

DLC コーティングされたビームエキサイターの開発

DEVELOPMENT OF THE DLC COATED BEAM EXCITER

岡田 雅之[#], 外山 毅

Masashi Okada [#], Takeshi Toyama

KEK J-PARC

Abstract

In J-PARC MR, in order to control multipactoring, beam exciters with DLC coated electrodes were extended. However, the result of measurement on a test bench shows that the multipactoring has generated not only between electrodes but also between electrode-chamber. Then, we develop the exciter that has DLC coated electrodes and a chamber which was DLC coated with the inner face. Result of tests of new exciters shows a level which aggravation of the vacuum by multipactoring is less than the conventional thing, and does not have a problem in practical use. Then, it installed in MR and actually used for the beam control by BxBFB, IBFB system. Moreover, the influence of the beam to coating was investigated after machine time. This announcement reports the result.

1. はじめに

J-PARC 30GeV シンクロトロン(MR)にはビームエキサイター(図 1)が 2 か所に設置されていて、Bunch By Bunch Feedback (BxBFB) , Intra Bunch Feedback(IBFB) といったビーム制御や Tune 測定や遅い取出し運転時の Transverse RF の様なビーム軌道の励振に用いられている。エキサイターはストリップライン型ビームキッカーで、ビームに同期させて対向電極に逆位相の進行波を通すことにより transverse 方向のキックを与える。その為印加する RF の条件によってはマルチパクタリングが発生してしまうので、従来はチェンバーの外側にソレノイドコイルを巻きビームと平行な磁場をかける事でマルチパクタリングを抑制してきた。

今回、その内のエキサイター2の増強を行うにあたって、マルチパクタリングの抑制を電極のコーティングにより二次電子の放出を減らす事で達成しようとした。そこで、ステンレスの素体に対して電界研磨だけした物、窒化チタン(TiN)、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)でコーティングした物の3種類の電極を製作し、それぞれ二次電子放出率 (SEY) の測定とテストベンチにおいて印加する RF の周波数と電圧を変えながらのマルチパクタリングによる真空の変化の測定を行って比較した。その結果、DLC コーティングをした物が最も良好な結果であった。しかし、それでも実際に運用を予定している 95MHz 近傍では 4×10^{-5} Pa まで真空が悪化した。MR の真空システムは 1×10^{-4} Pa になるとインターロックが働いてしまう為このままでは実用は困難であると判断された。

平行平板モデルで計算した結果と実際にマルチパクタリングの発生した RF 条件について比較したところ、マルチパクタリングは従来想定していた電極間だけでなく、電極とチェンバーの内壁との間でも発生しており、95MHz 近傍でのマルチパクタリングは主にこちらが原因であると考えられた。^[1]

今回、電極に加えてチェンバー内壁を DLC でコーティングしたエキサイターを作成したのでその

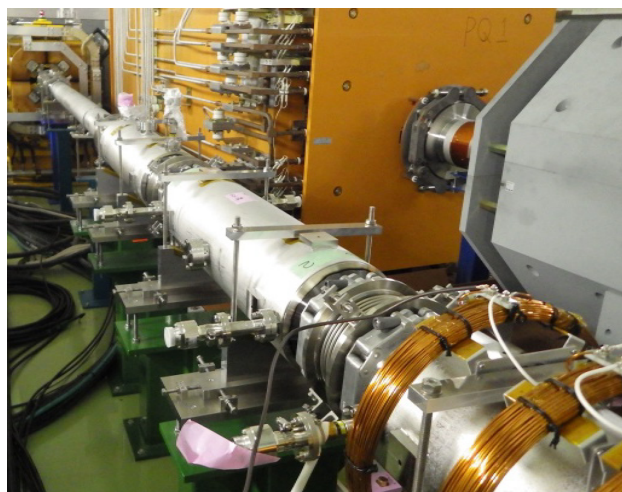


Figure 1: MR Exciters (Two of the back: DLC coating chamber. Front: SUS chamber with solenoid).

テスト結果と MR に設置・運用後の状況について報告する。

2. 内壁を DLC コーティングしたチェンバーの作成

2.1 DLC コーティングチェンバー

新たに作成したエキサイターは内径 203 mm 長さ 910 mm のステンレス製チェンバーと、その内部に ϕ 140 のビームアパーチャーを包むように向い合せて設置された杯型に折り曲げられた幅 101 mm 長さ 770 mm の電極で構成されている。この寸法は従来の物と同じである。このチェンバーの内壁に厚さ $1 \mu\text{m}$ の DLC コーティングを行い。電極も銅で $100 \mu\text{m}$ のメッキを行った上に厚さ $1 \mu\text{m}$ の DLC のコーティングを行った。

2.2 マルチパクタリングテスト

製作されたエキサイターは、テストベンチに設置され、RF を印加してエージングした後 RF 条件を変えながらマルチパクタリングによる真空の変化の測

定を行った。その結果、測定範囲内で最も悪化した部分でも 1×10^{-5} Pa 以下であった(図 2 中段)。前回測定した電極のみ DLC コーティングした時の結果(図 2 上段)と比較して 95MHz 近傍での改善が顕著でありチャンバーのコーティングの効果が伺える。

この結果から新型はソレノイドコイルによるマル

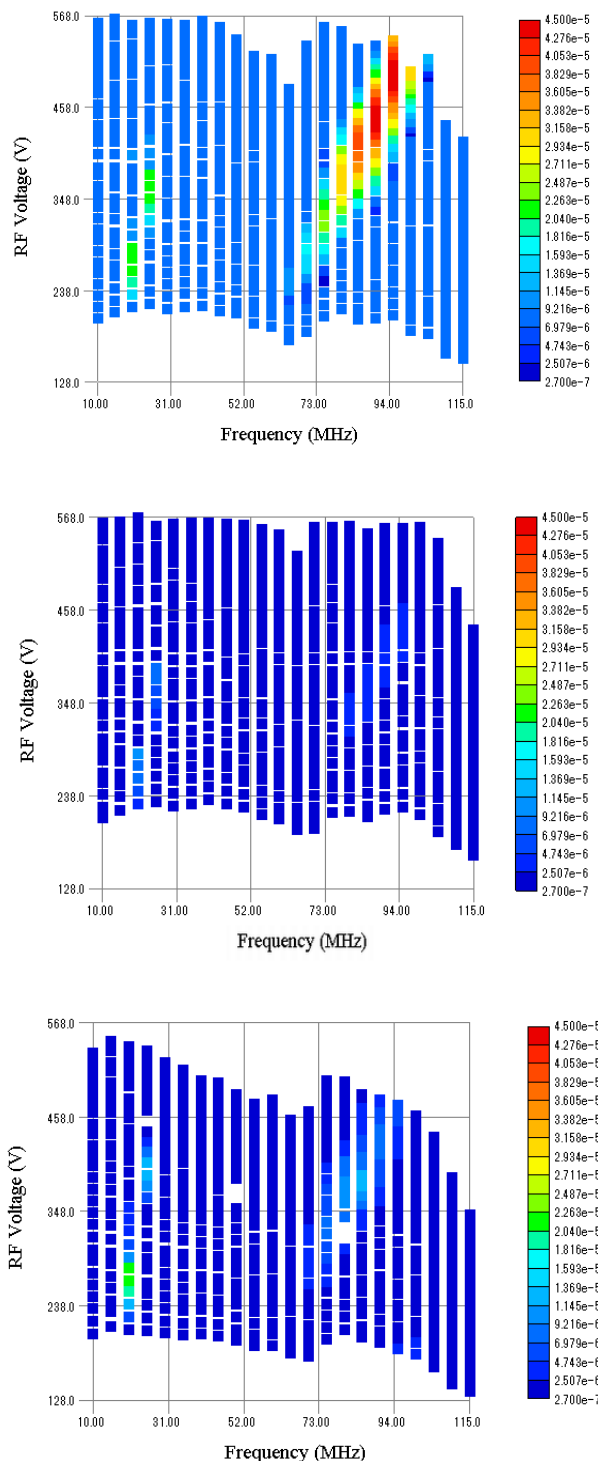


Figure 2: Vacuum measurement of DLC coating exciter (upper: only electrodes are DLC coated. middle: Full coated on test bench, lower: after operation).

チパクタリング抑制を行わなくても十分運用できると判断し、2014 年春の運転を前にリングに設置した。

3. 加速器運転後のテスト

今回、新たに Horizontal 方向, Vertical 方向各 1 台のエキサイターを増設したことでエキサイター 2 は H 方向用 3 台, V 方向用 1 台の体制になったが、今期はニュートリノ実験向けの運転のみの為、フィードバックシステムとしての利用だけで Transverse RF としての運転は行わない。その為 H,V 共に新型 1 台のみの体制で運転した。

MR 運転中、エキサイターはフィードバックシステムの一部として使用し、入射キッカーのミスマッチ磁場による軌道の乱れやインスタビリティによるビームロスの抑制に効果を上げた^[2]。エキサイターには真空計が設置していないので、直近のイオンゲージの値をモニタしていたが、フィードバックシステム動作中の真空は 1.5×10^{-6} Pa 以下であり。運転に支障の無い範囲であった。(図 3)

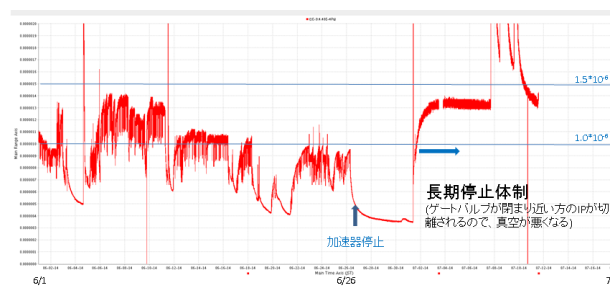


Figure 3: The vacuum on the 159_1 ion gauge under MR operation.

MR に設置された機器は運転中最大 30GeV の陽子やビームに弾かれた残留ガスの分子などが衝突する。その為 DLC が変質したりコーティングが剥離したりする事が懸念された。そこで、今期の加速器運転期間の終了後、ビームに晒された DLC コーティングに問題が生じて無いか確認するためマルチパクタリングテストと S パラメーターの測定を行った。運転に使用したチャンバーを管理区域外のテストベンチに持ち出すのは現実的ではないのでテストはビームラインに設置したまま行った。その為、イオンゲージや真空ポンプの配置や性能はテストベンチと異なる。特に真空ポンプはやや遠方のイオンポンプのみで引いている状況であったのでテストベンチや運転時と比べて真空は高い値が出ると予想された。したがって、テストベンチの結果と単純に比較することは出来ない。実際、測定結果(図 2 下段)を見ると、マルチパクタリング領域では 2×10^{-5} Pa を超える部分もありテストベンチに比べて高い値を示している。しかし、傾向としては同じであり DLC コーティングに問題が生じているとは考えていない。

また、電極の RF 透過率を比較する為、S パラメーターの測定も行った。結果は図 4 に示す通り、運転の前後でほとんど違いは見られなかった。ビームに晒されたコーティングの状態については調査手

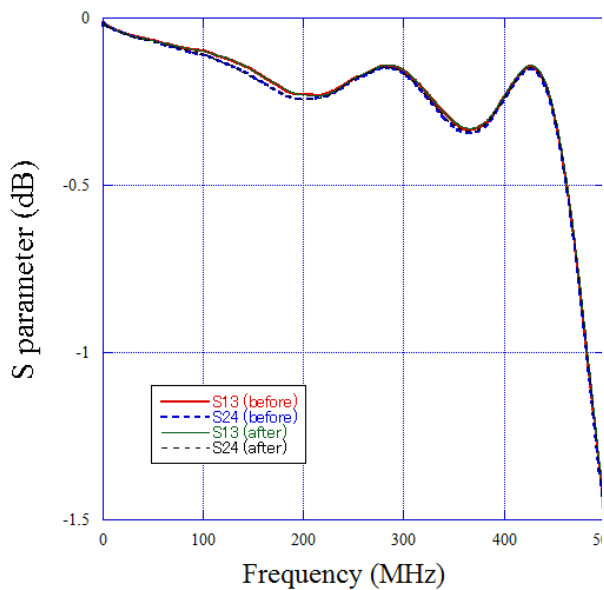


Figure 4: Compare of S-Parameters.

法も含めて今後も継続的に調査していく予定である。

4. まとめ

J-PARC MR では、前回のまでの結果を踏まえて、電極とチャンバーの内壁を DLC でコーティングしてマルチパクタリングを抑制したビームエキサイターを作成した。

テストベンチでの測定の結果、真空は最大でも 1×10^{-6} Pa 以下であったので実際に運用が可能と判断してリング内に設置した。

MR の運転中、BxBFB, IBFB のダンパーとして使用したが真空の変化は常用して問題の無いレベルであった。

MR 運転終了後、ビームに晒された DLC コーティングの耐久性を調べる為、真空テストや S パラメータの測定をしたが特に影響は見られなかった。ビームの影響については今後も調査を続けていく予定である。

参考文献

- [1] M.Okada, et al., “J-PARC MR におけるエキサイター電極の表面処理によるマルチパクタリングの抑制について”, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Nagoya, August 3-5, 2013, http://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/SUP0/SUP099.pdf
- [2] Y.Chin, et al., “J-PARC MR におけるイントラバンチフィードバックシステムによるビーム振動の安定化”, This Meeting