

J-PARC リニアック RF チョッパーの過渡応答に関する検討 STUDIES OF TRANSIENT RESPONSE FOR RF CHOPPER IN THE J-PARC LINAC

北村遼 ^{*,A)}, 不破康裕 ^{A)}, 伊藤大登 ^{B)}
Ryo Kitamura ^{*,A)}, Yasuhiro Fuwa ^{A)}, Hiroto Ito ^{B)}
^{A)} JAEA/J-PARC
^{B)} Nagaoka University of Technology

Abstract

An RF chopper is used in the J-PARC linac to generate a time structure of the beam bunch that allows the proper beam injection into the subsequent synchrotron. Imperfectly chopped beam is produced by the transient response of the chopper field. New kind of massless septum is proposed for the effective suppression of leakage beam by the chopper. Result calculated by Particle-In-Cell simulation shows the good separation between the main beam and one deflected by the chopper using the ideal septum field.

1. はじめに

大強度陽子加速器施設 J-PARC のリニアックでは負水素イオンビームをピーク電流 50 mA、400 MeV まで加速して幅広い実験に対する利用運転を行っている。リニアックのフロントエンドにある中エネルギービーム輸送系 (MEBT1) は高周波四重極線形加速器 (RFQ) とそれに続くドリフトチューブ型リニアック (DTL) に挟まれる区間に位置しており、Fig. 1 に示す構成となっている。MEBT1 には偏向電場を発生させる 2 空洞 1 セットの高周波ビームチョッパーが設けられており、後段のシンクロトロンへの入射に適したマクロパルス内時間構造を形成するために用いられる。

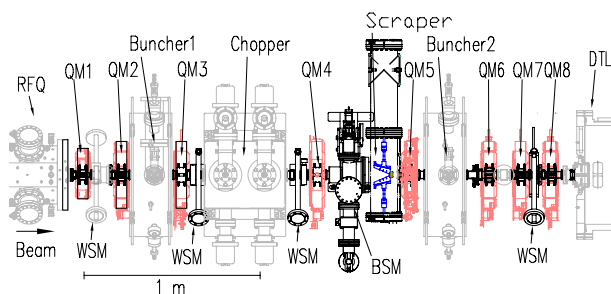


Figure 1: Configuration of MEBT1 [1].

通常チョッパーで水平方向に偏向されたビームは MEBT1 下流のビームスクレーパーで捕集される。しかしチョッパーへの高周波電力投入に伴う過渡応答により不完全な偏向電場が必然的に発生するため、不十分な偏向ビームの一部は漏れビームとしてスクレーパーを通過して下流へと輸送されてビームロスの一因となりうる。Figure 2 に 2 台のチョッパー空洞のピックアップ波形をそれぞれ示す。第 1 空洞のテールには高周波伝送系のマッチング不整合に起因すると考えられるリングング波形が見られる。Figure 3 に Particle-In-Cell シミュレーション (IMPACT) [2] で計算した弱い偏向電場による漏れビーム量の評価結果を示す。第 1 空洞の低振幅電場に起因する漏れビーム量は第 2 空洞に比べ

て少ないが、より安定した利用運転にはこのような漏れビームを積極的に除去する工夫を凝らすことが望ましい。

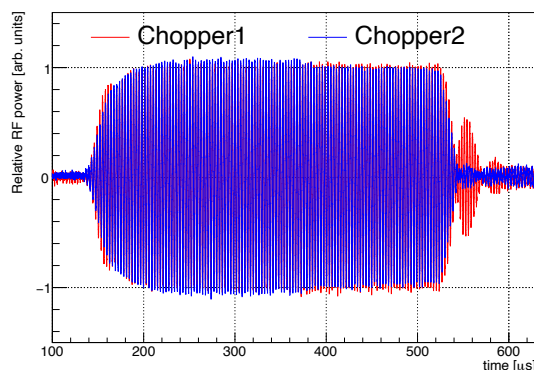


Figure 2: Measured field in chopper cavities.

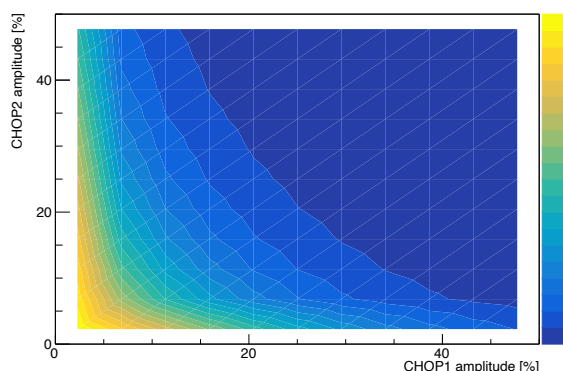


Figure 3: Leakage beam distribution.

* rkita@post.j-parc.jp

2. 機能結合型 MASSLESS セプタムとシミュレーションによる検討

近年 MEBT1 の性能向上を目的として、ビーム収束用の四重極磁場に加えて複合的な機能を持たせた機能結合型電磁石の開発が進んでいる [3]。特に永久磁石を用いた多極磁石 [4] は電力や冷却系を必要としないため省エネルギーの観点からも魅力的である。元々 MEBT1 は設計上チョッパーで偏向したビームを第 4 四重極電磁石の磁場にてさらに偏向させるよう構築されている。この四重極磁場に対して永久磁石を用いた massless セプタム磁石 [5] の概念を取り入れることにより、漏れビームに対してより冗長な光学系を構築できると期待される。永久磁石によるセプタム-四重極機能結合型磁石を活用すれば、より大強度なビームに対しても低い漏れビーム量即ち低ビームロスかつ省エネルギーの理想的な加速器運転が実現する。

この新奇磁石を検討する上で、Fig. 4 に示すような理想的なセプタム偏向磁場を仮定した PIC シミュレーションを実施した。Figure 5 及び 6 に通常の四重極磁場によるビームスクレーパー上でのプロファイル分布と理想セプタム磁場による分布をそれぞれ示す。ビームスクレーパーの位置は水平方向に +6.8 mm の位置と仮定して、チョッパー偏向電場が通常より低い場合の漏れビーム量を凡例に示している。シミュレーション結果より理想セプタム磁場の条件にて、漏れビームと偏向無しビームを良く分離できていることがわかる。

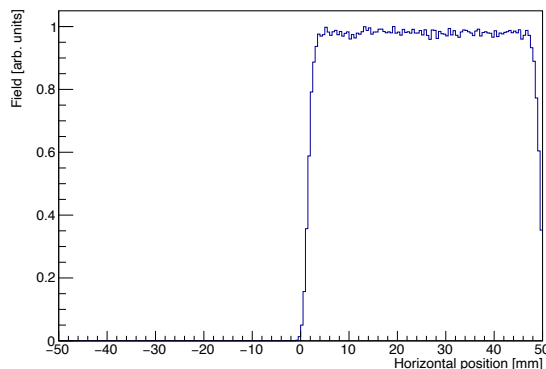


Figure 4: Assumed septum field distribution.

3. まとめと今後の展望

チョッパー漏れビームの低減案の 1 つとして、永久磁石を用いたセプタム-四重極機能結合型磁石が考えられる。PIC シミュレーションの結果、理想的なセプタム磁場により漏れビームを効率よく低減できる可能性が示された。次のステップとして具体的な磁石設計及びプロトタイプによる磁場計測を実施する。この磁石では急峻な磁場分布が望ましい一方、高い透過率を維持するためには広い口径をとる必要があり相反する条件となる。こうした磁石設計上の課題検討に加えて、より現実的な磁場分布によるビーム分離条件のシミュレーションを進めることで、本提案の実現可能性と想定されるボトルネックについて検証する予定である。

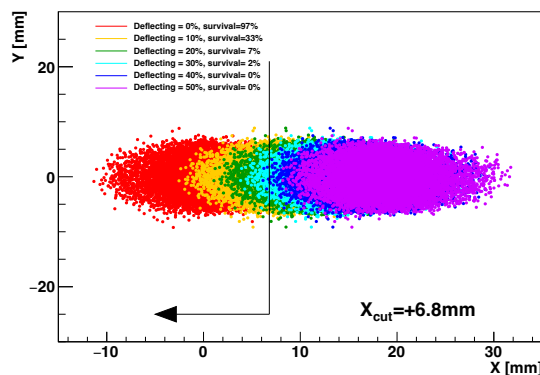


Figure 5: Simulated beam profiles at scraper using normal quadrupole.

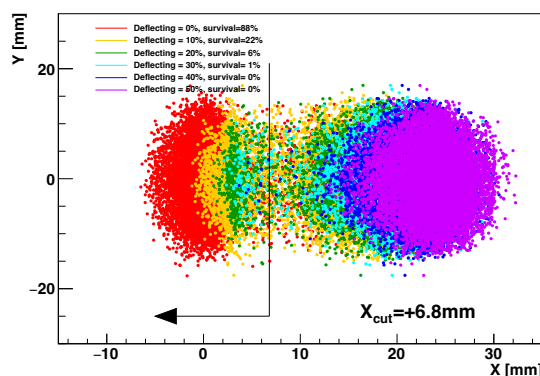


Figure 6: Simulated beam profiles at scraper using ideal septum field distribution.

謝辞

チョッパー波形データの取得にあたり、KEK 溝端仁志氏のご協力に感謝致します。

参考文献

- [1] R. Kitamura, “First Measurement of Longitudinal Profile of High-Power and Low-Energy H^- Beam by Using Bunch Shape Monitor with Graphite target”, in *Proc. of IBIC2022*, Krakow, Poland, Sept. 2022, pp. 532–535. doi:10.18429/JACoW-IBIC2022-TH1I1
- [2] J. Qiang, R. D. Ryne, S. Habib, and V. Decyk, *J. Comput. Phys.* **163**, pp.434–451, 2000. doi.org/10.1006/jcph.2000.6570
- [3] M. Chimura, “Emittance Growth Due to the Strong Space-Charge Field and Its Mitigation Using a Combined Multipole Magnet”, Doctoral dissertation, 2022.
- [4] Y. Fuwa, T. Takayanaghi, and Y. Iwashita, *IEEE transaction on applied superconductivity*, **32**, 6, 4006705, 2022. doi.org/10.1109/TASC.2022.3176251
- [5] Y. Iwashita and A. Noda, “Massless Septum with Hybrid Magnet”, 6th EPAC, pp.e-proc. 2109, 1998.