

DESIGN AND DEVELOPMENT FOR SLOW BEAM EXTRACTION FROM J-PARC MAIN RING

Masahito Tomizawa^{1,A)}, Toshikazu Adachi^{A)}, Yoshitsugu Arakaki^{A)}, Koji Ishii^{A)}, Tadaharu Ishida^{A)},
Katsuya Okamura^{A)}, Jun-ichi Odagiri^{A)}, Hitoshi Kobayashi^{A)}, Izumi Sakai^{A)}, Hikaru Sato^{A)}, Hirohiko Someya^{A)},
Syuichi Tokumoto^{A)}, Hidetoshi Nakagawa^{A)}, Kazuaki Niki^{A)}, Yoshinori Hashimoto^{A)}, Hiroshi Matsumoto^{A)},
Katsumi Marutsuka^{A)}, Katsuhiko Mikawa^{A)}, Eiichi Yanaoka^{A)}, Akio Kiyomichi^{B)}, Naohito Saito^{B)}, Yoshinori Sato^{B)},
Shinya Sawada^{B)}, Kazuhiro Tanaka^{B)}, Hiroyuki Noumi^{B)}, Ryotaro Muto^{B)}, Yutaka Yamanoi^{B)},
Takeshi Ichikawa^{C)}, Koichi Mochiki^{C)}, Koji Noda^{D)}

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization

^{B)} Institute of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Organization

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

^{C)} Musashi Institute of Technology

1-28-1 Tamazutsumi, Setagaya, Tokyo, 158-8557

^{D)} National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Inage, Chiba, 263-8555

Abstract

Beam loss is one of most serious issue for the slow extraction from a high intensity proton synchrotron. We have designed the slow extraction scheme to reduce the beam loss for J-PARC Main Ring. The tracking simulation predicts the beam loss rather less than 1% in the ring. We have developed the electrostatic and magnetic septa with thin mass septum. A prototype of the DSP system for spill feedback showed a good performance in the beam test using HIMAC. The slow extraction device will complete at the end of this fiscal year and be installed next summer. The beam commissioning for the slow extraction will start in period from the end of next year.

J-PARCメインリングからの遅い取り出し設計と開発

1. はじめに

J-PARCメインリングは imaginary γ_t を持つ周長 1567.5 mの3回対称性を持つシンクロトロンで、116.1 mの直線部と406.4 mのアーチ部から構成される。遅い取り出し装置の主なもの、この3つの直線部のうちの1つに設置される。

大強度陽子ビームの遅い取り出しで最も問題となるのは、必然的に起こるビームロスに起因する周辺の放射化である。J-PARCでは、KEK-12GeVPSの約100倍のビーム強度の取り出しをおこなう必要があり、高効率での取り出しが求められる。J-PARCの遅い取り出しはビームロスを1%以下に減らすためのいくつかの基本設計上の特徴を持つ。静電セプタムとセプタム磁石については、十分な蹴り角を確保しつつ、ビームロスの低減のためにセプタム厚を極力薄くする必要がある。この困難な要求を満たすために精力的なR&Dが進められてきた。一方で遅い取り出しユーザーから強い要求があるビームスピルの平坦化は、遅い取り出しに課せられたもう一つの重要な

課題である。そのために、フィードバック信号をつくりだす制御系と高速応答性を持つQ磁石を必要とする。

以上の内容に加えて、実機製作とインストール、遅い取り出しビームコミッションングの予定について報告する。

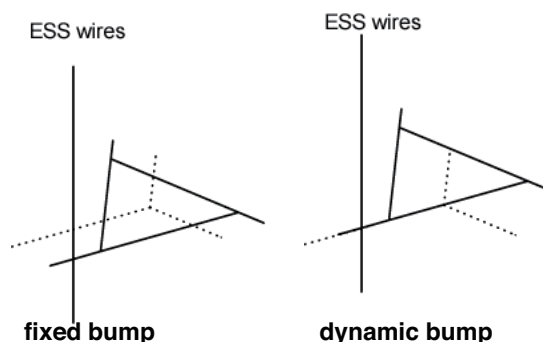


図1 固定バンプとダイナミックバンプの場合のセパトラックス

¹ E-mail: masahito.tomizawa@kek.jp

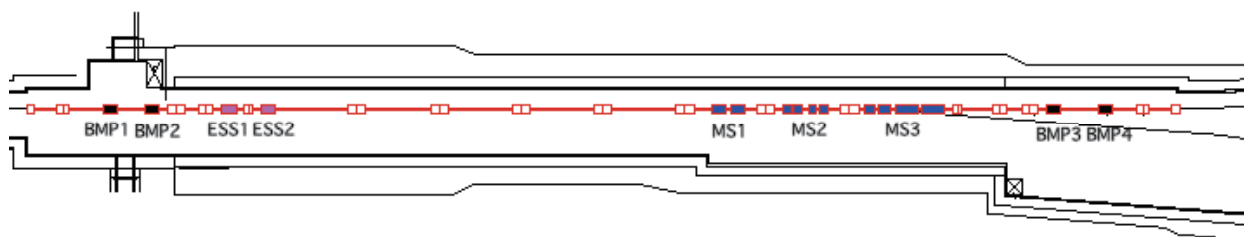


図2 遅い取り出し直線部の装置配置

2. 取り出しの概要とビームロス評価

J-PARCの遅い取り出しでは、ラティスのQ磁石の1つのファミリーQFNを用いてチューンを3次共鳴($Q_x=22.3333$)に近づけることによりビームを取り出す。ビームロスは静電セプタムにビームの一部がヒットすることにより生じる。ヒット率を減らすためには、静電セプタムの位置での取り出しビームのターンセパレーションをできるだけ大きくすると共に角度の広がりを小さくすることが重要である。静電セプタムを β 関数が大きく α 関数が小さい所に置くことにより、20mmという大きなターンセパレーションを得ることができた。また静電セプタムが置かれる長直線部のディスパージョンはゼロとなっている。水平方向のクロマチシティー補正を行った場合、取り出し途中でのセパトリックスは運動量の違いによらず一定となる。図1に示すように、この条件のもとで取り出しの途中バンプ軌道をダイナミックに動かし、セパトリックスから出るアームを重ねることにより、角度の広がりの小さい取り出しビームを得ることができる[1]。

遅い取り出し装置は、共鳴を励起するための8台の6極磁石、軌道を寄せるための4台のバンプ磁石、ビームを蹴りだすための2台の静電セプタムと10台のセプタム磁石、そしてそれらの電源から構成される。

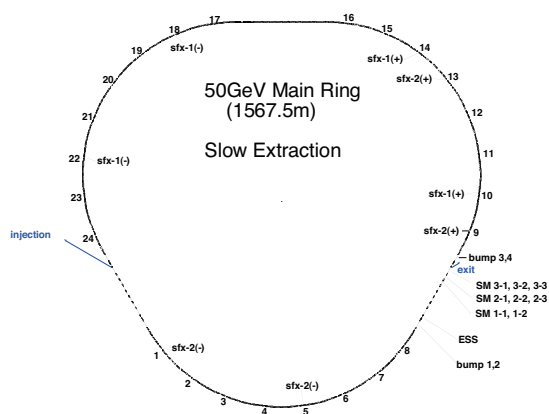


図3 共鳴6極磁石(sfx)の配置。

る。遅い取り出し直線部に置かれる装置は図2に、6極磁石の配置は図3に示されている。

以上の設計に対して、遅い取り出し過程のトラッキングシミュレーションによってロスの評価を行った。その結果、実効厚さ100 μm 、長さ1.5mのセプタムワイヤーへのヒット率は約1%という非常に小さい値を得ている。大強度ビームの場合、ヒットしたビームの振る舞いを評価することも重要である。ヒットしたビームとセプタム物質との相互作用はMARSコードを用い、多重散乱で放出された粒子に対しては、再度加速器のトラッキング計算を行った。その結果実際の加速器内でのロスは、静電セプタムの下流の2台のコリメーターでのロスを含めて0.3%程度となり、残りはメインの取り出しビームと同様リングから取り出されるという結果を得た。

3. 装置開発

3.1 静電セプタム

長さが1.5mの実機の約半分のR&D機において様々な試験を行ってきた。まず、直径80 μm のタングステン(3%レニウム)ワイヤーを1.25mmピッチで張ったヨークの製作を行い、50GeVエネルギーに対応した170kV、ギャップ25mmでの高電圧試験に成功した。その後、ワイヤーより薄くよじれの少ない幅約1mm

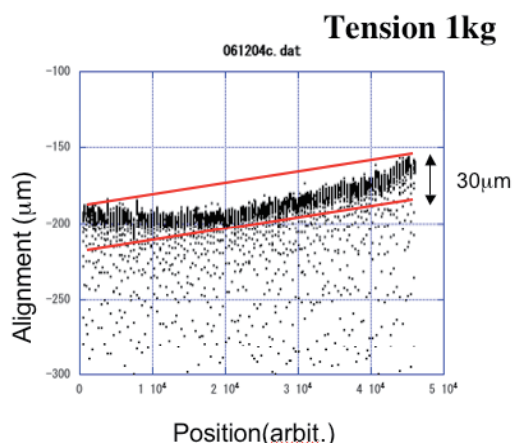


図4 リボンのアライメント測定結果。

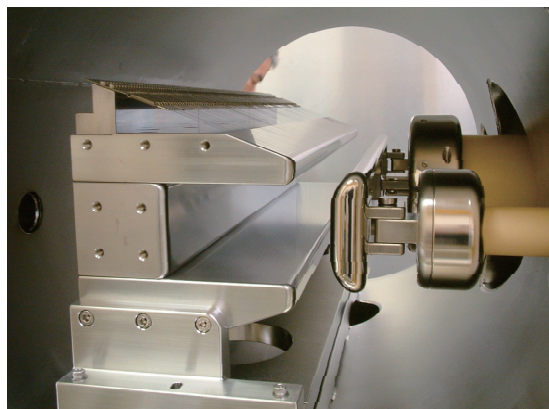


図5 リボン型静電セプトラムR&D機。

厚さ約 $30\mu\text{m}$ のタングステン(26%レニウム)リボンの開発を行った。リボンは両端にバネを介してヨークに張る構造を採用した。図4はヨークに張られたリボンのアライメントをレーザー変位計で測定した結果である。リボンの厚さのバラツキを含むエラーは約 $30\mu\text{m}$ で、リボンの厚みを含む実行厚さは約 $50\text{--}60\mu\text{m}$ となっており満足いく結果が得られた。またワイヤーと同様にこのリボン型の場合も 170kV 、ギャップ 25mm での高電圧試験に成功した。この結果を受け実機はリボン型を採用することに決定した。図5はリボン型高電圧試験機の写真である。

3.2 セプトラム磁石

初段の低磁場セプトラム磁石(SMS11,12)に用いる導体は、厚さ 1.5mm の銅板の上下にステンレスのパイプをハンダ付けする構造となっている(SMS12は2ターン)。現在までに導体単体の試作を行い、実機と同様の固定方法において導体の真直度の測定、 3000A(DC) 、 5000A(pattern) の通電試験を行い、いずれも良好な結果を得ている[2]。

中段の中磁場セプトラム磁石(SMS21-24)の導体は厚さ 7.5mm で縦に4ターンを並べるといいう難しい構造を採用する必要があった。製作性・組み立て性能をチェックするために、実機と同じ寸法の磁石を製作し試験を行った。導体は厚さ 0.25mm のセラミック溶射を施し、磁気シールド板にSUSバンドで入れ子状に固定する方法を試みた。SUSバンドの一部にふくらみが生じたが、SUSバンドの固定位置を工夫することで改善できる見通しが得られた。導体自身の製作は当初困難を伴ったが、最終的にはHIPでSUS冷却パイプを銅に仕込む構造の製作に成功した。導体の両端部は、SUSパイプを2重にするというアイデアによって、水漏れの原因となる水冷却配管を真空中でつなぐことを避けることができた。さらにHIP導体の 3000A(DC) の通電試験においても予想通りの性能が得られた[2]。

3.3 スピル制御

ビームスピル信号を検出し、スピルを平滑化するためのフィードバック信号を生成するDSP制御システムの開発を行っている。プロトタイプはKEK-PSのスピル制御に用いられた方式をベースに開発されたものでアナログ信号の入出力を行う。このプロトタイプを用いたHIMACでのビーム試験において、マクロなスピル構造を平坦化できることを実証した[3]。

4. 装置製作の現状と今後の予定

8台の共鳴用6極磁石は平成17年度に製作され、磁場測定の後既にトンネルにインストールされている。静電セプトラム2台、セプトラム磁石10台、バンブ磁石4台は今年度の予算で製作される。バンブ磁石設計の詳細は[4]を参照されたい。6極磁石電源2台、バンブ磁石電源4台についても今年度製作される。セプトラム磁石電源4台は予算の都合で他の目的で使われていた電源を流用することになる。静電セプトラム、セプトラム磁石、バンブ磁石は納品後の来年4月～夏までの間KEK敷地内で通電試験を行った後、夏期の長期シャットダウン中にMRトンネル内にインストールされる予定となっている。電源についてもその時期までに設置を完了させる予定である。それらの作業終了後、遅い取り出し装置の総合運転試験を行う。

MRの最初のビームコミッショニングは平成20年5月～6月を予定している。その期間は遅い取り出し装置の設置場所にはダミー真空ダクトが取り付けられる。遅い取り出しビームコミッショニングは平成20年12月からのMRビームコミッショニング期間の中で行う予定となっている。

スピル制御用4極磁石の製作は予算の都合により1年遅れの平成20年度となる。現在までにほぼ基本設計が固まり、高速応答性を得るためにうず電流を極力減らす磁極端部構造の最適化作業を行っている。

参考文献

- [1] M. Tomizawa, et al., "Design of Slow Extraction from 50GeV Synchrotron", EPAC2002, p1058-1060.
- [2] Y. Arakaki, et al., "R&D Test for Slow Extraction Septa in J-PARC MR", These Proceedings.
- [3] A. Kiyomichi, et al., "The Research on the Spill Feedback Using DSP for J-PARC", These Proceedings.
- [4] E. Yanaoka, et al., "The Design of J-PARC MR Bump Magnet for Slow Extraction", These Proceedings.