

## COMMISSIONING PLAN FOR THE J-PARC MR SYNCHROTRON

Tadashi Koseki<sup>1,A)</sup>, Susumu Igarashi<sup>A)</sup>, Masahito Tomizawa<sup>A)</sup> and the J-PARC accelerator group<sup>A),B)</sup><sup>A)</sup> Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK),

Tsukuba, Ibaraki 305-0801

<sup>B)</sup> Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

Tokai, Ibaraki 319-1195

## Abstract

The J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) facility is now under construction in the Tokai campus of JAEA as a joint project between JAEA and KEK. The beam commissioning of the accelerator facility is scheduled to start from December 2006 for linac, September 2007 for the RCS (Rapid Cycling Synchrotron) and May 2008 for the MR (Main Ring Synchrotron). In this paper, the commissioning plan for the MR is presented.

## J-PARC MRのビームコミッショニング計画

## 1. はじめに

大強度陽子加速器施設J-PARCの加速器群[1]は、400 MeVリニアック、速い繰り返しの3 GeVシンクロトロン (RCS)、50 GeV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の3GeV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 $\mu$ 粒子の生成に用いられる。MRの50 GeVビームは、遅い取り出しによってハドロン実験施設 (Hadron Experimental Facility, HD) へ、速い取り出しによってニュートリノ実験施設 (Neutrino Experimental Facility, NU) へ送られる。

J-PARCは、これまでの日本の加速器計画の中で最も規模の大きな計画の一つであり、二期に分けて進められている。現在進行中の第一期計画では、上に述べたすべての施設が建設されるが、MRのビームエネルギーは、フライホイールシステムの導入が二期にずれ込んだため40 GeVとなる。その他、HDの実験施設の拡充や、リニアックのエネルギー増強 (600 MeV)、加速器駆動核兵器物処理システムの基礎研究が二期に予定されている。

## 2. コミッショニングスケジュール

J-PARCの建設スケジュールを図1に示す。現在、施設の建設は急ピッチで進んでおり、概ね上流側ほど完成に近づいている。今後、下流側の建設を進めつつ、準備のできた上流側からビームコミッショニングを開始していく予定である[2]。

2006年夏の時点で、リニアックは建設をほぼ完了しつつあり、今後、空洞のコンディショニングを含むオフビームコミッショニングを経て、今年12月からビームコミッショニングを開始する。続いてRCSが、2007年4月からオフビームコミッショニングを行い、同年9月からビームコミッショニングを

開始する予定である。

MRに関しては、現在、リングトンネル、電源棟、機械棟、搬入棟の建設が行われており、それと並行して、加速器機器の据え付けが進んでいる[3]。機器の据え付け、アラインメントを2007年11月までにすべて完了し、12月からオフビームコミッショニングを、2008年5月からビームコミッショニングを開始する計画である。

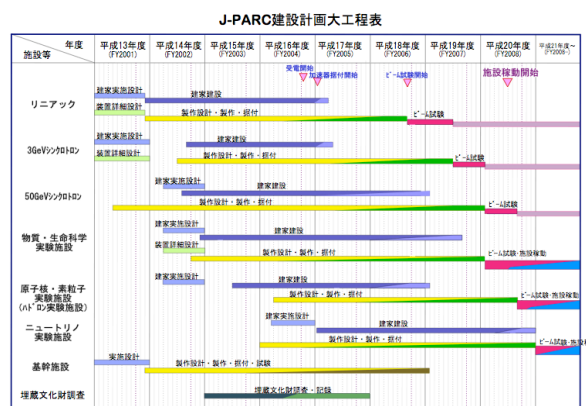


図1: J-PARCの建設スケジュール

## 3. MRのビームコミッショニング

表1にMRの主なパラメータを、図2にMRの平面図を示す。MRは三回対称性を持つおむすび型のリングで周長は約1.6kmである。三カ所のディスパージョンフリーの直線部は長さ116 mで、各々、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。

2007年12月から行われるオフビームコミッショニングは、すべての機器を加速器運転が開始できる状

<sup>1</sup> E-mail: tadashi.koseki@kek.jp

態にして、ビーム無しの総合調整を行うことが目的である（ただし、この時点では遅い取り出し用の機器はまだインストールされていない）。タイミング系（マスタークロック12 MHzから生成されるスケジュールドタイミング、及びリングrfに同期するシンクロナイゼーションタイミング）の試験、電磁石のパターン運転調整、rf系、入出射系の運転調整、真空排気系、モニタ系、制御系、インターロック系の試験運転等が行われる。2008年3月には、PPS（Personal Protection System）の自主検査が実施され、MRトンネルを管理区域設定する準備が整う予定である。

表1：MRの主なパラメータ

Circumference	1567.5 m
Superperiodicity	3
Repetition rate	0.3 Hz
Injection Energy	3 GeV
Extraction energy	30 GeV (day-one) 50 GeV (2nd phase)
Harmonic number	9
Number of bunches	8
Transition $\gamma$	j31.7
Typical tune	22.4, 20.8
Transverse emittance	
At injection	54 $\mu$ m-mrad
At extraction	10 $\mu$ m-mrad (30 GeV)
Number of dipoles	96
Number of quadrupoles	216 (11 families)
Number of sextupoles	72 (3 families)
Number of steerings	186
Number of rf cavities	6 (day-one)
Beam power	0.75 MW at 0.3 Hz (50GeV)

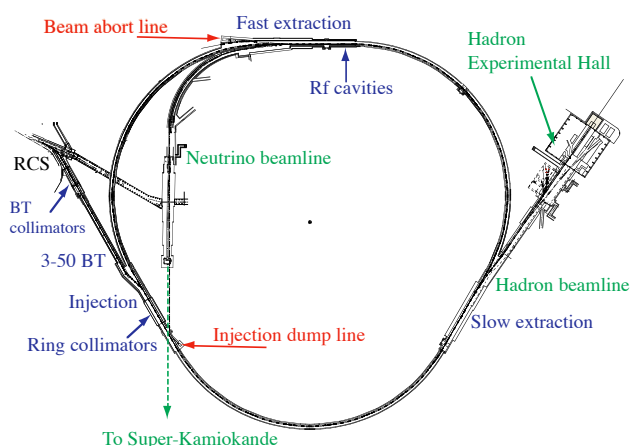


図2：MRの平面図

表2にコミッショニング当初（いわゆる“day-one”）におけるMR、及び3-50BT（RCSからMRへのビーム輸送ライン）のビームモニターの内訳を示す[4]。ビーム位置モニタ（BPM）は、処理回路の切り替えによって全台turn-by-turn測定が可能である。ディスパージョンの大きいアーク部に置かれるBPM

のうち、4台はrfの軌道（ $\Delta R$ ）フィードバックシステムに用いられる。また、3台のFast CTがrfの位相フィードバックに、2台のWCM（Wall Current Monitor）がrfのビーム負荷補償用フィードフォワードシステムに用いられる。

表2：Day-oneにおけるMRと3-50BTのビームモニタ

Monitors	Number
At MR	
BPM	186 (4 for rf feedback)
Turn-by-turn BPM	186
WCM (> 100 MHz @-3dB)	4 (2 for rf feed forward, 1 for kicker timing)
Fast CT (>30 MHz @-3 dB)	5 (3 for rf feedback)
DCCT	2
Multi Wire Profile Monitor (MWPM)	1
Flying Wire Profile Monitor (FWPM)	1(H)
Ion Profile Monitor (IPM)	1(V)
Exciter	1(H/V)
At 3-50 BT	
BPM	14
MWPM	3
Fast CT	5
BLM at MR and 3-50 BT	330

MRのビームコミッショニングは、3段階に分けて行われる。第1段階は2008年5月-6月で、入射調整から加速（30GeV）までを予定している。7月からは夏期停止期間に入り、遅い取り出し用機器のインストールと調整、ならびにニュートリノビームラインの超伝導電磁石のインストールと調整が行われる。第2段階は、現在の時点でスケジュールが決定しているわけではないが、08年秋にHDのPPSの完了を待って開始され、年度末にかけて行われる。ただし、ニュートリノビームラインの建設に4-5ヶ月を要するため、場合によっては、MRの運転とニュートリノビームラインの建設を、昼と夜でタイムシェアすることも想定している。第2段階では、遅い取り出し、及びハドロンビームラインのコミッショニングを行う。その後、ニュートリノ実験施設のPPS変更申請を経て、第3段階は2009年度の4月ないし5月から開始され、速い取り出し、及びニュートリノビームラインのコミッショニングが行われる。

MRに限らず、J-PARC加速器のメンテナンスはhands-onを基本としているため、運転時のビーム損失を最小限にすることがきわめて重要であるが、コミッショニングにおいても、加速器の機器の放射化をできる限り少なくする必要がある。そこで、以下の2点をビームコミッショニングの基本的な方針とする。1) 立ち上げは微少なビーム電流から始め徐々に強度を増していく。2) ビームダンプへの軌道の確立を最優先し、詳細なチューニングはその後に行う。

MRのコミッショニングにおける上流側加速器の典型的なビームパラメータは以下の通り。リニアックは、ピーク電流 5 mA、50  $\mu$ sec 幅（またはそれ

以下)、54%のチョップドビーム(RCSでのビーム損失を低減するために、RCSのrfのバケツからはみ出す時間領域を低エネルギーの段階であらかじめ落としておく)で、繰り返しは1Hz以下、ないしはシングルショットビームである。RCSへの入射は、ペインティング入射ではなく中心軌道入射で行う。RCSから取り出されるビームのエミッタンスは $10\pi\text{mm-mrad}$ 程度が想定されている。当初は2バンチ入射(コミッショニングの初期には単バンチ入射も検討)を行うが、その場合、ビーム強度は $8\times 10^{11}\text{ppp}$ となる。MRで30 GeVまで加速し、0.3 Hzで運転すると、ビームパワーとしては約1.1 kWとなる。

Day-one当初から利用できるビームダンプは、入射ダンプラインの3kWダンプと、ビームアポートラインの7.5kWダンプである(図2)。その後、第2段階、第3段階になると、それぞれ、HD及びNUのビームダンプを立ち上げ、それらを用いたビーム調整を行う。

以下には、MRのコミッショニングの大まかな手順を各段階ごとにまとめる[2]。第1段階は、3-50BTの軌道調整から始め、BPM、及びBLMを用いながら中心軌道を通してビームをMRまで輸送し、MWPMでプロファイルを確認する。図3にMR入射直線部における入射機器の配置を示す。入射調整では、まず、シンクロナイゼーションタイミング(RCSビームと入射キッカーのタイミング)の調整、入射軌道調整、ダンプ軌道調整を行って、入射ビームダンプまでのビーム輸送を確立する。その後で、BTと入射軌道の精密な調整を行う。次に、BLM、BPM(turn-by-turnモード)をモニタしながらリング内にビームを通し、周回軌道の調整を行う。このときビームはスケジュールドタイミングで入射ビームダンプに捨てられる。続いてrf捕獲を行い、さらにチューン測定、COD補正、各種パラメータの測定を行う。その後、第1段階の最後に、30 GeVまでの加速試験を行う。加速試験中、ビームは速い取り出しシステムによってアポートラインの7.5 kWビームダンプに捨てられる。加速調整の後で30 GeVでのCOD補正、軌道パラメータ測定を行う。

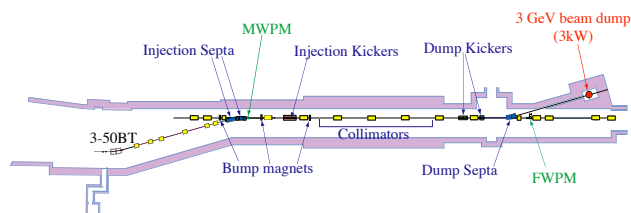


図3：MR入射部の入射機器配置図

夏期停止期間中は遅い取り出し機器のインストールとオフビームコミッショニングを行い、秋よりコミッショニングの第2段階に入る。まずは第1段階の最後で行った加速試験を継続し、ここで定常的な運転を確立する。その後で、遅い取り出しとHD

ビームラインのコミッショニングを行う。第3段階では、早い取り出しとニュートリノビームラインのコミッショニングを行い、その後はビーム強度の増強に重点を移していく。

#### 4. 機器の誤差による軌道への影響

現在、MRの電磁石や入射機器の磁場測定結果を用いて磁場誤差のビームに対する影響を評価している。表3に、入射セプタム[5]、ならびに入射ダンプセプタムの漏れ磁場が周回軌道に与える影響についてSADを用いて計算した結果を示す。入射セプタムIIについては水平方向の $\beta$ 関数の変調の最大値が7.4%と現状ではやや大きい。入射ダンプセプタムIは漏れ磁場によるCODがかなり大きい。今後、磁気シールドを強化することにより周回ビームへの影響を低減できる見込みである。

一方、MRの入射において空間電荷効果と非線形磁場の影響で生じるビーム損失の評価を進めており、偏向、六極電磁石の磁場測定データを反映したシミュレーションも行っている[6]。

表3：入射セプタム及び入射ダンプセプタムの周回ビームへの影響。CODの最大値、 $\beta$ 関数変調の最大値、ビームサイズ(CODも含む)変化の最大値。

	COD x	COD y	$\beta_x$ mod	$\beta_y$ mod	ビーム サイズ x	ビーム サイズ y
入射セプタムI	1.8 mm	0 mm	3.1%	0.7%	4.6%	0.2%
入射セプタムII	1.1 mm	0 mm	7.4%	2.0%	3.5%	1.0%
入射ダンプ セプタムI	4.2 mm	0 mm	1.4%	1.4%	9.8%	0.4%
入射ダンプ セプタムII	0.3 mm	0 mm	1.1%	1.1%	2.9%	0.5%

#### 参考文献

- [1] "Accelerator Technical Design Report for J-PARC", KEK Report 2002-13 and JAERI-Tech 2003-044.
- [2] T. Koseki *et al.*, "Commissioning Scenarios for the J-PARC Accelerator Complex", to be published in Proc. 39<sup>th</sup> ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop, HB2006.
- [3] T. Oogoe *et al.*, "J-PARC 50 GeV シンクロトロン の現状と予定.2", in these proceedings.
- [4] N. Hayashi *et al.*, "The Beam Diagnostics System for J-PARC Synchrotrons", to be published in Proc. HB2006.
- [5] I. Sakai *et al.*, "Opposite Field Septum Magnet System for the J-PARC 50 GeV Ring Injection", Proc. EPAC 2004.
- [6] A. Molodtsov *et al.*, "Space Charge Simulation for J-PARC Main Ring", to be published in Proc. HB2006.