

J-PARC MR におけるイントラバンチフィードバックの 2 台体制化 DUALIZE OF INTRA-BUNCH FEEDBACK SYSTEM IN J-PARC MR

岡田雅之^{#, A)}, 外山毅^{A)}
Masashi Okada^{#, A)}, Takeshi Toyama^{A)}
^{A)} KEK J-PARC

Abstract

In J-PARC MR, there is a feedback system for damping the beam oscillation due to instability. We have considered the way to improve the damping ability for a future plan. We decided to test the way to use 2 feedback systems at the same time using existing systems for it. As a result, damping speed is improved in low frequencies, but it is not successful in higher frequencies. Insufficient damping is considered to come from insufficient frequency response of the kicker in the 2nd system. Precise simulation and countermeasure are in preparation.

1. はじめに

J-PARC のメインリング (MR) ではビーム入射時のエラーやビームインスタビリティによるビームの集団運動を原因とするビームロスを防ぐ為、フィードバック制御によりビームの振動を減衰させるシステムを導入し運用している。現状、このシステムは MR の大強度運転の為には不可欠な要素で、現在計画中の MR ビームパワー1.3MW への増強に際しては減衰時間の短縮による更なるロスの削減が求められている。

今回、その方策の 1 つとして 2 組のフィードバックシステムを同時に動作させることによって減衰の速度を上げることが検討し、既存の設備で予備テストを行ったのでその結果を報告する。

2. MR のフィードバックシステム

MR の様なシンクロトロンの中を周回しているバンチビームはウェイク場によりベータatron振動が増大を始める事があり、ビームインスタビリティと呼ばれている。また、入射エラーよってもベータatron振動が誘起される。これらは放っておくとビームロスにつながる為、速やかに減衰させる必要がある。その為 MR ではビーム位置モニタ (BPM)・信号処理回路・キッカーからなるフィードバックシステムを設置し、インスタビリティを抑制している。

このシステムでは BPM から信号を信号処理回路で差分をとりビームの位置を測定する。この時サンプリングのタイミングをビームの周回に同期させることでバンチ内の同じ場所における位置の時間変化を知ることができるので、それを FIR フィルターに通して補正の為のキック量を計算、アンプで増幅しキッカーに印加して実際にビームを補正する。

現在 MR で主に使っているはニュートリノ/アポルト向け分岐点下流の直線部に設置されたテーパー電極 BPM[1]・高速信号処理回路(Dimtel iGp12H)・3kW アンプ・ストリップライン型キッカー(電極間隔 140mm 長さ 0.75m)[2]で構成されたシステムで、約 9ns 間隔でサンプリングしフィードバックをかけることができるのでバンチ内振動にも対応しているタイプである[3]。

一方、MR にはもう一組のキッカーが入射部下流に設置されている。このキッカーは前出の物と比べ電極間隔等は同じだが、長さが現行機の 0.75m に対し 1.5m と長いこととアンプが 1kW という違いがあり、主に Tune 測定

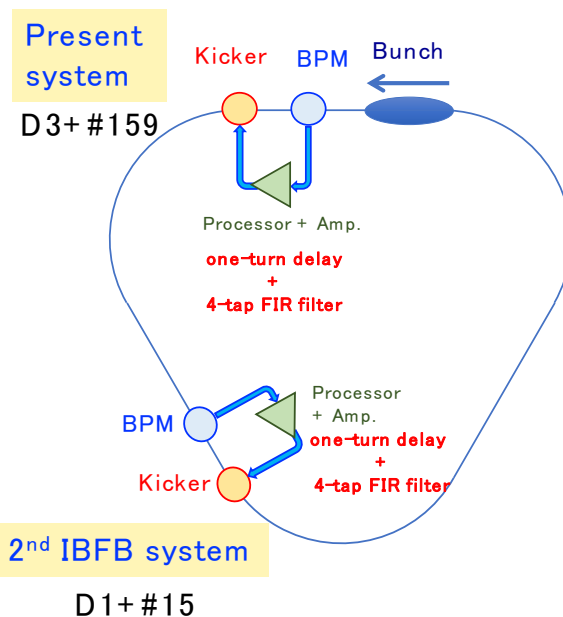


Figure 1: MR transverse feedback system.

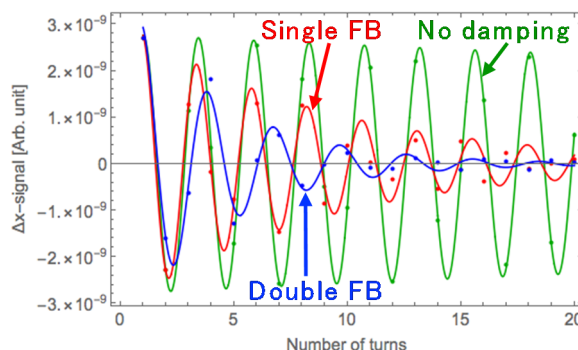


Figure 2: Comparison of damping times.

[#] masashi.okada@kek.jp

に使われている(Fig. 1)。

今回、ビームパワー増強の為に抑制能力を強化する方法の検討において、この場所に現行機と同じキッカーを設置し2台体制で運転する方法の検討がなされた。その際、インパルス入力に対する振動の減衰速度を簡単なシミュレーションで比較したところ、Fig. 2 に示すように2台体制にすることで1台の時に比べておよそ半分の時間で減衰させる事ができるという結果を得た。

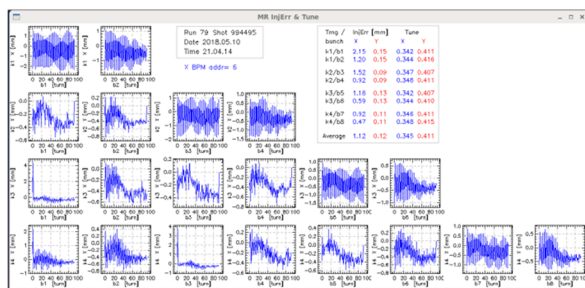
そこで、今あるキッカーに試験用のテーパー電極BPM、予備の信号処理回路を組み合わせることで2台目のフィードバックシステムとして構成、2台体制のテストを行うことにした。

3. 2台同時運用テスト

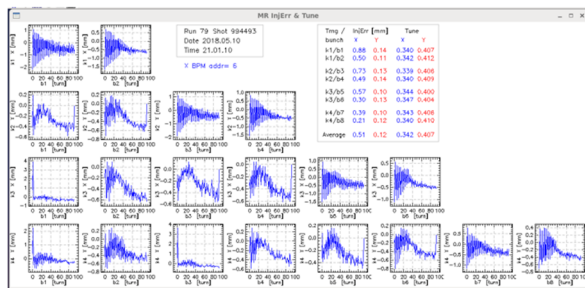
テストは現行のフィードバックシステムを動かした状態での2台目のシステムを追加する形で行った。

ビーム条件は実際に供給運転で使用している8バンチ480kWの設定とした。これは現行のシステムは既にこの条件に合わせてあるので再調整がいらず、2台目を追加した効果が分かりやすいと考えたからである。

2台体制にした状態で2台目のパラメーターを調整、最も良い設定で、2台目のフィードバックを入れた時と入れなかった時の入射直後のビーム振動の様子をFig. 3に示す。これは4回あるビーム入射直後の振動の様子をバンチ毎に表示したものである。同じタイミングでの振動の様子を比べると2台目を追加した方が明らかに振動の減衰が速くなっているのがわかる。一方でこの時のビームパワーと待ち受けから加速初期までのビームロスを比べると、1台体制の時は487kWのビームに対し559Wの



present



present + 2nd system

Figure 3: Horizontal injection error.

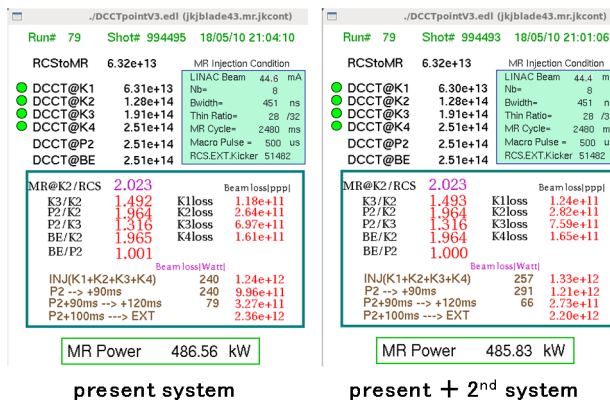


Figure 4: Beam power and loss.

ロスであったが、2台体制にした場合は486kWに対して614Wであった(Fig. 4)。ビームロスの値はショット毎のばらつきの範疇と思われるが、BPMの様子から期待される様なビームロスの削減は出来ていない。

次にそれぞれのショットのBPMの信号をフーリエ変換したものを比較した(Fig. 5)。周波数領域においてベータトロン振動は周回周波数やその高調波のサイドバンドとして現れる。そこに注目すると2台体制にした場合15MHz以下の周波数の低い領域ではサイドバンド部分が減少しているが、高い部分では減少が見られない。先にビーム振動の様子を見るのに使った入射エラーモニタに使われているDiagonal Cut型BPMは10MHz程度までしか見えないので減衰が上手くいったところだけを見ていたことになる。一方でロスを減らすには高い周波数領域での振動も減衰させる事が必要であることが推測される。

高い周波数領域で減衰出来てない理由として、当初2台目のフィードバックシステムでアンプからキッカーまでに使われているケーブルが20D相当の細いもの(D3の方は39D相当)で減衰量が大きいかことや、キッカーの周波数特性上100MHz付近に節があり、高い周波数では効率が悪くなる事が原因なのではないかと考えそれらの効果を計算した。ケーブルのカタログ値と時間領域反射

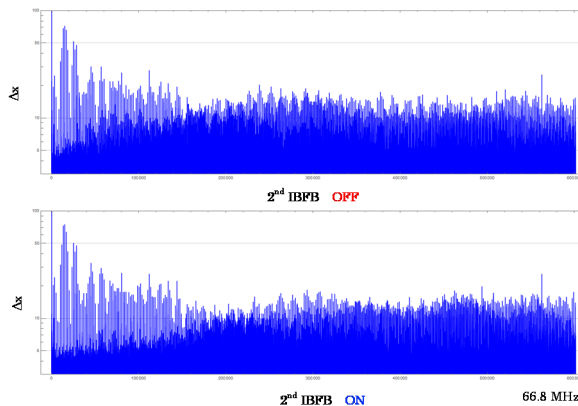


Figure 5: BPM difference signal spectrum (Peaks consist of revolution harmonics and betatron side bands. The side band peaks can be identified as a deep color area.)

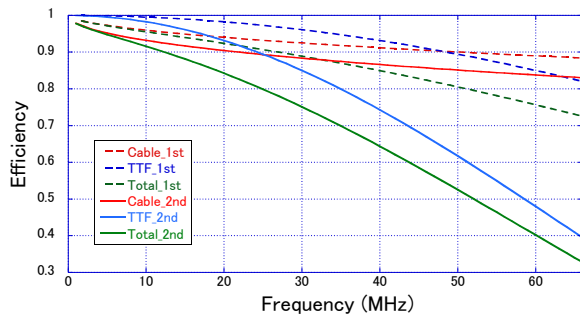


Figure 6: Kicker efficiency.

(TDR)測定で測ったケーブル長から計算した電圧低下とビームと電極間のトランジットタイムファクター(TTF)を掛け合わせた値を現行システムと2台目のシステムについて算出し比較した(Fig. 6)。周波数が高くなるにつれて2号機の効率が明らかに悪くなっているが、Fig. 5でサイドバンドの様子に変化する15~20MHzの辺りに特に際立った変化は無かった。その為、他にも要因があるものとして調べている。

4. まとめ

MRではビームインスタビリティによるビームロスを減らすため、ビームの振動を減衰させるビームフィードバックシステムを運用している。将来のビームパワー向上に向けて振動をより速やかに減衰させるために2組のフィードバックシステムを同時に運用する事の検討を始めた。

テストの結果、2台体制にした場合、1台のみの時に比較して低周波域では減衰が向上したが高周波領域は明確な効果は確認できなかった。その理由について当初2台目のフィードバックに使ったキッカーのケーブルや電極の周波数特性が高周波に対応していなかったのが主な原因と考えていたが、それだけでは説明がつかないので他の要因についても調査中である。

参考文献

- [1] K. Nakamura *et al.*, "FABRICATION OF TAPERED COUPLER FOR INTRA-BUNCH FEEDBACK SYSTEM IN J-PARC MAIN RING", proceedings of PASJ11, SAOM03.;
https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/SAOM/SAOM03.pdf
- [2] M. Okada *et al.*, "DEVELOPMENT OF THE DLC COATED BEAM EXCITER", proceedings of PASJ11, MOOL15.;
https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/MOOL/MOOL15.pdf
- [3] K. Nakamura *et al.*, "Transverse Intra-bunch Feedback in the J-PARC MR", proceedings of IPAC2014, THOAA03.;
<http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/IPAC2014/papers/hoaa03.pdf>