス 7, 8 に局在化 (Col-C はアドレス 8 に

<sup>#</sup> masashi.shirakata@kek.jp

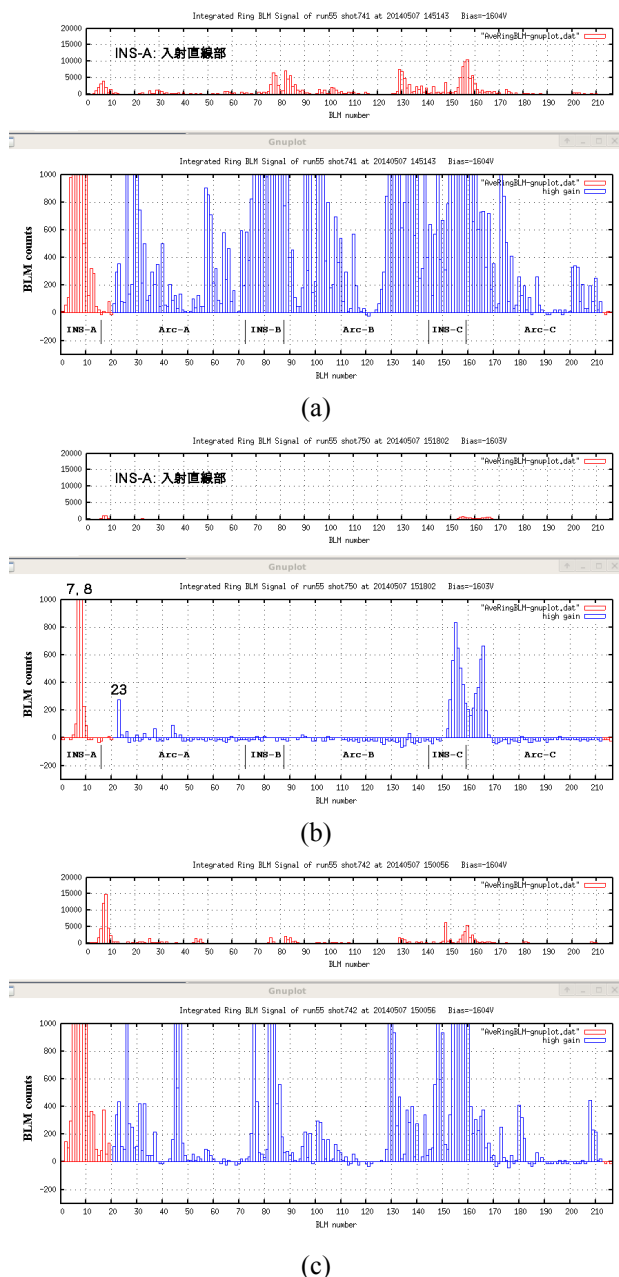


Figure 2: Single jaw effect due to the horizontal jaw of Col-C.

- a) Collimator open (not affect)
- b) Beam loss is localized to address 7 and 8.
- c) Same condition with beam instability.

ある) している(b)。アドレス 152~168 にある山はビーム取り出しに関わるもの(ただし、今回は良い状態では無い)で、周回中のロスとは区別する。Jaw に当たった粒子の一部は、散乱されて下流の特定の場所にピークを作る。アドレス 23 の柱は、そのひとつである。ビームロスをどれだけ局在化できるかは、ビームの安定性に大きく依存する。(b)と同じ条件でもビーム不安定性による速いビームロスが起きていた場合には局在化がうまくいかず、他の直線

部 INS-B, C やアーク部にもロスが出る(c)。ビーム不安定性の抑制は、コリメータの有無にかかわらず大変重要である。

### 3.2 散乱予測と実際のビームロス

コリメータの jaw で散乱された粒子が下流のどこにロスピークを作るのか、STRUCT を用いて予測した結果を Table 1 に示す。表中 Col-A の horizontal jaw, vertical jaw をそれぞれ Col-AH, Col-AV と表記した。Col-B 以降についても同様である。寄生ロスの評価対象は、入射直線部からアーク部に入った後の 2 台目の偏向電磁石 BMN018 以降からとし、予想ロスが多い順に並べた。各 Jaw は、単独で存在するという条件で計算している。コリメータ jaw は 250~500 mm の長さを持つが、下流側エッジでのみ散乱を受けるものと仮定した。また、チューンは  $(v_x, v_y) = (22.40, 20.75)$  に採った。

Table 1: Predicted Beam Loss Points

Col-AH	ESS1, BMN030, QFN036
Col-AV	BMN037, ESS1, BMN044
Col-BH	ESS1, BMN030
Col-BV	BMN037, BMN030, QFN029
Col-CH	BMN023, BMN037
Col-CV	BMN023, BMN030, QDX023, QFN038
Col-DH	BMN023
Col-DV	BMN023, BMN030, QDX023, QDX030
Col-EH	BMN018, BMN023, QFN022, ESS1, QFN036
Col-EV	BMN018, BMN044, QDX044, ESS1
Col-FH	BMN018, BMN023, ES1, BMN037, BMN044, QFN036
Col-FV	BMN018, BMN044, QFN036, QFN045
Col-3H	BMN018, BMN023, ESS1, BMN030, BMN037
Col-3V	BMN023, BMN030, BMN037, QFN029, ESS1, QFN022

偏向電磁石 BMN023, BMN030, BMN037 へのロスが顕著である。また、Col-E 以降のコリメータを使うと、BMN018 に大きなロスを作る可能性がある。ESS1 は INS-B の静電セプタムであり、他に比べてアパーチャが小さいためロスが予想されている。実際の運転では下流の jaw が散乱された粒子を遮蔽し、下流への影響を消してしまう場合がある。また、多重散乱においては効果が桁で落ちていくと考えられるため、無視した。

Figure 3 に、実際の運転におけるコリメータ調整時のロスパターンを示す。偏向電磁石はビームロスモニターを持っていないため、BMN023 におけるロスは QDX023 のロスとして観測される。他の

BMN030, BMN037 についても同様である。この 3 台の偏向電磁石はすべて四極電磁石 QDX のすぐ上流にあり、下流側出口での残留放射線が高い。ESS1 のロス、QFP076 が対応している。

アドレス 23, 30, 37, 44, 76 のロスは、定性的には予想と合っている。QFX026 はディスページョンの大きな場所で、運動量のずれた粒子がここまで生き残ってきた可能性がある。QDX095 以降に出てくるロスについては、今のところ原因がよく分かっていない。QDX137 の柱は Col-BV を効かせることで消せるが、その機構も不明である。

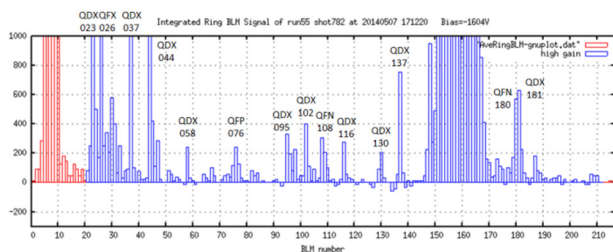


Figure 3: Beam loss distribution during the collimator tuning.

Table 2: Actual Responses of Each Collimator

Col-AH	40 を増やす、44, 77~84 を減らす
Col-AV	-
Col-BH	77~84 を減らす
Col-BV	QDX のロスを減らす (特に 44 と 137)
Col-CH	44 を増やす、77~84, 148 を減らす
Col-CV	QDX のロスを減らす
Col-DH	44 を増やす、148 を減らす
Col-DV	-
Col-EH	23, 77~84 を減らす
Col-EV	-
Col-FH	23, 148 を増やす、77~84 を減らす
Col-FV	-
Col-3H	10~19, 23, 40 を増やす、27, 28 微減
Col-3V	-

Table 2 に各コリメータによるビームロス分布への影響についてまとめた。コリメータの設定範囲は通常のビーム調整の範囲とし、明らかに悪影響のみが出ているような状況は除いている。Jaw 位置におけるロス増加以外に特段の変化が見られなかったものについては「-」を記入した。Col-3 は一次コリメータとして使用するとアドレス 10 以降に大きなロスを生じさせる事から、上流で散乱された粒子を受け止める二次コリメータとしてのみ運用する。最適なコ

リメータバランスを探した結果、2014 年のビーム運転においては Col-EH は利用したが、Col-EV, FH, FV は使用しなかった。

## 4. まとめ

### 4.1 散乱粒子による寄生ロス

- ワンパス方式のコリメータ運用では、ビームロスを局在化する効果の他に下流のアーカ部の特定の場所にロススポットを作る事がある。
- Arc-A における特徴的なロス箇所は、BM023, QFX026, BMN030, BMN037, QDX044 である。
- 遅い取り出し用機器の設置場所 (アドレス 077~084) は、アパーチャが狭くロスが出やすい。
- 実際のビーム運転では、Table 2 にまとめた影響を見つつ最適なコリメータバランスを探す必要がある。

### 4.2 今後の整備方針

2015 年夏期シャットダウン期間中に Col-2 をラインアウトし、新しく 4 軸化した Col-C, D をインストールする。Col-E, F については、Col-3 同様に BMN018 だけでなくアドレス 10~17 にも大きなロスを作る恐れがあるため、二次コリメータとすることも考慮する。また BMN023, BMN030, BMN037 のロスについて、直線部 (アドレス 10~16) 内で散乱された粒子を回収する手段が無いかを検討する。

## 参考文献

- [1] J.Takano, et al., WEPS018, Proceedings of the PASJ9, Toyonaka campus, Osaka Univ., Aug. 8-11, 2012.