

# PRESENT STATUS OF THE BEAM COLLIMATION IN J-PARC 3-50BT LINE

Masashi Shirakata<sup>#, A)</sup>, Yoichi Sato<sup>A)</sup>, Susumu Igarashi<sup>A)</sup>, Koji Ishii<sup>A)</sup>, Masahiko Uota<sup>A)</sup>, Norihiko Kamikubota<sup>A)</sup>,  
Tadashi Koseki<sup>A)</sup>, Hitoshi Kobayashi<sup>A)</sup>, Kenichiro Sato<sup>A)</sup>, Takuya Sugimoto<sup>A)</sup>, Junpei Takano<sup>A)</sup>, Takeshi Toyama<sup>A)</sup>,  
Shu Nakamura<sup>A)</sup>, Yoshinori Hashimoto<sup>A)</sup>, Shuichiro Hatakeyama<sup>B)</sup>, Yoichiro Hori<sup>A)</sup>, Shuei Yamada<sup>A)</sup>,  
Noboru Yamamoto<sup>A)</sup>, Masahito Yoshii<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> JAEA (MELCO SC)

2-4 Shirakatashirane Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

## Abstract

The beam transport line which connects the Rapid Cycling Synchrotron to the Main Ring is called as the 3-50BT line in J-PARC. The beam collimation system in this line adjusts the beam aperture from  $54\pi$  to  $216\pi$ . The beam line was redesigned after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Though the quadrupole magnets were realigned on newly determined beam line, the collimators remained. The positional offsets of 2.5 mm and 2 mm for horizontal and vertical planes were expected on beam collimators. Large displacements of beam orbit were observed by the collimator aperture survey using beam loss monitors. The status of the 3-50BT collimator operation is described in this report.

## J-PARC 3-50BT ビームコリメーションの現状

### 1. はじめに

J-PARC 主リングでは、入射ビームに対し二つのコリメータシステムを有している。ひとつは速い繰り返しの 3 GeV シンクロトロン（以下、RCS と略す）から送られてくるビームの品質を担保するために、ビーム入射ライン（以下、3-50BT）に設置されており、3-50BT コリメータ<sup>[1]</sup>と呼ばれる。もうひとつは、主リングの入射直線部後半に設置

された MR 入射コリメータである。

図 1 に、3-50BT コリメータシステムの概要を示す。3-50BT コリメータは、horizontal および vertical にそれぞれひとつずつ jaw を持つ Col-01～Col-12 の全 12 ユニットの構成されているが、奇数ユニットと偶数ユニットで jaw の向きを逆にしており、2 ユニットのひとつの組を構成している。それらは BTC-1～BTC-6 と呼ばれ、BTC-1, 3, 5 および BTC-2, 4, 6 でビームをそれぞれ位相平面内で六角形に整形する。BTC-1, 3, 5 の組と BTC-2, 4, 6 の

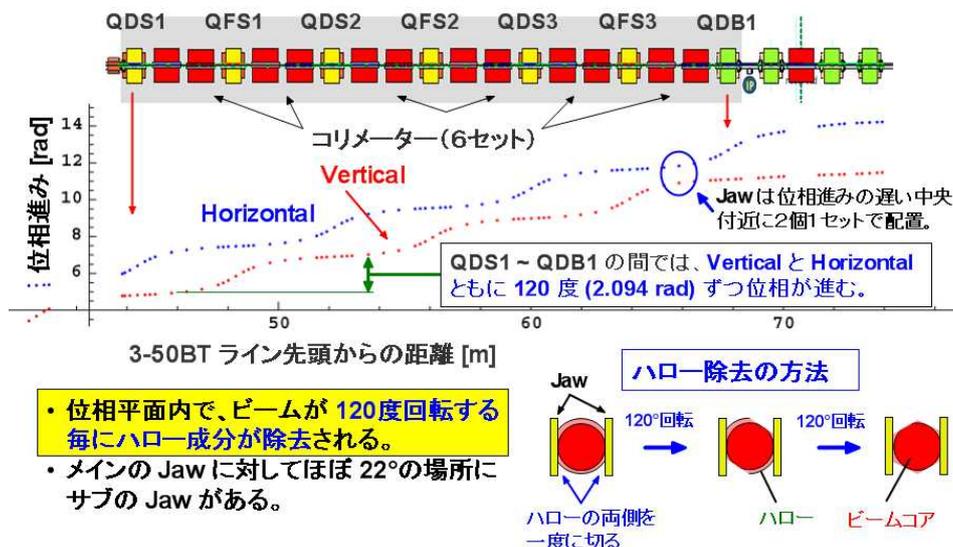


図 1 : 3-50BT コリメータの配置。QDS1～QDB1 は四極電磁石を表す。

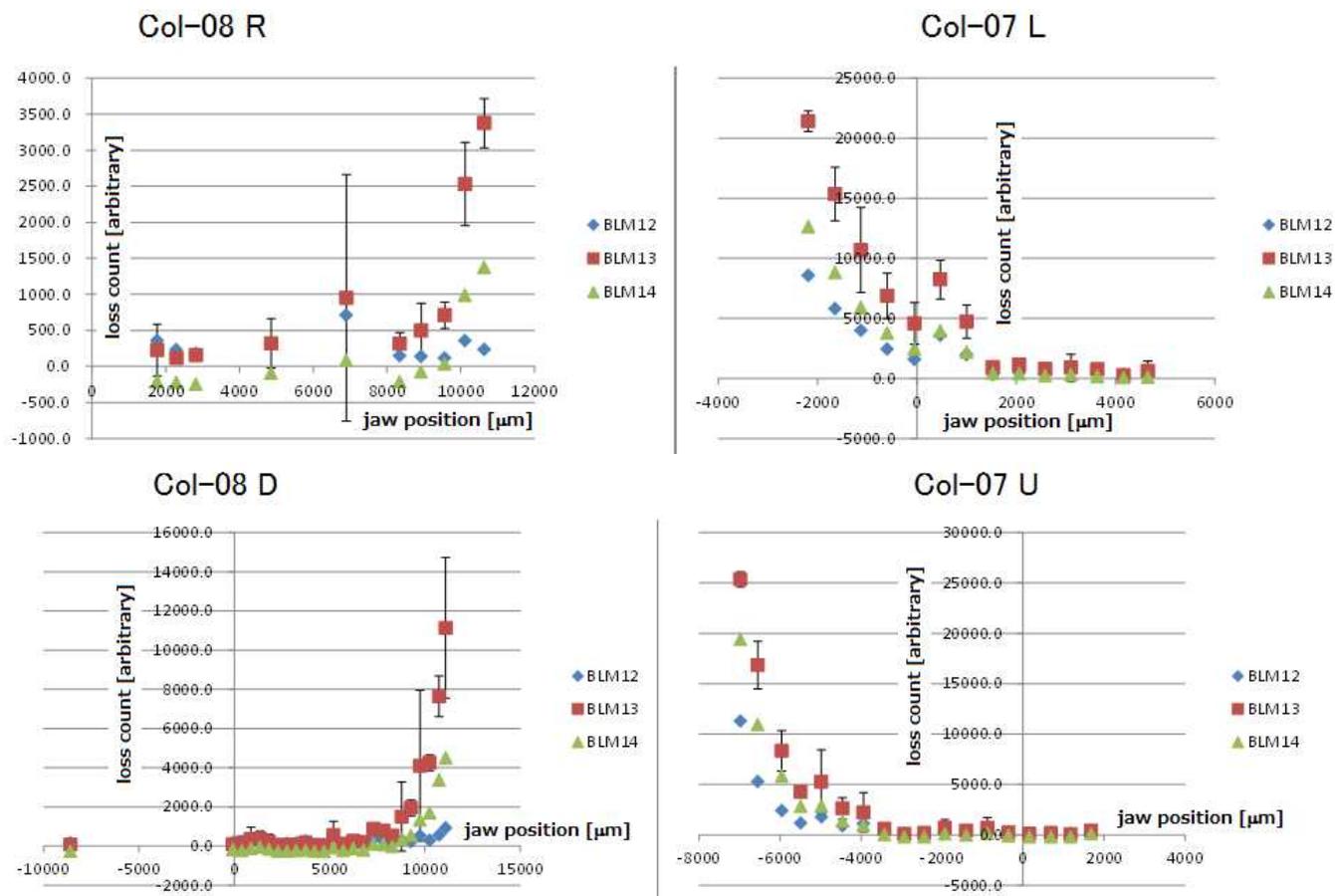


図 2 : BTC-4 における Jaw スキャンの結果。ユニット名と jaw 取り付け位置(RLDU)を示す。

組の位相差は、ほぼ  $22^\circ$  である。

主リングのビームアクセプタンスは  $81\pi$  mm mrad であるが、RCS の出力が 300 kW 相当以上になると、主リングのアーチャーを越えるビームハローが無視できなくなる。3-50BT コリメータはその様な大きなハローを予め除去することで、入射機器でのビームロスを防止すると同時に MR 入射コリメータの負担を軽減する。

2011 年の東北地方太平洋沖地震の際、RCS と主リングの位置関係が変化したため、3-50BT ではビームラインを再設定した<sup>[2]</sup>。その際、電磁石は新しいラインに沿って再アラインメントを行ったが、コリメータについては先送りとした。コリメータ前後の四極電磁石の測定結果から、当該部分は一体で動いたと推測してコリメータのビームラインからのオフセットを算出した。想定されるオフセット量は horizontal 方向が 2.5 mm、vertical 方向が 2 mm である。本稿では、2011 年の震災からの復旧以降に行われたコリメータアーチャーの測定結果を紹介し、3-50BT コリメータで設定可能な運転条件の現状を報告する。

## 2. コリメータアーチャーサーベイ

### 2.1 Jaw スキャン

四極電磁石の変位から想定したコリメータのオ

フセット量が正しいかどうか、ビームを用いてコリメータセットの中心を測定した。バンチ当たりの粒子数を  $2.5 \times 10^{12}$  個とし、jaw 位置のスキャンを行うことにより、ビームロスの変化からビーム中心を算出した。一例として、図 2 に BTC-4 における結果を示す。

コリメータの jaw は機器の構造上ビームライン中心までは寄せられないので、ここで観測されるのはビーム外周部のエッジ部分のみである。Jaw 取り付け位置はビームから見て右左下上(RLDU)であり、コリメータユニット一台につき R か L および D か U のどちらかを一方ずつを有している。ビームロスモニターは各四極電磁石の架台下流側に設置されており、QDS1~QDB1 に対して、BLM09~BLM15 が取り付けられている。BTC-4 でビームロスが発生させると、BLM13 がロスのピークとなる。ピークの頂上は検出できないため、ベースラインを表す直線と二次関数でデータをフィットし、ビームエッジを求めた。

BTC-1, 4 の測定では問題無かったが、BTC-2, 3 の horizontal と vertical、BTC-5, 6 の horizontal で、片側のビームエッジを検出できなかった。未検出となったのは、いづれもビームの右側および下側で、震災によりコリメータがオフセットを持った方向である。この結果は、震災によるコリメータのずれが四極電磁石のそれよりも大きかった可能

性を示している。

## 2.2 軌道スキャン

Jaw スキャンでは、ビームを中心軌道に固定して jaw を移動することによりビームエッジを検出したが、ここでは当該 jaw を最も中心軌道に寄せた状態で固定し、ビーム軌道を変えてコリメータのアップチャ測定を試みた。

3-50BT にはコリメータ上流に軌道補正用ステアリング電磁石が 3 台あり（3 台目は HV 兼用タイプである）、各 jaw 位置で  $120\pi$  相当に膨らんだ軌道を作成できる。ステアリング電磁石はビーム位置モニターを用いてキャリブレーションしており、蹴り角の誤差は 2.9~4.8% である。ヒステリシスは無視できるほど小さく、軌道を逆極性に振った場合の差を考慮する必要はない。

軌道スキャンではビームの粒子数を  $4 \times 10^{11}$  以下に減らして、ビームが全ロスするまで jaw に軌道を寄せる。ビーム強度を下げることでビームのエミッタンスは減少するが、RCS での入射ペイント条件を変えていないので、測定時のビームエミッタンスを最大  $10\pi$  程度と見積もる。

図 3 に、Jaw を  $35\pi$  相当の位置で固定した場合の BTC-2 および BTC-6 での結果を示す。Jaw スキャンでは検出できなかった、R 側のビームアップチャを捉えている。BTC-6 での結果は R, L ともに  $35\pi$  でビームが切れており、期待通りの結果となっている。BTC-2 では、R 側が予想よりも開いている様に見える。また、R-jaw と L-jaw によるビームの切れ方が異なっているが、この理由については現在も調査中である。

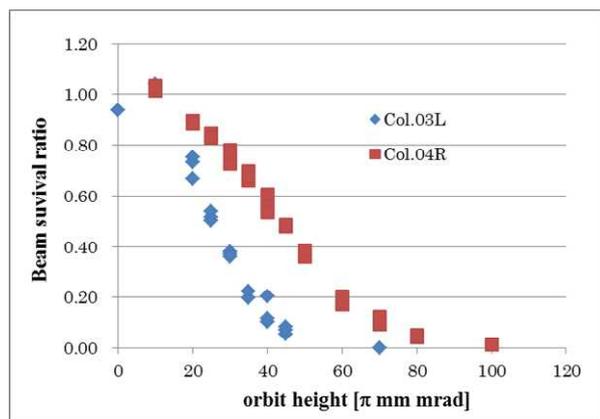


図 3a : BTC-2 での軌道スキャン結果。

## 3. 結果

表 1 に 2011 年秋の四極電磁石の測量結果から算出したコリメータのオフセット量と、アップチャサーベイの結果から算出した中心軌道とのずれを示す。中心軌道はオフセットを考慮してあるので、この変位は本来ゼロとなるべきものである事に注意されたい。

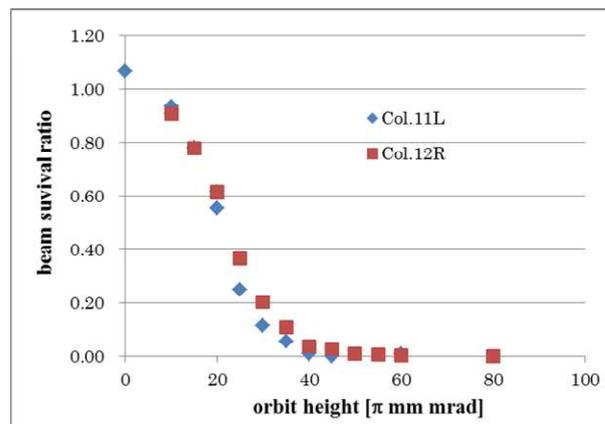


図 3b : BTC-6 での軌道スキャン結果。

表 1 : 予想オフセットと中心軌道からの変位[mm]

コリメータ セット	予想オフセット		変位	
	H	V	H	V
BTC-1	2.72	-1.77	0.67	-2.32
BTC-2	2.73	-1.86	-0.27	3.69
BTC-3	2.55	-1.96	-2.95	2.74
BTC-4	2.38	-2.02	-2.87	1.23
BTC-5	2.29	-2.02	0.29	-4.52
BTC-6	2.33	-1.96	0.83	-2.96

結果は、vertical に関してランダムに変位が大きいというものであった。Horizontal については、BTC-3, 4 以外は問題無い数値である。変位の原因としては、軌道そのものがコリメータ部でまっすぐでないという解釈も成り立つが、四極電磁石は再アライメントを行ったばかりであり、ここまで大きな軌道変位を生じさせると考えるのは難しい。コリメータのオフセット量が、予想と違っていたと解釈の方が自然である。なお、予想オフセットに対し変位が逆符号であると言うことが、コリメータのオフセットが予想よりも大きかった事を意味する。

## 4. まとめ

### 4.1 コリメータ可動範囲

3-50BT コリメータで制限できる最小アップチャの公称値は  $54\pi$  であるが、アップチャサーベイを行った結果、要件を満たせないユニットがあることが判明した。Horizontal では Col-08R が、vertical では Col-04D が  $65\pi$  程度までしか閉められない状態である。Vertical については、Col-08D も  $58\pi$  がせいぜいとなっている。なお、これら以外の 9 つのユニットについては、仕様通りの運用が可能である。

## 4.2 今後の予定

ニュートリノ実験に供する 200kW ビームを主リングで達成するために、3-50BT コリメータでは horizontal, vertical とともに仕様を若干越える  $50\pi$  mm mrad までビームを絞った運転を行っているが、一部所定のアパーチャまで閉じることが出来ないユニットが存在することが判明した。この状況を脱するため、2012 年夏期シャットダウン期間中にコリメータの再アラインメントを実施する。また、jaw 可動範囲を  $\pm 12$  mm から  $\pm 15$  mm 程度に拡大し、今後の運転に対する対応能力を強化する予定である。

## 参考文献

- [1] M. J. Shirakata, et al., Proceedings of EPAC2006, Edinburgh, Scotland, Jun. 26-30, 2006 (1148-1150)
- [2] M. J. Shirakata, et al., Proceedings of IPAC2011, San Sebastian, Spain, Sep. 4-9, 2011 (1662-1664)