

## DLC コーティングに対するビームの影響について ABOUT INFLUENCE OF A BEAM TO A DLC COATING

岡田雅之<sup>#, A)</sup>, 外山毅<sup>A)</sup>  
Masashi Okada<sup>#, A)</sup>, Takeshi Toyama<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> KEK J-PARC

### Abstract

In J-PARC MR, the exciter coated by Diamond Like Carbon (DLC) has been developed. Electrodes and inside of chamber are coated by a DLC for multipactoring prevention. And it's installed in a beam line and used for Intra Bunch Feed Back (IBFB) and Transvers RF system for slow extraction. But a DLC wasn't used so much in accelerator, so we were anxious about degradation of a DLC by a beam. Multipactoring in an exciter was measured after this driving season of accelerator. As a result, a decline of the performance of the exciter and degradation of a DLC weren't admitted.

### 1. はじめに

J-PARC MR 加速器ではビーム制御の為のエキサイターを増設し、Intra Bunch Feed Back (IBFB) や Transverse RF System に利用している。(図 1)

このエキサイターはストリップライン型のキッカーで、チェンバー内でビームを挟んで向かい合う形に電極が設置されている。それぞれの電極に逆位相の RF をビームとは逆方向に流すことでビームに対して横方向のキック力を発生させるシステムである。このタイプのキッカーでは印加する RF が一定の条件を満たすマルチパクタリングという現象が発生する。これは電極間に発生した電子が RF の周期に合わせて電極間で振動しつつ増殖する現象で、真空の悪化やビームロスの原因となるので抑止する必要がある。従来はチェンバーにソレノイドコイルを巻いてビームと平行の磁場を発生させて電子の軌道を曲げる事で対処していた。今回の増設では電極にコーティングする事で二次電子放出率を下げマルチパクタリングを抑制する事を検討した。サンプルピースや実機によるテストの結果、Diamond Like Carbon (DLC) で電極とチェンバー内面をコーティングする事により、運転時に磁場を印加しなくても実用レベルで動作させる事が可能となった。<sup>[1,2]</sup>

ところで、DLC は組成等によって違いはあるが低い場合で 200 度程度から組成が変化して劣化する事が知られている。DLC が高エネルギー加速器の中で利用された例はあまり多くない為、30GeV の陽子やそれに弾かれた 2 次粒子等が衝突する事による局所的な加熱や放射線の影響で DLC が変質したり剥離したりしないかと言う懸念があった。

今回、約 1 年ビーム運転に利用したエキサイターの DLC コーティングについて、マルチパクタリングの状況等を測定し昨年の結果と比較を行った。また、実際にチェンバーを取り外して目視で観察も行ったのでその結果について報告する。

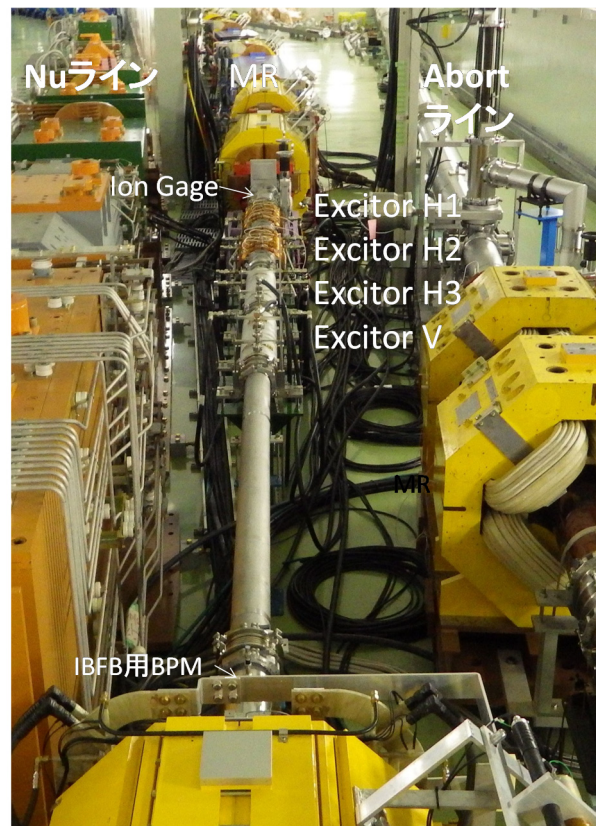


Figure 1: Exciter.

### 2. 加速器運転中のエキサイター

#### 2.1 印加 RF による温度変化

今期の MR は 2014/10/27 から 2015/07/01 の間運転され、そのうち 4/8~5/7, 6/4~6/26 がハドロン実験向けの Slow extraction (SX) 運転で、それ以外がニュートリノ実験向けの Fast extraction (FX) 運転であった。

水平方向用のエキサイターは FX 運転時と SX 運転時で異なるモードで動作させている。FX 運転時はチェンバー 1 台のみでビームの入射時のみ動作す

<sup>#</sup> masashi.okada@kek.jp

る IBFB モードで、SX 運転の時は 3 台のチェンバーを連結して Duty 50% でアンプの最大出力 3kW を印加する Transvers RF モードである。

当然の事ながらエキサイターにかかる負荷は SX 運転時の方が高く、電極のフィードスルーの温度も FX の時は 35 度以下で安定していたが、SX では 45 度超まで上昇した。とはいえ、DLC の耐熱温度に比べると十分に低く RF による DLC の劣化は考えなくて良いと思われる。

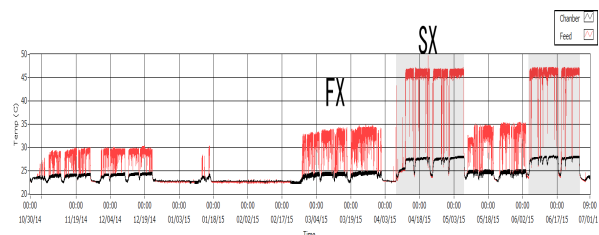


Figure 2: Temperature of the exciter. (Red: feed through, Black: chamber).

## 2.2 運転中の真空

運転中の真空の値を図 3 に示す。ミスショットなどの瞬間的な悪化を除けばほとんど  $1 \times 10^{-6}$  Pa 前後で安定していた。これは一年前 ( $1.5 \times 10^{-6}$  Pa) より低い値であり、電極等に異常はないと考えられた。

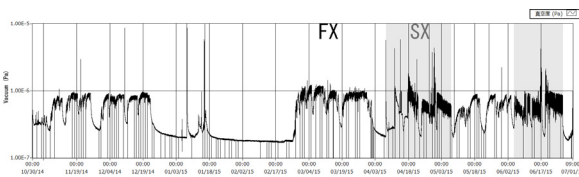


Figure 3: Vacuum under the MR operation.

## 2.3 放射線の影響

ビーム自身やその二次粒子の衝突はコーティングに最も影響を与える要素だと考えているが、運転中にそれを測定する事は難しい。そこで、チェンバーの側面にフィルムパッチを貼って運転中に受けた線量を測定し、一つの目安とすることにした。今回、全期間の線量を測定する事は出来なかったため、測定した一部の期間の積算線量と近傍に設置されたビームロスモニタの測定値と比較して運転中の線量を推計した。その結果、今期の加速器運転中にエキサイターが浴びた線量は 111Gy 程度と推計された。(表 1)

## 3. 運転後のエキサイターの状況

マシンタイム終了後、真空度の測定と S パラメーターの測定を行った。真空度の測定は前回と同様にビームラインにつないだ状態で近傍のイオンゲージを用いて測定した。その結果、最も悪化した場所で

Table1: Estimation of Exposure Doses

積算期間	BLM 積算値 (count)		推計線量 (太字は実測)
	fx	sx	Exciter (mGy)
14/10/29- 15/04/01	221195000		86115
15/04/08- 15/05/07		3133610	180
15/05/08- 15/06/03	56019400		21809
15/06/04- 15/06/17		22188900	1273
15/06/18- 15/06/26		17220900	<b>988</b>
15/06/29- 15/07/01	976071		<b>380</b>
合計			110745

$1.35 \times 10^{-5}$  Pa であった。(図 5)これは、1 年前比べて約半分の値であり、コーティングの劣化等によるマルチパクタリングの悪化は起こって無いと判断した。一方でマルチパクタリングに起因すると思われる真空の悪化は残っていて完全に解消できていない事も分かる。

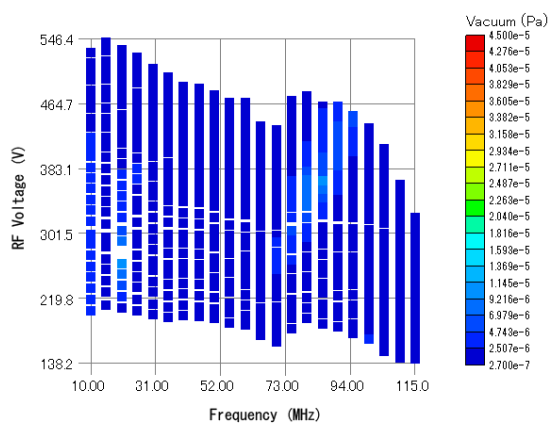


Figure 4: Vacuum measurement.

次に S パラメーターの測定結果を図 5 に示す。S13、S24 はそれぞれの左右の電極を RF が透過する場合に対応した値で 1 年前・今回の測定値を比較して大きな違いは見られなかった。

測定後、エキサイターの一部を取り外し、実際に電極やチェンバーの様子を観察した。その時の写真を図 7 に示す。目視で観察した限りではコーティングが変質している様な様子は見られなかった。また、キムワイプで表面をこすってみたが粉状化や変質は見受けられなかった。

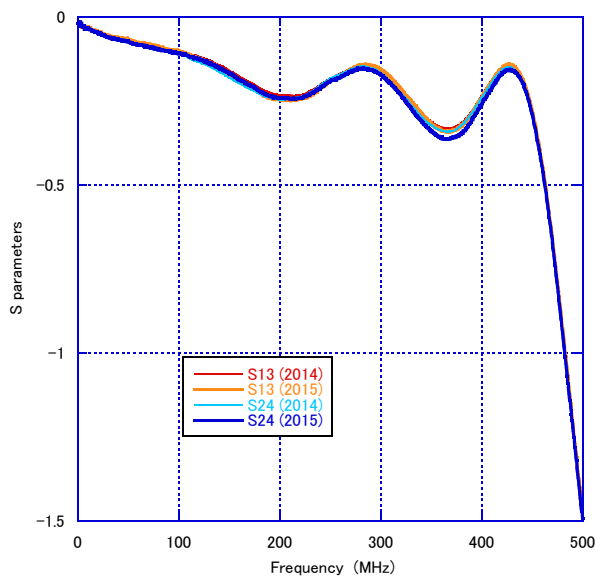


Figure 5: Compare of S parameters.

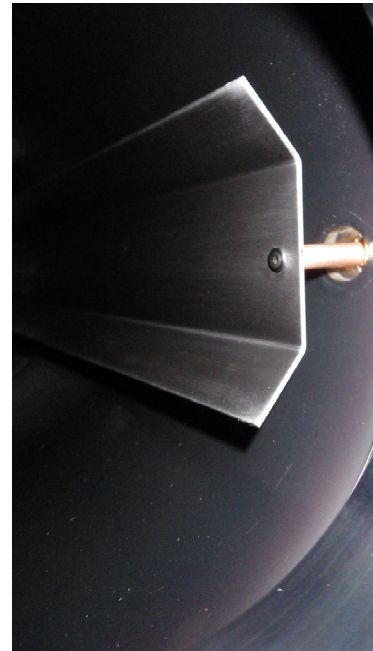
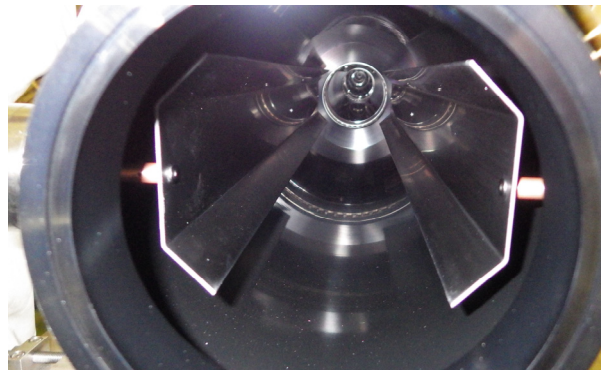


Figure 6: Picture inside the chamber.

#### 4. まとめ

J-PARC MR に設置したエキサイターの DLC コーティングについて、ビームによる劣化が無いか測定した。今期は FX 運転の他にエキサイターに負荷のかかる SX 運転も行ったが、期間中の真空度や RF の様子では特に問題は見られなかった。また、運転後に真空度等の測定や内部の観察を行ったが劣化の兆候は見られなかった。これらの事から現時点では問題は起きていないと考えている。今後も測定は続けて行く予定である。

#### 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ー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](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj10/proceedings/PDF/SUP0/SUP099.pdf)
- [2] M.Okada et al., “DLC コーティングされたビームエキサイターの開発”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Aomori, August 9-11, 2014, [http://www.pasj.jp/web\\_publish/pasj2014/proceedings/PDF/MOOL/MOOL15.pdf](http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2014/proceedings/PDF/MOOL/MOOL15.pdf)