

MEBT-CHOPPER TUNING PROCEDURE AND ITS TOLERANCE

Akihiko Miura^{1,A)}, Tetsuya Kobayashi^{A)}, Kazuo Hasegawa^{A)}, Hiroyuki Sako^{A)}, Masanori Ikegami^{B)}

^{A)} J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Ibaraki, 319-1195, Japan

^{B)} J-PARC Center, High Energy Accelerator Research Organization

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

Abstract

MEBT-Chopper tuning procedure was proposed using a downstream wire scanner monitor and this has been employed for the beam commissioning of the J-PARC Linac. This paper introduces the results obtained by several tuning experiences and its tendencies. Finally, tolerance depending on the tank level of RFQ (Radio-Frequency Quadrupole Linac) is introduced.

J-PARC リニアックにおけるチョッパーのトレランス

1. はじめに

J-PARCでは、500 μ s程度の時間幅を持ったマクロパルスビームを、LINACで加速し^[1]、下流のRCS加速器(1MHz程度)に入射するために、LINAC上流のMEBT区間に設置したRFチョッパー空洞を用いて、数百ns幅で、RCSのRFの位相に同期した周期を持つ中間バンチ構造(楕状構造)を形成する。この楕状構造の「谷」部分に残留するビームは、下流施設に輸送される前にビームロスを引き起こす可能性がある。ビームロスを小さくするために、RFチョッパー空洞の下流(SDTL部)に設置してあるワイヤスキャナモナ(以下、WSM)を用いたチューニング方法を提案し、ビームコミッショニングに採用した^[2]。

本報では、ここで採用したチューニング方法及びコミッショニングにて得られたデータ類を紹介するとともに、RFQのタンクレベルを変えた場合のトレランスの変化について報告する。

2. RFチョッパーとそのチューニング

2.1 RFチョッパー空洞

J-PARC リニアックは、イオン源、RFQ、DTL(Drift Tube Linac)、SDTL(Separate-type DTL)などの加速空洞を用いて負水素イオン粒子を181MeVまで加速し、下流のRCS加速器へ入射している。上流

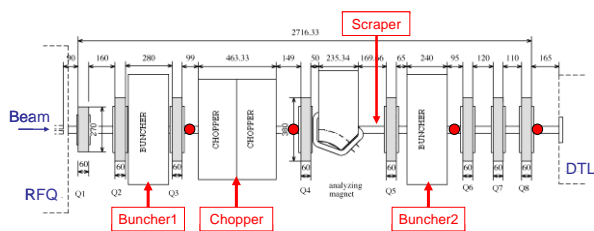


図1 MEBT1のレイアウト

部のRFQとDTLの間にはMEBT1(1st Medium Energy Beam Transport)と呼ばれるマッチングセクションが設けられており、このセクションには、図1のように2台のバンチャー、RFチョッパー、スクレーパなどが設置されている。

RFチョッパーでは、図2のように入射したマクロパルスに対して2本の電極間に共鳴電場を作り、RCSのRFに同期してビームを蹴り出すことができる。

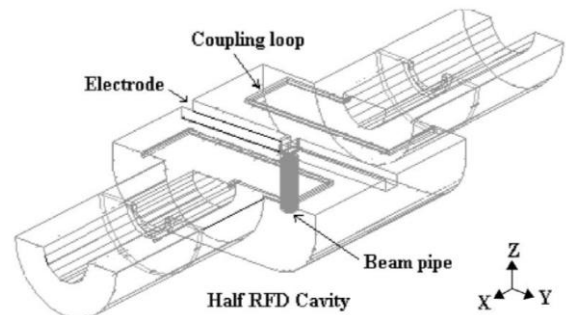


図2 RFチョッパーの構造^[3]

2.2 チョッパーのチューニング

ビームの電流を測定するため、リニアックでは通常、ビーム電流モニタSCT(Slow Current Transformer)が使用されている。これは、ビーム軸を中心軸とした円環状のFinemet製のコアに信号線が巻きつけられた構造になっている。また、ビームの横方向のプロファイルを測定するために設置してあるWSMは、駆動部のステンレス製のヘッド部に直径30 μ sの金メッキされたタングステンワイヤが水平、鉛直の方向に張られている。負水素のビームがこのワイヤを横切るとき、電子がワイヤ内に残留し、この電子がワイヤに流れることで信号電流が得られる。

チョッパーのチューニングでは、チョッパーを適当な位相に設定し、チョッパーにて全電流を蹴り出した際

¹ E-mail: miura.akihiko@jaea.go.jp

の残留電流をチョッパより下流のSCT及びWSMにて測定する。なお、全電流を蹴り出した場合の残留電流は小さいため、SCTの測定レンジでは変化の様子を把握するのは難しい。このため、WSMのプリアンプのゲインを100倍に上げ、小さな電流も観察できるようにする。チョッパの位相設定値を徐々に変化させ、WSMで測定された電流値との相関を放物近似で求め、その中心(対称軸)の位相をチョッパの設定値として採用する。

2.3 チョッパのチューニング例

ビームの全電流を蹴り出した際のSCTでの測定結果を図3に示す。チョッパに入ったビームは全て蹴り出され、チョッパより下流ではビーム電流が0になっている様子が見える。チョッパの位相を大きく変化させた場合、チョッパでの蹴り残しが現れ、図4のように微小な電流が観測される。このような微小な蹴り残しの電流が現れる位相に設置し、WSMのゲインを100倍にしてプロファイル測定すると図5のようになった。蹴り残しがある場合のビームのプロファイル(図5右)は、図6に示すチョッパをしていないときのプロファイル(ゲインは1倍)にほぼ合致し、その波高は約1/4になっている。つまり、

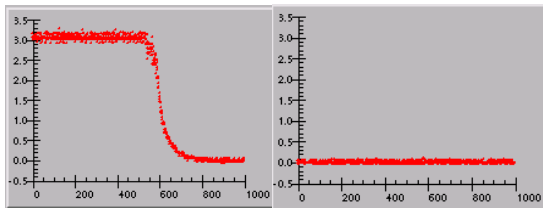


図3 チョッパされたビーム電流
(左: チョッパ上流, 右: チョッパ下流)

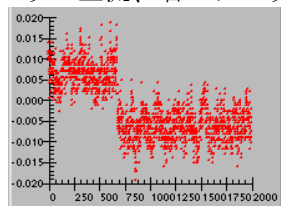


図4 蹴り残しがある場合
(チョッパ下流SCTL部)

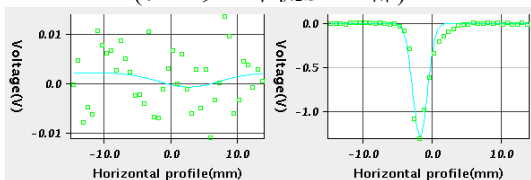


図5 WSMでの測定結果: ゲイン100倍
(左: 図7の0° のとき, 右: 図7の60° のとき)

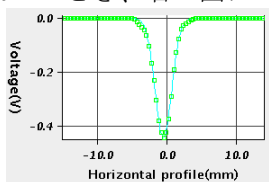


図6 WSMによるビームプロファイルの測定結果: ゲイン1倍

通常のビーム電流の1/400以下の波高になっていることがわかる。一方、チョッパが最適位相に設定された場合(図5左)は有意なプロファイルが見られなかった。

チョッパの位相を段階的に変化させ、蹴り残しの電流値をWSMにて測定し、図7のようにプロットし、放物線で近似した。図では、測定時の中心位相を位相の原点とした。通常のチョッパチューニングでは、図のように放物近似した対称軸(中心軸)の位相にチョッパを設定している。

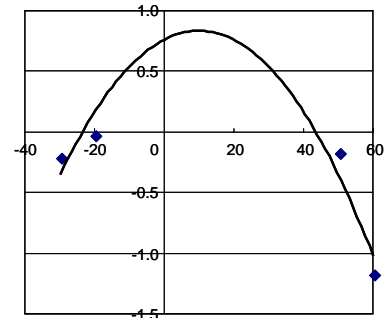


図7 WSMによるチョッパ蹴り残し電流の測定値
(RFQタンクレベル95%のとき)

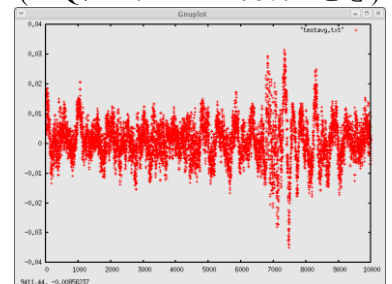


図8 100ショット以上の平均

チョッパの位相を中心位相に設定し、全電流を蹴り出した時のWSMで測定した100ショット以上の波高の平均値を図8に示す。この結果は、図6の通常のビームの波高に比べ、1/2000~1/1000になっていることがわかる。これは、WSMの測定レンジの下端に相当し⁴⁾、有意なパルスが残留していないことを示している。

以上、J-PARC では、数百 μ sの幅を持ったマクロパルスを、MEBTにおいて程度のRFチョッパを用いることにより、中間バンチ構造を形成させて、下流のDTL加速空洞に入射する。ビームの蹴り残しは、チョッパより下流に設置されたWSMからの信号を、直後に置かれたプリアンプで増幅することにより、測定した。ビームの蹴り残しは、チョッパされていないビームとの比を取る事によって測定され、測定器の検出限界である0.1%程度以下となることを確認した。

3. ビームコミッションングにおけるチョッパチューニング

3.1 ビームコミッションングにおけるチョッパチューニング

J-PARCの通常のビーム運転は、約3週間のビーム運転を実施し、約1週間のメンテナンス期間をおき、運転を再開する。通常運転におけるコミッションングでは、各運転の開始にリニアックのチューニングを実施しており、チョッパのチューニングもこの時に実施している。これまでのチューニングの経験で

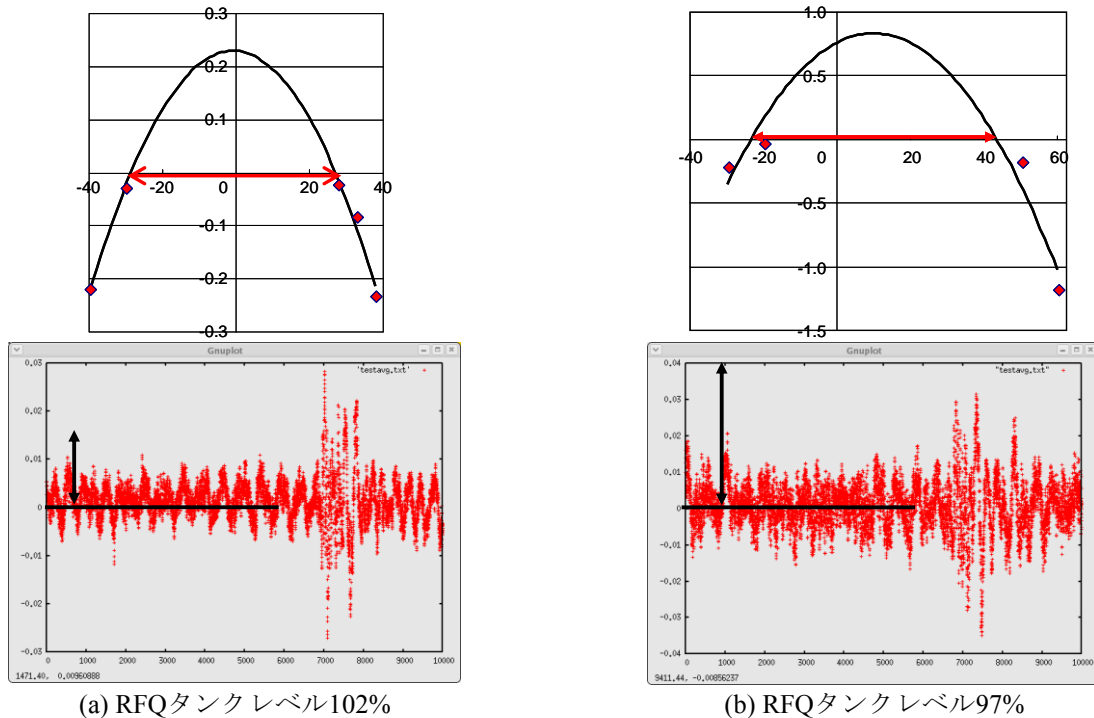


図9 蹴り出し電流と平均波高 (ビーム電流5mA)

は、毎回数 $\sim 10^\circ$ 位相がシフトすることが確認されている。

3.2 RFQタンクレベルとトレランスについて

RFQのタンクレベルの異なる場合のチョッパのチューニング結果を図9に示す。図の(a)はRFQタンクレベル102%の場合の蹴り出し電流と100ショット以上の平均波高であり、(b)はRFQタンクレベル97%の場合である(RFQタンクレベル95%の場合は図8を参照)。ここで、蹴り出し電流の放物近似曲線が横軸と交差する2点間の幅(近似電流値が0以下の部位)をチョッパが全電流を理想的に蹴ることができる領域(トレランス)と定義すると、RFQのタンクレベルが同じ場合、このトレランスはほとんど変化しないが、タンクレベルを低下した場合、トレランスは若干大きくなった。また、波高値は102%の場合に比べ、97%、95%の場合は若干小さくなった。以上より、チョッパのパフォーマンスについて、RFQのタンクレベルが高いほどトレランスは狭く、タンクレベルが低いほど蹴り出しの波高は小さくなる傾向が見られた。

4. まとめ

J-PARCリニアックでは、MEBT区間に設置したRFチョッパ空洞を用いて、数百ns幅で、RCSのRFの位相に同期した周期を持つ中間バンチ構造を形成しており、下流施設で発生するビームロスを小さくするために、RFチョッパ空洞の下流に設置してあるWSMを用いたチューニング方法を提案し、ビームコミッションングに採用した。

チョッパのチューニングを行った結果、全電流を蹴り出した場合、有意な残留電流は見られず、RFQ

のタンクレベルに依存したチョッパのトレランスの変化が確認された。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki ed., J-PARC Design Report, JAERI-Tech 2003-044, KEK Report 2002-13
- [2] S. Sato et. al., "Tuning of MEBT-Chopper by using wire scanner monitor", 第6回日本加速器学会年会 予稿集 WPBDA06, 茨城県東海村, 2009年
- [3] S. Fu, T. Kato, "Design study on a medium-energy beamtransport line for the JHF proton linac", NIM-A 457, (2001), pp. 423-437.
- [4] A. Miura et. al., "Operational Performance of Wire Scanner Monitor in J-Parc Linac", Proceedings of First International Particle Accelerator Conference (IPAC10), MOPE021, Kyoto, 2010