

BEAM COMMISSIONING OF J-PARC MR

Tadashi Koseki¹, MR Accelerator Group
J-PARC Center, KEK and JAEA
Tokai, Naka, Ibaraki 319-1195

Abstract

Beam commissioning of J-PARC Main Ring (MR) has been started in May, 2008. The 3-GeV proton beams extracted from the rapid cycling synchrotron (RCS) are injected into the MR and captured by rf, and then extracted to a 3-GeV beam dump. Results of the first-stage commissioning run from May to June 2008 are presented in this paper. After five months shutdown for installation of fast- and slow-extraction devices, the second-stage commissioning run will be started in December 2008.

J-PARC MRのビームコミッショニング

1. はじめに

大強度陽子加速器施設J-PARCの加速器群[1]は、ライナック、速い繰り返しの3 GeVシンクロトロン(RCS)、遅い繰り返しの主リング(MR)、及び関連するビーム輸送系から構成される。RCSからのビームは、物質生命科学実験施設(Materials and Life Science Experimental Facility, MLF)に送られて中性子及び μ 粒子の生成に用いられる。MRからのビームは、遅い取り出し法でハドロン実験施設(Hadron Experimental Facility, HD)へ、速い取り出し法でニュートリノ実験施設(Neutrino Experimental Facility, NU)へ送られる。

J-PARCの建設計画は二期に分けて進められており、第一期計画でのMRのビームエネルギーは定格30 GeV(最大40 GeV)となる。ライナックのエネルギーは、当初は181 MeVだが、第一期のうちにACS(Annular Coupled Structure)を新たに加えることにより400 MeVまで増強される予定である。

表1: MRの主なパラメータ

Circumference [m]	1567.5
Superperiodicity	3
Repetition rate [Hz]	~0.3
Injection Energy [GeV]	3.0
Ext. Energy [GeV]	30 (Phase I) 50 (Phase II)
Harmonic number	9
Transition γ	j31.7 (typical)
Number of dipoles	96
quadropoles	216 (11 families)
sextupoles	72 (3 families)
steerings	93 (H), 93 (V)
Rf frequency [MHz]	1.67 - 1.72
Number of cavities	4 on day-one

ライナックは2006年11月より、RCSは2007年10月より、それぞれビームコミッショニングを開始し、現在、順調に稼動している[2,3]。MRは2007年12月からトンネル内での四極電磁石の通電試験を開始し、順次、各機器の現場での調整を行った後、2008年5月からビームコミッショニングを開始している。

MRの主なパラメータを表1に示す。MRは約1.6 kmの周長を持つ3回対称のリングである。ディスプレイフリーの長直線部を3カ所持ち、それぞれ「入射・コリメータ」、「遅い取り出し」、「rf・速い取り出し」に用いられる。

2. スケジュール

MRのビームコミッショニングは、以下の3つの段階に区切って計画されている[4]。第1ステージは2008年5-6月に実施され、RCSからMRへのビーム輸送系(3-50BT)の調整、入射調整、3 GeVでの閉軌道の確立、rf捕獲、入射直線部に置かれた入射ビームダンプリンへのビーム取り出しが行われた。第2ステージは2008年12月-2009年2月に予定されており、30 GeVへの加速、速い取り出し直線部に置かれたアポートビームラインおよびHDビームラインへのビーム取り出しが行われる。さらに、第3ステージが2009年4-6月に予定されており、NUビームラインへのビーム取りだしが行われる。

以下では、今年の5月と6月に行われた第1ステージの結果について述べる。同じ時期にMLFもビームコミッショニングを開始し、6月はMLFと時間をシェアしながらの運転であった。第1ステージでのMRの運転時間の合計は、おおよそ12時間×12日間である。

その後、7月から11月までの5ヶ月間は運転停止期間であり、この間に、速い取り出し機器、遅い取り出し機器の据え付け調整、ニュートリノビームラインの超伝導磁石の据付調整等を行う。11月には

¹ E-mail: tadashi.koseki@kek.jp

HDビームラインを加速器のPPS (Personal Protection System) に組み込み12月からの第2ステージ開始に備える。

3. 第1ステージの結果

ビームコミッションはビームロスによる機器の放射化を避けるために、ビームモニタ系[5]で測定可能なできる限り低いビーム強度で行った。ライナックとRCSの運転条件は以下の通り。ライナックはピーク電流 5 mA、マクロパルス幅 0.1 msec、RCSのrf周波数と同期したパルス構造を持つ中間パルス幅は280 nsecとした。これはRCSのバンチ当たりのビーム強度にすると 4×10^{11} ppbとなり、定格ビーム強度のおよそ1%に相当する。繰り返しはシングルショット、またはMRの遅い取り出し運転における標準的なサイクルである3.64秒周期で運転した。一方、RCSは取り出しエネルギー3 GeVの単バンチモードで運転した。RCSからの取り出しビームの運動量拡がりや横方向エミッタンスは、各々、 $dp/p = \pm 0.2\%$ 、 $\epsilon = 15\pi$ mm.mrad 程度と見積もられている。

MRへのビーム入射では大強度でビームサイズが大きくなったときに周回ビームが入射セプタム電磁石の隔壁に当たらないように、入射部に3台のバンブ電磁石を設置して周回ビーム軌道をリングの内側に寄せるローカルバンブを立てることにしているが、定格の1%のビーム強度ではビームサイズも小さいので、第1ステージはバンブ電磁石を励磁しないで入射を行った[6]。

第1ステージで予定していたビーム入射、周回、rf 捕獲、ビームダンプへの取り出しは、5月の運転の最初の4日間一通り達成し、その後の運転は、モニタ系の調整、COD補正[7]、rf系のより詳細な調整[8]、チューンサーベイ、軌道パラメータ測定などにあてた。

入射軌道の調整は、ビーム位置モニタ (BPM) をturn-by-turn モードで用い、入射直後の数ターンの軌道を見ながら行った。入射セプタムおよびキッカーの磁場調整とともに、入射ビームの運動量と偏向電磁石磁場のマッチング調整を行った。図1に、残留ガスビームプロファイルモニタ (IPM) で測定された、入射エラー調整後の周回ビームの垂直方向プロファイルを示す。図の(a)は入射後16-23ターン、(b)は72-79ターンの測定結果である。ビームの中心位置とビームサイズの変化はともに少なく、入射エラーは小さい。ビームコア部の全幅を40mm程度としてエミッタンスを見積もると約 14π mm.mradとなる[9]。一方、水平方向のビームプロファイルはファイリングワイヤプロファイルモニタを用いて測定した。ワイヤ位置の校正などの時間が取れなかったため、今の段階ではまだ暫定的な値だが、水平方向エミッタンスとしては $20-28\pi$ mm.mrad (Gaussianの 2σ) と見積もられている[10]。

非常にラフではあるがチューンサーベイを行って、チューンとビームロスの関係を調べた。図2にチューン (22.20, 20.68) のときにDCCTで測定されたビーム強度 (粒子数) の時間変化を示す。ビーム

の蓄積時間は1 secである。図は六極電磁石をONしてクロマティシティ補正を行ったときの結果であるが、このチューンでは六極のON/OFFで大きな差はなかった。一方、和共鳴 ($\nu_x + \nu_y = 43$) 近傍での大きなビームロスや、3次共鳴 ($\nu_x + 2\nu_y = 64$, $3\nu_y = 67$) 近傍での比較的顕著なロスも確認している。なお、後にも述べるが、現状ではチューンに ± 0.03 程度のバラツキがある。

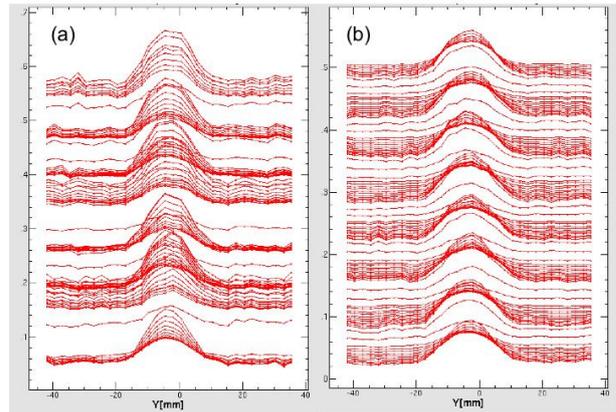


図1：垂直方向のビームプロファイル。(a)入射から16-23 ターン、(b) 72-79 ターン。

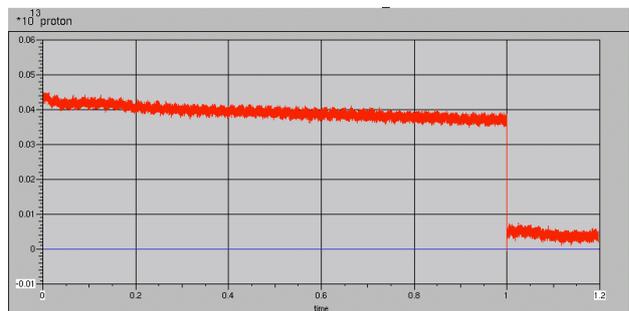


図2：DCCTで測定されたビーム強度の時間変化。チューンは (22.20, 20.68)。

ビームパラメータの測定例として、ディスパージョン (水平方向) および β 関数の測定結果を、それぞれ図3、4に示す。ディスパージョンは、rf周波数を変えて dp/p を0, ± 0.3 , $\pm 0.5\%$ と変化させ、そのときの軌道の変位量から求めている。図にはリング1/3周分のデータを示しているが、全体に測定結果は設計値と良く合っている。320 m 付近の測定データが設計から大きく外れているのはBPMの不具合による。図4の β はQ電磁石のファミリーごとに励磁量を振ったときのチューンの変化量から求めたファミリーでの平均値である。測定結果と設計値とは測定誤差の範囲内で一致している。QFPだけが設計値から大きくはずれているが、その原因はまだわかっていない。

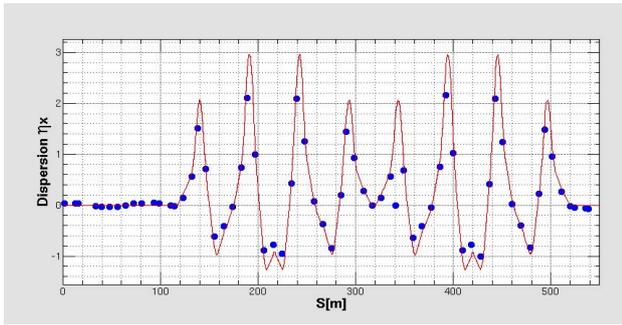


図3：リング1/3周分の水平方向ディスペーション。
実線が設計値、青丸が測定値。

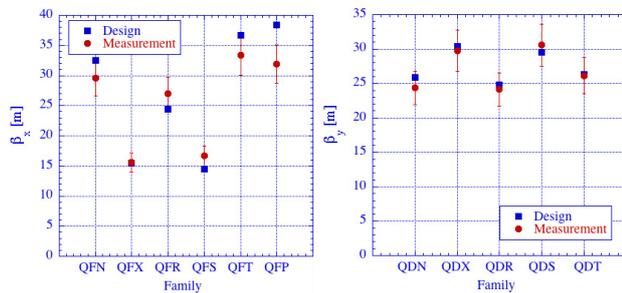


図4：Q電磁石ファミリー毎の β 関数の測定結果。

一方、第1ステージの運転から、いくつかの問題点も明らかになっている。

図5に入射直線部のBPMで測定された1 sec 蓄積運転での水平方向ビーム位置の時間変化を示す。最大 2 mm (peak-to-peak) 程度の細かい軌道変動が認められる。これは主電磁石電源の電流リップルに起因していることが明らかになっている [11]。また、同じく図5から、蓄積時間の終盤 0.83 sec から、大きく軌道がシフトしていることがわかる。これはビームを入射ダンプラインに蹴り出すために励磁されるダンプセプタムの漏れ磁場の影響によるものである。さらに、ダンプセプタムほど顕著ではないが、入射セプタムの漏れ磁場による周回ビームの軌道変動も確認されている[7]。

エキサイタをONにして120 msecの間、垂直方向チューンの時間変化を測定した結果を図6に示す。チューンが ± 0.03 程度で変動していることがわかる。これは四極電磁石電源の電流リップルに起因するもので、水平方向チューンにも同様の変動が見られる。

現在、MRは5ヶ月間の運転停止期間であるが、この間、セプタムの漏れ磁場については周回側のビームダクトへのシールドの強化を実施する予定である。また、主電磁石電源のリップルについては原因の調査と対策の検討が精力的に進められている[12]。

なお、6月の運転停止からおよそ1.5日後、リングの残留放射能分布を測定した。レベルが高かったのはコリメータ部で、第1コリメータの上流側が最も

高く120 $\mu\text{Sv/h}$ であった。コリメータ部以外で高かったのは入射セプタムの下流に置かれたバンプ電磁石のダクト上流側で、25 $\mu\text{Sv/h}$ であった。

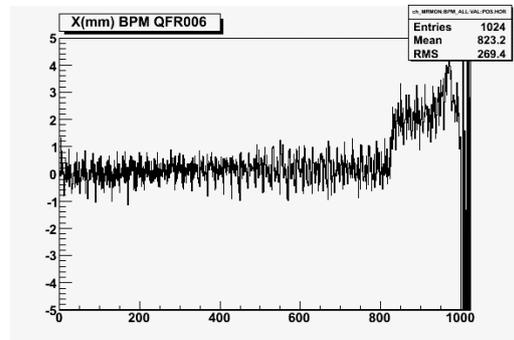


図5：直線部のBPMで測定された水平方向ビーム軌道の時間変化（1 sec 蓄積時）。

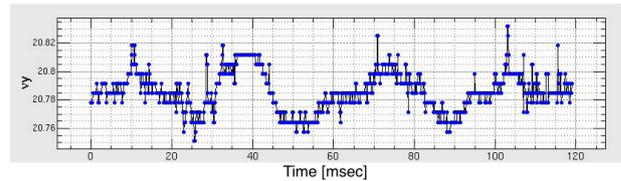


図6：垂直方向チューンの時間変化。

4. まとめ

J-PARC MRは予定通り2008年5月-6月でビームコミッションの第1ステージを実施し、入射、3 GeVでの閉軌道の確立、rf 捕獲、入射ビームダンプへのビーム取り出しに成功するとともに、COD補正、チューンサーベイ、各種のビームパラメータ測定等を行った。現在は5ヶ月の停止期間中で、取り出し機器の据え付け調整や、第1ステージで明らかになった電源リップル等の問題点を克服するための検討や作業を進めている。HDビームラインへのビーム取り出しを含む第2ステージは、今年12月より開始する予定である。

参考文献

- [1] “Accelerator Technical Design Report for J-PARC”, KEK-Report 2002-13 and JAERI-Tech 2003-044.
- [2] T. Morishita *et al.*, TO01, in these proceedings.
- [3] H. Hotchi *et al.*, WO02, in these proceedings.
- [4] T. Koseki *et al.*, HB 2006, p. 329.
- [5] T. Toyama *et al.*, WP017, in these proceedings.
- [6] G. Wei *et al.*, WP026, in these proceedings.
- [7] J. Takano *et al.*, WP025, in these proceedings.
- [8] F. Tamura *et al.*, WP031, in these proceedings.
- [9] K. Satou *et al.*, WP020, in these proceedings.
- [10] S. Igarashi *et al.*, WP018, in these proceedings.
- [11] S. Igarashi, “MR BPMによるビーム軌道リップルの観測”, J-PARC Acc. Memo, No. 6, July 30, 2008.
- [12] S. Nakamura *et al.*, WP082, in these proceedings.